



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Estudo Comparativo das Características dos Líquidos
Percolados Gerados no Aterro Metropolitano – PB e no
Aterro da Muribeca – PE**

Elisângela Maria Pereira dos Santos Lôbo

Recife
Junho/2006



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Estudo Comparativo das Características dos Líquidos
Percolados Gerados no Aterro Metropolitano – PB e no
Aterro da Muribeca – PE**

Elisângela Maria Pereira dos Santos Lôbo

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Cristina M. Alves

Recife

Junho/2006

- L799e** **Lôbo, Elisângela Maria Pereira dos Santos.**
Estudo comparativo das características dos líquidos percolados gerados no aterro metropolitano – PB e no aterro da Muribeca - PE. – Recife: O Autor, 2006.
127 folhas. : il. ; fig., tabs.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia civil, 2006.
- Inclui bibliografia.
1. Engenharia civil. 2. Aterro sanitário – Percolado - Caracterização. 3. Percolado - Qualidade. 4. Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, PB. 5. Aterro da Muribeca – Recife, PE I. Título.

624 CDD (22.ed.)

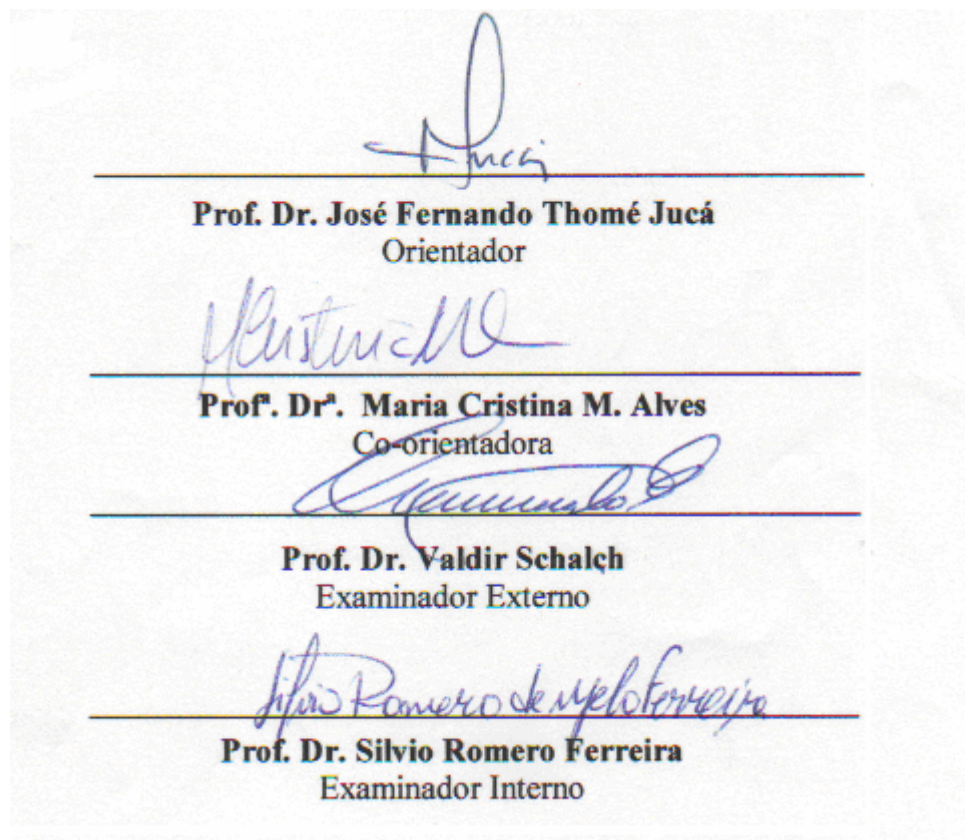
UFPE
BCTG/2007-062

Estudo Comparativo das Características dos Líquidos Percolados Gerados no Aterro Metropolitano – PB e no Aterro da Muribeca – PE

Elisângela Maria Pereira dos Santos Lôbo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovado por:



Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá
Orientador

Prof. Dr. Maria Cristina M. Alves
Co-orientadora

Prof. Dr. Valdir Schalch
Examinador Externo

Prof. Dr. Silvio Romero Ferreira
Examinador Interno

Dedico este trabalho aos meus ilustríssimos pais, Edjalme e Socorro, que sempre me incentivaram a continuar lutando pelos meus sonhos. A minha querida tia Eurides, pelas suas orações, as minhas duas irmãs e principalmente ao meu esposo e companheiro Victor, que vem traçando essa caminhada ao meu lado desde o começo, sempre acreditando em mim, sem deixar que eu fraquejasse.

“AGRADECIMENTOS”

A Deus, pela força, pela luz que sempre caminhou ao meu lado, pela fé, sabedoria, paciência e principalmente pelas dificuldades que tive de enfrentar, pois só assim pude enxergar a vida de várias formas.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram nessa longa jornada e nunca deixaram de acreditar que iria dar certo.

A Victor, pelo seu apoio, pelo seu incentivo, pela sua paciência, pelo seu amor, pela sua admiração e também pela suas palavras duras, porém verdadeiras, que muitas vezes foram necessárias para minha evolução espiritual e concretização deste sonho.

Ao orientador, Prof. José Fernando Thomé Jucá, que acreditou no meu trabalho como profissional em um momento crítico da minha vida, apoiando e ajudando a minha evolução profissional.

A co-orientadora, Cristina que me aceitou como sua aluna, sempre me dando a atenção necessária, nas horas certas.

Ao Prof. Maurício Mota, que apesar de pouco contato teve uma influência muito significativa na realização deste trabalho. Pessoa que passei a admirar incondicionalmente, principalmente pela sua enorme humildade e sabedoria. Minha eterna gratidão.

A minha prima Márcia, que ao longo do tempo tornou-se uma irmã, e ao seu marido Breno, que me receberam com tanto amor e dedicação no seio de sua família. A minha amada Alice pelo seu amor e carinho. Minha gratidão eterna.

Aos colegas do mestrado que conquistei ao longo dessa jornada: Bianca, Manuela, Rafael, Gerson, Sr. George, Fábio, Márcio, Vinicius, Frank, William Perboyre e Beldson que de alguma forma estiveram do meu lado.

Aos colegas do Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE: Rodrigo, Keila, Paulo, Ingrid, Andréia e em especial a Cecília, Eduardo, Veruscka e o sempre humorado Antonio Brito que sempre me ajudaram no que precisei.

A Dona Laudenice, que de sua maneira sempre me ajudou no que foi necessário.

Andréa Negromonte, que sempre muito eficiente fez com que tudo acontecesse da maneira correta.

A Prof^a Valdinete, Prof^a Angeles, ao Prof. Ivaldo, meus sinceros agradecimentos.

A Prof^a. Beatriz Ceballos, da Universidade Federal de Campina Grande, por toda sua atenção, ajuda e preocupação. Minha eterna gratidão.

Aos professores da UFPB, Claudia Coutinho e Gilson Barbosa, pelo apoio e atenção dedicada.

A amiga Roberta Paes, pela sua atenção, compreensão. Minha eterna gratidão.

A minha amiga e companheira, Elisângela Rocha, que sempre esteve ao meu lado, me dando incentivo, apoio, força, sempre me escutando e me dizendo uma palavra confortável e coerente nos momentos mais difíceis. A você amiga toda gratidão, pois sem a sua amizade teria sido mais difícil o término desta fase.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para elaboração e conclusão deste trabalho.

RESUMO

A forma de disposição final utilizada para os resíduos sólidos urbanos domiciliares no Brasil e no mundo têm sido os aterros sanitários, que podem ser aplicados tanto para pequenas como para grandes comunidades. Neste método é importante destacar o tratamento dos líquidos que são gerados no interior da massa de lixo, denominado de chorume, que ao se juntar com a água de chuva forma o percolato, o qual possui características próprias que devem ser diagnosticadas.

Este trabalho tem como objetivo a caracterização e o estudo comparativo entre a qualidade do percolato gerado no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa e no Aterro da Muribeca - Recife. O Aterro Metropolitano está localizado na zona sul da cidade de João Pessoa e é considerado um “aterro novo”, com início de operação em 2003, possuindo uma área de 100 ha, enquanto o Aterro da Muribeca, com uma área de 60 ha, localiza-se na Região Metropolitana do Recife sendo considerado um “aterro velho”, com 20 anos de operação, mais que ainda recebe diariamente lixo novo. O período adotado para o desenvolvimento da pesquisa foi janeiro de 2004 a julho de 2005. Foram analisados os parâmetros físico-químicos – pH, condutividade elétrica, alcalinidade total, cloreto, fósforo, DBO_5 , DQO, sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais dissolvidos; metais pesados – ferro, cobre, zinco, cádmio, cobalto, manganês, níquel, chumbo e cromo; e microbiológicos – coliformes totais e coliformes termotolerantes.

Os resultados mostraram que os dois aterros em estudo não apresentaram diferenças significativas, apesar de possuírem idades bem diferenciadas, como por exemplo, o pH para ambos os aterros variaram de 7,5 a 8,5, assim como para os metais pesados, apenas o ferro apresentou valores relevantes, enquanto os parâmetros microbiológicos, em grande parte do tempo estudado, apresentaram uma variação de 10^6 a 10^8 . Em termos de DBO_5 e DQO o percolato do Aterro da Muribeca variou de 138 a 6.746 mgO_2/L e 1.718 a 10.097 mgO_2/L respectivamente, e no caso do percolato do Aterro Metropolitano houve uma variação para a DBO de 178 a 13.157 mgO_2/L e para a DQO de 2.604 a 21.166 mgO_2/L . Os parâmetros analisados, também foram relacionados com a precipitação e com a idade dos aterros, enquanto a composição gravimétrica de cada aterro foi considerada em relação aos parâmetros de maior influência na caracterização do percolato.

Palavras Chaves: Percolato, Idade, Precipitação.

ABSTRACT

The way of final disposition used for homely urban solid waste in Brazil and throughout the world has been sanitary embankment, which can be applied for both small and big communities. It is important to mention in this method, the treatment of the liquids that are not generated inside the heap of refuse, named leachate, which produces the percolate when mixed with the rain. This percolate has particular characteristics which must be diagnosed.

This work aims at the characterization and the comparative study between the quality of the percolate generated in “Landfill Metropolitan of João Pessoa” and that generated in “Landfill of Muribeca – Recife”. The “Landfill Metropolitan” is located in the south area of João Pessoa city and is considered a “new embankment”. It started operating in 2003, and has an area of 100 ha, while “Landfill of Muribeca, with an area of 60 ha is located in Recife Metropolitan Region, and is considered an “old embankment”. It has been operating for 20 years but still receives new refuse.

The research development was set for the period from January 2004 to July 2005. Physic-chemical parameters were analyzed – pH, electric conductance, total alkalinity, chloride, phosphorus, DBO_5 , DQO, total solids, volatile total solids and dissolved total solids, heavy metals – iron, copper, zinc, cadmium, cobalt, manganese, nickel, lead and chromium; and microbiologic – total coliforms and thermotolerant coliforms.

The results showed that both landfills under study did not present meaningful difference, despite their different age. As an example, pH for both varies from 7.5 to 8.5 as for the heavy metals. Only iron presented relevant value, while microbiologic parameters, most of the time, presented a variation of 10^6 to 10^8 . In terms of DBO_5 DQO the percolate of “Landfill of Muribeca” varied from 138 to 6,746 mgO_2/L and 1,718 to 10,097 mgO_2/L respectively. Concerning percolate of “Landfill Metropolitan” there was a DBO variation from 178 to 13,157 mgO_2/L and for DQO from 2604 to 21,166 mgO_2/L . The parameters analyzed were also related with precipitation and with landfill age, while the gravimetric composition of each was considered in relation to the parameters of major influence on the characterization of the leachate.

Keys Word – Leachate; Age; Precipitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxograma do processo de decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos.	24
Figura 2.2 - Variação da concentração de contaminantes do chorume com a idade do lixo	29
Figura 3.1 - Planta Baixa do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa - ASMJP.....	47
Figura 3.2 - Galpão de triagem do Aterro Metropolitano.	47
Figura 3.3 - Caminhão de coleta de podas na balança do aterro (a) e local destinado ao armazenamento de podas (b).	48
Figura 3.4 - Célula destinada aos resíduos de serviço de saúde.....	48
Figura 3.5 - Vista as Células 1 e 2 do Aterro Sanit. Metropolitano de João Pessoa. ...	49
Figura 3.6 - Média histórica da precipitação do Aterro Metropolitano de João Pessoa no período de 1961 a 2005.	51
Figura 3.7 - Precipitação do Aterro Metropolitano de João Pessoa, no Período de Estudo - 2004 a 2005.....	52
Figura 3.8 - Média histórica da evaporação do Aterro Metropolitano de João Pessoa no período de 1961 a 2005.	52
Figura 3.9 - Comportamento Hídrico do Aterro Metropolitano de João Pessoa, no período de 1961 a 2005.	53
Figura 3.10 - Composição Gravimétrica do Aterro sanitário Metropolitano de João Pessoa.	53
Figura 3.11 - Entrada da Lagoa de Decantação (a); Estação de Tratamento do Chorume (b).	55
Figura 3.13 - Situação do Aterro da Muribeca Após Recuperação.....	57
Figura 3.14 - Estação de Tratamento de Chorume - ETC	58
Figura 3.15 - Situação Atual do Aterro da Muribeca.	Erro! Indicador não definido.
Figura 3.16 - Média histórica da precipitação do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife, no período de 1971 a 2005..	62

Figura 3.17 - Precipitação do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife no Período de Tempo Estudado.....	62
Figura 3.18 - Média histórica da evaporação do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife, no período de 1971 a 2005.	63
Figura 3.19 - Comportamento Hídrico do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife, no período de 1975 a 2005.....	64
Figura 3.20 – Composição Gravimétrica do Aterro da Muribeca.....	64
Figura 3.21 - Entrada do Sistema de Tratamento de Chorume (a); Lagoa de Decantação (b)	66
Figura 3.23 - Material utilizado para coleta do percolado.....	68
Figura 4.1 - Valores de pH obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	72
Figura 4.2 - Valores de alcalinidade total no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	74
Figura 4.3 - Valores de condutividade elétrica, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	75
Figura 4.4 - Valores de cloretos, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	76
Figura 4.5 - Valores do fósforo, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	78
Figura 4.6 - Valores do DQO e DBO, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	80
Figura 4.7 - Valores da Biodegradabilidade, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	81
Figura 4.8 - Valores dos sólidos totais, voláteis e dissolvidos, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.....	82

Figura 4.9 - Valores dos Coliformes Totais e Termotolerantes, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.....	84
Figura 4.10 - Valores do Chumbo, Cromo, Níquel e Manganês, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.....	86
Figura 4.11 - Valores do Cobre, Zinco, Cádmio e Cobalto, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.....	87
Figura 4.12 - Valores do Ferro, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	89
Figura 4.13 - Valores do pH, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	91
Figura 4.14 - Valores da Alcalinidade Total, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	92
Figura 4.15 - Valores da condutividade elétrica, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	94
Figura 4.16 - Valores do cloreto, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	95
Figura 4.17 - Valores do Fósforo, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	96
Figura 4.18 - Valores de DQO e DBO, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	97
Figura 4.19 - Valores da Biodegradabilidade, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	98
Figura 4.20 - Valores dos Sólidos Totais, Totais Dissolvidos e Totais Voláteis, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.....	100
Figura 4.21 - Valores dos Coliformes Totais e Termotolerantes, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	101

Figura 4.22 - Valores do Chumbo, Cromo, Níquel e Manganês, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	103
Figura 4.23 - Valores do Cobre, Zinco, Cádmio e Cobalto, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	104
Figura 4.24 - Valores do Ferro, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	106
Figura 4.25 – Comparação entre as precipitações ocorridas no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa e no Aterro da Muribeca – RMR.	107
Figura 4.26 - Valores do pH, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.....	110
Figura 4.27 - Valores da Alcalinidade Total, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.	111
Figura 4.28 - Valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.	113
Figura 4.29 - Valores da Demanda Química de Oxigênio, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.	114
Figura 4.30 - Valores da Biodegradabilidade, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.	116
Figura 4.31 – Relação entre os Sólidos Totais Voláteis e os Sólidos Totais, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.	117
Figura 4.32 - Valores do Ferro, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano, e da precipitação para o mesmo período de tempo.	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Comparação de alguns Parâmetros Qualitativos e Quantitativos dos Resíduos Sólidos das cidades de São Carlos e São Paulo.	27
Tabela 2.2 – Geração de Resíduos Sólidos.....	27
Tabela 2.3 - Resultados de Alguns Parâmetros na Fase Ácida e Metanogênica	33
Tabela 2.4 - Composição de chorumes de aterros sanitários.....	34
Tabela 2.5 - Comparação dos Parâmetros Físicos, Químicos e Bacteriológicos de Três Aterros de São Paulo.	35
Tabela 2.6 - Análise química do chorume coletado no aterro sanitário de Bauru.....	35
Tabela 2.7 - Composição típica de chorumes novos e velhos de aterros sanitários.	36
Tabela 3.1 - Idade dos Resíduos nas Células no Aterro Metropolitano.	54
Tabela 3.2 - Quantidade de Resíduos Acumulado no Período de 2003 a 2005.	54
Tabela 3.3 - Quantidade de Resíduos Acumulado no Período de 1994 a 2004.	65
Tabela 3.4 - Idade dos Resíduos nas Células no Período de Monitoramento	66
Tabela 3.5 - Parâmetros e Métodos Utilizados na Caracterização do Percolado.	69

LISTA DE NOMECLATURA E ABREVIACÕES

ASMJP	Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa
CaCO₃	Carbonato de Cálcio
CO₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETC	Estação de Tratamento de Chorume
H⁺	Íon hidrogênio
ha	Hectare
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
L	Litro
LD	Lagoa de Decantação
log	Logaritmo
m	Metros
mg/L	Miligrama por litro
N	Nitrogênio
NH₃⁺	Íon Amônio
NO₂⁻	Nitrito
NO₃⁻	Nitrato
O₂	Oxigênio molecular
P	Fósforo
PE	Pernambuco
PB	Paraíba
pH	Potencial Hidrogênioônico
RMR	Região Metropolitana do Recife
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
%	Porcentagem

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE NOMECLATURA E ABREVIACÕES.....	xiv
CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO	18
1.1 – ASPECTOS GERAIS	18
1.2 – OBJETIVOS.....	19
1.2.1 - Objetivos gerais.....	19
1.2.2 - Objetivos específicos	19
1.3 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
CAPITULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 – PERCOLADO.....	21
2.1.1 - Definição	21
2.2 – FORMAÇÃO DOS LÍQUIDOS PERCOLADOS.....	22
2.3 – INFLUÊNCIA DE DETERMINADOS FATORES NA FORMAÇÃO DO PERCOLADO	25
2.3.1 – Composição do Lixo.....	26
2.3.2 – Idade do Aterro.....	28
2.3.3 – Precipitação	30
2.3.4 – Profundidade do Aterro	31
2.3.5 – Umidade do Lixo	31
2.3.6 – Solo de Cobertura	32
2.3.7 – Densidade	32
2.4 – CARACTERIZAÇÃO DO PERCOLADO	32
2.4.1 - Parâmetros Físico-Químicos	36
2.4.1.1 – Potencial Hidrogeniônico – pH	36
2.4.1.2 – Alcalinidade Total	37
2.4.1.3 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	37
2.4.1.4 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)	38
2.4.1.5 – Condutividade Elétrica	39
2.4.1.6 – Cloretos.....	39
2.4.1.7 – Fósforo.....	40
2.4.1.8 – Sólidos Totais, Sólidos Totais Dissolvidos e Sólidos Totais Voláteis.	40
2.4.2 - Metais Pesados	41
2.4.2.1 - Cadmio (Cd).....	41
2.4.2.2 - Chumbo (Pb)	42
2.4.2.3 - Cobre (Cu).....	42
2.4.2.4 - Ferro (Fe)	42
2.4.2.5 - Manganês (Mn)	43
2.4.2.6 - Zinco (Zn)	43
2.4.2.7 - Cromo (Cr)	43
2.4.2.8 - Níquel (Ni)	44
2.4.3 - Parâmetros Microbiológicos	44
2.4.3.1 – Coliforme Totais.....	45
2.4.3.2 – Coliforme Termotolerantes.....	45

CAPITULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1 – ATERRO SANITÁRIO METROPOLITANO DE JOÃO PESSOA - ASMJP.....	46
3.1.1 - Dados Gerais	46
3.1.2 - Caracterização do Meio Físico	49
3.1.2.1 - Hidrogeologia.....	49
3.1.2.2 - Morfologia/Drenagem.....	50
3.1.2.3 - Clima	50
3.1.2.4 - Pluviometria	50
3.1.2.5 - Evaporação	51
3.1.3 - Composição do Lixo	53
3.1.4 - Monitoramento e Operação do Aterro Metropolitano de João Pessoa.....	54
3.1.5 - Ponto de Coleta	55
3.2 - ATERRO DA MURIBECA – REGIÃO METROPOLINA DO RECIFE	57
3.2.1 - Dados Gerais	57
3.2.2 - Caracterização do Meio Físico	60
3.2.2.1 - Hidrogeologia.....	60
3.2.2.2 - Morfologia / Drenagem.....	60
3.2.2.3 - Clima	60
3.2.2.4 - Pluviometria	61
3.2.2.5 - Evaporação	63
3.2.3 - Composição do Lixo	64
3.2.4 - Monitoramento e Operação do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana de Recife.....	65
3.2.5 - Ponto de Coleta	66
3.3 – METODOLOGIA DE COLETA	68
CAPITULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.1 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO PERCOLADO DO ATERRO METROPOLITANO – REGIÃO METROPOLITANA DE JOÃO PESSOA.....	70
4.1.1 - Efeito do tempo e da precipitação na qualidade do percolado	70
4.1.1.1 - Parâmetros Físico-Químicos	70
4.1.1.2 - Parâmetros Microbiológicos	83
4.1.1.3 - Metais Pesados	84
4.2 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO PERCOLADO DO ATERRO DA MURIBECA – REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE.....	90
4.2.1 - Efeito do tempo e da precipitação na qualidade do chorume da Muribeca.....	90
4.2.1.1 - Parâmetros Físico-Químicos	90
4.2.1.2 - Parâmetros Microbiológicos	100
4.2.1.3 - Metais Pesados	101
4.3 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALGUNS PARÂMETROS DO PERCOLADO DO ATERRO METROPOLITANO DE JOÃO PESSOA E DO ATERRO DA MURIBECA – REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE - RMR.	106
4.3.1 - pH.....	109
4.3.2 - Alcalinidade Total	110
4.3.3 - Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO ₅	111
4.3.4 - Demanda Química de Oxigênio - DQO	113
4.3.5 – Biodegradabilidade	115
4.3.6 – Sólidos Totais Voláteis/Sólidos Totais.....	116
4.3.7 – Metais Pesados	117

CAPITULO 5 - CONCLUSÕES	119
5.1 – CONCLUSÕES	119
5.2 – SUGESTÕES PARA PESQUISAS.....	122
CAPITULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

CAPITULO 1- INTRODUÇÃO

1.1– Aspectos Gerais

Os aterros de resíduos sólidos vêm se destacando como a forma de destinação final mais utilizada nas cidades brasileiras. De acordo com JUCÁ (2003), os aterros sanitários representam a principal destinação final dos resíduos sólidos, apesar do imenso esforço em se reduzir, reutilizar e reciclar. Em vários países, o aterro sanitário tem sido a mais importante meta a alcançar, com vistas a uma disposição final adequada dos resíduos. Todavia, um dos principais problemas relacionados à utilização de aterros sanitários é o efetivo tratamento dos líquidos percolados gerados através da decomposição da matéria orgânica e de fontes externas, tais como sistemas de drenagem superficial, chuva, lençol freático, que percolam através dos interstícios da massa de lixo carreando materiais dissolvidos e/ou em suspensão.

De acordo com a NBR 8419/1992, o chorume é definido como o líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e elevada DBO_5 . Desta forma, pode-se dizer que o chorume é um líquido que possui uma carga poluidora mais concentrada do que o percolado, tendo em vista que para a geração do percolado é necessário que se tenha um incremento de água advinda de alguma fonte, seja pluvial, subterrânea ou até mesmo da própria umidade do lixo.

Conforme LINS (2003) e outros autores o chorume é formado pela decomposição da matéria orgânica presente no lixo. Já os percolados ou líquidos percolados são formados pela percolação de águas que atravessam a massa de lixo arrastando o chorume, além de outros materiais em solução e/ou suspensão. Estas águas que atravessam a massa de lixo podem ser formadas através da: umidade natural do lixo; água de constituição presente no lixo que são liberadas pela compactação ou pela decomposição biológica; infiltração das águas de chuva da camada de cobertura do aterro, ou ainda pela contribuição das nascentes e águas do subsolo que por capilaridade atingem a massa de lixo.

A composição do percolado proveniente de aterros de resíduos sólidos pode apresentar características distintas entre si, pois sua geração e composição dependem de inúmeros fatores como: idade do aterro, clima, composição do lixo, entre outros. A caracterização do percolado tem como objetivo orientar o tipo de tratamento que o

mesmo poderá sofrer, visando não causar impacto ao meio ambiente ao ser lançado em um corpo hídrico.

A caracterização do percolado é realizada mediante análises: físico-químicas, metais pesados e microbiológicas. Com base nestas informações, é possível avaliar que tipos de resíduos predominam no interior da massa de lixo, como também conhecer a fase de decomposição. Desta forma a caracterização do percolado poderá indicar qual tratamento deverá ser utilizado para uma melhor eficiência na remoção dos agentes poluidores.

Neste trabalho de dissertação será utilizado o termo *percolado*, quando se tratar do chorume juntamente com a água advinda de fontes externas. O termo *chorume* também será utilizado, mais apenas em se tratando do líquido proveniente da decomposição da massa de lixo aterrada, ou seja, sem influência de outras fontes de água.

1.2 – Objetivos

1.2.1 - Objetivos gerais

Através do estudo comparativo realizado nos percolados gerados no Aterro Metropolitano e no Aterro da Muribeca, pretendem-se avaliar as características destes percolados, mediante análise dos parâmetros físicos-químicos, metais pesados e microbiológicos. Neste estudo comparativo, a precipitação, composição gravimétrica e idade dos aterros, também foram levados em consideração.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Coletar os dados nos aterros determinados para o desenvolvimento do estudo;
- Analisar os dados obtidos para o percolado gerado no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa;
- Analisar os dados obtidos para o percolado gerado no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca;
- Comparar o efeito da composição gravimétrica e da idade dos aterros, sobre os parâmetros considerados no estudo de caracterização dos percolados produzidos nos dois aterros de resíduos sólidos;

- Avaliar o efeito da precipitação, e da operacionalidade dos aterros, na geração dos percolados.

1.3 – Estrutura da Dissertação

A dissertação é formada de 5 (cinco) capítulos. O Capítulo 1 composto pela Introdução, aborda os aspectos gerais da formação do percolado, e dos fatores que influenciam na sua caracterização. Faz parte também deste capítulo a descrição dos objetivos gerais e específicos que conduzem esta dissertação.

No Capítulo 2 encontra-se a Revisão Bibliográfica, onde são abordadas definições dos percolados gerados em diversos aterros de resíduos sólidos, bem como seus fatores de formação e influência, citando diversos trabalhos realizados a cerca do tema.

No Capítulo 3 encontra-se a metodologia utilizada na dissertação, onde foram apresentados os métodos utilizados para a coleta de dados dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e metais pesados necessários para caracterização do percolado.

O Capítulo 4, Análise e Discussão dos Resultados, é composto de todos os dados coletados no período considerado para o estudo, bem como sua análise e interpretação. Neste capítulo o percolado foi avaliado, levando-se em consideração a composição e a idade do lixo, além da influência da precipitação.

Por fim, o Capítulo 5, refere-se às conclusões a cerca do estudo realizado com suas considerações e sugestões para pesquisas futuras.

CAPITULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1– Percolado

2.1.1 - Definição

Segundo PASCOALATO (2000), o chorume é o resultado da ação enzimática dos microorganismos do sistema e dos produtos resultantes da biodegradação. O mesmo autor afirma ainda que, o chorume proveniente da degradação da matéria orgânica, é uma fonte altamente poluente, contendo altas concentrações de carga orgânica e metais pesados.

Segundo SILVA (2002), o chorume é um líquido escuro e turvo, de odor desagradável, que apresentam em sua composição altos teores de compostos orgânicos e inorgânicos, nas formas dissolvida e coloidal, liberados no processo de decomposição do lixo.

De acordo com SEGATO e SILVA (2000), o percolado pode ser definido como a fase líquida da massa aterrada, que percola através desta removendo materiais dissolvidos ou suspensos. Na maioria dos aterros sanitários, o percolado é composto pelo líquido que entra na massa aterrada de lixo advindo de fontes externas, tais como sistemas de drenagem superficial, chuva, lençol freático, nascentes e aqueles resultantes da decomposição do lixo.

PAES (2003) relata que os percolados que compõem a fase líquida do aterro sanitário são formados pelas águas das chuvas que caem sobre o aterro, bem como águas de nascentes que percolam através dos resíduos e incluem o chorume, originado da decomposição da matéria orgânica. Esses líquidos, juntamente com os gases, ocupam os interstícios existentes na fase sólida.

A movimentação de água através do aterro sanitário, carregando materiais em suspensão e dissolvidos, com alto potencial de contaminação do meio ambiente, é um dos problemas principais em aterros sanitários. Esta água com elevado grau de poluição é denominada “lixívia”, “líquidos percolados”, ou “chorume”. Sua composição depende de vários fatores, tais como: tipo de resíduos contidos no aterro sanitário, forma como este aterro é executado e operado, hidrologia da região, e outros (SILVA *et al.* 2000).

Segundo ORTH, (1981), o percolado é uma combinação do chorume com água que percola no lixo, onde essa água provém de uma parte da precipitação que infiltra na cobertura final do aterro, das nascentes próximas e de águas subterrâneas.

Desta forma os líquidos, com alto teor de poluentes, gerados nos aterros de resíduos sólidos, nada mais é do que a junção do *chorume*, oriundo da decomposição do lixo, e as águas originadas de diversas fontes. Este conjunto é denominado de *percolado*. Devido à complexa relação entre estes efluentes, em determinados momentos os termos *chorume* e *percolado* são utilizados sem distinção na literatura técnica.

2.2– Formação dos Líquidos Percolados

De acordo com SCHALCH (1984), a infiltração da precipitação através do solo, é um processo natural, e faz parte do ciclo de recarga do lençol freático. A percolação é a infiltração da água através do resíduo sólido, carreando com ela, as substâncias solúveis suspensas no mesmo. Por lixiviação, entende-se a operação de separar certas substâncias contidas nos resíduos domésticos ou industriais, por meio de lavagem ou de percolação. As águas de chuva que caem sobre os aterros sanitários, bem como de nascentes, percolam através do lixo carreando o chorume e a matéria orgânica, dando origem ao percolado.

O chorume pode ser definido como a fase líquida da massa de lixo, que percola através desta removendo materiais dissolvidos ou suspensos. O potencial de formação do chorume pode ser determinado através do balanço hídrico no aterro. O balanço corresponde à soma de quantidades que entram e a subtração de quantidade de água que são consumidas nas reações químicas e a quantidade de água que deixa o aterro por evaporação. O potencial corresponde, portanto a quantidade de água que excede a capacidade de retenção de umidade da massa aterrada (HAMADA e MATSUNAGA, 2000).

Segundo PESSIN *et al* (2000), o desenvolvimento da atividade microbiana no interior das células de aterramento, associado a fatores ambientais é capaz de promover a formação de quantidades significativas de chorume. Em função da elevada concentração de matéria orgânica e metais, o chorume constitui-se como poluente extremamente agressivo ao ambiente, necessitando de tratamento anterior ao seu lançamento no corpo receptor.

De acordo com PASCHOALATO (2000), os percolados são produzidos como consequência de uma complexa gama de interações entre fatores relacionados com o local de disposição do lixo, fatores hidrogeológico, hidrometeorológico e topográficos,

além da composição do rejeito (incluindo teor de umidade e inoculação microbiana), compactação das células, impermeabilização e cobertura vegetal.

MONTEIRO (2003), diz que a infiltração de água através do aterro sanitário, aterro controlado ou lixão gera o percolato ou lixiviado. As fontes de água podem interferir por precipitação, irrigação, infiltração subterrânea ou recirculação no aterro. A quantidade do percolato gerado em um aterro sanitário depende da água externa que nele ingressa, da água contida nos resíduos no momento de ser depositados e da água que se gera internamente pelos processos de biodegradação da matéria orgânica. Em geral, observa-se que em longo prazo, a maior proporção do percolato provém das contribuições externas de água e só uma pequena quantidade é proveniente dos processos de biodegradação. A quantidade de água contida nos resíduos influi apenas na fase inicial de geração do percolato.

MERBACH JR. (1989), considera a água como principal fator de formação do percolato, que penetraria no aterro nas seguintes condições e formas:

- Precipitação;
- Escoamento superficial;
- Movimentação do lençol freático;
- Águas presentes no local anterior aos despejos;
- Líquidos resultantes da decomposição da matéria orgânica e de reações físico-química.

Segundo ROCHA (2005), o percolato é formado pela infiltração da água das chuvas e pela degradação de compostos que percolam pela massa de lixo, carreando materiais dissolvidos ou suspensos, ou seja, ocorre a transformação de determinados resíduos em um líquido composto de elementos químicos em solução proveniente da digestão anaeróbia da matéria orgânica por exoenzimas produzidas pelas bactérias.

De forma resumida CARVALHO (2001), afirma que a decomposição dos resíduos pode ser dividida em duas etapas: a primeira que se refere à fase de degradação aeróbia, caracterizada pela atividade de microorganismos aeróbios, ocasião em que as temperaturas verificadas são elevadas, havendo liberação de CO₂ e vapor d'água da massa o lixo. Nesta fase a matéria orgânica é rapidamente decomposta. A fase seguinte é a anaeróbia, onde ocorrem baixas temperaturas de fermentação, em virtude da ausência do oxigênio e dos gases desprendidos, tais como metano, sulfídrico, etc.

A fase da degradação anaeróbia pode ser dividida em quatro fases, conforme o fluxograma geral do processo de decomposição anaeróbia mostrado na Figura 2.1.

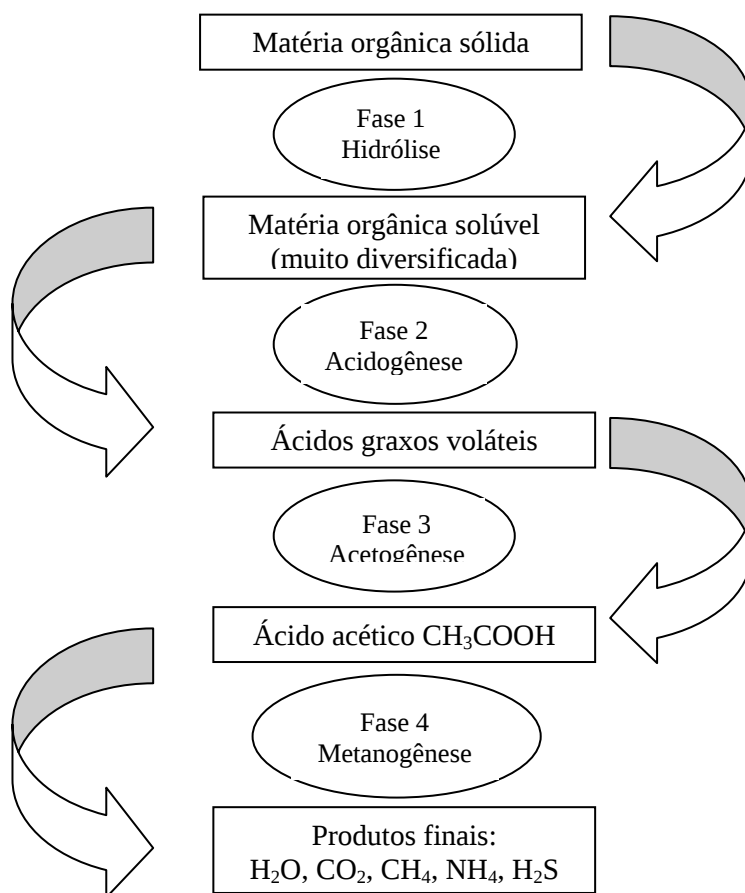


Figura 2.1 - Fluxograma do processo de decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos (*Adaptado por CASTILHO JR. et al* , 2003).

A primeira fase denominada de hidrólise ou liquefação converte o material orgânico particulado, como celulose e outros materiais putrescíveis em compostos dissolvidos. Por outro lado, microbiologicamente, verifica-se que as bactérias não conseguem sobreviver somente da fase de hidrólise, visto que tudo acontece no exterior da célula. São, portanto, as mesmas bactérias que realizam as duas fases, agrupadas por esta razão em uma só fase. Essas bactérias são anaeróbias estritas ou facultativas, porém em sua maioria são anaeróbias estritas. A segunda fase se caracteriza, portanto, por ser um processo bioquímico pelo quais as bactérias obtêm energia pela transformação da matéria orgânica hidrolisada, contudo, sem ocorrer nenhuma estabilização da matéria orgânica. Durante essa fase, que pode durar alguns anos, são produzidas quantidades consideráveis de compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, principalmente ácidos graxos voláteis. Os metabólitos finais das bactérias hidrolíticas acidogênicas são

excretas das células e entram em solução no meio. Eles passam, então, a ser substratos das bactérias acetogênicas. Com exceção das bactérias homoacetogênicas, todas as acetogênicas produzem o hidrogênio como metabólito obrigatório.

Os autores ainda afirmam que na terceira fase dentre os principais ácidos graxos produzidos encontra-se o ácido acético e também grandes quantidades de nitrogênio amoniacal. Os percolados produzidos nessa fase apresentam grande quantidade de matéria orgânica. Na quarta e última fase, os compostos simples formados na fase acetogênica são consumidos por bactérias estritamente anaeróbias, denominadas bactérias metanogênicas que dão origem ao metano (CH_4) e o gás carbônico (CO_2).

TABASARAN (1975) *apud* LIMA (1995), baseado na composição do biogás gerado ao longo do tempo, ainda separa a fase metanogênica em duas, são elas:

- Metânica Instável: com duração de dois anos e caracteriza-se pelo processamento dos ácidos gerados na fase anterior por bactérias metanogênicas, além de conversão de compostos poliméricos semi-refratários a monômeros simples, para sua metanização posterior. Ocorre estabilização da temperatura do meio próxima a 30°C , do pH entre 6,8 e 7,2, e do potencial redox em torno de -300 mV. Os principais produtos desta fase são o ácido acético, o dióxido de carbono e uma relativa parcela de metano. É possível identificar-se ainda a presença de hidrogênio molecular, gás sulfídrico, indol, mercaptanas e traços de outros compostos no biogás;

- Metânica Estável: Esta fase caracteriza-se pela reduzida variabilidade bioquímica, uma vez que praticamente todos os compostos complexos foram quebrados em monômeros; as bactérias metanogênicas dominam seletivamente o meio; a temperatura estabiliza-se próxima à ambiente, o pH estabiliza-se próximo à neutralidade; o potencial redox varia entre -330 e -600 mV. O biogás compõe-se de aproximadamente 60% de metano e 40% de gás carbônico. A duração da fase é virtualmente superior a dez anos.

2.3 – Influência de Determinados Fatores na Formação do Percolado

QASIM e CHIANG (1994), afirma que os fatores que mais influenciam para geração do chorume são: precipitação anual, “runoff”, infiltração, evaporação, transpiração, temperatura, composição do lixo, densidade do lixo, umidade contida inicialmente no lixo e profundidade do aterro.

2.3.1 – Composição do Lixo

A geração de resíduos depende de fatores culturais, nível e hábito de consumo, rendas e padrão de vida das populações, fatores climáticos e das características de sexo e idade dos grupos populacionais. Está vinculada diretamente à origem dos resíduos e é função das atividades básicas de manutenção de vida (BIDONE e POVINELLI, 1999).

De acordo com FLECK (2003), no que tange à destinação dos resíduos, diferentes formas de gerenciamento do universo de resíduos gerados por uma comunidade específica conduzem a diferentes composições dos resíduos que efetivamente ingressam nos aterros sanitários. Certamente municípios em que o poder público adote políticas de reciclagem, reaproveitamento e segregação de resíduos perigosos terão uma composição qualitativa e quantitativa muito diferenciada daqueles em que os aterros acolham indiscriminadamente todo o universo de resíduos produzidos pela comunidade. Evidentemente, diferentes composições de resíduos destinados a aterros produzirão diferentes composições de lixiviados.

Para CHEN e BOWERMAN (1974) *apud* REINHART e GROSH (1998), o lixo tem grandes variações na sua característica e composição, sendo este último fator determinante a extensão da atividade biológica dentro da massa de lixo. O aumento da quantidade de papel no lixo resulta no decréscimo da decomposição do lixo, já que a lignina, sendo o componente primário do papel, é resistente a decomposição anaeróbia. Os mesmos autores ainda afirmam que devido à variedade dos resíduos sólidos, apenas suposições gerais podem ser feitas sobre a relação entre a composição dos resíduos e a qualidade do chorume.

MELO (2003) afirma que a composição dos resíduos determina em grande parte a possibilidade da degradação biológica, além do mais, impõe as características estruturais ao aterro.

A Tabela 2.1 expressa a variação das composições do lixo em alguns países, deduzindo-se que a participação da matéria orgânica tende a se reduzir nos países mais desenvolvidos ou industrializados, provavelmente em razão da grande incidência de alimentos semi-preparados disponíveis no mercado consumidor.

Tabela 2.1 – Composição Gravimétrica do Lixo de Alguns Países

Composto	Brasil	Alemanha	Holanda	Estados Unidos
Matéria Orgânica	65,00 %	61,20%	50,30 %	35,60%
Vidro	3,00 %	10,40 %	14,50%	8,20 %
Metal	4,00 %	3,80%	6,70%	8,70%
Plástico	3,00 %	5,80 %	6,00 %	6,50 %
Papel	25,00 %	18,80 %	22,50 %	41,00 %

Fonte: Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – IBAM (2001)

MERBACH JR. (1989) relata que JAMES (1977) considerou o papel como o componente de maior porcentagem dos lixões americanos. De maneira geral, participam em quantidades relevantes: restos de alimentos, metais, plásticos, borrachas, líquidos residuais de embalagens de pesticidas e outros produtos químicos, latas de tinta, baterias, agentes de limpeza, óleos, graxas, etc. Muitos desses despejos são depositados nos aterros sem a devida autorização ou conhecimento dos técnicos encarregados do local. Sendo a água o principal agente de formação do chorume, sua passagem através dos citados despejos, acarretará na formação de percolato bastante complexo em termos de composição.

JUCÁ (2003), baseado na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico-PNSB de 2000, relata que se coleta diariamente no Brasil cerca de 228.413 toneladas de resíduos sólidos, sendo 125.258 toneladas referentes aos resíduos domiciliares. A Tabela 2.2 apresenta a população brasileira e sua distribuição regional, a quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente e a geração por pessoa e por região.

Tabela 2.2 – Geração de Resíduos Sólidos

	População Total		Geração de Resíduos		Geração Per capita (kg/hab/dia)
	Valor	Percentual (%)	Valor	Percentual (%)	
Brasil	169.799,170		228.413	100	1,35
Norte	12.900,704	7,6	11.067	4,8	0,86
Nordeste	47.741.711	28,1	41.558	18,2	0,87
Sudeste	72.412,411	42,6	141.617	62	1,96
Sul	25.107,616	14,8	19.875	8,7	0,79
Oeste	11.636,728	6,9	14.297	6,3	1,23

Fonte: PNSB (IBGE, 2000) *apud* JÚCA (2003).

Segundo LINS (2003), os contaminantes presentes no percolato são também derivados dos resíduos depositados, ou seja, da composição do lixo, uma vez que a água ao infiltrar-se através destes resíduos em decomposição, materiais biológicos e compostos químicos diversos serão arrastados até a base do aterro, formando o percolato característico.

2.3.2 – Idade do Aterro

CARVALHO (2001) afirma que a idade dos resíduos sólidos e o grau de estabilização têm efeito importante na composição desse líquido, de forma que o seu potencial poluidor apresenta-se inversamente proporcional à idade do aterro.

HAMADA e MATSUNAGA (2000) afirmam que a composição química do chorume, varia muito, dependendo da idade do aterro e dos eventos que ocorreram antes da amostragem do mesmo. Por exemplo, se o chorume é coletado durante a fase ácida, o pH será baixo, porém parâmetros como DBO₅, COT, DQO, nutrientes e metais pesados deverão ser altos. Contudo durante a fase metanogênica o pH varia entre 6,5 e 7,5 e os valores de DBO₅, COT, DQO e nutrientes serão significativamente menores. Devido à cadeia de constituintes existentes no chorume, e às variações quantitativas sazonais e cronológicas (pelo aumento da área exposta), não se deve considerar uma solução única de processo para seu tratamento.

REINHART e GROSH (1997) relatam que a qualidade do percolado é fortemente influenciada pela duração de tempo que decorre a partir do aterramento do lixo. A quantidade de substâncias químicas no lixo é finita e, portanto a qualidade do chorume alcança valores máximos depois de aproximadamente dois ou três anos, seguindo por um gradual declínio nos anos seguintes. Os mesmos autores citando CHIAN e DEWALLE (1977) relatam que geralmente os chorumes de aterros novos terão alta DBO₅ e DQO e irá diminuir constantemente, estabilizando depois de aproximadamente 10 anos. Todos os contaminantes não atingem o pico ao mesmo tempo. Devido ao início da biodegradabilidade natural, a concentração de compostos orgânicos no chorume diminui enquanto que os compostos inorgânicos aumentam com a idade do aterro. Os compostos inorgânicos são removidos apenas pelo resultado da infiltração da água de chuva.

De acordo com QASIM e CHIANG (1994), compostos orgânicos diminuem sua concentração através da decomposição como também da infiltração de água de chuva.

Para mostrar a dependência da qualidade do chorume com as variáveis operacionais e de projeto, LU *et al.* (1981) *apud* CINTRA e CASTILHO FILHO (2002) desenvolveram curvas mostrando mudanças na concentração com o aumento da idade do aterro, empregando dados de vários aterros de diferentes idades. Os autores mostraram que as concentrações de vários componentes do chorume variaram consideravelmente. A idade do aterro foi considerada o fator mais relevante na

composição do chorume. Os mesmos autores citam que LU *et al* (1985) efetuaram uma revisão externa de pesquisas que absorva a produção do chorume e respectivas concentrações de contaminantes. Os autores combinaram dados obtidos desses estudos, que resultaram em curvas similares as da Figura 2.2, para a DBO₅, ferro (Fe), cloro (Cl), e nitrogênio amoniacal (N-NH₃).

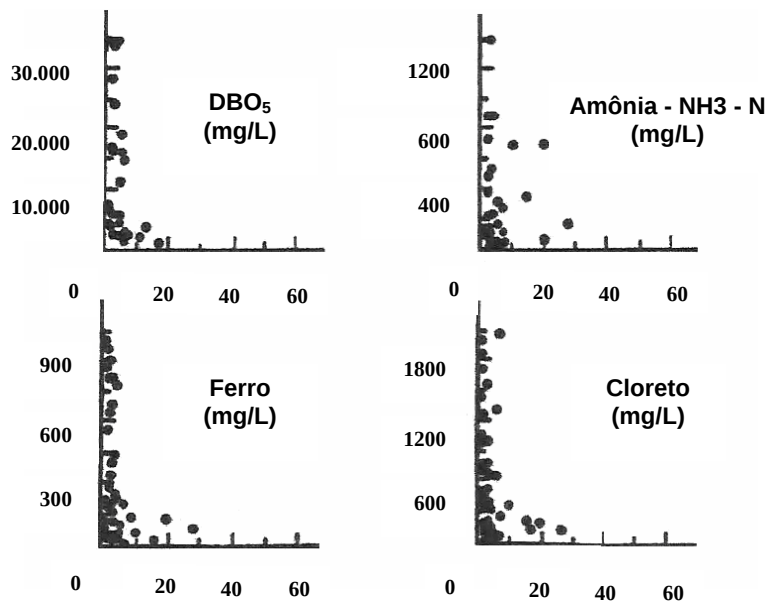


Figura 2.2 - Variação da concentração de contaminantes do chorume com a idade do lixo. Fonte: LU, EICHENBERGER E STEARNS, 1985 *apud* MCBEAN *et al*, 1995

CHEN (1996), estudando a relação entre as características do chorume e a idade do aterro, analisou nove aterros sanitários da região central de Taiwan. Nos seus estudos o autor observou que as proporções de DBO₅/DQO com relação à idade do aterro mostraram que decrescem rapidamente até a idade de 1 ano e meio, ocorrendo de forma progressiva a medida que cresce a idade do aterro. Este fenômeno indica que a biodegradabilidade é mais rápida durante aproximadamente um ano e meio e em seguida tende a um estado regular ao longo do tempo. Isto ocorre devido a proporção biodegradável diminuir com a idade do aterro, já que neste período as reações microbiológicas tendem também a diminuir, tornando a degradação limitada.

O estudo da biodegradabilidade implica na determinação dos processos a serem aplicados no tratamento do percolato, podendo ser utilizado um tratamento biológico até aproximadamente um ano e meio, e sendo assim a medida que a biodegradabilidade

tender a diminuir este tratamento se torna insuficiente, sendo aconselhável a utilização de outras formas de tratamento a depender das características do percolado em questão.

Logo, a biodegradabilidade do percolado pode ser controlada pela relação DBO_5/DQO . Em aterros novos, até aproximadamente 2 anos de operação, esta fração situa-se entre 0,4 e 0,6 que indica boa biodegradabilidade do percolado. A razão DBO_5/DQO de aterros velhos é muitas vezes inferior a 0,20, sendo comum o intervalo de 0,05 a 0,20. Esta queda deve-se à existência de ácidos de lenta biodegradabilidade, requerendo tratamentos diferenciados (RUSSO e VIEIRA, 2000).

2.3.3 – Precipitação

PAES (2003) afirma que dentre os diversos fatores que contribuem para a qualidade e a quantidade do percolado, a precipitação pluviométrica é o mais importante. Nos meses de alto índice pluviométrico, observa-se um aumento considerável na quantidade dos líquidos percolados, sendo a água o principal fator de sua formação, entretanto, em locais onde a evapotranspiração supera a precipitação pouco ou nenhum líquido percolado será formado.

Desta forma ao se dimensionar uma estação de tratamento de percolado é de suma importância o estudo do balanço hídrico da região, levando em consideração que a geração/quantidade de percolado, está relacionada com os índices de precipitação.

A precipitação infiltra-se ou escoa, pelo recobrimento do local da disposição. A porção que se infiltra na superfície, satisfaz as necessidades de retenção da água, a serem empregadas na evaporação do solo e transpiração da planta, e o excesso, infiltra-se através das camadas inferiores de resíduo sólido, representando a infiltração propriamente dita. Outras fontes de água são: o escoamento superficial, proveniente da área circunvizinha, a umidade contida nos resíduos sólidos ou líquidos depositados no aterro, a umidade local, antes e durante a execução, a umidade oriunda da decomposição do resíduo sólido, e a água infiltrada pelo fundo e encostas do aterro (SCHALCH, 1984).

Segundo CARVALHO (2001), quando o percolado movimenta-se no aterro, mudanças nas condições microambientais, como temperatura, pH e composição da solução podem resultar na imobilização de alguns de seus constituintes, os quais são convertidos em compostos insolúveis. As vantagens da precipitação como mecanismos de remoção de poluentes estão em sua alta capacidade na remoção de metais pesados.

Além desses fatores supracitados que influenciam diretamente na composição do chorume, MERBACH JR. (1989) relata que as condições ambientais do aterro, como temperatura, pH, umidade e o potencial redox, também afetam diretamente a atividade biológica durante a decomposição dos resíduos e por consequência exercem influência na composição chorume.

2.3.4 – Profundidade do Aterro

MCBEAN *et al* (1995), relatam que grandes concentrações de constituintes são encontrados em chorume coletado em grandes profundidades das células de lixo. À medida que água percola através do aterro, ocorre o arraste dos compostos químicos do lixo, um maior tempo de contato entre o líquido e a fase sólida, onde pode observado um aumento na concentração do chorume.

2.3.5 – Umidade do Lixo

NOBRE e ARNOLD, (1991) *apud* REINHART e GROSH (1998) relatam que a umidade dentro da massa de lixo funciona como um reagente nas reações de hidrólise, transportando nutrientes e enzimas, dissolvendo metabolismos, fornecendo pH tampão, diluindo compostos inibitórios, expondo a área superficial ao ataque microbiano, além de controlar o crescimento de células microbianas. Ainda os mesmos autores relatam que LU *et al* (1991) estabeleceram que alta taxa de umidade pode estimular organismos solúveis e células microbianas dentro da massa de lixo e em casos semelhantes a atividade microbiana desenvolve uma menor atividade na determinação da qualidade do chorume. Também a aplicação de altas taxas de umidade podem remover a contaminação do lixo rapidamente nas células. MCBEAN *et al*, (1995) relatam que sob condições de baixas taxas de vazão, a atividade microbiana anaeróbia é o fator que determina a intensidade orgânica do chorume.

BARLAZ *et al*. (1990) e CHEN & BOWERMAN (1974), relatam que aterros relativamente secos apresentam uma taxa de estabilização baixa, pois uma pequena quantidade de umidade impede a degradação biológica. Esses autores recomendam uma faixa de variação de umidade entre 40 a 70%, sendo estes valores considerados uma umidade ótima.

2.3.6 – Solo de Cobertura

Para MERBACH JR. (1989), a taxa de lixiviação de minerais no solo pode afetar a atividade biológica e por conseqüência os produtos desta. Chorumes mineralizados geralmente são mais problemáticos do que os de base orgânica, pois a decomposição se processa de maneira bastante lenta e por período de tempo indefinido.

Os compostos químicos presentes no percolado podem sofrer uma série de reações de conversão e destruição quando percolam através do solo. A capacidade de cada tipo de solo em atenuar esse líquido é diferente, por exemplo, solos argilosos apresentam maior capacidade de remover metais, já os solos arenosos apresentam melhor resultado na remoção da matéria orgânica. Alguns testes demonstram que o solo apresenta capacidade limitada de remover certas substâncias químicas do percolado. A partir do momento que esta capacidade é excedida, estes compostos químicos já não são mais afetados pelo solo (O'LEARY e WALSH, 1997 *apud* CARVALHO, 2001).

2.3.7 – Densidade

MARQUES e VILAR (2003) relatam que, no tocante ao efeito da compactação dos resíduos, o efeito da utilização deste procedimento na redução da quantidade de líquidos percolados é significativo. Os valores registrados situam-se na faixa de 25 a 50% da precipitação para resíduos compactados com tratores de esteiras e de 15 a 25% da precipitação para resíduos compactados com compactadores de grande porte. Ainda os mesmos autores relatam que estudos realizados por CAMPBELL (1982) em células experimentais, mostraram, por outro lado, que a produção de líquidos percolados é muito mais sensível às declividades e espessura das camadas de cobertura do que às densidades dos resíduos compactados.

2.4 – Caracterização do Percolado

EHRIG (1989) estudando a qualidade do chorume em escala experimental relata que na fase ácida, durante os cem primeiros dias, o chorume é caracterizado por altas concentrações, com a relação DBO_5/DQO superior a 4,0 e baixos valores de pH e pouca produção de gás. Após a transição para a fase metanogênica a produção de metano e os valores de pH são elevados, porém a DBO_5 , a DQO e a relação DBO_5/DQO são baixas.

O mesmo autor ainda apresenta a média de valores e a faixa de variação de alguns parâmetros cujas concentrações variam conforme as fases ácidas e metanogênicas, de acordo com a Tabela 2.3, onde se observa na fase ácida um pH variando de 4,5 a 7,5, e uma relação de DBO₅/DQO em torno de 0,58, apresentando uma elevação do pH e uma diminuição da degradabilidade do chorume na fase metanogênica, já que nesta fase a matéria orgânica tende a se estabilizar.

Tabela 2.3 - Resultados de Alguns Parâmetros na Fase Ácida e Metanogênica

Parâmetros	Média	Variação
Fase Ácida		
pH	6,1	4,5 – 7,5
DBO ₅ (mg/L)	13.000	4.000 – 40.000
DQO (mg/L)	22.000	6.000-60.000
DBO ₅ /DQO	0,58	-
SO ₄ (mg/L)	500	70 - 1.750
Ca (mg/L)	1.200	10 - 2.500
Mg (mg/L)	470	50 – 1.150
Fe (mg/L)	780	20 – 2.100
Mn (mg/L)	25	0,3 - 65
Zn (mg/L)	5	0,1 - 120
Sr (mg/L)	7	0,5 - 15
Fase Metanogênica		
pH	8	7,5 – 9
DBO ₅ (mg/L)	180	20 – 550
DQO (mg/L)	3.000	500 – 4.500
DBO ₅ /DQO	0,06	-
SO ₄ (mg/L)	80	10 - 420
Ca (mg/L)	60	20 - 600
Mg (mg/L)	180	40 - 350
Fe (mg/L)	15	3 - 280
Mn (mg/L)	0,7	0,03 - 45
Zn (mg/L)	0,6	0,03 - 4
Sr (mg/L)	1	0,3 – 7

Fonte: EHRIG (1989)

SCHALCH (1992) *apud* PASCHOALATO (2000), relata que além da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), que atinge valores da ordem de 10 a 100 vezes superiores aos do esgoto doméstico (DBO₅ = 300 mg/L), os líquidos percolados dos aterros apresentam ainda altos teores de cloretos, nitratos, sulfatos, zinco e outras substâncias, dependendo da composição dos resíduos aterrados e da presença de resíduo industrial. Também é alta a concentração de microrganismos patogênicos, determinado pela presença de coliformes termotolerantes, na ordem de 10⁶ a 10⁸ colônias por 100mL.

QASIM e CHIANG (1994), estudando a qualidade do chorume produzido em diversos aterros sanitários dos Estados Unidos, mostram a composição típica do chorume de três aterros diferentes com idade de 1, 5 e 16 anos, apresentada por CHIAN e DEWALLE (1976, 1977a), conforme Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Composição de Chorumes de Aterros Sanitários

Parâmetro	Idade do Aterro		
	1 Ano	5 Anos	16 Anos
DBO ₅	7.500-28.000	4.000	80
DQO	10.000-40.000	8.000	400
pH	5,2-6,4	6,3	-
Sólidos Dissolvidos Totais	10.000-14.000	6.794	1.200
Sólidos Suspensos Totais	100-700	-	-
Condutividade Elétrica	600-9.000	-	-
Alcalinidade (CaCO ₃)	800-4.000	5810	2.250
Dureza (CaCO ₃)	3.500-5.000	2.200	540
Fósforo Total	25-35	-	-
Fósforo Orto	23-33	-	-
NH ₄ -N	56-428	-	-
Nitrato	0,2-0,8	0,5	1,6
Cálcio	900-1.700	308	109
Cloro	600-800	1.330	34
Potássio	295-310	610	39
Sulfato	400-650	2	2
Manganês	75-125	0,06	0,06
Magnésio	160-250	450	90
Ferro	210-325	6,3	0,6
Zinco	10-30	0,4	0,1
Cobre	-	<0,5	<0,5
Cádmio	-	<0,05	<0,05
Chumbo	-	0,5	1,0

Nota: Todos os valores são em mg/L, com exceção da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e o pH é adimensional.

Fonte: CHIAN e DEWALLE (1976, 1977a) *apud* QASIM e CHIANG (1994).

ORTH (1981) *apud* CARVALHO (2001) apresentou uma comparação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do líquido percolado de alguns aterros de São Paulo, sendo três deles apresentados na Tabela 2.5. Os parâmetros microbiológicos, coliformes totais e termotolerantes, apresentaram grandes variações para os aterros estudados. Percebe-se que o Aterro Raposo Tavares se encontra em fase de degradação mais avançada, com valores menores de DBO₅ e DQO e pH mais elevados, que os Aterros de Vila Albertina e Pedreira Cit.

Tabela 2.5 - Comparação dos Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológicos de Três Aterros de São Paulo.

Parâmetro	Aterro Sanitário								
	Vila Albertina			Pedreira Cit			Raposo Tavares		
	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.	Min.	Médio	Máx.
pH	5,9	6,6	7,3	7,2	7,2	7,3	8,4	7,8	7,2
Amônia	308	549	760	818	881	950	2280	2564	2900
Nitrato	0	0,003	0,01	-	-	-	-	-	-
Nitrito	0,16	0,65	1,65	-	5,53	-	1,74	2,24	2,74
DBO	690	10919	198000	3260	3675	4020	700	1389	2270
DQO	4380	18110	28000	6500	7165	8100	6080	6671	7640
Cloreto	854	2341	11000	1450	1530	1650	60	138	180
C. Totais	230	1,7E8	1,7E8	1,4E5	1,6E6	2,4E7	4,9E3	2,3E5	7,9E6
C. termotolerantes	49	1,7E5	4,9E7	1,4E4	1,2E6	2,4E7	140	3,3E6	1,4E5

Valores expressos em mg/L, exceto pH (adimensional) e Coliformes Totais e Termotolerantes (NMP/100mL). **Fonte:** ORTH (1981) *apud* CARVALHO (2001)

SEGATO e SILVA (2000), caracterizando o chorume produzido no Aterro Sanitário de Bauru que fica localizado no estado de São Paulo e possui 8 hectares de área destinada a disposição final de resíduos sólidos da cidade, realizaram análises químicas do chorume coletado no aterro e obtiveram os resultados conforme Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Análise Química do Chorume Coletado no Aterro Sanitário de Bauru

Data/ Parâmetros	16/06/99	07/07/99	10/08/99	17/09/99	11/10/99	17/05/00	14/06/00	26/07/00
pH	6,9	7,2	7,4	7,4	8,2	7,8	7,5	7,3
Alcalinidade	8.500	13.500	11.000	11.500	13.000	*	*	*
DQO	96.000	66.000	89.000	80.000	76.000	81.000	78.000	60.000
Oxigênio Consumido	*	*	*	*	*	*	*	3.800
Nitrogênio Amoniacal	1.135	1.850	1.880	1.850	750	900	1.300	1.020
Nitrato	650	1.660	1.750	1.400	1.000	750	700	550
Nitrito	7,5	7	16,5	15	20	15	13	12
Zinco	175	260	220	190	220	180	200	220
Cloreto	4.300	4.850	4.600	5.700	5.300	5.500	5.800	6.600
Cobre	365	105	195	320	220	180	190	150
Ferro	500	435	70	190	70	150	180	135
Manganês	350	50	250	1.200	500	450	250	350
Sulfato	4.000	4.000	3.500	6.000	5.000	4.000	4.500	3.500
Fósforo	285	250	100	540	620	550	600	735

*Impossibilidade de realização de análise. Valores expressos em mg/L, exceto pH (adimensional).

Fonte: SEGATO e SILVA (2000)

A determinação de parâmetros químicos, físicos e microbiológicos, como também suas reações são de suma importância para o desenvolvimento de um monitoramento adequado, já que cada tipo de chorume produzido nas diferentes fases

de um aterro sanitário possui características variadas, e só diante do conhecimento desses parâmetros pode ser sugerida a utilização de variados métodos de tratamento, individuais ou em conjunto, visando resultados satisfatórios.

TCHOBANOGLIOUS *et al.* (1994), estudando a caracterização do chorume produzido em aterros sanitários apresentou, conforme Tabela 2.7, os parâmetros físico-químicos dentro de uma faixa de variação que oscilam de acordo com a idade do aterro sanitário.

Tabela 2.7 - Composição típica de chorumes novos e velhos de aterros sanitários.

Parâmetro (mg/L)	Resíduos Novos (<2 anos)		Resíduos Antigos (> 10 anos)
	Faixa	Típico	
DBO ₅	2.000-30.000	10.000	100-200
COT	1.500-20.000	6.000	80-160
DQO	3.000-60.000	18.000	100-500
Sólidos Suspensos Totais	200-2.000	500	100-400
Nitrogênio Orgânico	10-800	200	80-120
Nitrogênio Amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo Total	5-100	30	5-10
Fósforo Orto	4-80	20	4-8
Alcalinidade como CaCO ₃	1.000-10.000	3.000	200-1.000
*pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Dureza Total como CaCO ₃	300-10.000	3.500	200-500
Cálcio	200-3.000	1.000	100-400
Magnésio	50-1.500	250	50-200
Potássio	200-1.000	300	50-400
Sódio	200-2.500	500	100-200
Cloro	200-3.000	500	100-400
Sulfato	50-1.000	300	20-50
Ferro Total	50-1.200	60	20-200

*pH único parâmetro adimensional.

Fonte: TCHOBNOUGLOUS *et al.* (1994)

2.4.1 - Parâmetros Físico-Químicos

2.4.1.1– Potencial Hidrogeniônico – pH

É um importante parâmetro de acompanhamento do processo de decomposição dos resíduos sólidos urbanos, indicando a evolução da degradação microbiológica da matéria orgânica e a evolução global do processo de estabilização da massa de resíduos. O potencial hidrogeniônico - pH representa a concentração de íons hidrogênio H⁺ (em escala anti-logarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, sendo sua faixa de 0 a 14.

Baixos valores de pH em resíduos já em decomposição podem significar a presença de elevada concentração de ácidos graxos voláteis, o que pode acarretar a inibição da atividade ou crescimento de bactérias metanogênicas. (LANGE *et al.* 2002).

2.4.1.2– Alcalinidade Total

É a medida da capacidade dos íons presentes em uma água, capazes em neutralizar ácidos. A alcalinidade pode ser devido a bicarbonatos, carbonatos ou hidróxidos, sendo a maior contribuição devido a bicarbonatos (SAWYER, MCCARTY, e PARKIN, 1994) *apud* PAES (2003).

Segundo MONTEIRO (2003), em altos níveis de pH, o íon hidroxila pode tornar-se inibidor e, portanto, a acidez atuaria como antagonista, reduzindo a alcalinidade do meio e, conseqüentemente, os íons OH⁻. Os alcalinos e alcalinos-terrosos, controlam a acidez, particularmente na fase metanogênica, pois atuam como estimuladores do processo.

2.4.1.3 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A forma mais utilizada para se medir a quantidade de matéria orgânica biodegradável presente é através da determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅). Esta determinação, padronizada pelos “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, mede a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente numa amostra, após um tempo dado tomando como padrão um tempo de 5 dias, e a uma temperatura padrão de 20°C (JORDÃO e PESSOA, 1995).

Segundo FILHO *et al.* (2004), uma das práticas fundamentais quando se deseja avaliar o grau de poluição em um determinado ambiente, ou a capacidade poluente de um determinado despejo, é a determinação da quantidade de matéria orgânica biodegradável. Quando se trata de uma estação de tratamento de efluentes, este dado se torna quase que imprescindível tanto ao seu projeto como a sua operação. Portanto, a determinação da DBO₅ é uma prática comum nos laboratórios de análises ambientais. Todavia, a determinação da DBO₅ é uma análise de longa duração (5 dias), o que representa um inconveniente técnico para a operação de Estações de Tratamento de

Efluentes (ETE's). Por outro lado testes mais rápidos como a DQO e COT, não são capazes de avaliar especificamente a matéria orgânica biodegradável.

Sendo assim a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea. É uma indicação indireta do carbono orgânico biodegradável.

2.4.1.4 – Demanda Química de Oxigênio (DQO)

De acordo com VILAR e CARVALHO (2003), a Demanda Química de Oxigênio (DQO) mede a quantidade de matéria orgânica que pode ser oxidada quimicamente. Esse parâmetro também pode ser considerado como um indicador da degradação do resíduo ao longo do tempo, onde altos valores de DQO são encontrados em resíduos novos e baixos valores em resíduo antigo.

À medida que a idade do aterro aumenta e os resíduos são degradados, as concentrações de DBO_5 e DQO decrescem. Entretanto, a DBO_5 decresce mais rápido enquanto que a DQO ainda permanece no chorume devido à matéria orgânica dificilmente degradável. Através da relação DBO_5/DQO , pode-se determinar o estágio de decomposição biológica em que o aterro se encontra (PAES, 2003).

A CETESB (1995) realizando um estudo de caracterização da tratabilidade de líquidos percolados de aterros sanitários baseou-se no trabalho realizado por CHIAN *et al* (1977), onde correlaciona a eficiência dos processos de tratamento de percolado com a relação DBO_5/DQO . Esta correlação é citada tendo em vista que o uso dos processos de tratamento físico-químicos no condicionamento de percolados procedentes de aterros sanitários considerados novos não produz o grau de remoção de material orgânico que pode ser comparado ao nível obtido nos processos biológicos. Entretanto, excelentes resultados são obtidos com percolados estabilizados, coletados em aterros considerados velhos.

Esta relação entre o processo de tratamento de percolados e sua biodegradabilidade ocorre através das seguintes relações:

- $DBO_5/DQO > 0,5$ – O percolado é considerado um material *facilmente biodegradável*, sendo o tratamento biológico considerado satisfatório, entretanto o uso da osmose reversa também é suficiente, todavia, requer custos elevados para serem aplicados.

- DBO_5/DQO variando entre 0,1 a 0,5 – O percolado que apresenta valores nesta faixa é considerado *medianamente biodegradável*. Estes valores de biodegradabilidade permitem que sejam aplicados tratamentos biológicos, precipitação química com cal, oxidação química com $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, ionização, carvão ativado ou trocadores de íons, obtendo ao final do tratamento resultados suficientes para alcançar a eficiência dos processos de tratamento.

- $\text{DBO}_5/\text{DQO} < 0,1$ – O percolado com estes valores são considerados de *difícil biodegradabilidade*. O tratamento biológico, como também a precipitação química são deficientes, tendo em vista os baixos valores de DBO_5 . Pode ser aplicado a este tipo de percolado processos como oxidação química, ionização O_3 e trocadores de íons, chegando ao final do tratamento a resultados suficientes. Entretanto, visando alcançar melhores resultados aconselha-se a utilização de tratamentos através da osmose reversa ou ainda carvão ativado.

2.4.1.5 – Condutividade Elétrica

SCHALCH (1992) relata que a condutividade elétrica é dos parâmetros citados por POHLAND (1985), ROBINSON (1986), BENJAFIELD (1980), e HAM *et al.* (1982), que melhor contribui para a compreensão das fases de estabilização da matéria orgânica em um aterro sanitário. De acordo com a CETESB (1978), este parâmetro varia com a concentração total das substâncias ionizadas dissolvidas num meio aquoso, com a temperatura, com a mobilidade e a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon.

MENEZES (1995) estudando os impactos do depósito de resíduos sólidos de São Carlos – SP relata que os valores elevados encontrados para a amônia, nitrato e fosfato podem contribuir para a alta condutividade.

2.4.1.6 – Cloretos

VON SPERLING (1996) afirma que todas as águas naturais, em maior ou menor escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais. Os cloretos são advindos da dissolução de sais, como por exemplo, o cloreto de sódio.

De acordo com JUNQUEIRA (2000), o estudo dos cloretos é feito principalmente no sentido de verificar se os teores gerados a partir de uma massa de lixo são suficientes para serem utilizados como traçadores, que indicam com antecedência o

transporte dos contaminantes mais perigosos, permitindo um monitoramento do avanço da pluma.

Elevadas concentrações deste parâmetro pode interferir na determinação de outros parâmetros como a DBO₅.

2.4.1.7 – Fósforo

BRAILE e CAVALCANTI (1993), afirmam que o fósforo, analogamente ao nitrogênio, é um nutriente muito importante para o crescimento e reprodução dos microrganismos que promovem a estabilização da matéria orgânica presente nos esgotos sanitários e despejos industriais biodegradáveis. A expressão de fósforo nas análises de águas residuárias refere-se à quantidade do elemento fósforo presente. O fósforo tem origem antropogênica nos despejos domésticos, industriais, nos detergentes, excrementos de animais e nos fertilizantes. Na água pode ser encontrado principalmente nas seguintes formas: ortofosfato, forma mais simples; polifosfato, moléculas mais complexas; e o fósforo orgânico.

2.4.1.8 – Sólidos Totais, Sólidos Totais Dissolvidos e Sólidos Totais Voláteis.

BRAILE e CAVALCANTI (1993) relatam que o conteúdo dos sólidos totais de um despejo é definido como toda a matéria que permanece como resíduo após evaporação a temperatura de 103° a 105°C. O material que possui significativa pressão de vapor nesta temperatura é perdido durante a evaporação e não é definido como sólido. Sólidos totais, ou resíduos da evaporação, podem ser classificados como sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos.

Segundo PESSOA e JORDÃO (1995), a matéria sólida em suspensão compõe a parte que é retida, quando um volume da amostra de esgoto é filtrado através de uma membrana filtrante apropriada, normalmente um filtro de fibra de vidro com tamanho do poro igual a 1,2mm. Estes sólidos aumentam a turbidez da água, podendo provocar redução na taxa de fotossíntese e prejudicar a procura de alimento para algumas espécies, levando ao desequilíbrio na cadeia alimentar.

De acordo com FERNANDES (1997), os sólidos dissolvidos podem ser definidos como a fração dos sólidos, medida após evaporação da parte líquida da amostra filtrada, em mg/L. Indicam a concentração de partículas orgânicas ou não, na

ordem de tamanho inferior a 10^{-3} mm. Estes sólidos são as fontes de alimentos mais facilmente degradados por bactérias, certas microalgas e protozoários.

Os sólidos totais voláteis é um parâmetro que pode ser utilizado como um indicativo da degradabilidade dos resíduos sólidos urbanos ao longo do tempo. Um alto percentual de sólidos totais voláteis indica a presença de elevada matéria orgânica a ser degradada e baixos valores indicam que o resíduo já passou por um processo acentuado de degradação (MONTEIRO, 2003).

2.4.2 - Metais Pesados

O termo metais pesados, segundo BARBOSA (1998) *apud* MELO (2000), é usado para identificar um grupo bastante numeroso de elementos-traços com densidade atômica superior a 6 g/cm^3 . Alguns destes elementos como Cádmio, Cromo, Cobalto, Chumbo, Cobre, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel e Zinco são mais abundantes na superfície terrestre e de maior relevância ambiental.

MERBACH JR. (1989), afirma que a toxicidade dos metais pesados na digestão anaeróbia é fortemente dependente do fator solubilidade. Ainda o mesmo autor relata que de acordo com MCCARTY (1964), baixas concentrações de sais solúveis são consideradas tóxicas e associadas à maioria dos problemas surgidos no tratamento anaeróbio. Metais como Fe e Al não são vistos como tóxicos, tendo em vista suas baixas solubilidades. Metais pesados classificados como de relativa toxicidade como Cu, Zn e Ni são tolerados no sistema devido à disponibilidade de sulfetos, que combinados com metais, formam precipitados salinos extremamente insolúveis, e consequentemente não interferem no metabolismo dos microrganismos. É interessante notar que, individualmente, os sulfetos são considerados entre si, não apresentam qualquer efeito danoso aos microrganismos que participam da anaerobiose.

2.4.2.1 - Cadmio (Cd)

PEGANINI *et al.* (2004), afirmam que diferentemente de outros elementos, o cádmio não é um elemento essencial para o crescimento da planta. É usualmente tóxico às plantas em baixas concentrações. Mesmo antes de qualquer sistema ser detectado, o Cádmio adicionado ao solo, é rápido e prontamente absorvido pelas plantas, aumentando drasticamente o nível do elemento do elemento acumulado. Entretanto, a

tolerância aos níveis de cádmio adicionado ao solo apresenta grande variabilidade de espécie para espécie. A adição máxima deste elemento recomendada pela Environmental Protection Agency (EPA-EUA), através da disposição de lodo ao solo, é de 0,50 kg/ha/ano.

É um metal de elevado potencial tóxico, que se acumula em organismos aquáticos, possibilitando assim sua entrada na cadeia alimentar.

2.4.2.2 - Chumbo (Pb)

De acordo com PAES (2003), este metal possui densidade de 11,34 g/cm³. A contaminação do solo por Chumbo pode ocorrer de forma natural ou geológica e principalmente por atividades humanas. O Chumbo é utilizado largamente na fabricação de tintas, em corantes, na produção de cerâmica e na indústria gráfica, entre outros. É um metal que tem efeito cumulativo no organismo, provocando uma doença crônica chamada saturnismo. Os efeitos da intoxicação por chumbo são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória.

2.4.2.3 - Cobre (Cu)

De acordo com FLECK (2003), as fontes de Cobre nos resíduos sólidos estão nos metais ferrosos e não ferrosos, matéria orgânica, couros, borrachas, plásticos, resíduos de tintas, inseticidas, etc. A concentração típica nos resíduos sólidos brasileiros deste metal é de 156 mg/kg de resíduo.

No homem, a ingestão de doses excessivamente altas pode acarretar irritação e corrosão da mucosa, danos capilares generalizados, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central seguido de depressão. Entretanto, a intoxicação por cobre é muito rara.

2.4.2.4 - Ferro (Fe)

De acordo com VON SPERLING (1994), o Ferro e o Manganês estão presentes nas formas insolúveis (Fe³⁺ e Mn⁴⁺) numa grande quantidade de tipos de solos. O Ferro, em quantidade adequada, é essencial ao sistema bioquímico das águas, podendo, em grandes quantidades, se tornar nocivo, dando sabor e cor desagradáveis e

dureza às águas, tornando-as inadequadas ao uso doméstico e industrial. O Ferro aparece, normalmente, associado com Manganês.

2.4.2.5- Manganês (Mn)

De acordo com BRANCO (1986), o Manganês apresenta um comportamento semelhante ao ferro. A sua solubilidade depende do pH, do teor de CO₂ e do oxigênio dissolvido na água. Essas relações existentes entre o pH, oxigênio, gás carbônico, teor de ferro e manganês fazem com que haja uma variação do manganês nas várias camadas de uma massa d'água estratificada.

Segundo PAES (2003), este metal possui densidade de 7,43 g/cm³, sendo muito usado na manufatura do aço, de compostos químicos, pilhas, eletrodos para solda em ligas com o Níquel e o Cobre, na indústria de fertilizantes e fungicidas.

2.4.2.6- Zinco (Zn)

RAMACHANDRAN e D'SOUSA, (1998); TSAI e VESILIND, (1998) *apud* PEGANINI *et al.* (2004), grande quantidade de zinco pode ser fixada na fração orgânica do solo. Ele pode também ser temporariamente imobilizado nos microorganismos quando se adiciona matéria orgânica ao solo; por outro lado, grande parte do zinco disponível em um solo mineral está associada com a matéria orgânica. Baixos níveis de matéria orgânica em solos minerais são, freqüentemente, indicativos de baixa disponibilidade de zinco.

2.4.2.7 - Cromo (Cr)

SEGATO e SILVA (2000); ROUSSEAU *et al.* (1989) *apud* FLEKC (2003), as fontes de ocorrência para o metal Cromo nos resíduos sólidos brasileiros são: couros, matéria orgânica, metais ferros e não ferrosos, plásticos, vidros, papéis, papelão, embalagens de tintas, vernizes e solventes orgânicos e por último os resíduos provenientes das varrições das ruas.

Segundo MONTEIRO (2003), o metal Cromo é transformado geralmente em espécies menos tóxicas ou espécies voláteis por processos enzimáticos de oxidação e redução. A mesma autora ainda relata que o cromo hexavalente é muito tóxico mais nos

níveis de pH do processo de digestão anaeróbia, apresenta-se na forma trivalente insolúvel.

2.4.2.8 - Níquel (Ni)

Este metal é solúvel em ácidos e resistente a álcalis, como também à corrosão do ar nas condições normais. Possui notável suscetibilidade magnética e uma reatividade química moderada. Em forma granulada resiste à corrosão provocada por agentes alcalinos e não é oxidado.

SEGATO e SILVA (2000); ROUSSEAU *et al.* (1989) *apud* FLEKC (2003), o metal níquel é encontrado nos resíduos sólidos brasileiros através de produtos como couro, pilhas, baterias, plásticos, vidros, papéis, borracha, como também na matéria orgânica e nos resíduos de varrição.

2.4.3 - Parâmetros Microbiológicos

Há vários organismos cuja presença num corpo d'água indica uma forma qualquer de poluição. Para indicar a poluição de origem humana e para medir a grandeza desta contribuição, utilizam-se os organismos do grupo coliforme como indicadores. As bactérias coliformes são típicas do intestino do homem e de outros animais de sangue quente (mamíferos em geral), e justamente por estarem sempre presente no excremento humano (100 a 400 de coliformes/hab.dia) e serem de simples determinação, são adotadas como referência para indicar e medir a grandeza da poluição. (JORDÃO e PESSOA, 1995).

Os grupos dos Coliformes Totais e Termotolerantes atuam como indicadores de poluição ambiental, sendo expressos em densidade, ou seja, como o "Número Mais Provável (NMP) em cada 100ml de amostra". O grupo coliforme inclui todos os bacilos aeróbios, anaeróbios ou facultativos, gram negativos, não esporulados (*Escherichia sp*, *Enterobacter sp*, *Citrobacter sp*, *Klebsiella sp* etc.). Eles apontam a presença de poluição fecal e também por organismos que ocorrem em grande número na flora intestinal humana e de animais de sangue quente (ratos, cachorros etc.), traduzindo-se como "risco potencial". A contagem dos chamados coliformes totais corresponde ao total de microrganismos "gram negativos" encontrados em uma amostra. Já a contagem dos coliformes termotolerantes indica a quantidade dos microrganismos oriundos de

excretas humanos e animais, portanto com risco de serem possivelmente patogênicos (MELO, 2003).

2.4.3.1– Coliforme Totais

THOMANN e MOULLER (1987) *apud* VON SPERLING (1994), afirmam que os coliformes totais constituem-se um grande grupo de bactérias que têm sido isolados de amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, bem como de fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente. Tal grupo foi bastante usado no passado como indicador, e continuam a ser usado em algumas áreas, embora as dificuldades associadas com a ocorrência de bactérias não termotolerantes sejam um problema. Não existe uma relação quantificável entre CT e microrganismos patogênicos.

2.4.3.2– Coliforme Termotolerantes

De acordo com FLECK (2003), os coliformes termotolerantes, apresentam-se nos lixiviados devido à presença de resíduos de sanitários (encontram-se nas excretas humanas em número médio de $1,3 \times 10^7$ organismos/g fezes), algumas peças anatômicas e animais mortos.

Os coliformes termotolerantes são as bactérias do grupo coliformes, onde apresenta suas características quando submetidas a uma temperatura de incubação de $44,5^\circ\text{C} \pm 0,2$ por 24 horas.

Os coliformes termotolerantes, constituindo subgrupos das bactérias coliformes, são comumente utilizados como indicador de contaminação fecal, dada a sua ocorrência restrita em fezes humanas e de outros animais de sangue quente. A detecção dessas bactérias indica o risco da presença de organismos patogênicos (CARVALHO, 2001).

CAPITULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do estudo comparativo entre o percolato gerado no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (Células 1, 2 e 4) e do Aterro da Muribeca, foi considerado um período de tempo compreendido entre janeiro de 2004 a julho de 2005. Neste período foram coletadas amostras de percolato na entrada da Lagoa de Decantação (LD), ponto que recebe o percolato oriundo de todas as células do aterro, para os seguintes meses: janeiro, março, junho, setembro e novembro de 2004, e janeiro, fevereiro, maio, junho e julho de 2005.

O Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa não disponibilizava de recursos suficientes para manter as coletas do percolato seqüenciadas, sendo possível apenas à realização de 10 coletas ao longo do período considerado. Já o Aterro da Muribeca possui resultados de coletas realizadas na entrada da estação de tratamento do chorume para todo período de tempo. Entretanto, como se trata de um estudo comparativo entre os percolados gerados nos dois aterros de resíduos sólidos, foram levados em consideração apenas os meses em comum para os dois aterros.

3.1 – Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa - ASMJP

3.1.1- Dados Gerais

O Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa - ASMJP está situado no engenho Mussuré, na fazenda Mumbaba III, na zona sul da cidade, saída para Recife, próximo a BR-101 Sul. Dista aproximadamente 5,0 km do Bairro das Indústrias, centro urbano mais próximo da área, e ocupa uma área de 100 ha. O aterro recebe diariamente uma média de 1.000 toneladas de resíduos, divididos em resíduos domésticos, resíduos de varrição e resíduos de saúde. O Aterro Metropolitano recebe resíduos não só da capital do Estado da Paraíba, apesar de contribuir com a maior parte, mais também das cidades de Cabedelo, Bayeux e Santa Rita, situadas na região metropolitana.

O Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa teve sua operação iniciada em 05 de agosto de 2003, foi projetado com 24 células, para uma vida útil de 21 anos. As células consideradas para o desenvolvimento do estudo foram as Células 1, 2 e 4, conforme Figura 3.1.

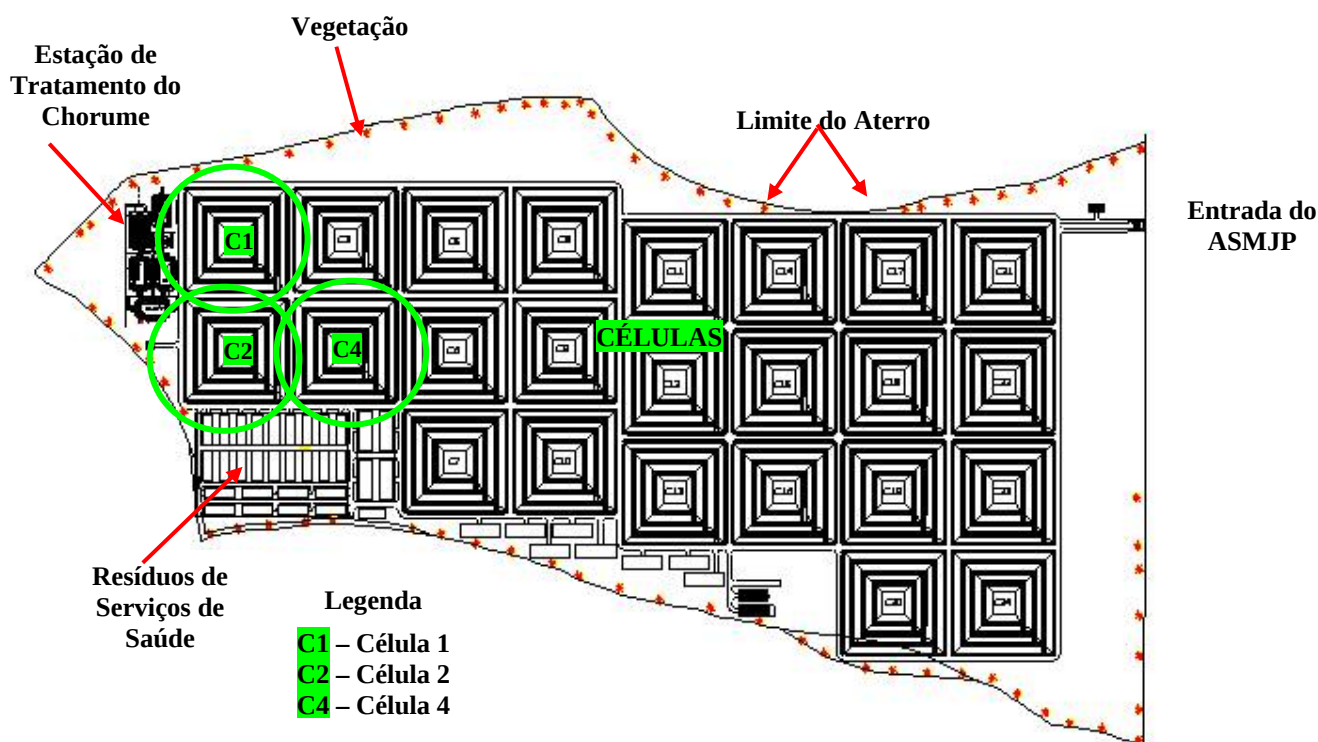


Figura 3.1 - Planta Baixa do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa – ASMJP.

O Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa é disposto da seguinte forma:

- Unidade de triagem de materiais recicláveis: os resíduos domésticos e comerciais, considerados “ricos” passam por um processo de triagem para separação dos componentes recicláveis, a partir do qual serão destinados às indústrias ou unidades de reciclagem, conforme Figura 3.2.



Figura 3.2 - Galpão de triagem do Aterro Metropolitano.

- Unidades de Podas: os resíduos oriundos de podas de praças, ruas e parques, além dos provenientes de feiras e mercados são destinados a uma central de podas, conforme Figura 3.3.



Figura 3.3 - Caminhão de coleta de podas na balança do aterro (a) e local destinado ao armazenamento de podas (b).

- Unidade de Tratamento dos Resíduos de Serviços de Saúde: o lixo proveniente dos estabelecimentos de serviços de saúde, clínicas, farmácias, é colocado em vala séptica, devidamente impermeabilizada com manta de PEAD, recebendo uma cobertura imediata, conforme ilustrado da Figura 3.4.



Figura 3.4 - Célula destinada aos resíduos de serviço de saúde.

- Unidade de Aterro Sanitário: esta unidade prevê a construção de 24 células de aterramento de resíduos domiciliares e públicos. No período de estudo a Célula 1 se encerrou em maio de 2004, a Célula 2 foi encerrada em abril de 2005 e a Célula 4 foi iniciada nesse período, permanecendo em operação até o final do trabalho. Cada célula do aterro possui dimensões de 150 m x 150m x 20 m, totalizando um volume final em

cada célula de 450.000 m³. A Figura 3.5 ilustra a Célula 1 encerrada, e a Célula 2 em fase de encerramento.



Figura 3.5 - Vista as Células 1 e 2 do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.

O tratamento do percolato ocorre através de uma Estação de Tratamento de Chorume – ETC, composta de uma lagoa de decantação, duas lagoas anaeróbias, duas lagoas facultativas e um tratamento bioquímico, através da fitorremediação. Durante o período de estudo, o tratamento bioquímico ainda não estava em funcionamento. O sistema não disponibilizava de uma caixa medidora de vazão, ficando desta forma impossibilitado a determinação do volume de percolato produzido no aterro.

Até o final da pesquisa, em julho de 2005, o percolato produzido no Aterro Metropolitano de João Pessoa ainda não tinha passado por todas as etapas de tratamento previstas em projeto, já que a estrutura da última fase do tratamento (tratamento bioquímico), por questões financeiras, ainda não tinha sido concluída. Desta forma quando o nível de percolato, nas lagoas de estabilização, elevava-se, o excesso era recirculado nas células concluídas como também na célula em operação. A recirculação tinha como objetivo diminuir o nível de percolato na estação de tratamento de chorume. Esta operação ocorria de forma esporádica, não sendo tratada nesta dissertação.

3.1.2 - Caracterização do Meio Físico

3.1.2.1 - Hidrogeologia

A Cidade de João Pessoa é formada por nove bacias hidrográficas sendo que a do Rio Paraíba é a mais importante devido a sua área de influência na região em estudo. A importância destas bacias é representada pelo seu valor como elemento ecológico e como fator melhorador do clima. Todos os rios que formam as nove bacias são perenes

e têm seus cursos orientados para o litoral, apresentando padrão de drenagem sub-paralelo.

A análise litológica mostra que a área pertence a região geológica denominada de Planícies Costeiras, formada principalmente por processos de sedimentação marinha, que se estende nas zonas baixas, de topografia plana, na região litorânea Nordestina.

A coluna estratigráfica é formada por rochas sedimentares que margeiam o litoral dos estados da Paraíba e de Pernambuco e que se assentam suavemente sobre o embasamento cristalino em profundidade da ordem de 300 m.

3.1.2.2 - Morfologia/Drenagem

As feições que compõe o relevo da região Nordeste, na qual está incluída a porção da Paraíba identificada como Zona Fisiológica, são de idade relativamente recente, formada em sua maioria, no Cenossóico.

A topografia é considerada sob o ponto de vista morfo-climático e morfo-estrutural por serem os aspectos climáticos, muitas vezes, responsáveis pelas alterações de relevo na região aqui denominada de região costeira da Paraíba. Em João Pessoa e regiões metropolitanas, distinguiram-se três unidades geomorfológicas principais: planícies litorâneas; tabuleiros e várzeas.

3.1.2.3 - Clima

O clima do município de João Pessoa é do tipo As', quente e úmido, com chuvas de outono e inverno, segundo a classificação de KOEPPEN. Quanto ao bioclima, a região pode ser classificada como mediterrânea ou nordestina subseca. Esta denominação caracteriza-se por apresentar temperaturas médias anuais em torno de 26,9°C, com valores máximos de 32,5°C e mínimos de 10,0°C. Índice pluviométrico entre 1200 a 1800mm, umidade relativa do ar próximo de 80% .

3.1.2.4 - Pluviometria

Os fenômenos atmosféricos de precipitação ocorrem quando a condensação de vapor d'água com formação de nuvens é suficientemente intensa e acompanhada de movimentos de partículas de água de maneira a ocorrer aglutinação de gotículas e formação de corpos d'água com massas suficientes para serem precipitadas (RIGHETTO, 1998).

De acordo com a Figura 3.6, que mostra a média histórica da precipitação do Aterro Metropolitano no período de 1961 a 2005, percebe-se que no período de abril a julho ocorre uma concentração dos meses mais chuvosos, tendo o mês de junho um valor mais elevado, apresentando um valor médio de 330,8 mm de chuva.

Quanto ao período mais seco, que se concentra nos três últimos meses do ano, a média histórica foi de 28,8 mm de chuva.

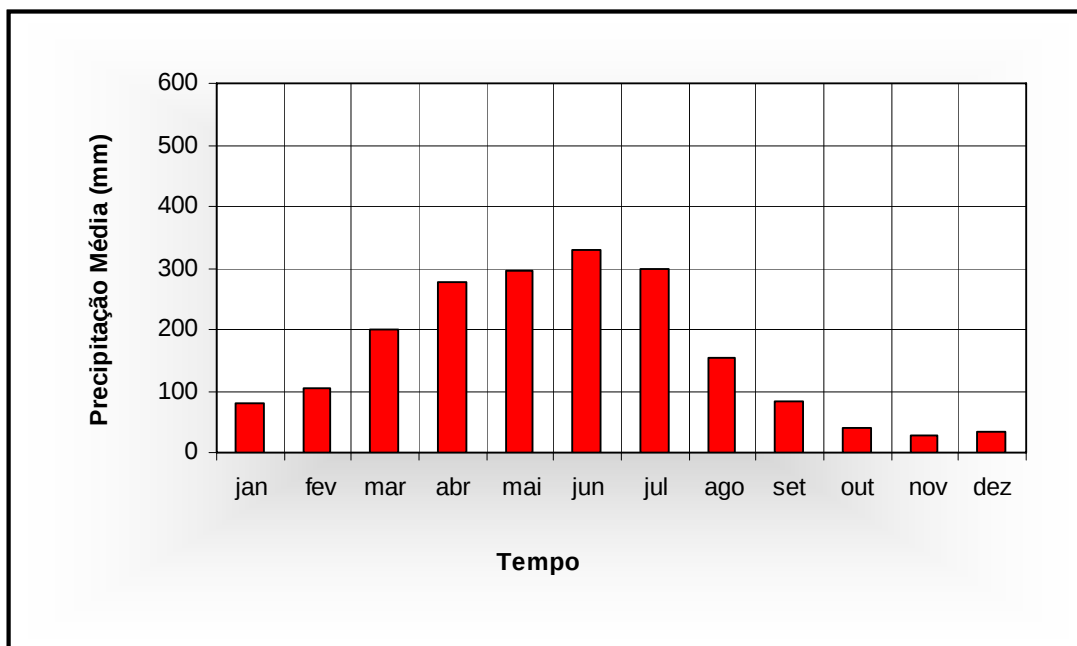


Figura 3.6 - Média histórica da precipitação do Aterro Metropolitano de João Pessoa no período de 1961 a 2005. **Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

A Figura 3.7 apresenta os dados de precipitações ocorridas na área do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa durante o período de estudo em que foram realizadas as coletas de percolado.

3.1.2.5- Evaporação

Os dados de evaporação do Aterro Metropolitano, conforme média histórica apresentada na Figura 3.8, indicam que o período onde ocorre maior índice de evaporação é o último trimestre do ano, porém o mês de janeiro também apresenta valor médio elevado.

Os meses compreendidos entre abril e julho tiveram valores inferiores aos demais resultados encontrados.

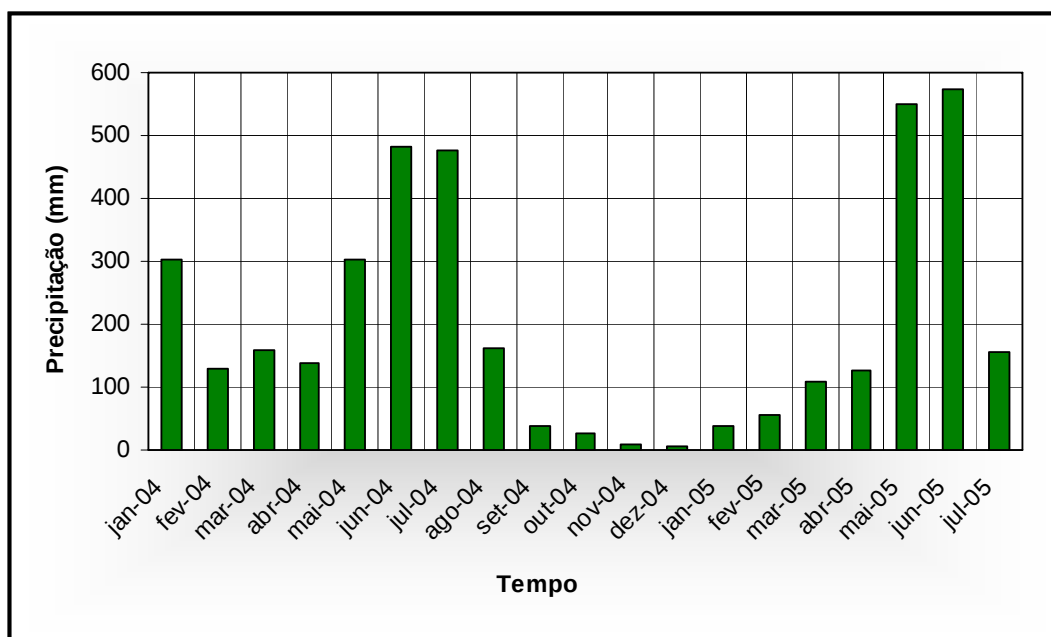


Figura 3.7 - Precipitação do Aterro Metropolitano de João Pessoa, no Período de Estudo - 2004 a 2005. **Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

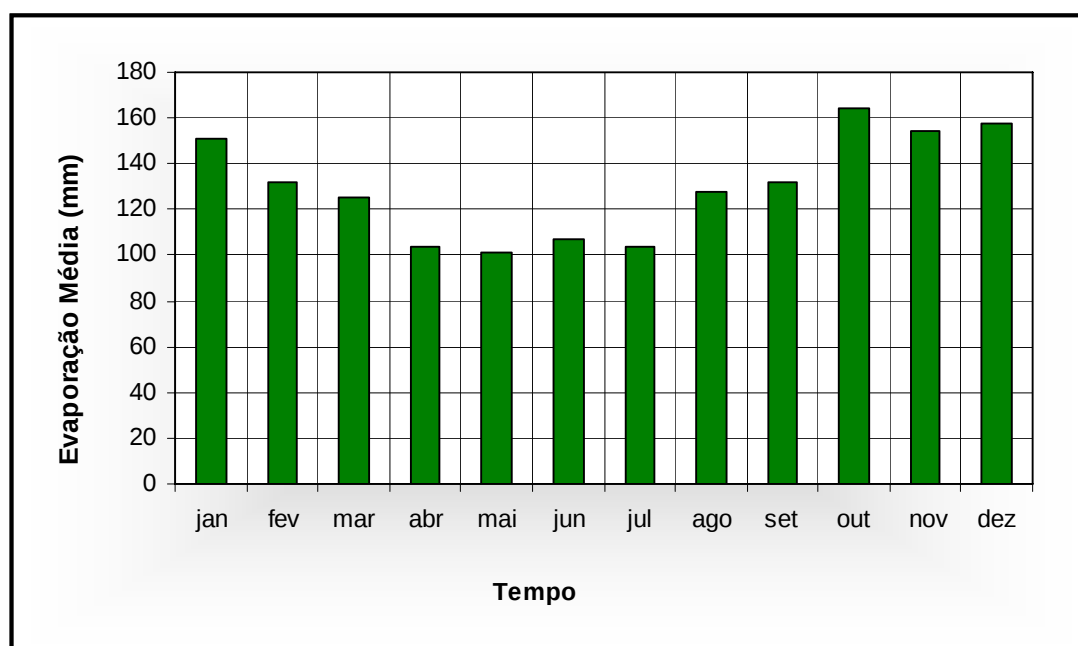


Figura 3.8 - Média histórica da evaporação do Aterro Metropolitano de João Pessoa no período de 1961 a 2005. **Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Com referência ao balanço hídrico, obtido através dos resultados de precipitação e de evaporação, observou-se que em determinados períodos os valores de evaporação são superiores aos de precipitação, indicando déficit hídrico, nos meses de janeiro e fevereiro, como também nos meses de setembro a dezembro, conforme apresentado na

Figura 3.9, referente à média histórica da evaporação do Aterro Metropolitano de João Pessoa para uma série histórica de 44 anos.

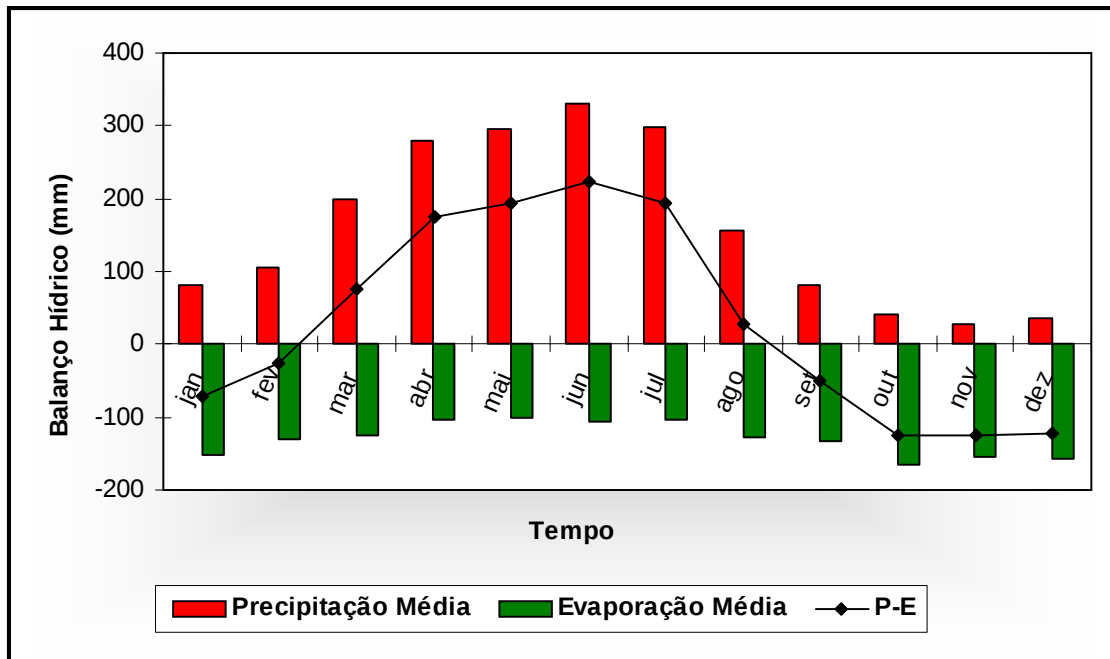


Figura 3.9 - Comportamento Hídrico do Aterro Metropolitano de João Pessoa, no período de 1961 a 2005. **Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

3.1.3 - Composição do Lixo

O Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa recebe diariamente cerca de 1.000 toneladas de resíduos provenientes das cidades de João Pessoa, Cabedelo, Bayeux e Santa Rita. A Figura 3.10 apresenta a composição gravimétrica do lixo que compõe as células do aterro. Pode-se observar um percentual elevado de matéria orgânica, típico de aterros brasileiros.

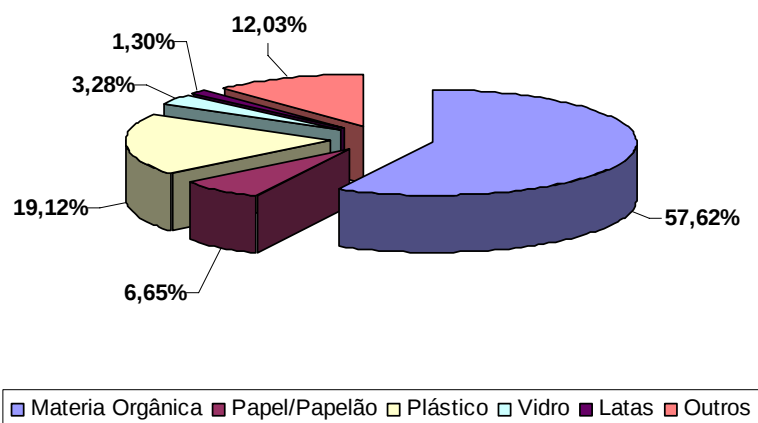


Figura 3.10 - Composição Gravimétrica do Aterro sanitário Metropolitano de João Pessoa.

A caracterização dos resíduos sólidos que compõe o ASMJP foi realizada através do Método de Quarteamento, utilizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB e recomendado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2000).

3.1.4 - Monitoramento e Operação do Aterro Metropolitano de João Pessoa

Em 05 de agosto de 2003 foi iniciada a operação da Célula 1 do Aterro Metropolitano, e no mês de setembro do mesmo ano, foi dado início ao processo de monitoramento: instalação de termopares, para medir a temperatura no interior da massa de lixo, e de piezômetros, para determinar o nível do chorume, entretanto devido a questões de operacionalidade da célula não foi possível manter estes equipamentos em perfeito estado, permanecendo apenas o monitoramento do percolado na entrada da estação de tratamento (entrada da Lagoa de Decantação – LD), onde foram realizadas coletas, a fim de caracterizar o percolado gerado em todo o Aterro Metropolitano, através da análise dos parâmetros físico-químicos, metais pesados e microbiológicos. Ao fim desta pesquisa três células contribuíam para a formação do percolado, cada uma possuindo idades diferenciadas conforme Tabela - 3.1.

Tabela 3.1 - Idade dos Resíduos nas Células no Aterro Metropolitano.

Local de Investigação	Idade dos Resíduos
Célula 1	2 anos
Célula 2	1 ano e 4 meses
Célula 4	Em operação

Fonte: Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa

O Aterro Metropolitano com 2 anos de operação, possui uma quantidade de lixo acumulada ainda muito pequena em relação a sua capacidade de suporte, visto que foi projetado para uma vida útil de 21 anos. A Tabela 3.2 ilustra a quantidade de resíduo acumulado no aterro.

Tabela 3.2 - Quantidade de Resíduos Acumulado no Período de 2003 a 2005.

Ano	Quantidade de Resíduos (ton)	
	Anual	Acumulado
2003	135.000	135.000
2004	306.135	441.135
*2005	221.030	662.165

*O ano de 2005 foi considerado até o mês de julho.

Fonte: Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa

3.1.5 - Ponto de Coleta

As amostras do percolado foram coletadas na entrada da Lagoa de Decantação – LD do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, situada no início da Estação de Tratamento de Chorume – ETC, conforme ilustrado na Figura 3.11.



Figura 3.11 - Entrada da Lagoa de Decantação (a); Estação de Tratamento do Chorume (b).

Este percolado segue até a estação de tratamento, através da drenagem realizada por drenos horizontais, que são colocados na base das células. Desta forma, todo percolado gerado no aterro é drenado para a estação de tratamento de chorume, conforme Figura 3.12.

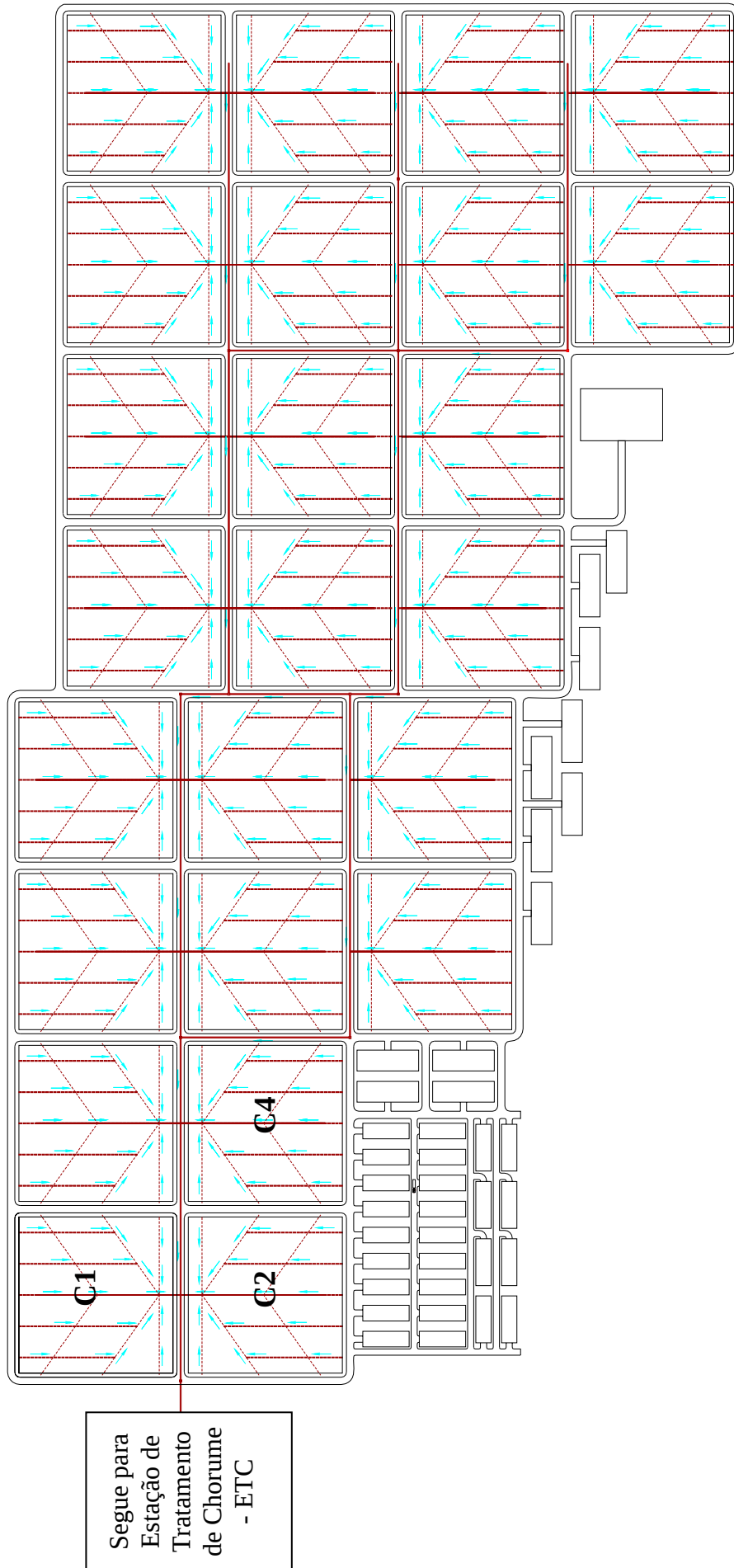


Figura 3.12 – Drenagem do Chorume do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa

3.2 Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife

3.2.1- Dados Gerais

A Região Metropolitana do Recife - RMR conta com um aterro de resíduos sólidos denominado Aterro da Muribeca. Este aterro fica localizado no município de Jaboatão dos Guararapes (RMR), distando cerca de 16 km do centro do Recife. A área de disposição está entre as seguintes coordenadas: 280.000 a 282.000 Leste e 9.096.000 a 9.098.000 Norte, ocupando uma área total de 60 hectares, com perímetro de 3.848 metros. De acordo com os Relatórios do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS) da Universidade Federal de Pernambuco – (UFPE), este aterro recebe em torno de 2.400 toneladas por dia de resíduos sólidos.

Esta área nem sempre funcionou de maneira controlada, pois sua utilização teve início em 1986, funcionando como um depósito de lixo a céu aberto, sem os devidos controles, prejudicando o meio ambiente. A partir de 1994, foi realizado um diagnóstico no local a fim de reconhecer o seu meio físico, e através deste estudo foi possível um conhecimento mais detalhado da área, podendo com isso criar estratégias de recuperação da área já degradada e um melhor uso de áreas que futuramente seriam utilizadas.

A área do aterro foi dividida em células com dimensões de 200m x 200m, conforme Figura 3.13, e espessura da camada de lixo variando de 20 a 30m. Essas células foram instrumentadas com objetivo de monitoramento e caracterização da massa de lixo.

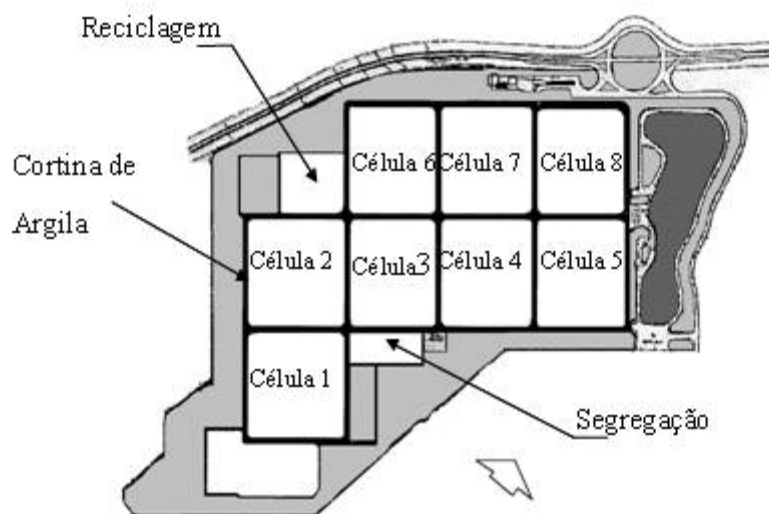


Figura 3.13 - Situação do Aterro da Muribeca Após Recuperação.

A partir de 2001, foi implantado um novo projeto de recuperação do Aterro da Muribeca, a fim de aumentar o tempo de vida útil. A nova concepção teve por base o preenchimento das vias de acesso, unindo todas as células com o objetivo de alcançar a cota 73m, garantindo a estabilidade dos taludes. Neste projeto também foram previstos a implantação da drenagem de chorume, a remoção dos catadores, a implantação do sistema de drenagem de águas pluviais e o sistema de tratamento de chorume, conforme Figura 3.15.

Para o tratamento do percolato produzido, o aterro dispõe de uma Estação de Tratamento do Chorume – ETC, Figura 3.14, composta de um tratamento biológico através de lagoas de estabilização (01 anaeróbia seguida de 03 facultativas) e o tratamento bioquímico, através da fitorremediação.



Figura 3.14 - Estação de Tratamento de Chorume - ETC

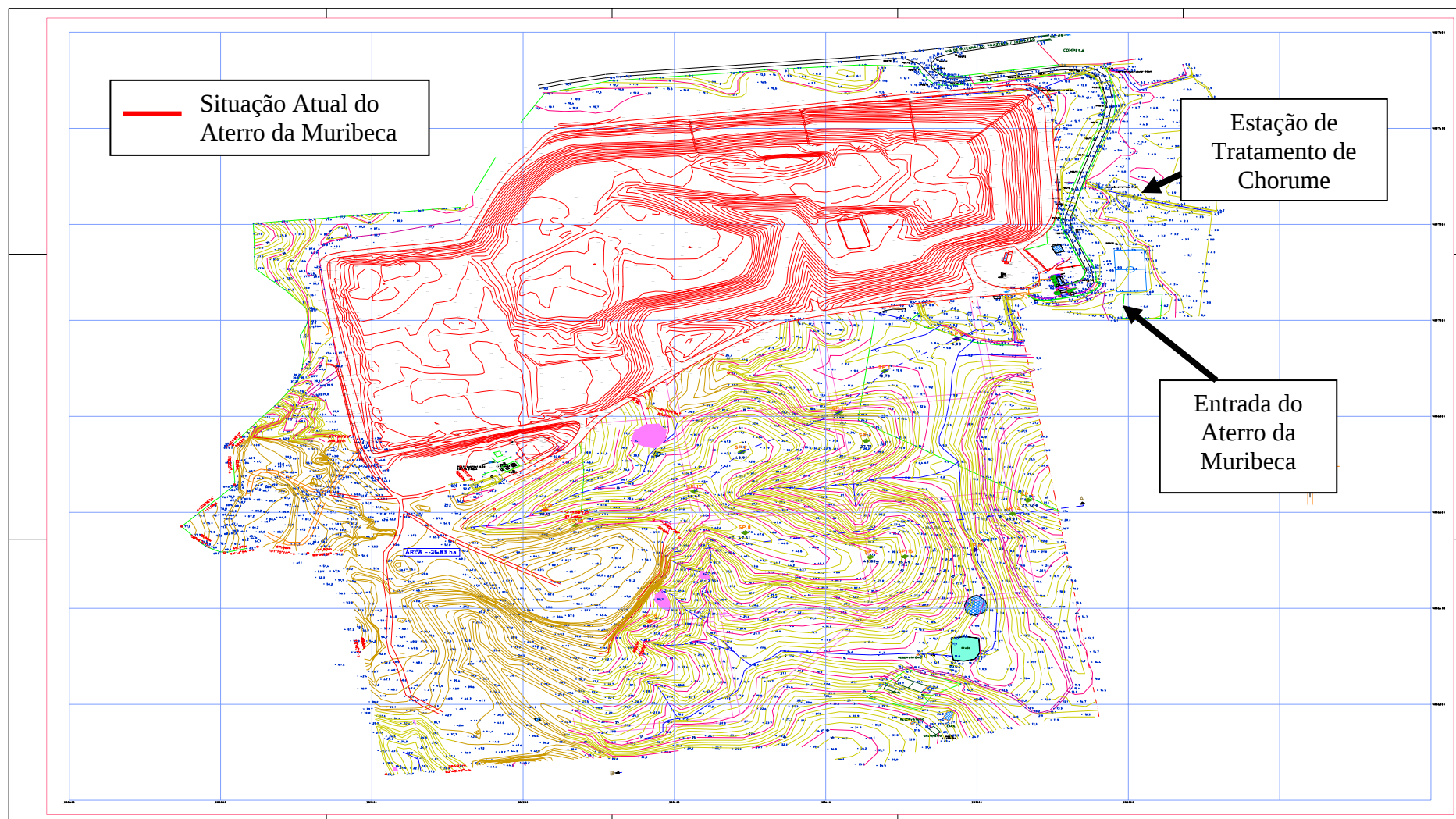


Figura 3.15 - Situação Atual do Aterro da Muribeca

3.2.2 Caracterização do Meio Físico

3.2.2.1- Hidrogeologia

De acordo com LINS (2003), a região onde está localizado o aterro é representada geologicamente por rochas do embasamento cristalino (granitos, gnaisses e granulitos), cobertas por um regolito derivado da decomposição “in situ” dessas rochas. O afloramento das rochas graníticas e granodioríticas do Pré-Cambriano Indiviso pertencem ao Complexo Migmatítico Granitóide de Província Borborema e estão dispostas na borda da sub-bacia Piedade, constituída por sedimentos preenchendo uma fossa tectônica a 1 km do aterro.

3.2.2.2 - Morfologia / Drenagem

De acordo com PAES (2003), a topografia do aterro da Muribeca tem características distintas: áreas elevadas com cotas entre 10 e 70 metros, apresentando um relevo ondulado composto por morros e colinas situadas ao redor do aterro e moldadas sobre o embasamento cristalino e áreas baixas com cotas inferiores a 10 metros exibindo um relevo plano, constituído por depósitos de sedimentos quaternários (aluviões), que coincidem com as planícies de inundação dos vales de riachos e rios, sendo o vale principal o do Rio Jaboatão. Aproximadamente a 500 metros a jusante dos limites do aterro, ocorre um aquífero poroso aluvionar de grande extensão, que recebe recarga pelas falhas e fraturas, precipitações pluviométricas e dos rios que drenam a área. Os aluviões, formados por sedimentos predominantemente arenosos, se apresentam como faixas de pouca espessura (menos de três metros), nas proximidades da área do aterro, e aumentam consideravelmente sua extensão na medida que se aproxima do vale do Rio Jaboatão, podendo alcançar espessuras de 15 metros. Este aquífero poroso mostra-se, pela sua proximidade com o aterro, muito vulnerável à poluição.

3.2.2.3 - Clima

De acordo com LINS (2003), trata-se de uma região tropical litorânea de chuvas de monções durante quase todo o ano, com clima do tipo “Ams” na classificação de

KOPPEN. Este clima é quente e úmido, possuindo uma taxa de precipitação pluviométrica anual excedendo a evapotranspiração.

A variação diária da temperatura é produzida pela flutuação diária da radiação solar incidente. No caso do Aterro da Muribeca a temperatura média anual é de 26°C, variando no intervalo de 18°C a 32°C.

Quanto à umidade relativa, VILLELA (1975) define como a relação percentual entre a quantidade de umidade em um dado espaço e a quantidade que esse volume poderia conter se estivesse saturado. É um dos índices de umidade mais usados e pode ser representado também pela razão percentual entre a pressão de vapor real e a pressão de saturação do vapor.

No aterro estudado a umidade relativa é alta, atingindo um valor médio de 79,2%, com máximo de 83% no mês de maio e mínimo de 74% no mês de dezembro.

3.2.2.4 - Pluviometria

A média histórica de precipitação do Aterro da Muribeca, no período de 1971 a 2005, apresentada na Figura 3.16, mostra que a partir do mês de abril iniciam-se os períodos chuvosos, aumentando gradativamente até alcançar o mês de junho que se apresenta como o período de maior índice, possuindo um valor médio próximo de 400 mm. Logo após o mês de junho, é observada uma leve diminuição de precipitação, porém a partir de agosto esta redução se intensifica, onde os três últimos meses do ano caracterizam-se como o período mais seco, chegando a apresentar no mês de novembro um valor médio de 45 mm.

A Figura 3.17 apresenta os dados de precipitações ocorridas na área do Aterro da Muribeca, para o período de tempo considerado na pesquisa.

Na média mensal de precipitação, compreendendo o período de janeiro de 2004 a julho de 2005, observa-se que o mês de junho, tanto para o ano de 2004 como para o ano de 2005, apresentou valores bem elevados, chegando em 2005 com uma precipitação média de 709 mm. Se esses valores de precipitação para o mês de junho, forem comparados com os valores da média histórica, para o mesmo mês, pode-se dizer que foram atípicos.

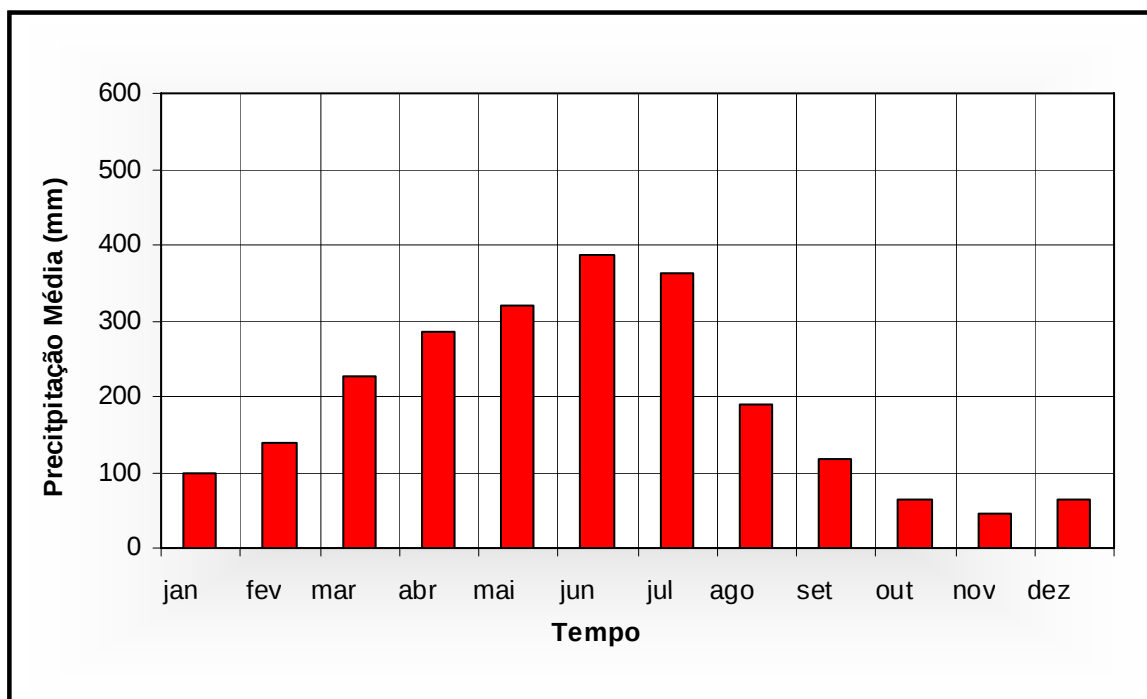


Figura 3.16 - Média histórica da precipitação do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife, no período de 1971 a 2005. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

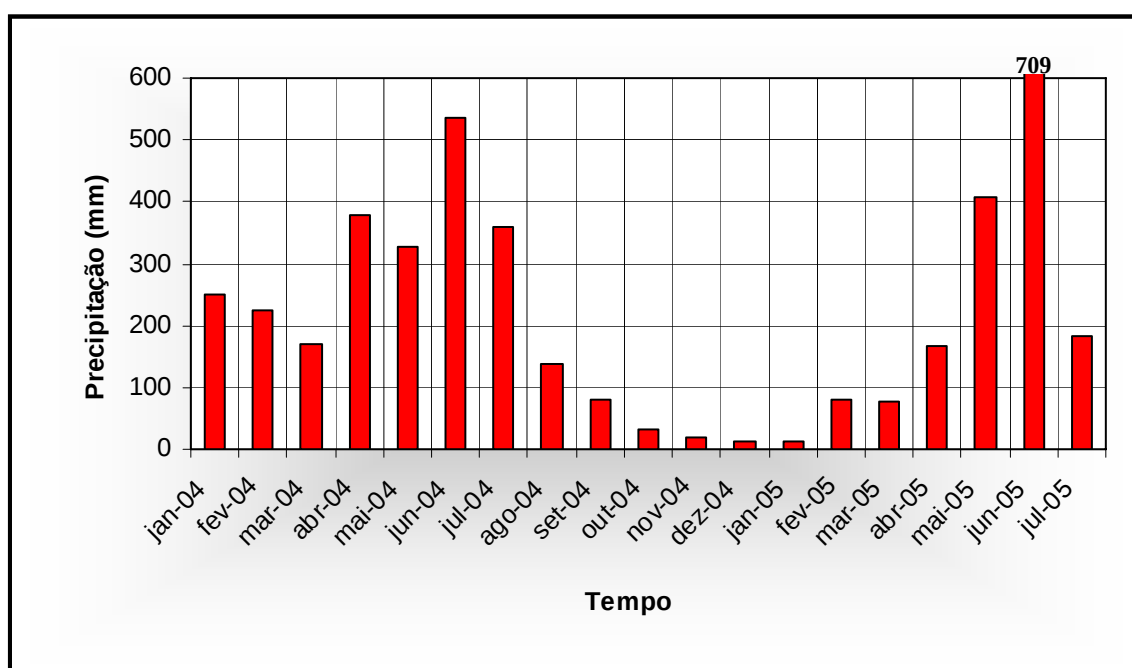


Figura 3.17 - Precipitação do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife no Período de Tempo Estudado. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

3.2.2.5 - Evaporação

De acordo com a Figura 3.18, da média histórica de evaporação, conclui-se que a região do Aterro da Muribeca apresenta maiores evaporações entre os meses de outubro a dezembro, com valores oscilando entre 167 a 175 mm. Estes valores são coerentes, visto que é neste mesmo período que ocorrem as menores precipitações.

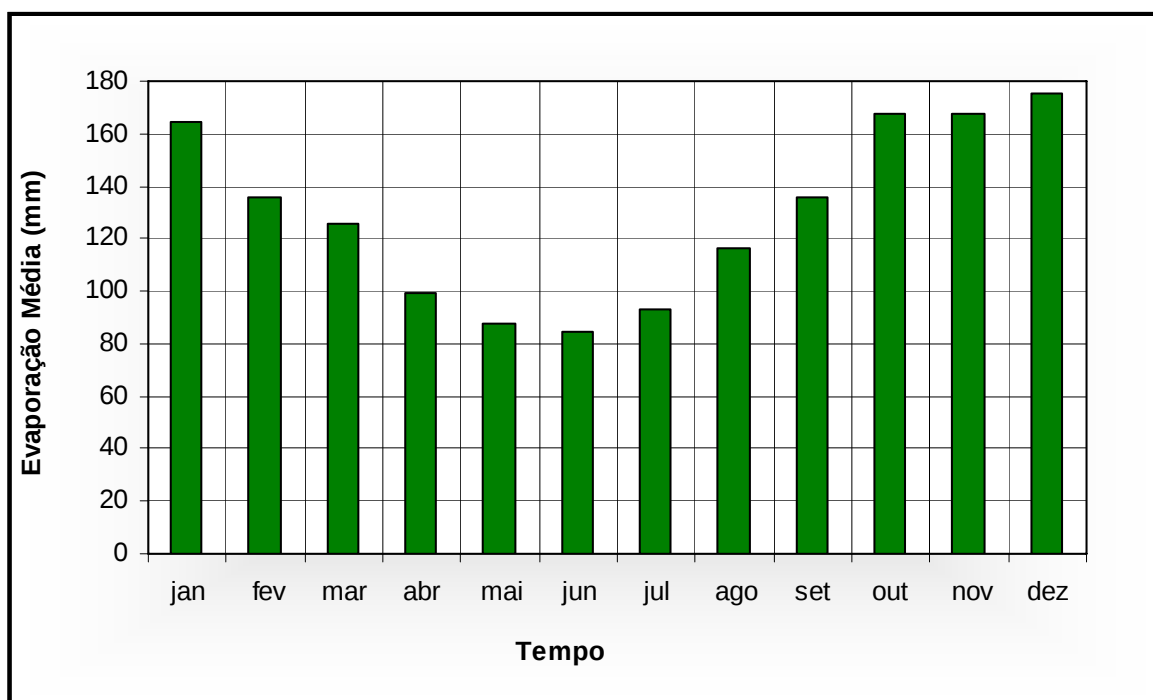


Figura 3.18 - Média histórica da evaporação do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife, no período de 1971 a 2005. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

Na Figura 3.19, que mostra o comportamento hídrico do Aterro da Muribeca, percebe-se que ocorreu um déficit hídrico nos meses de janeiro e fevereiro e no período de setembro a dezembro, pois de acordo com os dados levantados, a evaporação supera a precipitação neste intervalo de tempo.

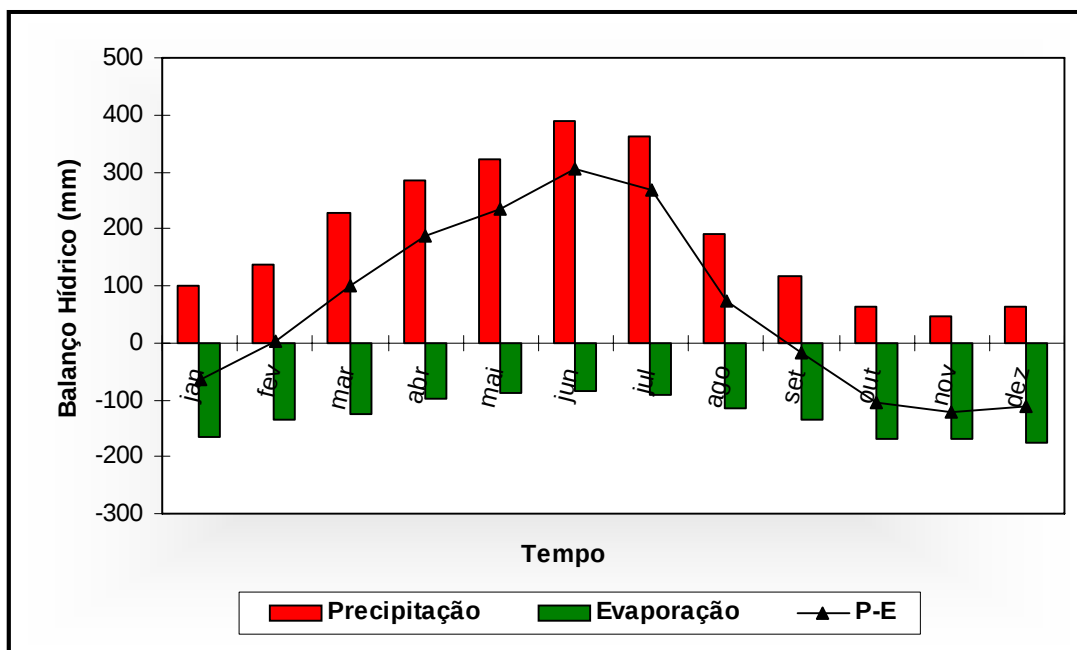


Figura 3.19 - Comportamento Hídrico do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife, no período de 1975 a 2005. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

3.2.3 - Composição do Lixo

O Aterro da Muribeca recebe diariamente cerca de 2.400 toneladas provenientes da cidade do Recife e de Jaboatão dos Guararapes. De acordo com MONTEIRO *et al* (2000), a composição gravimétrica para este aterro é apresentada conforme a Figura 3.20.

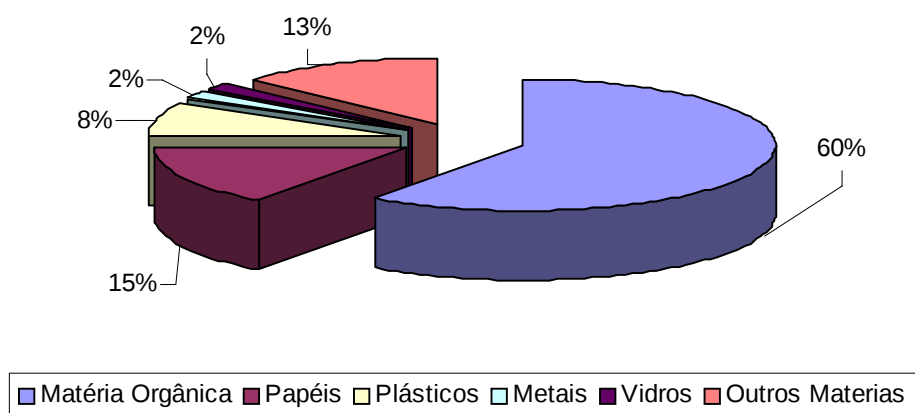


Figura 3.20 – Composição Gravimétrica do Aterro da Muribeca

3.2.4 - Monitoramento e Operação do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana de Recife.

Desde 1994, ano em que foi iniciado o programa de recuperação ambiental da área, o Aterro da Muribeca vem sendo palco de vários estudos que ajudam a entender o seu comportamento, tendo sido monitorado a parti de 1998.

O monitoramento do Aterro da Muribeca conta com instrumentação das células, através da instalação de termopares, piezômetros, equipamentos medidores de recalques superficiais e em profundidade, como também aparelhos que permitem medir e caracterizar o gás produzido pela massa de lixo. O monitoramento do percolado gerado no aterro é realizado através de coletas mensais em pontos específicos da estação de tratamento do chorume, onde em seguida são determinados os parâmetros físico-químicos, metais pesados e microbiológicos, necessários para caracterização do percolado. Além das coletas mensais, a vazão de todo percolado drenado para a estação de tratamento é medida, a fim de conhecer o volume total de percolado que é gerado na massa de lixo do Aterro da Muribeca.

O Aterro da Muribeca tem uma quantidade de lixo estimada em mais de 10 milhões de toneladas, conforme ilustrado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Quantidade de Resíduos Acumulado no Período de 1994 a 2004.

Ano	Quantidade de Resíduos (ton)	
	Anual	Acumulada
1994	767.370	767.370
1995	831.230	1.598.600
1996	939.961	2.538.561
1997	1.007.519	3.546.080
1998	928.967	4.475.047
1999	892.491	5.367.538
2000	959.626	6.327.164
2001	924.340	7.251.504
2002	1.006.421	8.257.925
2003	985.661	9.243.586
2004	948.735	10.192.321

Fonte: F. J. Maciel e J. F.T. Jucá (2005)

A Tabela 3.4, apresenta a idade do resíduo que é depositado no Aterro da Muribeca, a partir do período que se iniciou o monitoramento.

Tabela 3.4 - Idade dos Resíduos nas Células no Período de Monitoramento

Local de Investigação	Idade dos Resíduos	Período de Monitoramento
Célula 1	15 anos	1998 a 2000
Célula 2	15 anos	1999 a 2001
Célula 3	5 anos	2000 a 2001
Célula 4	5 anos	2000
*Célula 5	1-10 anos	2003
Célula 8	1-5 anos	2003 a 2005

* Possui 30m de lixo com idade de 10 anos e 10m de lixo com 1-2 anos

3.2.5 - Ponto de Coleta

As coletas do percolato gerado no Aterro da Muribeca foram realizadas na entrada da Lagoa de Decantação – LD, Figura 3.21, localizada no início da Estação de Tratamento de Chorume – ETC.



Figura 3.21 - Entrada do Sistema de Tratamento de Chorume (a); Lagoa de Decantação (b)

A Figura 3.22, mostra o projeto de drenagem do percolato para a Estação de Tratamento de Chorume – ETC. Observa-se que a drenagem foi apenas parcialmente executada.



Figura 3.22 – Drenagem do Percolado do Aterro da Muribeca

3.3 – Metodologia de Coleta

A metodologia para realização de coletas e conservação das amostras de percolado, apresentada a seguir, foi utilizada para os dois aterros de resíduos sólidos estudados. A técnica baseou-se na CETESB (1986), que orienta de acordo com o Guia de Coleta e Conservação de Amostras de Água o procedimento mais adequado para cada grupo de parâmetro.

As análises de todas as amostras foram realizadas na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, onde foram determinados os parâmetros físico-químicos, metais pesados e microbiológicos.

Para a determinação dos parâmetros *físico-químicos* e *metais pesados* era coletado cerca de 7L da amostra, e para a determinação dos parâmetros *microbiológicos* era coletado apenas cerca de 200 mL. Após a coleta, todas as amostras eram acondicionadas em bombonas plásticas previamente lavadas, secas e etiquetadas. No caso dos parâmetros microbiológicos, os frascos contendo as amostras eram colocados em um reservatório contendo gelo, mantendo uma temperatura de 4° C.

A Figura 3.23 ilustra o material utilizado, conforme a norma da CETESB (1986).

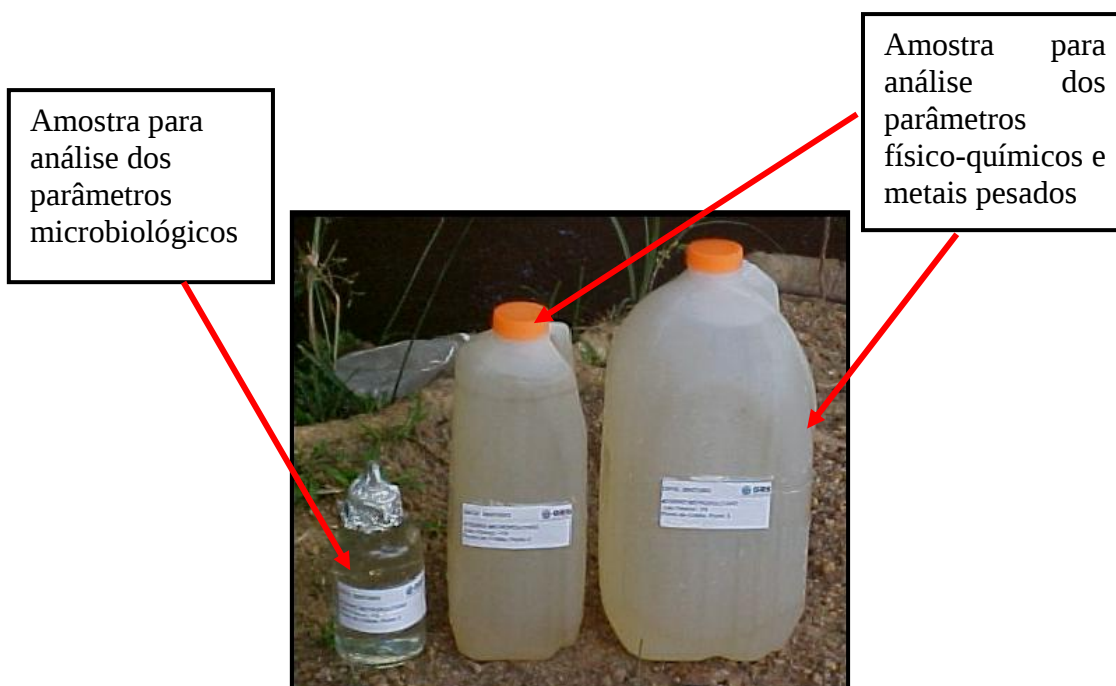


Figura 3.23 - Material utilizado para coleta do percolado.

As análises físico-químicas foram realizadas pelo Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade (LEAQ), as análises para determinação dos teores de metais pesados foram realizadas pelo Laboratório de Análises Minerais de Solos e Água (LAMSA), e as microbiológicas foram realizadas pelo Laboratório de Microbiologia, todos os laboratórios são da Universidade Federal de Pernambuco. Essas análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19 edição de 1995.

A Tabela 3.5 contém os parâmetros utilizados com os seus respectivos métodos analíticos que seguem as indicações de APHA (1995).

Tabela 3.5 - Parâmetros e Métodos Utilizados na Caracterização do Percolado dos Aterros Metropolitano e da Muribeca no Período de Janeiro de 2004 a Julho de 2005

Parâmetros/ Unidades	Métodos Analíticos
Parâmetros Físico-Químicos	
pH	Método Potenciômetro Com Medidor de pH, Calibrado Com Soluções Tampão de pH 7 e 9.
Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ /L)	Método Titulométrico Com Ácido Sulfúrico Com Solução Titulante E Fenolftaleína E Metil-Orange Como Indicadores.
Condutividade Elétrica a 20° C (µS/cm)	Método do Condutivímetro.
Cloretos (mg/L em Cl)	Método Argentométrico De Mohr, Com Solução Titulante Nitrato De Prata 0,049 N E Cromato De Potássio Como Solução Indicadora
Fósforo (mg/L em P)	Método Colorimétrico
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Método dos Frascos Padrão, com incubação a 20°C por 5 dias
DQO (mgO ₂ /L)	Método de Refluxação Fechada do Dicromato de Potássio
Sólidos Totais (mg/L)	Método do Condutivímetro.
Metais Pesados	
Metais Pesados (mg/L)	Espectroscopia de Absorção Atômica Duplo feixe. Marca: CG AA 7000 BC
Parâmetros Microbiológicos	
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Tubos múltiplos
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Tubos múltiplos

CAPITULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1– Apresentação e Discussão dos Resultados do Percolado do Aterro Metropolitano – Região Metropolitana de João Pessoa.

O estudo da caracterização do percolado foi realizado com base na análise dos resultados coletados ao longo do tempo estudado, considerando a influência do fator tempo e da precipitação.

4.1.1- Efeito do tempo e da precipitação na qualidade do percolado

4.1.1.1 - Parâmetros Físico-Químicos

a) pH

Os valores encontrados para o pH do percolado gerado no Aterro Metropolitano variaram de 7,31 a 8,59, com valor médio de 7,88. De acordo com a Figura 4.1 observou-se que em janeiro de 2004, quando o aterro possuía apenas 5 meses de operação, o percolado apresentou valor de pH levemente alcalino, ficando em torno de 7,85, tendo uma elevação nos meses de novembro de 2004, janeiro e fevereiro de 2005. Esta elevação do pH poderá ter sido decorrente da fase metanogênica instável que possivelmente predominava na Célula 1, já que a mesma foi encerrada em maio de 2004. A Célula 2 também pode ter contribuído com os valores elevados de pH, tendo em vista que encontrava-se em fase de encerramento.

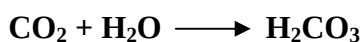
No mês de junho de 2004, verificou-se uma redução no resultado do pH, que pode ser associado ao início de operação da Célula 2. Essa redução também foi observada em maio, junho e julho de 2005, podendo ter sofrido influência da Célula 4, onde teve sua operação iniciada em abril do mesmo ano, e conseqüentemente gerou um incremento de percolado proveniente da matéria orgânica recém degradada, onde as fases de hidrólise e acidogênese predominavam, formando ácidos orgânicos e dióxidos de carbono que contribuem para a formação de pH ácido.

Desta forma, as variações ocorridas para este parâmetro podem estar relacionadas com a operacionalidade das células, já que quando em operação, a massa de lixo aterrada oscila entre um ambiente aeróbio e anaeróbio, devido à frente de operação que pode ocasionar a entrada de ar no interior da massa de lixo. Quando ocorre o fechamento da célula, há uma tendência da mesma se comportar como um

reator anaeróbio, tornado um ambiente mais propício para as bactérias anaeróbias e facultativas.

Segundo TABASARAN (1975) *apud* LIMA (1995), as fases de degradação que ocorrem no interior da massa de lixo, podem ser baseadas no estudo da composição do biogás que é gerado nas células de um aterro de resíduos sólidos. O mesmo autor ainda afirma que a fase ácida tem duração de sessenta dias, surgindo em seguida à fase metânica instável, com duração de dois anos e que se caracteriza por apresentar uma variação do pH em torno 6,8 e 7,2, como também pelo processamento dos ácidos gerados na fase anterior por bactérias metanogênicas, além de conversão de compostos poliméricos semi-refratários a monômeros simples, para sua metanização posterior.

As variações do pH, para o período de tempo estudado, ainda podem ter sido influenciadas pelos índices de precipitação, que de acordo com a Figura 4.1, observa-se que um acréscimo de precipitação tende a provocar uma redução nos valores do pH. Segundo JUNQUEIRA (2000), esta relação ocorre tendo em vista que a água de chuva introduz íons de hidrogênio resultantes das reações com transferência de prótons no interior da célula, que ao se juntar ao CO₂ produzido pela atividade bacteriana, se dissolve na fase aquosa e reage produzindo ácido carbônico, segundo a equação abaixo:



É importante ressaltar que a drenagem de águas pluviais nas células foi realizada conforme disponibilidade de recursos financeiros e que fatores como vegetação, compactação e cobertura diária das células podem ter ocasionado um acréscimo de água na massa de lixo aterrada. Sendo assim, o percolato gerado no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa apresentou, dentro do período de tempo considerado, características de um aterro tipicamente novo, com oscilações nas suas fases de degradação, porém com maior predominância na fase metânica instável.

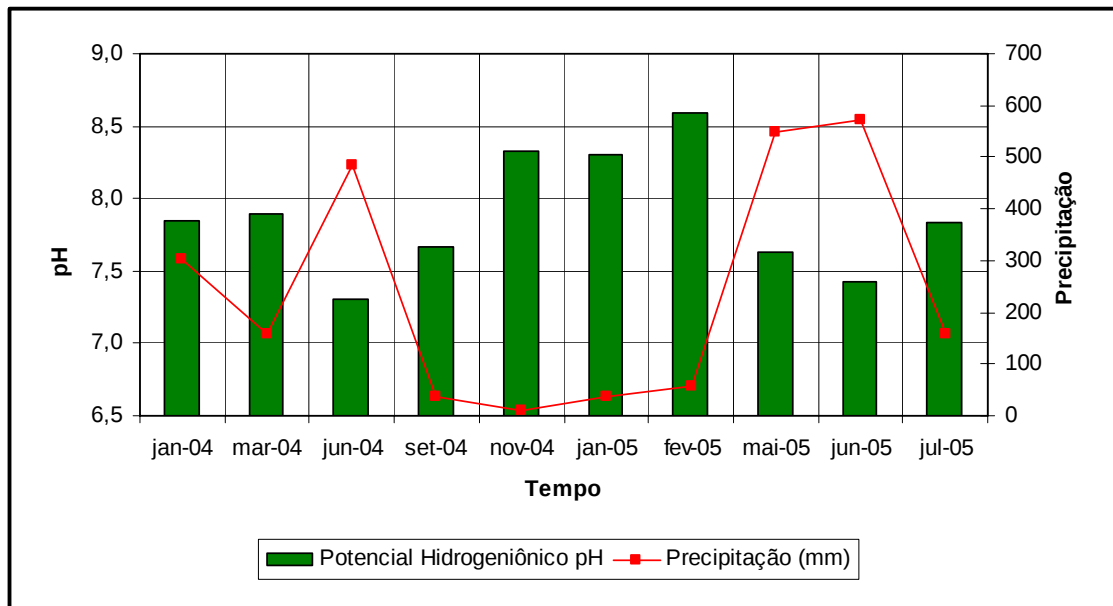


Figura 4.1 - Valores de pH obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

b) Alcalinidade Total

Os valores da alcalinidade total encontrados para o percolato gerado no Aterro Metropolitano variaram de 7.579 a 19.237 mg/L em CaCO_3 , conforme ilustrado na Figura 4.2, com valor médio de 12.824 mg/L em CaCO_3 . TCHOBANOGLIOUS *et al.* (1994), apresentaram uma faixa de variação, para aterros com idade de até dois anos de operação, entre 1.000 e 10.000 mg/L em CaCO_3 , se estes valores forem comparados com os resultados obtidos para a alcalinidade total do percolato do Aterro Metropolitano, pode-se dizer que os resultados foram elevados. Esta elevação, para a CETESB (1995), indica que o aumento na concentração de ácidos voláteis pode não ser suficiente para baixar o pH do sistema e, portanto não afetar as bactérias metanogênicas, ou seja, elevados valores de alcalinidade total, significa dizer que a capacidade do meio em resistir a mudanças do pH é maior, tornando o pH próximo da neutralidade.

Os valores da alcalinidade estão relacionados com os valores de pH, pois baixos teores de alcalinidade podem tornar um meio propício para reduzir os valores de pH, podendo afetar a taxa de crescimento dos microrganismos responsáveis pelo funcionamento adequado de um sistema.

Um outro fator importante entre o pH e a alcalinidade, segundo FORESTI (1987) *apud* PINTO (2000), é que o pH é uma função logarítmica, e como tal não

reflete as flutuações na alcalinidade bicarbonato (por exemplo, quando o pH varia de 7,1 para 6,9 há um decréscimo da alcalinidade de 3.600 mg/L para 2.500 mg/L); além disso, o pH nada informa sobre os problemas incipientes, apenas informa que o problema já ocorreu. Este fato também pode justificar a variação “pequena” para o pH do percolado do Aterro Metropolitano, e a elevada variação para os resultados da alcalinidade. Pode ser dito também, que os elevados valores de alcalinidade total permitiram que os valores de pH, permanecessem próximos da neutralidade, já que apresentou valor médio de 7,88.

Com relação às variações pluviométricas ao longo do tempo estudado, observa-se, de acordo com a Figura 4.2, que a alcalinidade total, no período de janeiro de 2004 a fevereiro de 2005 apresentou uma relação inversa com a precipitação. Nos meses de setembro e novembro de 2004, por exemplo, ocorreu uma diminuição na precipitação e uma elevação na alcalinidade, já em janeiro e fevereiro de 2005, um leve acréscimo de precipitação foi suficiente para diminuir os valores da alcalinidade, reduzindo a capacidade de tamponamento do meio. Porém, essa diminuição não foi suficiente para baixar de forma significativa os resultados do pH, para o mesmo período de tempo.

Nos meses de maio, junho e julho de 2005, a precipitação apresentou uma relação direta com os resultados da alcalinidade. A relação de crescimento entre a precipitação e alcalinidade nos meses de maio e junho pode ter sido influenciada pelo arraste de material, como ácidos da decomposição anaeróbia do lixo, e gases dissolvidos pela água da chuva, fazendo com que ocorra um aumento na elevação da alcalinidade, ou seja, na capacidade tampão do meio.

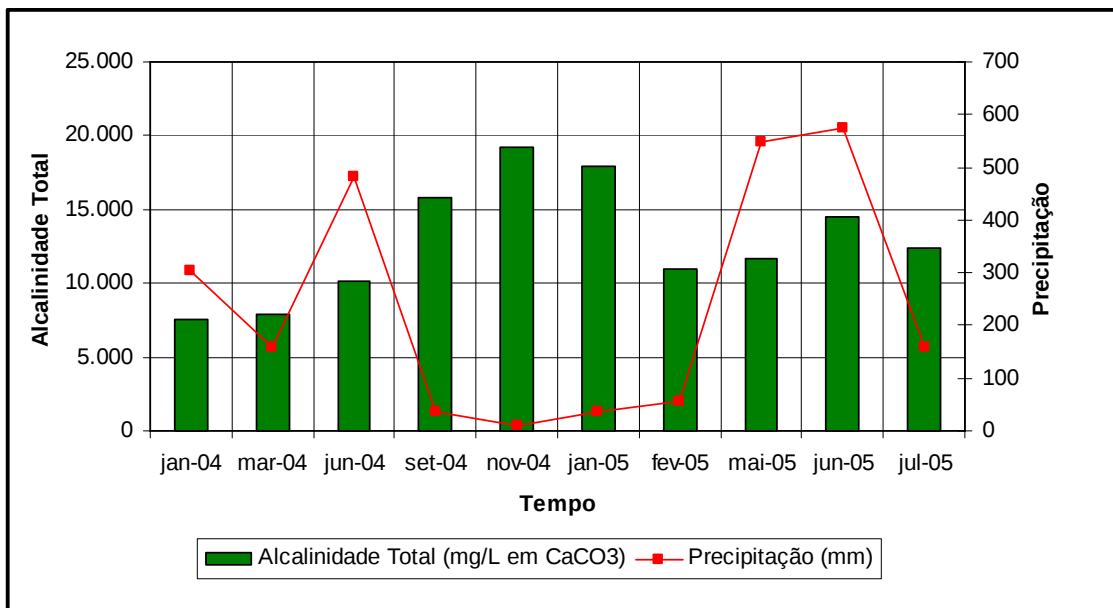


Figura 4.2 - Valores de alcalinidade total no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

c) Condutividade Elétrica

Os resultados encontrados para condutividade elétrica do percolato gerado no Aterro Metropolitano variaram de 13.540 a 22.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, conforme ilustrado na Figura 4.3, com valor médio de 18.446 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Também pode ser observado que durante o período de tempo estudado, os resultados não apresentaram redução. As oscilações ocorridas para este parâmetro podem ter sido motivadas pela instabilidade das fases de degradação que ocorrem no percolato gerado no Aterro Metropolitano e que possivelmente aumenta a mobilidade iônica do meio, conduzindo a valores elevados de condutividade elétrica. FLECK (2003) relata que nos percolados, desconsiderados os efeitos de diluição, durante a predominância da fase ácida teremos condutividades superiores, ao passo que com a evolução do processo anaeróbio e elevação do pH, muitos íons, principalmente cátions metálicos precipitarão, sendo retirados da solução, ocasionando redução na condutividade elétrica.

CHIAN e DEWALLE (1976, 1977a) *apud* QASIM e CHIANG (1994) apresentam uma faixa de variação para este parâmetro entre 600 a 9.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para aterros com idade de até 1ano, com tendência a diminuir a medida que a matéria orgânica vai estabilizando. Esta faixa de variação está bem inferior aos valores encontrados para o percolato do aterro em estudo, indicando que possivelmente está

ocorrendo uma concentração de íons no interior da massa de lixo aterrada, com pouca precipitação de cátions metálicos, gerando um percolado com valores de condutividade elétrica bem elevada.

Quanto à relação entre a condutividade elétrica e a precipitação, observa-se na Figura 4.3, que em períodos prolongados de baixa precipitação, como por exemplo, ocorre nos meses de setembro e novembro de 2004, como também em janeiro, fevereiro e julho de 2005, a condutividade elétrica tende a se elevar. Esta elevação dos valores de condutividade pode ser associada a uma maior concentração do percolado na entrada da estação de tratamento. Já para os meses em que houve uma elevação significativa da precipitação, como é o caso dos meses maio e junho de 2005, os valores da condutividade elétrica apresentaram reduções que podem ser associadas à uma diluição do percolado e oxidação dos elementos. Porém no mês de junho de 2004, ocorreu uma elevação tanto para precipitação como para condutividade elétrica, podendo ter ocorrido o arraste de materiais que conduziram um aumento na condutividade elétrica. Todavia, durante o período de tempo estudado, a precipitação influenciou de varias formas a condutividade elétrica, sendo necessário um período de tempo maior de observação.

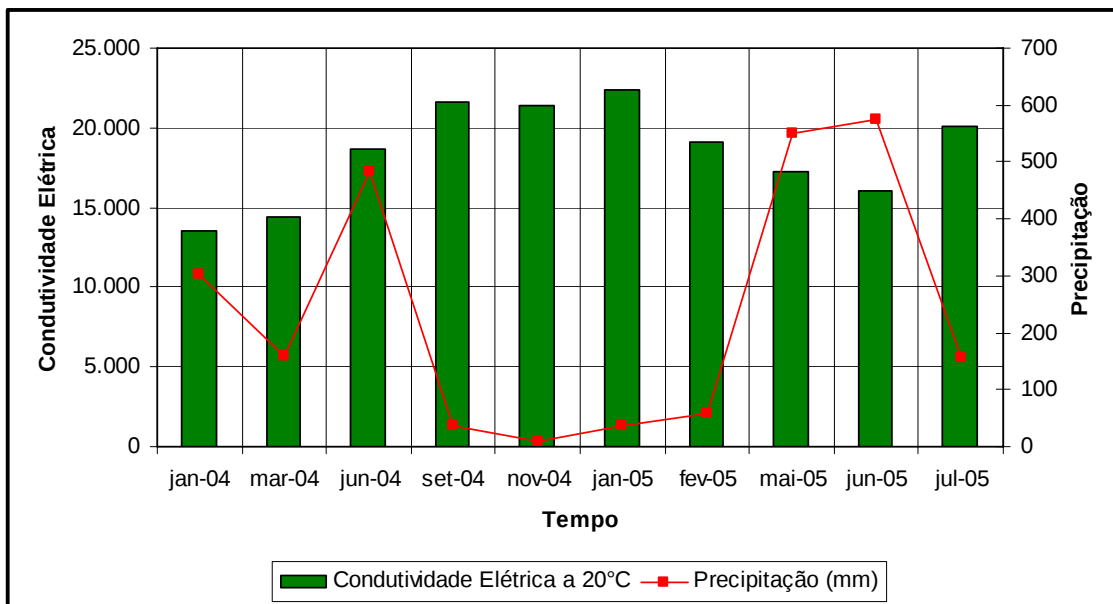


Figura 4.3 - Valores de condutividade elétrica, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

d) Cloretos

De acordo com a Figura 4.4, referente à variação do cloreto e da precipitação ao longo do período de janeiro/2004 a julho/2005, os valores encontrados para o percolado do Aterro Metropolitano, em praticamente todo o período de tempo estudado, apresentaram uma variação entre 1.600 e 3.300 mg/L, apenas com um pico no mês de setembro de 2004, onde foi observado um valor muito elevado, próximo de 7.000 mg/L, o que pode ser atribuído à concentração de compostos ou a entrada de algum tipo de resíduo com elevadas concentrações de sais. Entretanto, apesar dessa elevação pontual verificou-se que autores como CLARETO (1997) e HELD (1996) *apud* SEGATO e SILVA (2000) mostram um intervalo de variação do cloreto encontrado em percolados variando entre 100 e 12.400 mg/L. Neste caso se comparado esta faixa de variação com os valores encontrados para o percolado do Aterro Metropolitano pode-se dizer que os resultados obtidos estão dentro da faixa observada pela literatura.

Com relação à influência da precipitação, pode ser observado na Figura 4.4, que nos períodos onde ocorreram menores precipitações os resultados do cloreto mostraram uma tendência a se elevar, como também nos meses onde ocorreram picos de precipitação, a concentração deste parâmetro tende a diminuir. Esta relação entre os índices de cloreto e a precipitação é coerente, tendo em vista que o aumento da quantidade de água que percola na massa de lixo pode causar uma diminuição na concentração de sais.

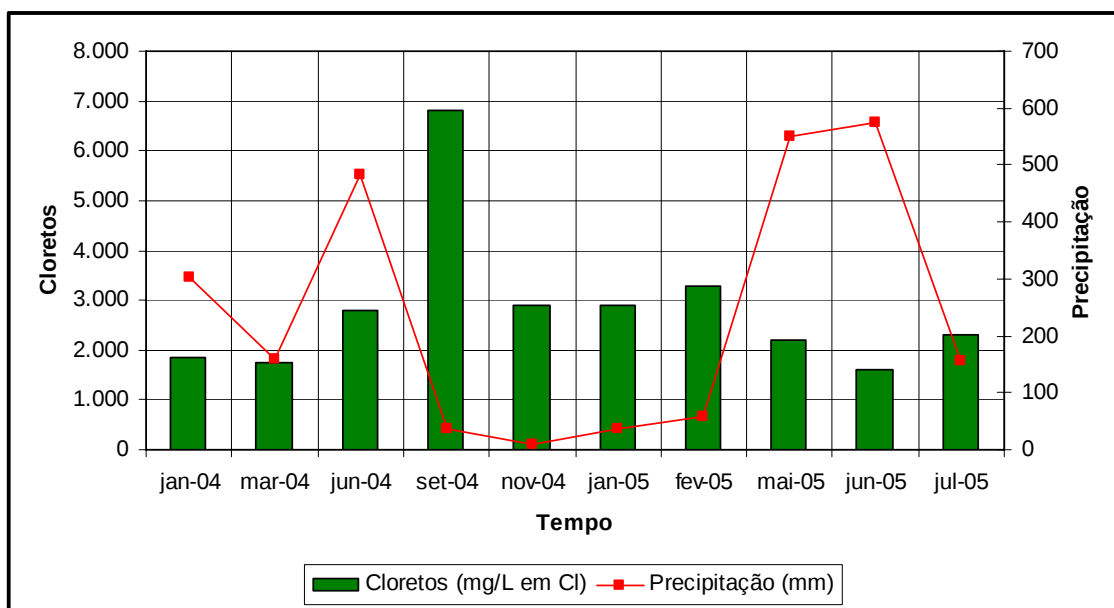


Figura 4.4 - Valores de cloretos, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

e) Fósforo

Os valores de fósforo total apresentaram uma faixa de variação de 1,3 a 8,0 mg/L, com exceção do mês de junho de 2004, que apresentou um pico de 23 mg/L, que poder ser atribuído ao incremento de percolado novo gerado na Célula 2, já que a mesma foi iniciada em maio de 2004 e que possivelmente contribuiu com uma quantidade elevada de matéria orgânica com elevada taxa de nutrientes. O outro pico ocorreu em julho de 2005, com valor de 19 mg/L, que pode está relacionado com a composição de algum resíduo que foi depositado no aterro. O Aterro Metropolitano recebe diariamente grande quantidade de poda, resíduo este rico em nutrientes, que em alguns momentos eram encaminhados à célula em operação, deixando de ser depositados no local adequado de destinação. O incremento deste tipo de resíduo nas células do Aterro Metropolitano pode ter elevado as taxas de fósforo no interior da massa de lixo. TCHOBANOGLIOUS *et al.* (1994), apresentaram uma faixa de variação, para aterros de até 2 anos de idade, entre 5 e 100 mg/L. Desta forma, os picos encontrado, ainda estariam de acordo com os valores encontrados para percolados de idade recente.

Pode ser observado também que os resultados ainda apresentam oscilações ao longo do tempo estudado, tendo em vista que se trata de um percolado novo, com uma quantidade elevada de matéria orgânica em decomposição, pois a redução da concentração deste parâmetro ocorrerá progressivamente com a estabilização da matéria orgânica e para isto é necessário um período de tempo maior para observação.

No que diz respeito à relação entre o parâmetro fósforo e a precipitação não foi observado uma influência significativa. Todavia estas observações necessitam de um período de tempo maior para serem afirmadas, já que maiores índices de precipitação podem carrear materiais contendo nutrientes que tendem a aumentar os valores do fósforo. O inverso também não pode ser descartado, já que altas precipitações podem causar diluição do percolado, diminuindo assim os valores de fósforo.

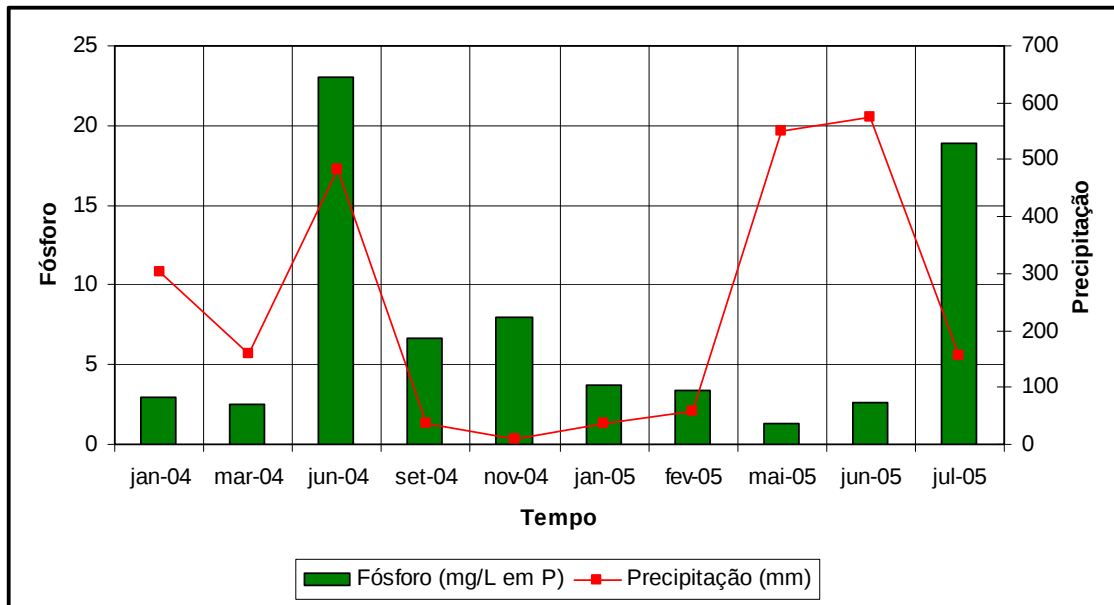


Figura 4.5 - Valores do fósforo, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

f) Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio

Os resultados encontrados para a DQO e DBO₅, no período de tempo estudado, apresentaram variações significantes, onde a DQO oscilou entre 2.604 e 21.166 mg/L de O₂, com valor médio de 11.100 mg/L de O₂, e a DBO₅ variou entre 178 e 13.157 mg/L de O₂, com valor médio de 5.150 mg/L de O₂. Percebe-se uma elevação significativa, para os dois parâmetros em estudo, nos meses de junho e setembro de 2004, que pode ser atribuída ao incremento do percolado proveniente da Célula 2, iniciada em maio do mesmo ano e que possivelmente gerou um percolado com elevada concentração de matéria orgânica e inorgânica. Enquanto a elevação para os meses de maio, junho e julho de 2005, pode estar relacionada com início de operação da Célula 4, que da mesma forma também deve ter contribuído com um percentual maior de matéria orgânica a ser decomposta.

Entretanto os valores encontrados para a DBO₅ nos meses de novembro de 2004 e janeiro e fevereiro de 2005, apresentaram uma variação entre 178 e 372 mg/L de O₂, que não são valores representativos para percolados gerados em aterros novos, já que segundo TCHOBNUGLOUS *et al* (1994), esta faixa deve variar de 2.000 a 30.000. Esta redução dos valores de DBO₅ pode ser atribuída ao efeito de inibição das atividades metabólicas, pois de acordo com FLECK (2003), metais, cátions, ânions, bem como macro e micronutrientes e os próprios substratos carbonáceos, fundamentais

à manutenção dos processos biológicos, quando em certas concentrações críticas podem produzir efeitos inibitórios e, em muitos casos, deletérios. Por exemplo, durante a fase metanogênica do processo anaeróbio, os ácidos voláteis respondem pela quase totalidade da massa carbonácea em digestão, se as concentrações de certos ácidos atingirem determinados patamares, tais ácidos poderão tornar-se inibidores da atividade das bactérias metanogênicas.

Esta provável inibição pode ter ocorrido no percolado gerado no Aterro Metropolitano, devido à concentração de alguns ácidos, metais, ou ainda a presença de cátions metálicos, já que neste mesmo período de tempo também ocorreu uma elevação da condutividade elétrica. Porém esta inibição pode ser superada, já que microorganismos aeróbios, facultativos e anaeróbios aclimatam-se através do fenômeno da mutação. Todavia esta adaptação deve ocorrer em tempo hábil, pois se os valores de pH chegarem a uma faixa consideravelmente reduzida, não haverá recuperação dos microorganismos, o que possivelmente não aconteceu no interior da massa de lixo do Aterro Metropolitano, tendo em vista que para este mesmo período não se identifica diminuição nos valores de pH.

O período prolongado de baixas precipitações de novembro de 2004 e janeiro e fevereiro de 2005, também pode ter contribuído com as reduções nos valores de DQO e DBO_5 , já que menores volumes de precipitação podem fazer com que a quantidade de material arrastado seja reduzida, diminuindo a quantidade de matéria orgânica presente no percolado. Já no mês de junho de 2004, como também em maio e junho de 2005, ocorreu um aumento na precipitação e nos valores de DQO e DBO_5 que pode ter sido ocasionado pelo efeito da lixiviação. MONTEIRO (2003) relata que fortes precipitações podem aumentar o efeito da lixiviação tendo como consequência o aumento nas concentrações dos compostos dos líquidos percolados.

De acordo com JUNQUEIRA (2000), os dois processos, diluição e lixiviação de contaminantes, atuam em conjunto no interior das células, sendo que a lixiviação predomina quando a infiltração das águas diminui por um determinado período, permitindo um acúmulo dos contaminantes no interior do lixo, que voltam a ser lixiviados quando o processo de infiltração recomeça com maior intensidade.

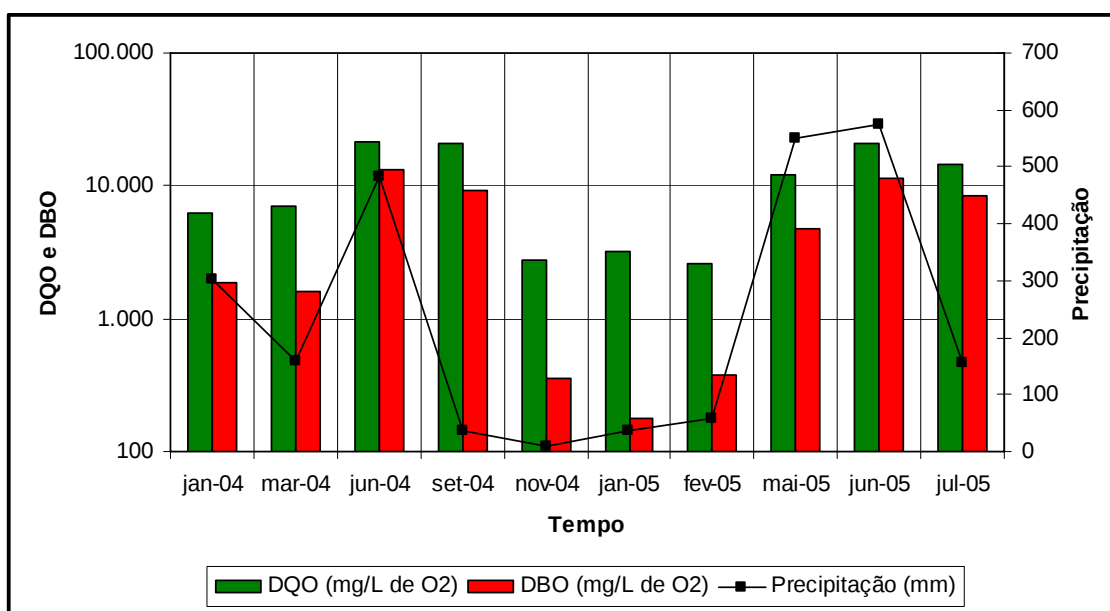


Figura 4.6 - Valores do DQO e DBO, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

g) Biodegradabilidade

Na Figura 4.7, referente à biodegradabilidade do percolato gerado no Aterro Metropolitano de João Pessoa, no intervalo de 10 meses, compreendidos entre 2004 e 2005, foi encontrado um valor médio de 0,35, considerado pela CETESB (1995), um percolato medianamente biodegradável.

Os picos ocorridos no mês de junho de 2004 e em junho e julho de 2005, podem ser justificados pelo aumento na concentração de DBO₅ ocasionada pela contribuição do percolato novo gerado pela Célula 2 e 4, respectivamente. Outro fator que pode ser considerado é o arraste de matéria orgânica facilmente degradável, ocasionado pelo processo de lixiviação, já que nos meses de junho de 2004 e 2005, também foi identificado valores elevados de precipitação. No mês de julho de 2005, houve uma redução na precipitação, porém o processo de lixiviação ainda poderia estar ocorrendo, já que os dois meses anteriores apresentaram os maiores volumes de chuva.

Desta forma, o Aterro Metropolitano de João Pessoa apresentou, dentro do período considerado, resultados da relação DBO₅/DQO considerados moderadamente biodegradável, todavia seria necessário um período de tempo maior, com maior número de amostras, para determinar a predominância das características do percolato e sugestões para um tratamento mais adequado.

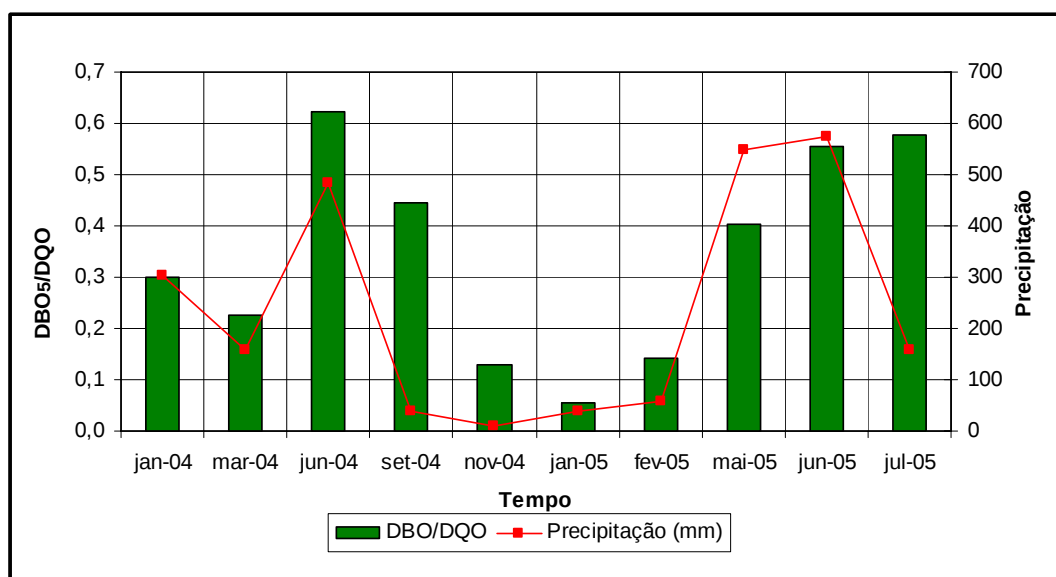


Figura 4.7 - Valores da Biodegradabilidade, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

h) Sólidos Totais - ST, Sólidos Totais Voláteis - STV e Sólidos Totais Dissolvidos - STD.

De acordo com a Figura 4.8, observa-se que a matéria sólida encontrada no percolado gerado do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa encontra-se praticamente na forma dissolvida, em termos percentuais os sólidos totais dissolvidos encontrados no percolado gerado no Aterro Metropolitano, fontes de alimentos mais facilmente degradáveis por bactérias, certas microalgas e protozoários, correspondem a uma média de 96% dos sólidos totais, podendo-se dizer que está ocorrendo pouco arraste de material particulado. Os sólidos totais apresentaram um valor médio de 14.000 mg/L e os sólidos totais dissolvidos de 13.514 mg/L, com uma diferença apenas de 486 mg/L. Devido a problemas analíticos, não foi possível se determinar a concentração dos sólidos totais dissolvidos no mês de novembro de 2004.

Quanto aos sólidos totais voláteis, foi encontrado um valor médio de 5.297 mg/L, ou seja, cerca de 35 % dos sólidos totais são compostos de sólidos totais voláteis, o que significa uma quantidade relativamente pequena de matéria orgânica presente na massa de lixo, pois segundo JORDÃO e PESSOA (1995), valores típicos, entre os sólidos totais voláteis e os sólidos totais (STV/ST), para lodo gerado em estações de tratamento de esgotos domésticos estão na faixa de 75% a 85%. Este percentual reduzido de matéria orgânica, presente no percolado do Aterro Metropolitano relaciona-se com os resultados da biodegradabilidade, já que de acordo com a relação DBO₅/DQO

encontrada, conforme Figura 4.7, o percolato foi considerado como moderadamente biodegradável.

Quanto à relação dos sólidos totais, sólidos totais dissolvidos e os sólidos totais voláteis com os índices de precipitação, identificou-se uma relação diretamente proporcional nos meses de junho e novembro de 2004 e maio, junho e julho de 2005, onde se observa que quando ocorre uma elevação nos índices de precipitação, eleva-se os resultados dos sólidos, como também uma redução na precipitação implica em uma redução nos resultados dos sólidos. Esta variação pode ser atribuída ao processo de lixiviação, tendo em vista que maiores concentrações de água no interior da massa de lixo, tende a facilitar o carreamento da matéria sólida. Entretanto, vale ressaltar que este material também pode se concentrar no interior das células em períodos secos.

Ao longo do tempo estudado não foi perceptível uma estabilidade nos resultados encontrados, mostrando que o percolato gerado no Aterro Sanitário de João Pessoa possui ainda pouco tempo de operação, recebendo uma carga diariamente de percolato novo e relativamente velho, e conseqüentemente, passando ainda por diversas fases de atividade biológica simultânea.

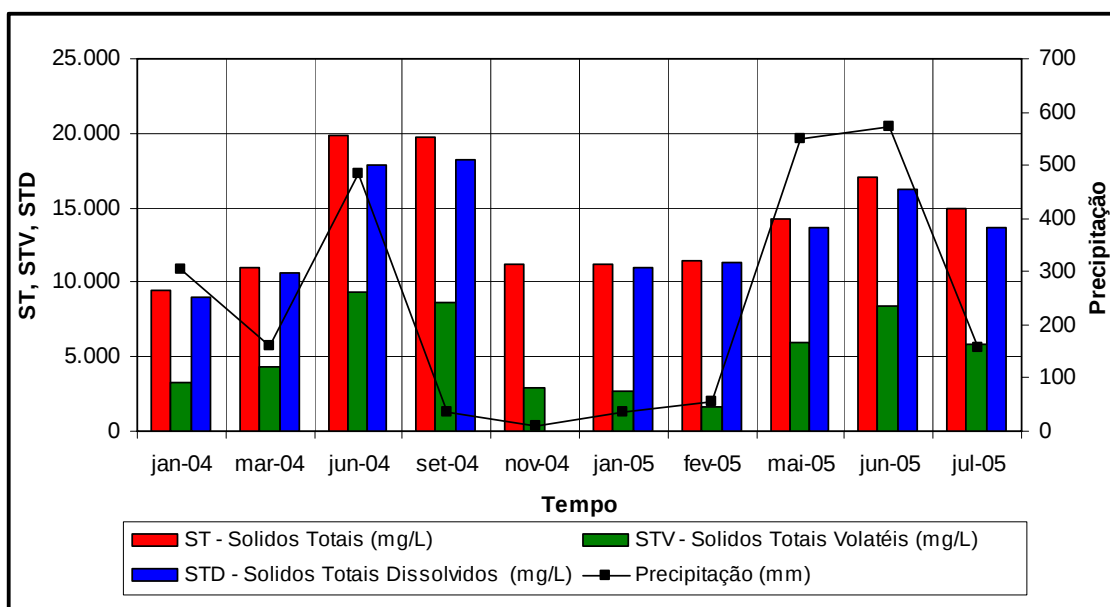


Figura 4.8 - Valores dos sólidos totais, voláteis e dissolvidos, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

4.1.1.2 - Parâmetros Microbiológicos

a) Coliformes Totais e Termotolerantes

Conforme ilustrado na Figura 4.9, da variação dos coliformes totais e termotolerantes com a precipitação para o período de janeiro/2004 a julho de 2005, estes parâmetros apresentam comportamento semelhante e grandes oscilações nos resultados ao longo do tempo. Na mesma figura observa-se também que no mês de junho de 2005 não foi possível determinar a quantidade de coliformes totais e termotolerantes, devido a problemas na realização da coleta.

Os coliformes totais apresentaram uma faixa de variação na grandeza de 10^4 a 10^8 e os coliformes termotolerantes variaram numa ordem de grandeza de 10^4 a 10^7 . Esses valores são tipicamente encontrados em análises de percolado proveniente de aterros de resíduos sólidos urbanos.

Quanto à precipitação, só é possível observar uma relação entre este parâmetro e os coliformes totais e termotolerantes quando os índices de precipitação são intensos ou bem reduzidos e ainda seqüenciados, como por exemplo, em novembro de 2004 a fevereiro de 2005, que ocorreu um período seqüenciado de baixas precipitações, e reduções nos resultados dos coliformes totais e termotolerantes, já em março de 2004 ocorreu uma redução pontual na precipitação e, no entanto ocorreu uma elevação dos resultados dos coliformes. É necessário observar que a elevação ou redução nos índices de precipitação de um determinado mês, também pode ter influência no mês seguinte, a depender da data da coleta. Nos meses de junho de 2004, como também em maio de 2005, observou-se uma elevação nos índices de chuva e uma elevação nos valores dos coliformes, isto pode ser justificado já que a água torna-se um bom meio de transporte para as bactérias.

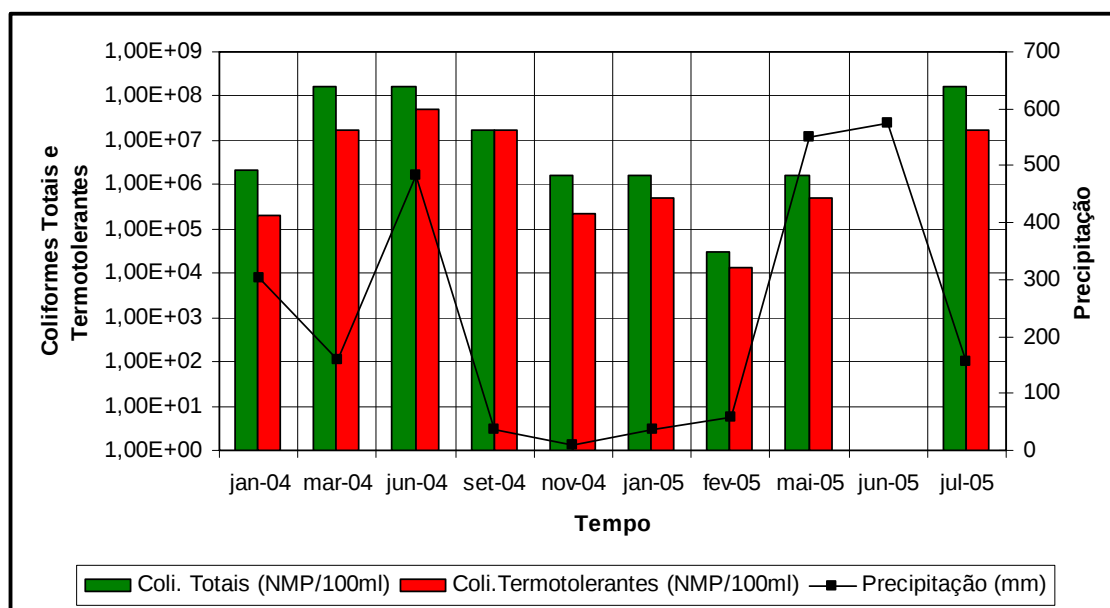


Figura 4.9 - Valores dos Coliformes Totais e Termotolerantes, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

4.1.1.3 - Metais Pesados

Tendo em vista a quantidade de metais pesados considerados nesse estudo, os mesmos foram analisados em blocos, tendo como objetivo a sua melhor visualização e interpretações das variações dos resultados. Quanto ao metal ferro optou-se por analisá-lo separadamente, já que o mesmo apresenta concentrações bem mais elevadas do que os demais.

a) Chumbo, Cromo, Níquel e Manganês

Conforme Figura 4.10 o Chumbo variou de 0,06 a 3,69 mg/L com média de 0,94 mg/L, e o Manganês variou entre 0,33 a 2,84 mg/L com média de 1,22 mg/L. CHIAN e DEWALLE (1976, 1977a) *apud* QASIM e CHIANG (1994), relata que para aterros de até 5 anos de operação, a média de valor para os metais pesados encontradas no percolado é de 0,5 mg/L de Chumbo e 0,06 mg/L de Manganês. Assim de acordo com a literatura os resultados encontrados para os metais do percolado gerado no Aterro Metropolitano estão relativamente elevados.

O Manganês apresentou no mês de junho e setembro de 2004 valores elevados, porém a partir de novembro do mesmo ano até fevereiro de 2005, estes valores tiveram uma redução. Em termos de lançamento em corpos hídricos, este metal ficou acima do

valor permitido segundo a Resolução do CONAMA Nº. 357, de 17 de março de 2005 que é de 1,0 mg/L de Mn.

Já no caso do metal Chumbo, os resultados estiveram, na maior parte do período estudado, acima do valor permitido, que segundo o CONAMA é de 0,5 mg/L de Pb. Segundo o IPT (2000), a maior parte dos metais presentes no lixo domiciliar é proveniente de embalagens, principalmente as alimentícias, ou seja, as tradicionais latas e algumas tampas de recipiente de vidros, podendo também encontrar em menor quantidade utensílios e equipamentos descartados como panelas, esquadrias, peças de geladeira de fogão e etc. Apesar do Aterro Metropolitano permitir apenas a entrada de resíduos domiciliares, a entrada de alguns resíduos industriais, pode misturar-se aos lixo domiciliar e causar concentrações elevadas destes metais pesados. A entrada de restos de sucata, por exemplo, pode ter ocasionado o pico do metal Chumbo no mês de maio de 2005, já que este metal quando recuperado corresponde a cerca de 50% da produção de chumbo.

No percolado gerado no Aterro Metropolitano, o Cromo variou numa faixa de 0,05 a 1,77 mg/L, com valor médio de 0,51 mg/L, e o Níquel variou entre 0,04 e 1,1 mg/L, com valor médio de 0,44 mg/L. MERBACH JR. (1989), estudando os metais pesados em percolados de um aterro sanitário experimental, obteve uma variação de 0,10 a 1,94 mg/L para o Cromo e de 0,15 a 0,92 mg/L para o Níquel neste caso não foram encontradas diferenças significativas. Levando em consideração os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos para o metal Cromo que de 0,5 mg/L de Cr, observa-se na Figura 4.11, que este metal apresentou resultados acima do padrão estabelecido, nos meses de fevereiro, maio e junho de 2005. O Níquel não apresentou dentro do período considerado resultados que excedessem aos limites permitidos para lançamentos de efluentes, que é de até 2,0 mg/L.

Quanto à relação entre precipitação e os metais pesados, percebe-se na Figura 4.10, que quando ocorre uma diminuição nos índices de chuva, os valores dos metais tendem a diminuir, como pode ser identificado em março e novembro de 2004. O inverso também ocorre, como por exemplo, nos meses de junho de 2004 e maio de 2005, identifica-se elevados índices de chuva e aumento nos valores dos metais. Esta relação entre precipitação e metais pesados pode ser atribuída à relação existente entre pH e precipitação, já que com a redução da nos índices pluviométricos o pH tende a elevar-se, conforme pode ser visto na Figura 4.1, o que facilita a precipitação dos metais pesados, entretanto, quando o aumento na pluviometria implica em redução do pH, os

metais pesados podem apresentar uma maior mobilidade. Todavia, esta relação entre os índices pluviométricos e metais pesados não é observada em todo tempo estudado, no mês de julho de 2005, por exemplo, ocorreu uma redução nos índices pluviométricos e um aumento nos valores de metais, o que pode ser associada ao incremento de percolado novo.

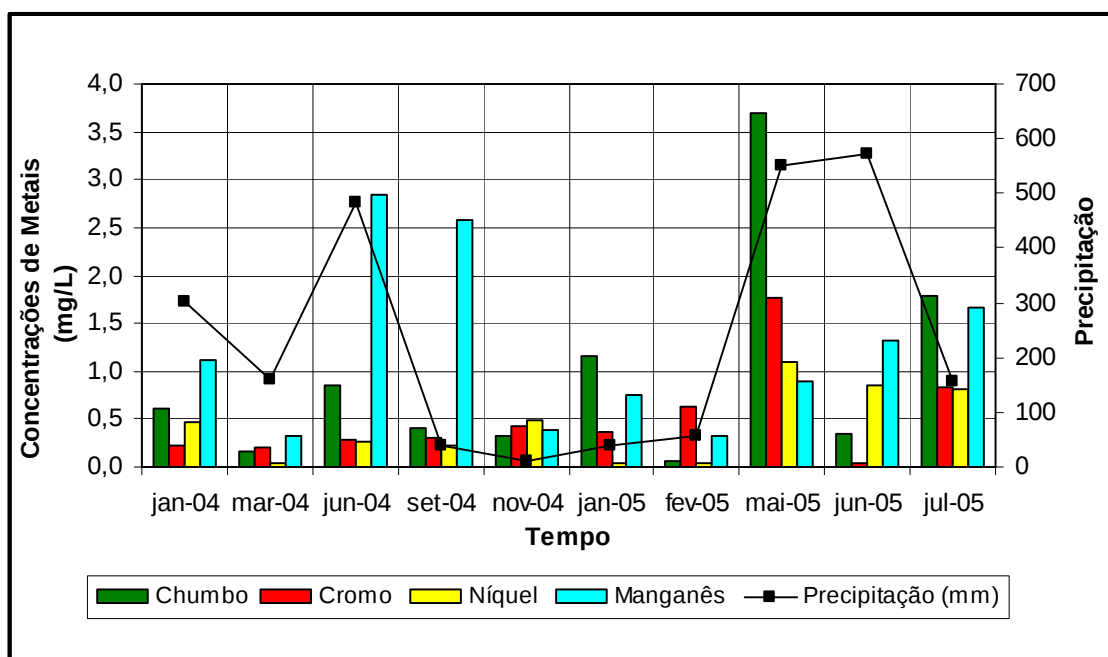


Figura 4.10 - Valores do Chumbo, Cromo, Níquel e Manganês, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

b) Cobre, Zinco, Cádmio e Cobalto.

A variação do metal Cobre para o percolado gerado no Aterro Metropolitano apresentou uma faixa de variação entre 0,03 e 1,20 mg/L, com valor médio de 0,41 mg/L, conforme Figura 4.11, já MERBACH JR. (1989), estudando os metais pesados em percolados de um aterro sanitário experimental, obteve uma variação inferior para o metal Cobre de 0,04 a 0,15 mg/L. Entretanto em termos de lançamento, o Cobre apresentou um valor ligeiramente elevado apenas no mês de setembro de 2004, já que conforme CONAMA N°. 357/2005, é permitido um valor de até 1,0 mg/L.

Para o metal Zinco foi encontrada uma variação de 0,06 a 0,89 mg/L, tendo uma média de 0,49 mg/L. Esta média aproximou-se do valor encontrado nos estudos de CHIAN e DEWALLE (1976, 1977a) *apud* QASIM e CHIANG (1994), que foi de 0,40 mg/L para percolados de aterros com idade de até 5 anos, reduzindo sua concentração

com a idade do aterro. Considerando o lançamento deste efluente, a variação do metal Zinco encontra-se dentro do valor determinado pelo CONANA N°. 357/2005 que é de 5,0 mg/L.

No percolato gerado no Aterro Metropolitano, o Cádmio variou de 0,01 a 0,21 mg/L, sendo permitido o lançamento em corpos hídricos de até 0,2 mg/L, o que significa uma discreta elevação, devendo ser observado em período de tempo maior.

O metal Cobalto apresentou uma variação de 0,05 a 0,72 mg/L ao longo do tempo. O CONAMA não estabelece valores para lançamento deste metal em corpos hídricos, o que dificulta sua análise em termos comparativos.

Pode ser observado ao longo do tempo estudado que a mobilização destes metais é considerável, não apresentado ainda uma diminuição ou estabilidade nos resultados. Quanto à relação destes metais com os índices de precipitação, percebe-se que ocorreu uma discreta influência, entretanto é necessário que se observe um período tempo maior.

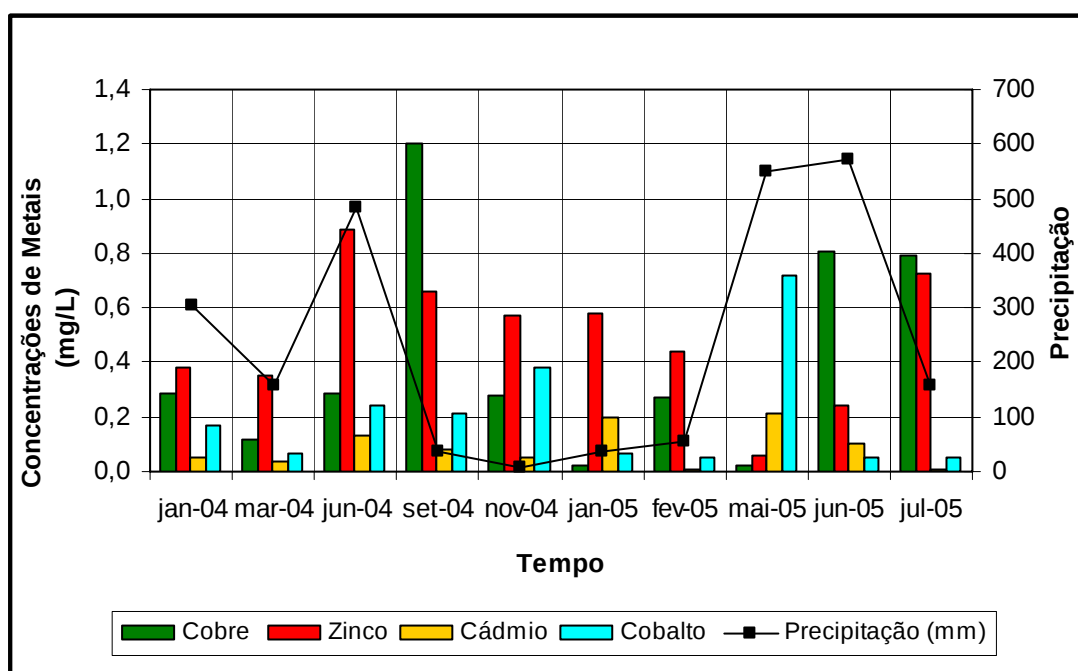


Figura 4.11 - Valores do Cobre, Zinco, Cádmio e Cobalto, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

c) Ferro

Através da Figura 4.12, observam-se grandes oscilações na quantidade do metal ferro ao longo do tempo estudado, variando de 0,29 a 76,6 mg/L, com valor médio de 22,3 mg/L. Para as oscilações deste metal, deve-se levar em consideração que este aterro apresenta células encerradas e células ainda em operação, e que na estação de tratamento do percolado chega um afluente oriundo de todas as células, com fase de degradação variada.

Segundo TCHOBNOUGLOUS *et al* (1994) os percolados gerados em aterros com idade de até 2 anos, apresentam valores de concentrações de ferro variando de 50 a 1.200 mg/L, com valor médio em torno de 60 mg/L, com redução dessas concentrações a medida que a idade do aterro aumenta. Já MELO (2000), estudando o percolado do Aterro Sanitário Metropolitano de Salvador, encontrou uma concentração de ferro de 818 mg/L. Desta forma, os resultados encontrados para o ferro do percolado gerado no Aterro Metropolitano foram baixos, tendo em vista que se trata de um aterro novo, com fase metanogênica instável e que tendem apresentar concentrações maiores, entretanto MONTEIRO (2003) relata que no momento inicial de disposição dos resíduos no aterro, os metais apresentam-se com uma consistência mais agregada, como por exemplo, ferro metálico na forma sólida, podendo apresentar uma concentração de metal elevada apenas de forma pontual, estando na forma iônica pouco dissociada, e assim, o percolado gerado pode apresentar baixas concentrações de metais. Com o passar do tempo os metais irão dissociar-se gradativamente de sua forma metálica para a forma iônica e se dispersarão em toda a massa de lixo o que pode caracterizar um aumento nas concentrações dos metais encontrados nos percolados. Este fato pode ser atribuído às baixas concentrações de ferro encontradas no percolado em estudo.

De acordo com os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pelo CONAMA N°. 357/2005, nos meses de março de 2004, fevereiro, maio e junho de 2005 apresentaram resultados inferiores ao padrão estabelecido que é de 15 mg/L de Fe, os demais meses apresentaram valores excedentes, sendo necessário submeter o percolado gerado no Aterro Metropolitano a um processo de tratamento, a fim de reduzir as concentrações deste metal de forma a não impactar o meio ambiente.

Quanto à precipitação, observa-se que no período de janeiro a novembro de 2004, ocorre uma relação direta entre o ferro e a precipitação, já de janeiro a julho de 2005 está relação ocorre de maneira inversa. A primeira relação pode ocorrer, tendo em

vista que a redução nos índices de precipitação acarreta uma elevação nos valores do pH e consequentemente eleva-se também a capacidade de precipitação dos metais, podendo apresentar valores reduzidos de ferro. Porém para a segunda relação, onde o aumento da precipitação pode está ocasionando uma diminuição nos resultados do metal ferro, pode ser associado ao processo de diluição deste metal, o que também dever ser levado em consideração, é a forma que se encontram os metais no interior da massa de lixo.

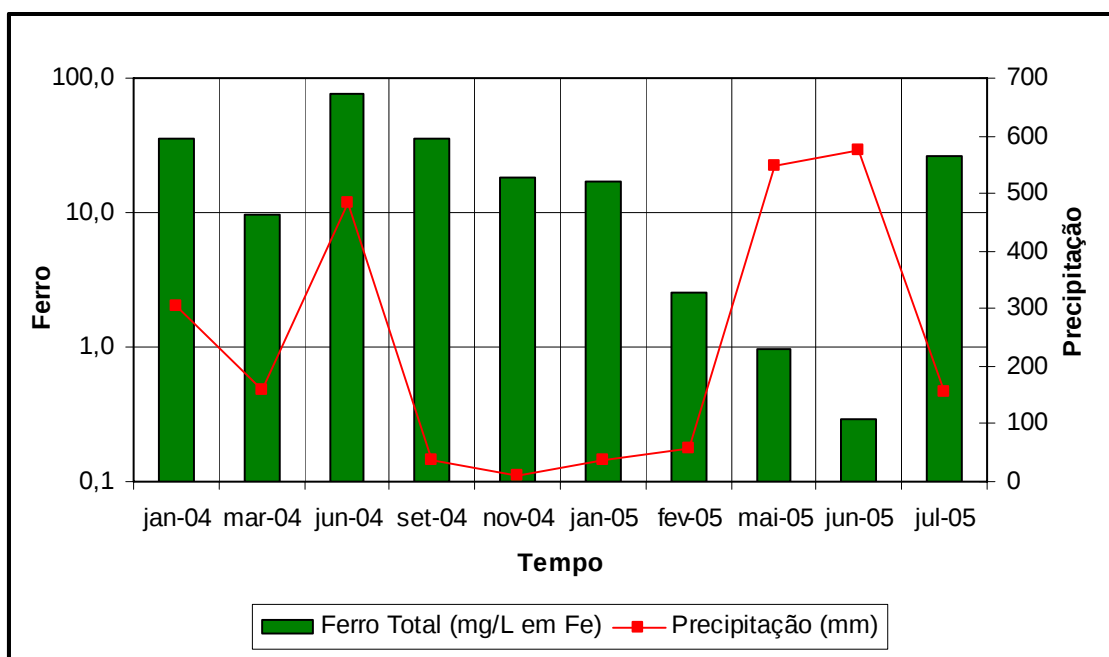


Figura 4.12 - Valores do Ferro, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro Metropolitano de João Pessoa, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

4.2 – Apresentação e Discussão dos Resultados do Percolado do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife.

4.2.1- Efeito do tempo e da precipitação na qualidade do chorume da Muribeca

4.2.1.1 - Parâmetros Físico-Químicos

a) pH

O pH encontrado para o percolado do Aterro da Muribeca possui uma faixa de variação entre 7,3 e 8,7, com um valor médio ao longo do tempo estudado de 8,14. Estes valores encontrados para o Aterro da Muribeca são típicos de percolado provenientes de aterros com idade já avançada. EHRIG (1989), afirma que o pH de percolados que se encontra na fase metanogênica, apresentam uma variação de 7,5 a 9,0, sendo assim de acordo com a literatura técnica citada, os resultados do pH obtidos para o percolado gerado no Aterro da Muribeca podem caracterizar uma fase de degradação avançada, fase metanogênica, com oscilações ao longo do tempo estudado devido o incremento de percolado novo, como também a operacionalidade das células, já que trata-se de um aterro controlado de grande porte, onde várias células são operadas de forma simultânea o que pode ocasionar uma entrada de ar devido a mobilização de equipamentos e recalques superficiais.

Estas oscilações nos resultados do pH, também podem ser associadas aos índices de precipitação que conforme Figura 4.13, quando ocorre uma diminuição nas precipitações o pH tende a aumentar seus valores, isto pode ser observado nos meses de março, setembro, novembro de 2004, como também em julho de 2005. Identificou-se também que quando ocorre uma elevação no volume de chuva, os resultados do pH apresentam uma redução, é o que ocorre nos meses de janeiro e junho de 2004, e em maio de 2005, esta redução possivelmente deve ocorrer pela maior concentração de CO₂ e O₂ dissolvido nas águas de chuva, que tendem a reduzir os valores do pH. Percebe-se que nos meses de fevereiro de 2005 e principalmente em junho do mesmo ano, onde ocorreu um aumento de precipitação, também se identificou uma elevação nos resultados de pH, este fato pode estar relacionado com o dia em que a coleta foi realizada e o dia de maior precipitação, podendo ter ocorrido um período chuvoso logo após a coleta das amostras de percolado, de forma a interferir na relação inversa entre precipitação e o pH.

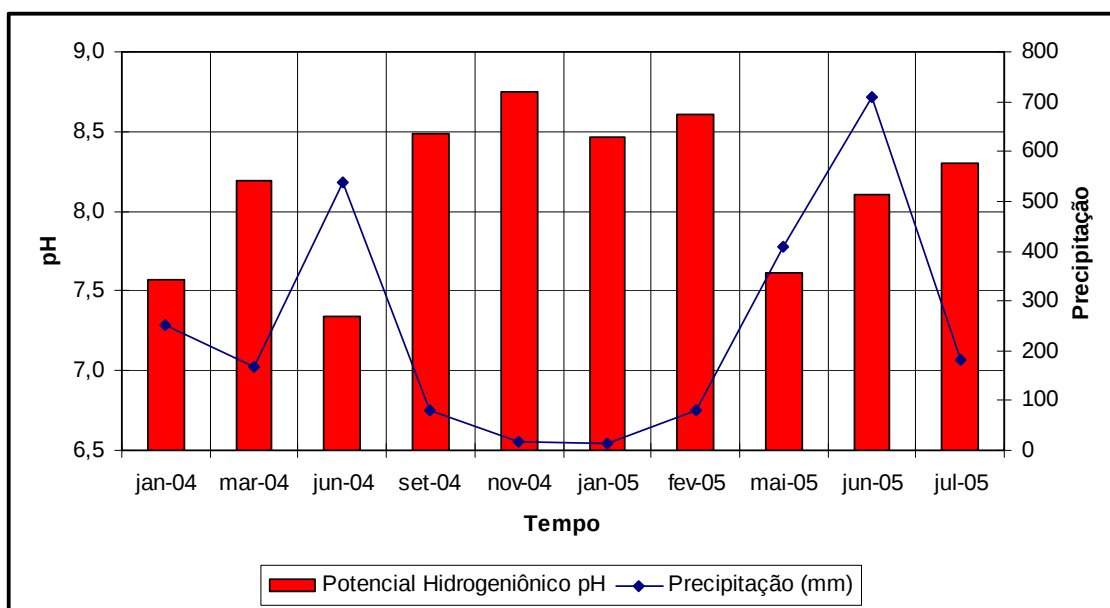


Figura 4.13 - Valores do pH, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

b) Alcalinidade Total

A alcalinidade total apresentou um valor médio, no período estudado, de 13.125 mg/L em CaCO_3 com valores mínimos de 4.719 e máximos de 20.218 mg/L, em CaCO_3 , conforme ilustrado na Figura 4.14. SEGATO e SILVA (2000), estudando o percolato gerado no Aterro de Bauru, com idade também superior a 10 anos, obtiveram valores mínimos e máximos, respectivamente de 8.500 e 13.500 mg/L em CaCO_3 , inferiores aos encontrados para o percolato do Aterro da Muribeca. Esta elevação para os resultados da Muribeca, pode ser explicada pelo incremento de percolato proveniente de resíduos novos que são depositados nas células que compõe o aterro, pois apesar de possuir uma idade avançada, o Aterro da Muribeca ainda encontra-se em operação.

Valores elevados de alcalinidade são significantes, pois segundo PINTO (2000), ocorrem devido os bicarbonatos que são responsáveis pelo efeito de tamponamento. Para isto acontecer a faixa de pH deve está oscilando entre 6,0 a 8,0. A variação encontrada para pH do Aterro da Muribeca não apresentou grandes diferenças, já que variou de 7,3 a 8,7. Desta foram, possivelmente o percolato do Aterro da Muribeca encontra-se com uma capacidade tampão relevante. FLECK (2003) relata da importância do monitoramento da alcalinidade, visto sua queda ser um dos primeiros indicativos de uma inibição na metanogênese, o que, caso ocorra, virá acompanhada de uma ascensão das concentrações de ácidos graxos voláteis.

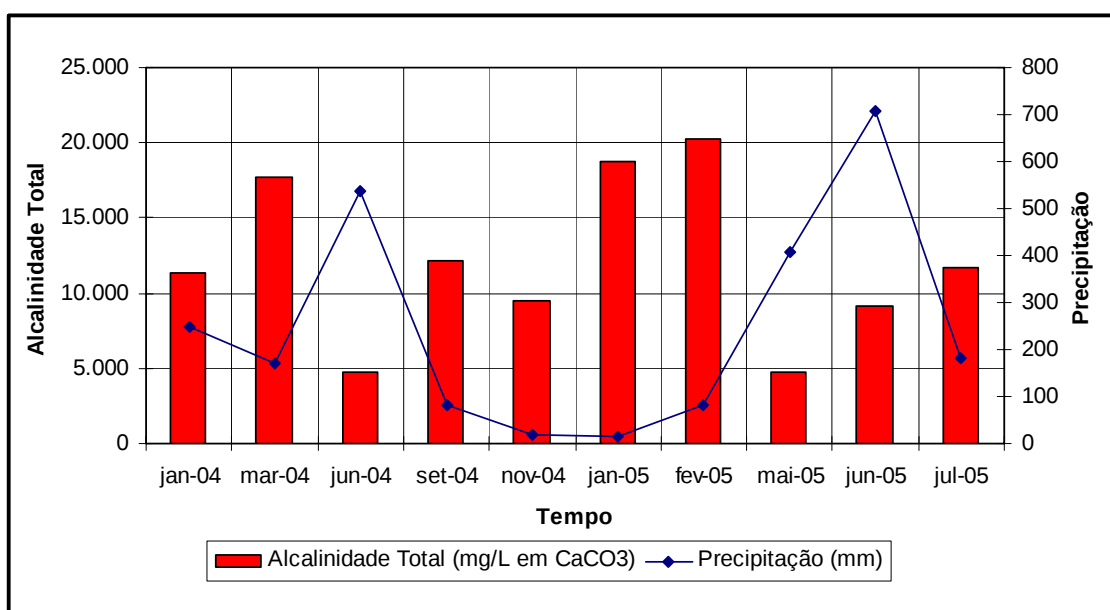


Figura 4.14 - Valores da Alcalinidade Total, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

Quanto à relação deste parâmetro com a precipitação observa-se que nos meses de março e setembro de 2004, como também em janeiro e julho de 2005, ocorreu uma redução nos valores de precipitação e uma elevação nos valores da alcalinidade, para o mesmo período de tempo o pH encontrava-se elevado, conforme ilustrado na Figura 4.13, já para os meses de junho de 2004 e maio de 2005 ocorreu o inverso, um aumento nos índices de precipitação e uma diminuição nos resultados da alcalinidade. Esta variação está relacionada com a capacidade tampão do meio, já que para o mesmo período de tempo estudado identificou-se também uma redução nos valores do pH. Deve-se considerar também que com o aumento de precipitação pode ocorrer o arraste de substâncias intermediárias de decomposição do lixo (ácidos orgânicos) que tendem a diminuir os valores de pH.

c) Condutividade Elétrica

Os resultados da condutividade elétrica encontrados para o percolado do Aterro da Muribeca, conforme Figura 4.15, teve variação entre 7.410 e 22.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com um valor médio de 16.158 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estes valores são considerados elevados, tendo em vista que o Aterro da Muribeca possui uma idade avançada e deveria apresentar valores reduzidos de condutividade já que se encontra em uma fase de decomposição elevada.

Possivelmente estes valores elevados de condutividade deve-se ao incremento do percolato novo, gerado pelos resíduos recém aterrados. A mistura de percolato proveniente de resíduos novos e antigos, na entrada da estação de tratamento, pode ser responsável pela grande faixa de oscilações identificadas ao longo do tempo estudado. No mês de janeiro de 2004 não foi possível determinar o valor da condutividade elétrica, devido problemas laboratoriais.

ROSS (1990) *apud* MENEZES (1995), relata que análises realizadas em um aterro dos Estados Unidos revelaram que a condutividade varia de acordo com o tempo de estabilização dos resíduos da seguinte maneira: logo após o aterramento a condutividade atingiu valores de aproximadamente 19.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, entrando na fase metanogênica estável com valor aproximado de 26.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e chegando na fase de maturação final com valor de 12.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para verificação desta evolução no percolato do Aterro da Muribeca é necessário um período maior de observação tendo em vista que o mesmo ainda se encontra em operação.

Se for observado o comportamento da alcalinidade, Figura 4.14, e da condutividade elétrica, Figura 4.15, percebe-se uma relação positiva ao longo do período estudado entre estes dois parâmetros. MENEZES (1995), relata que a condutividade elétrica se correlaciona positivamente com a concentração de cloretos, de minerais dissolvidos ou de sólidos totais dissolvidos na amostra, como também com a alcalinidade principalmente a alcalinidade ocorrida pelos bicarbonatos, quando a fração mais importante dos ânions está composta por ácidos fracos.

Quanto à relação da condutividade elétrica e os índices de precipitação, observa-se na Figura 4.15, que ao longo do período estudado, apenas com exceção do mês de fevereiro de 2005, ocorre uma relação inversa entre estes dois parâmetros, ou seja, uma diminuição nos índices de precipitação e uma elevação nos resultados de condutividade elétrica, que podem ser atribuídos pela maior concentração do percolato como também pelo aumento nos valores da alcalinidade. O contrário também pode estar ocorrendo, ou seja, a redução dos resultados da condutividade com o aumento da precipitação pode ser atribuída à diminuição destes fatores.

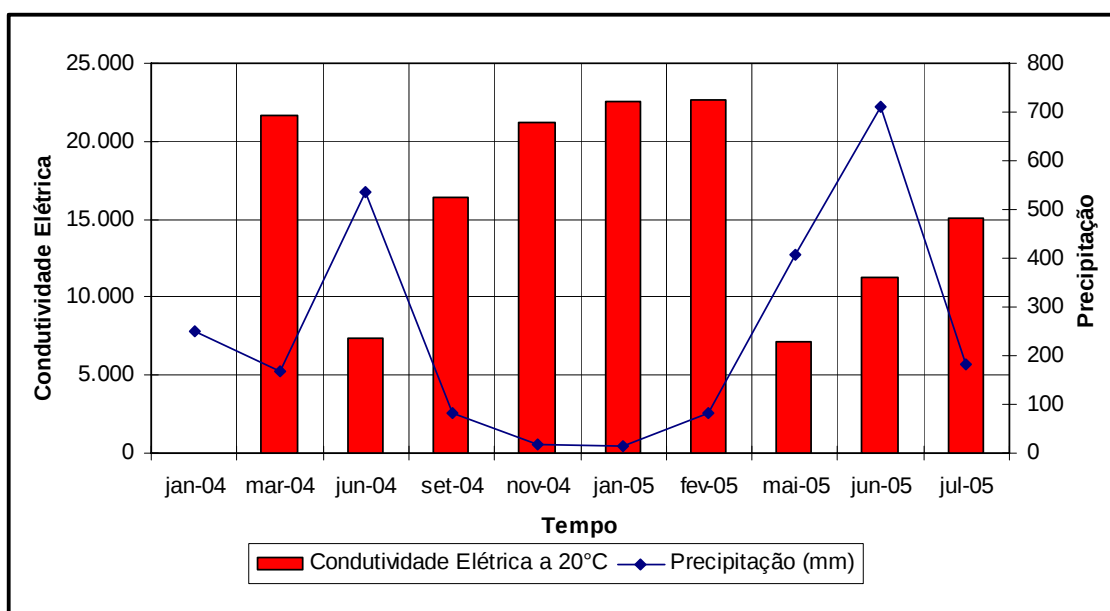


Figura 4.15 - Valores da condutividade elétrica, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

d) Cloretos

Os resultados de cloretos observados no percolado gerado no Aterro da Muribeca, conforme ilustrado na Figura 4.16, apresentaram valores mínimos de 760 mg/L e máximos de 3.400 mg/L. SEGATO e SILVA (2000), em suas análises para caracterizar o percolado produzido no Aterro de Bauru, no Estado de São Paulo, obtiveram valores de cloretos que variaram de 4.300 mg/L a 6.600 mg/L, já OLIVEIRA e MOTA (1998) *apud* FLECK (2003), monitorando o percolado gerado no lixão de Jangurussu, na cidade de Fortaleza obteve uma faixa de variação para o cloreto, variando de 370 a 9.768 mg/L. Sendo assim, a faixa de variação encontrada para o percolado gerado no Aterro da Muribeca encontra-se com valores inferiores aos encontrados para os aterros de resíduos sólidos brasileiros citados. Desta forma, o percolado que é gerado no Aterro da Muribeca provavelmente não deve possuir concentrações elevadas de sais.

Quanto à relação entre este parâmetro e a precipitação, foi identificada uma relação inversa, ou seja, nos meses de baixa precipitação, ocorreu uma elevação nas concentrações do cloreto, já nos meses onde o índice de precipitação apresentou uma elevação a concentração de cloreto teve uma redução. No mês de fevereiro de 2005 não foi identificada uma relação inversa, pois se observou um leve aumento na precipitação

como também um aumento no resultado do cloreto, este fato é importante, pois também foi identificado para o pH, alcalinidade e condutividade elétrica, o que faz atribuir uma relação entre estes parâmetros.

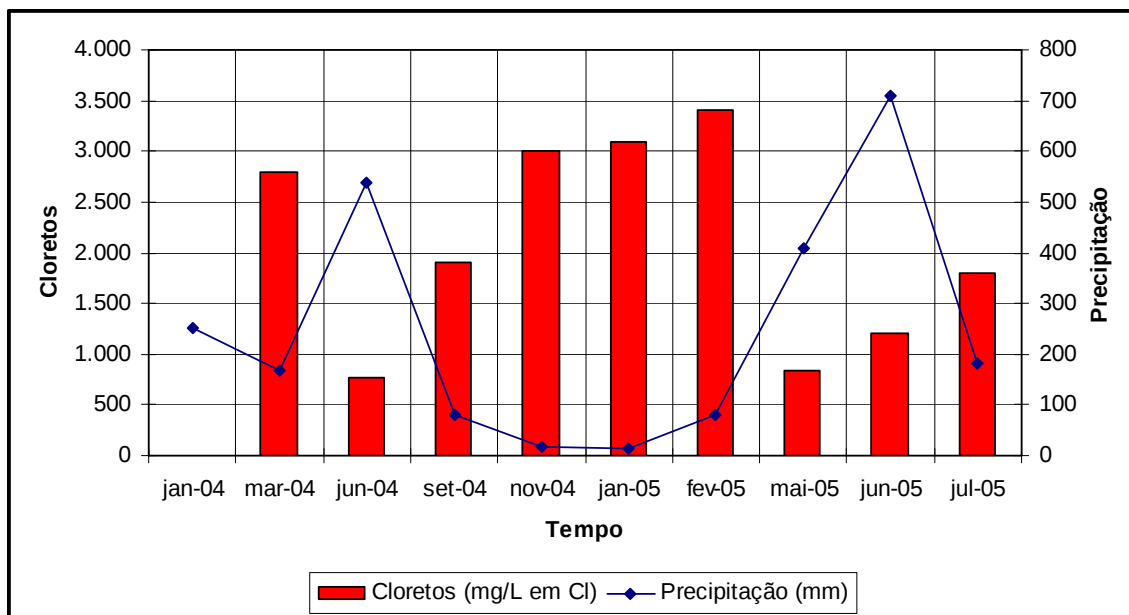


Figura 4.16 - Valores do cloreto, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

e) Fósforo

De acordo a Figura 4.17, da variação do fósforo e da precipitação no período de janeiro/2004 a julho/2005, pode ser observado que o fósforo apresentou uma diminuição ao longo do período de tempo estudado, apresentando inicialmente um valor de 11,29 mg/L e chegando em julho de 2005 com um valor de 1,45 mg/L. Esta redução é coerente já que o fósforo total é um nutriente importante para o crescimento e reprodução dos microrganismos que promovem a estabilização da matéria orgânica e que devido ao processo de decomposição, tende a diminuir ao longo do tempo.

A faixa de variação encontrada para o percolato gerado no Aterro da Muribeca é característica de percolados com idade já avançada, pois segundo TCHOBANOGLIOUS *et al.* (1994), a faixa de variação do fósforo para aterros com mais de 10 anos de operação varia entre 5 a 10 mg/L. Sendo assim os valores encontrados para o percolato do Aterro da Muribeca não apresentaram valores com diferenças significativas aos valores indicados literatura citada.

No que se refere à variação entre o fósforo e a precipitação, não foi verificado, conforme Figura 4.17, uma influência relevante ao longo do tempo estudado, porém em casos pontuais como nos meses de junho de 2004 e junho de 2005, ocorre uma diminuição nos valores do fósforo com o aumento da precipitação.

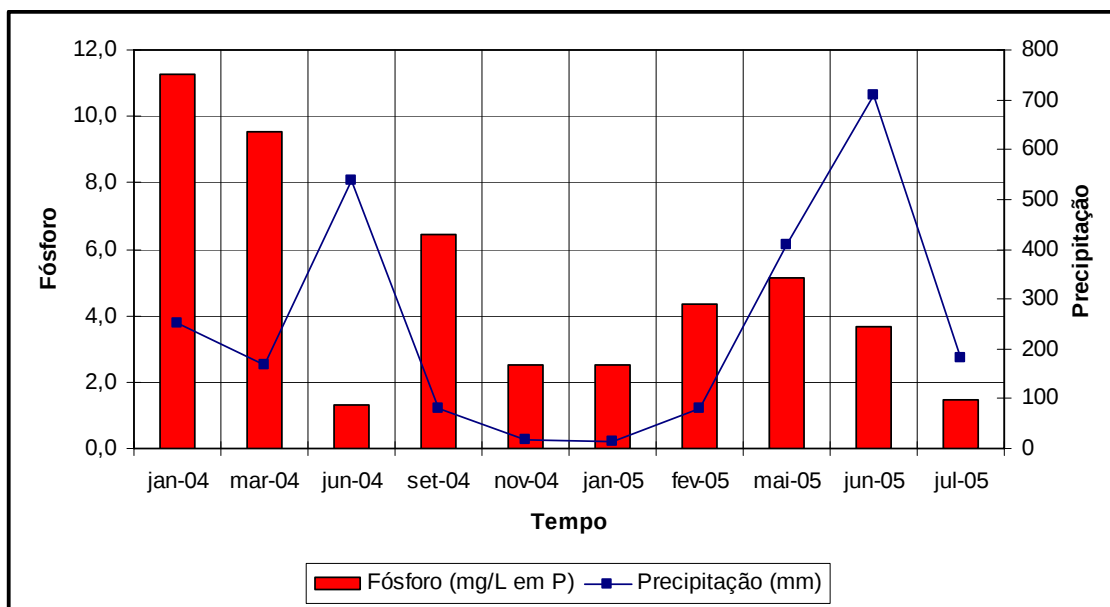


Figura 4.17 - Valores do Fósforo, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

g) Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio

Na Figura 4.18, observa-se a variação da demanda bioquímica de oxigênio – DBO₅, oscilando entre 138 e 6.746 mg/L, com valor médio de 1.562 mg/L, e da demanda química de oxigênio – DQO oscilando numa faixa de 1.718 a 10.097 mg/L, com valor médio de 4.302 mg/L. O primeiro parâmetro permite medir a quantidade de oxigênio necessária para a estabilização bioquímica da matéria orgânica, e o segundo a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar quimicamente a matéria orgânica presente no percolado.

A CETESB (1995), realizando um estudo sobre as características físico-químicas do percolado gerado em aterros pré-selecionados, obteve os seguintes resultados: Aterro de Santo André foi encontrado uma DBO₅ variando entre 1.720 a 5.790 mg/L e DQO entre 2.600 a 8.050 mg/L; o Aterro dos Bandeirantes apresentou uma DBO₅ na faixa de 3.410 a 8.430 mg/L e DQO variando entre 5.550 e 7.150 mg/L. Comparando estes resultados com os valores encontrados para o percolado gerado no Aterro da Muribeca pode-se dizer que a faixa de oscilação ocorrida neste aterro foi bem

maior, o que pode ser atribuído à mistura constante de percolato gerado por resíduos novos e resíduos antigos, tendo em vista que é característico de aterros com idade avançada possuírem valores de DQO e DBO_5 menores do que os aterros com menos tempo de operação, este fato ocorre devido à matéria orgânica presente no aterro está mais estabilizada.

Quanto à precipitação verifica-se uma relação relativamente discreta entre este parâmetro, a DBO_5 e a DQO, entretanto a DBO_5 mostrou-se mais sensível às variações pluviométricas do que a DQO, já que nos meses de setembro e novembro de 2004, percebe-se uma pequena diminuição nos resultados DBO_5 e também uma diminuição nos resultados da precipitação, o que está associado à falta de lixiviação, pois possivelmente os compostos orgânicos permaneceram no interior da massa de lixo, já que não houve um incremento de água funcionando como um facilitador para o deslocamento de determinados compostos presentes na célula e consequentemente gerando um percolato, em períodos de fortes precipitações, com maiores concentrações de matéria orgânica.

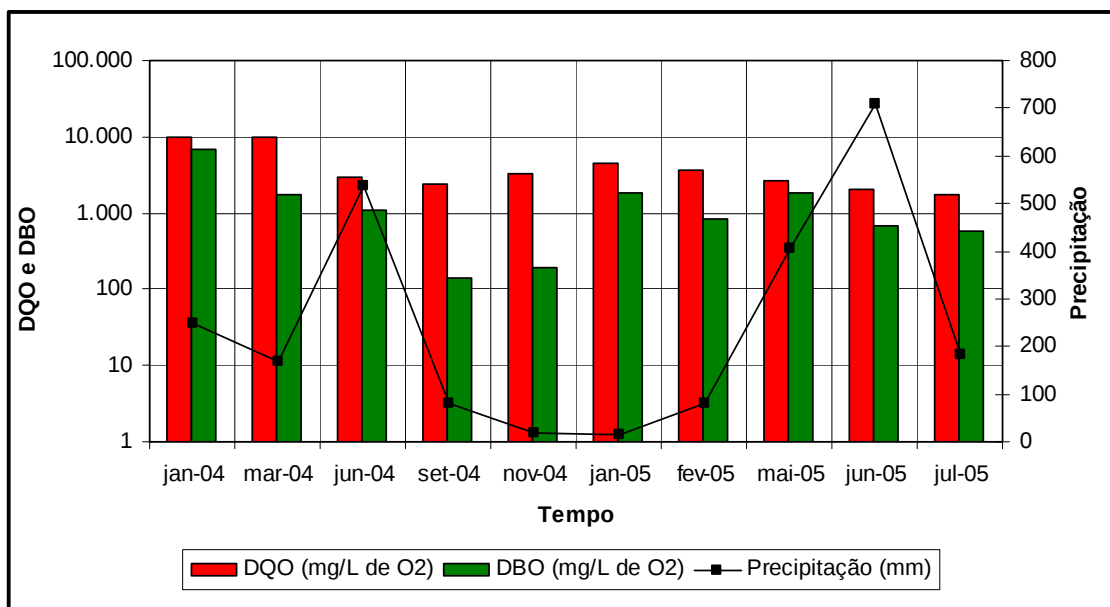


Figura 4.18 - Valores de DQO e DBO, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

h) Biodegradabilidade

Na Figura 4.19, observou-se um valor médio, para a biodegradabilidade do percolato gerado no Aterro da Muribeca de 0,33, que segundo a CETESB (1995), pode ser considerado um percolato moderadamente biodegradável. Entretanto, apesar deste

valor médio, nos meses de janeiro de 2004 e maio de 2005 foi identificada uma elevação dos resultados da relação entre DBO_5/DQO o que pode ser atribuído à diminuição da precipitação e conseqüente concentração da DBO_5 , como também ao incremento de percolado novo gerado pelos resíduos dispostos nas células ainda em operação. Apesar do valor médio encontrado para biodegradabilidade do percolado do Aterro da Muribeca ser característico de um aterro com idade avançada, observa-se na Figura 4.19 grandes oscilações, chegando a apresentar um valor de 0,06 nos meses de setembro e novembro de 2004, o que caracteriza uma difícil degradabilidade e, por exemplo, uma deficiência para o tratamento biológico, ao contrário do que acontece no mês de janeiro de 2004 e maio de 2005. Estas alterações nas características do percolado do Aterro da Muribeca indicam que o aterro possui resíduos velhos e resíduos novos aterrados que podem apresentar concentrações diferenciadas ao longo do tempo, dependendo do local de disposição do resíduo novo, da operacionalidade das células, e dos índices de precipitação.

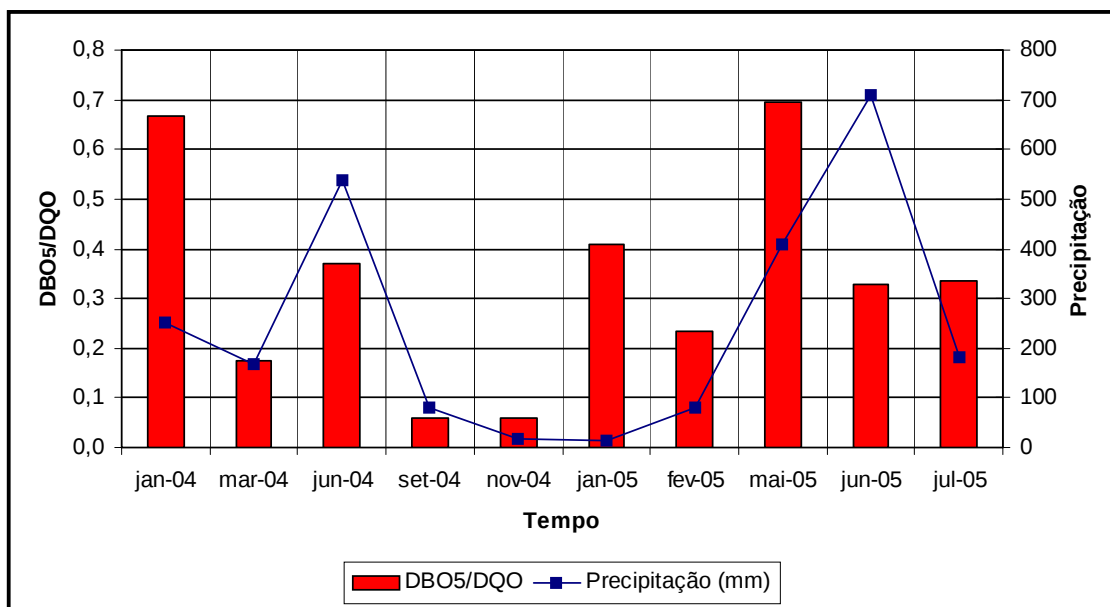


Figura 4.19 - Valores da Biodegradabilidade, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

i) Sólidos Totais - ST, Sólidos Totais Dissolvidos – STD e Sólidos Totais Voláteis - STV.

Para caracterização do percolado gerado no Aterro da Muribeca, foram relacionados com o tempo e com a precipitação os sólidos totais, totais voláteis e totais dissolvidos, conforme Figura 4.20, e observou-se que os sólidos totais são compostos em grande parte por sólidos totais dissolvidos, em termos percentuais os sólidos dissolvidos representa cerca de 96% dos sólidos totais. Desta forma, pode-se dizer que dentro do período de tempo estudado, uma parcela significativa dos sólidos totais encontrados no percolado gerado no Aterro da Muribeca é de fácil degradabilidade.

Os resultados encontrados para os sólidos totais voláteis, representaram cerca de 27% dos sólidos totais, considerando este resultado, pode-se dizer que o percolado gerado no Aterro da Muribeca, para o período de tempo considerado, possui uma quantidade pequena de matéria orgânica biodegradável, resultado este que condiz com a relação DBO_5/DQO encontrada para o percolado deste aterro. BOTELHO (1978) *apud* SCHALCH (1992), relata que os sólidos totais voláteis e a demanda química de oxigênio são dois parâmetros químicos que expressam o teor de matéria orgânica. Particularmente no caso dos sólidos, os voláteis são considerados os mais representativos, sendo sua correlação com a DQO bastante evidente constituindo-se em uma boa medida da totalidade da matéria orgânica, tanto biodegradável como a não biodegradável.

Como pode ser observado na Figura 4.20, ocorreu uma redução nos resultados deste parâmetro, com o decorrer do tempo, apresentando valores em janeiro de 2004 de 4.578 mg/L e aproximadamente um ano depois chega a obter valores de até 1.695 mg/L.

Quanto à relação entre a precipitação e os parâmetros estudados observa-se que nos meses de junho de 2004 e em maio e junho de 2005 ocorreram os maiores índices precipitação, sendo também estes meses os de menores concentrações de sólidos, o que pode ser atribuído ao processo de diluição do percolado ocasionado pelo excesso de água que percola no interior da massa de lixo. Entretanto nos meses de março, setembro e novembro de 2004 como também em janeiro e fevereiro de 2005, os valores baixos de precipitações implicaram em aumento na concentração dos sólidos totais e totais dissolvidos. Já os resultados dos sólidos totais voláteis, não apresentaram relações significantes, ao longo do tempo estudado, com a precipitação.

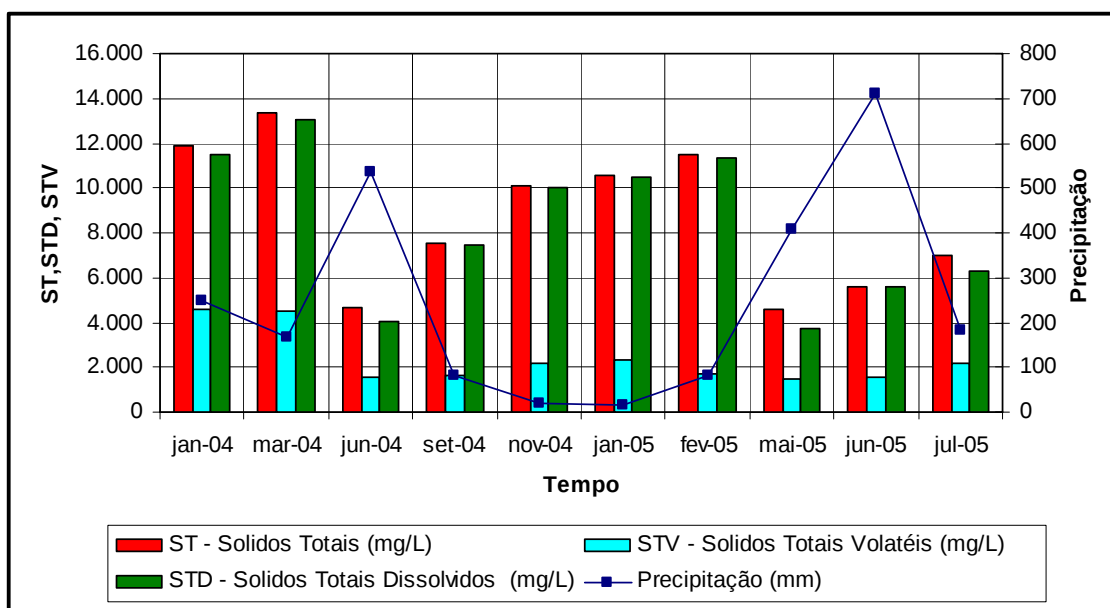


Figura 4.20 - Valores dos Sólidos Totais, Totais Dissolvidos e Totais Voláteis, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

4.2.1.2 - Parâmetros Microbiológicos

a) Coliformes Totais e Termotolerantes

Os valores obtidos para o percolato gerado no Aterro da Muribeca da concentração de coliformes totais e termotolerantes, conforme Figura 4.21, apresentaram a ordem de grandeza variando de 10^4 a 10^8 . Esta contaminação deve ter origem, principalmente, nos papéis higiênicos usados, fraldas descartáveis, dejetos e animais mortos presentes na composição do aterro. Esta variação nos resultados pode ser justificada pelo percolato oriundo das células ainda em operação.

Com relação à precipitação, pode ser verificado na Figura 4.21, da variação dos coliformes totais e termotolerantes com a precipitação no período de janeiro/2004 a julho/2005, que não ocorreu uma relação significativa entre estes parâmetros, observando apenas que após um período sequenciado de pouca precipitação, como no mês de setembro e novembro de 2004, e em janeiro e fevereiro de 2005, os valores de coliformes totais e termotolerantes apresentaram uma redução, elevando-se no período seguinte com a elevação da precipitação.

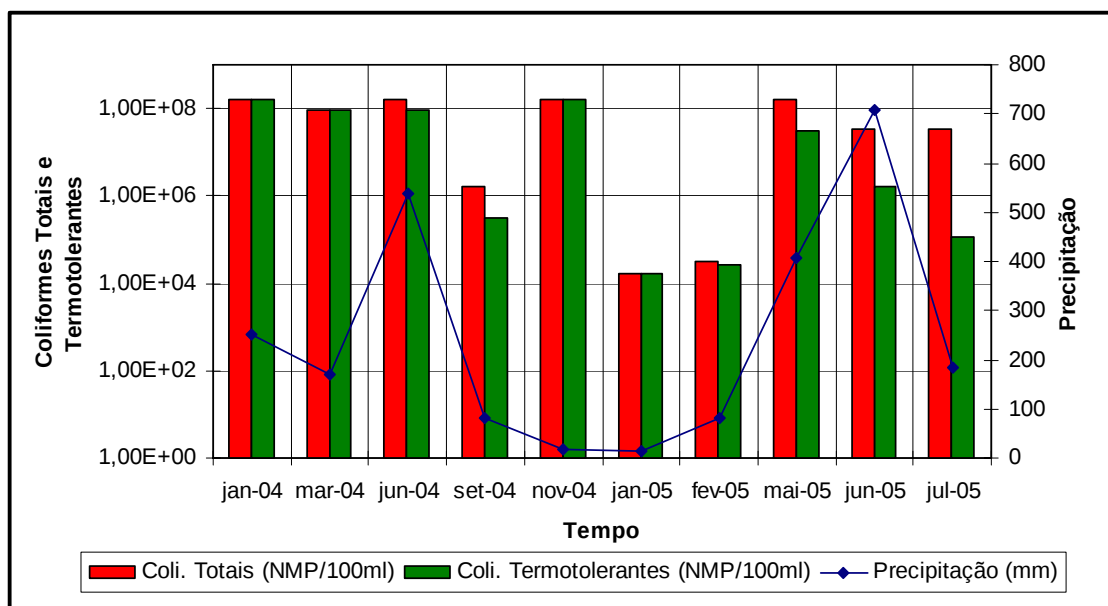


Figura 4.21 - Valores dos Coliformes Totais e Termotolerantes, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

4.2.1.3 - Metais Pesados

a) Chumbo, Cromo, Níquel e Manganês

Através da Figura 4.22, verifica-se que em grande parte do tempo estudado os resultados dos metais pesados não ultrapassaram o valor de 1,0 mg/L. Vê-se também que ao longo do período, não apresentaram estabilidade ou diminuição nos seus valores, apesar de se tratar de um percolato proveniente de um aterro de resíduos sólidos com idade já avançada, este fato pode ser justificado devido o aterro ainda se encontrar em operação, recebendo diariamente percolato proveniente da decomposição de resíduos recém aterrados, apresentando ainda uma grande mobilização nos metais. Também deve ser ressaltado que este aterro durante alguns anos recebeu resíduos industriais que possivelmente encontra-se nas camadas mais inferiores das células, e são arrastados pelo percolato novo até a estação de tratamento. No mês de janeiro de 2004 não foi possível a determinação destes metais devido problemas ocorridos na realização da coleta.

Foram identificadas as seguintes variações para os metais do percolato gerado no Aterro da Muribeca: o metal Chumbo apresentou uma variação entre 0,06 a 4,22 mg/L, com valor médio de 0,77 mg/L, o Cromo variou de 0,05 a 1,42 mg/L, com valor médio de 0,47 mg/L, o Níquel teve oscilação entre 0,04 e 0,76 mg/L, com valor médio

0,31 mg/L e por último o Manganês que variou entre 0,20 a 1,13 mg/L, com valor médio de 0,48 mg/L. ALLEM (1987) *apud* CETESB (1995), considera que para percolados gerados em aterros sanitários de resíduos domiciliares com idade superior a 20 anos, como é o caso do Aterro da Muribeca, os valores médios encontrados para os metais pesados são: Chumbo em torno de 0,06 mg/L; Cromo 0,02 mg/L, Níquel 0,03 e por último o Manganês com valor de 0,19 mg/L. Desta forma, comparando os resultados encontrados para o percolado gerado no Aterro da Muribeca com estes valores médios, percebe-se que os mesmos estão bem mais elevados do que a literatura citada.

Considerando o lançamento do percolado gerado no Aterro da Muribeca em corpos hídricos, devem-se levar em consideração os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pelo CONAMA Nº. 357/2005, para metais pesados, onde o Manganês não deve ultrapassar 1,0 mg/L, o Níquel 2,0 mg/L, o Chumbo e o Cromo 0,5 mg/L. Na Figura 4.24, observa-se que o Manganês excedeu o seu limite apenas no mês de novembro de 2004, o metal níquel ao longo do tempo estudado não apresentou resultados superiores aos padrões de lançamento. Já o metal Chumbo apresentou nos meses de março de 2004, como também em janeiro e maio de 2005 valores que excederam aos padrões de lançamento. O metal Cromo teve resultados superiores aos estabelecidos pelo CONAMA nos meses de novembro de 2004, e em fevereiro, maio e julho de 2005.

Quanto à relação entre estes metais pesados e a precipitação observa-se uma discreta influência que não é constante ao longo do período estudado, como por exemplo, o metal Chumbo que no mês de junho de 2004, teve uma redução com o aumento da precipitação, já em maio de 2005 o mesmo metal teve o seu maior valor com o aumento da precipitação. O Manganês teve tanto o seu maior valor, como também o e menor resultado no período em que os índices de precipitação foram menores. Desta forma, é necessário que se observe durante um período de tempo maior, a relação entre esses metais e a precipitação.

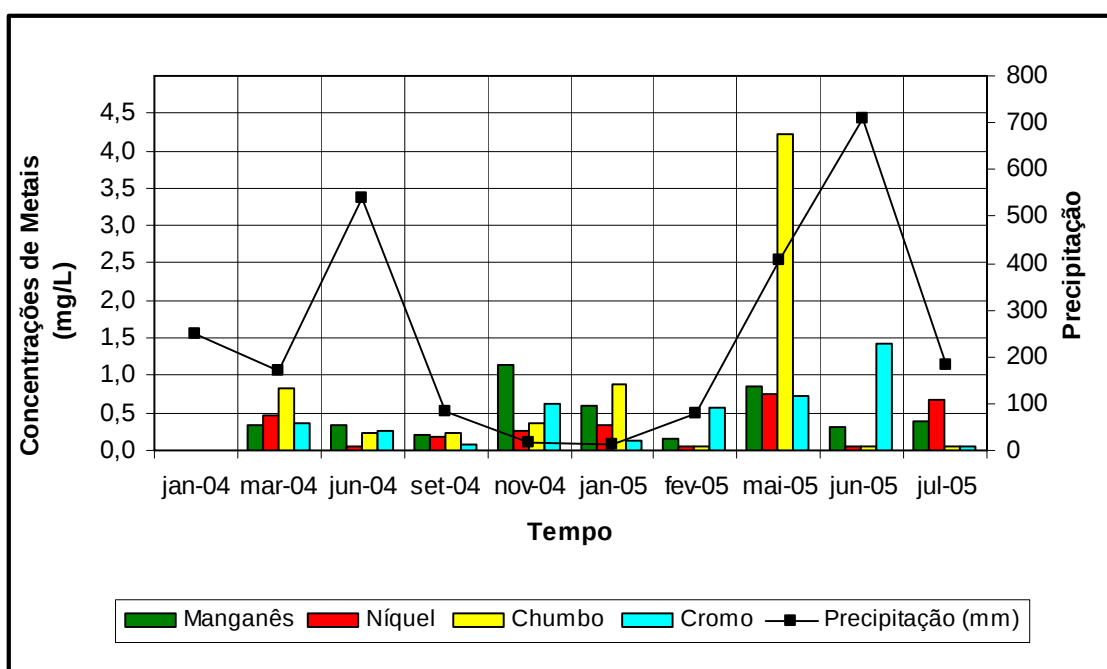


Figura 4.22 - Valores do Chumbo, Cromo, Níquel e Manganês, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

b) Cobre, Zinco, Cádmio e Cobalto.

Na Figura 4.23, referente à variação dos metais pesados e a precipitação no período de janeiro/2004 a julho/2005, o metal Cobre apresentou valor médio de 0,39 mg/L, o Zinco valor médio de 0,36 mg/L, para o metal Cádmio o valor médio foi de 0,09, e por último, o Cobalto apresentou valor médio de 0,16 mg/L. ALLEM (1987) *apud* CETESB (1995), considera que para percolados gerados em aterros sanitários com idade superior a 20 anos, os valores médios encontrados para o metal pesado Cobre é de 0,15 mg/L, para o Zinco o valor médio é de 0,95 mg/L, e por último, o metal Cádmio que é de 0,005 mg/L. Sendo assim, resultados encontrados no percolado gerado no Aterro da Muribeca, apenas o Zinco apresentou valor abaixo da literatura citada. Como já foi citado anteriormente, o Aterro da Muribeca recebeu durante algum tempo resíduos indústrias que ainda devem ter influência sobre a composição do percolado gerado neste aterro, tendo em vista que este percolado quando drenado para a estação de tratamento de chorume é proveniente das células compostas de resíduos velhos, contendo também resíduos industriais, com grande concentração de metais pesados, e das células compostas de resíduos novos. Por este fato, o percolado gerado no Aterro da Muribeca possui características diversificadas.

Quanto ao lançamento deste percolado em corpos hídricos o CONAMA N°. 357/2005 ressalta que o metal Cobre não deve ultrapassar o valor de 1,0 mg/L, e conforme a Figura 4.23 apenas no mês de novembro de 2004 este metal apresentou valor superior ao estabelecido pelo CONAMA. O metal zinco e o cádmio, não apresentaram ao longo do tempo valores superiores aos padrões estabelecidos para lançamento de efluentes, que é de 5,0 e 0,2 mg/L respectivamente. No caso do Cobalto, o CONAMA N°. 357/2005 não faz referência aos padrões de lançamento. De acordo com a Figura 4.25, este metal teve uma variação de 0,04 a 0,54 mg/L, apresentando oscilações ao longo do tempo.

Na análise de todos os metais não se verifica, dentro do período considerado para a pesquisa, uma estabilização nos seus valores, como também não é perceptível que a precipitação tenha alguma influência nos seus resultados.

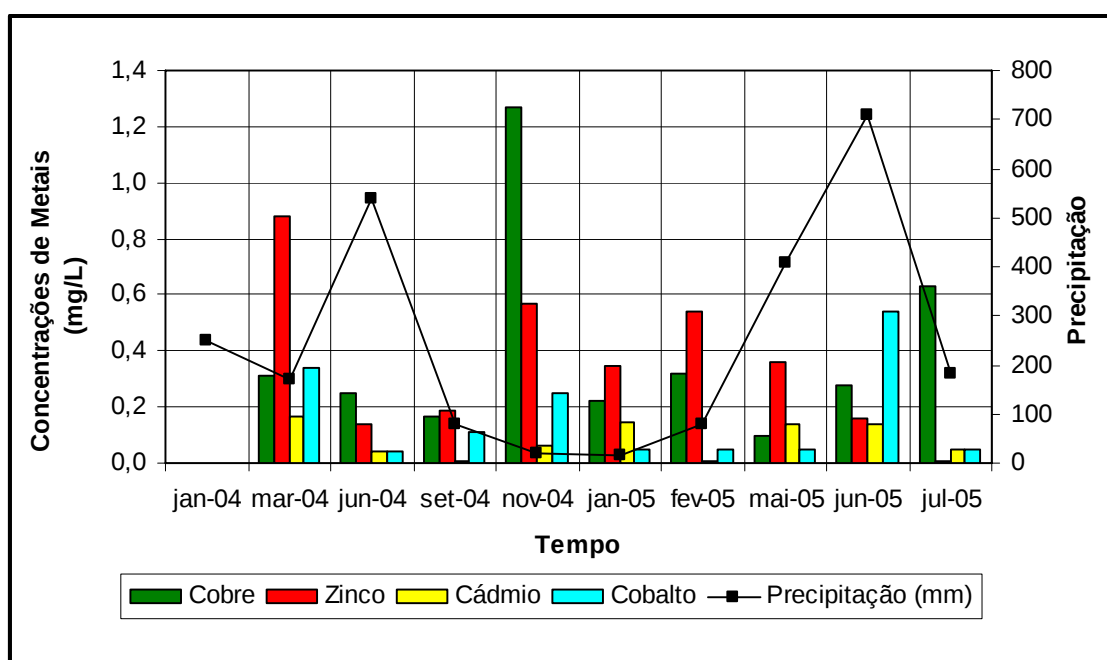


Figura 4.23 - Valores do Cobre, Zinco, Cádmio e Cobalto, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

c) Ferro

A Figura 4.24, referente à variação do metal ferro e da precipitação no período de janeiro/2004 a julho/2005, mostra a variação da concentração do ferro no percolado gerado no Aterro da Muribeca, onde se percebe que este metal apresenta elevadas concentrações em todo o tempo observado, se comparado com os demais metais pesados, por isso foi analisado separadamente. A faixa de variação para o metal ferro no percolado em estudo, foi de 0,49 a 56,05 mg/L. A diminuição das concentrações de ferro, nos meses de junho e julho de 2005 pode ter ocorrido devido à elevação, para o mesmo período de tempo, do pH conforme ilustrado na Figura 4.13, já que o aumento do pH tende a elevar a capacidade de precipitação dos metais. EHRIG (1989) relata que percolados gerados na fase metanogênica estável, apresenta variação entre 3 a 280mg/L, já SEGATO e SILVA (2000), caracterizando o percolado gerado no Aterro de Bauru, estado de São Paulo, com características semelhantes ao Aterro da Muribeca, encontraram para o período de junho de 1999 a julho de 2000 resultados para o metal Ferro numa faixa de 70 a 500 mg/L. Desta forma os resultados da concentração deste metal para o percolado gerado no Aterro da Muribeca não foram elevados, se comparados com os resultados da literatura citada. Entretanto, em termos de lançamento deste efluente em corpos hídricos, o CONAMA N° 357/05 estabelece um limite de 15 mg/L, sendo necessário à utilização de métodos de tratamento para remoção dessas concentrações excessivas.

Com relação às variações pluviométricas, foi identificado que em índices elevados de precipitação, como ocorreu em junho de 2004 e junho de 2005, o metal ferro tende apresentar redução nos seus valores, o que pode ser causado pelo efeito da diluição, entretanto este efeito não é observado quando as precipitações são relativamente discretas, como é o caso do mês de maio de 2005. Observa-se também que em períodos de baixas precipitações os resultados do metal ferro tende a manter-se equilibrados.

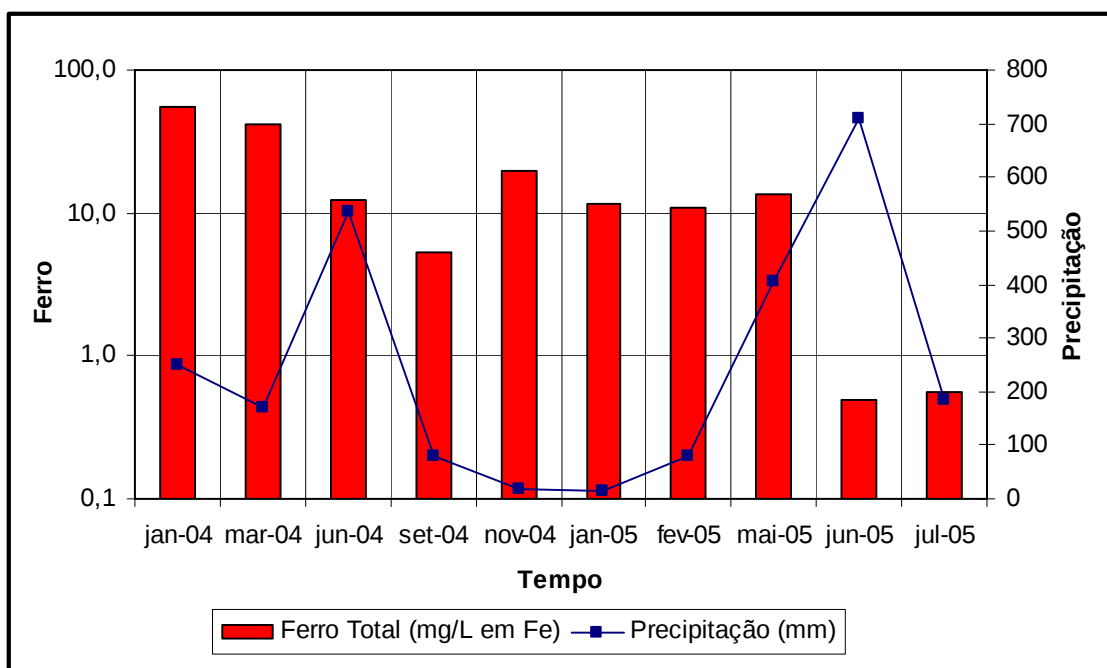


Figura 4.24 - Valores do Ferro, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

4.3 – Análise Comparativa entre Alguns Parâmetros do Percolado do Aterro Metropolitano de João Pessoa e do Aterro da Muribeca – Região Metropolitana do Recife - RMR.

Para o estudo comparativo entre o Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa e o Aterro da Muribeca foram considerados determinados fatores, como a precipitação, composição gravimétrica e idade do aterro, que poderiam influenciar na geração dos percolados.

Os aterros de resíduos sólidos estudados possuem proximidades geográficas, com características, como por exemplo, o clima muito semelhante, o que não torna um fator diferencial. Já a composição gravimétrica, apresentou pontos diferenciados, entretanto a idade dos aterros foi o fator com diferenças mais significativas. Sendo assim, segue abaixo algumas considerações a cerca dos fatores considerados.

- Precipitação

As precipitações ocorridas na região dos dois aterros de resíduos sólidos estudados, não apresentaram diferenças significativas, conforme ilustrado na Figura 4.25. Os índices de precipitação para o Aterro da Muribeca apresentaram-se levemente inferiores aos índices encontrados para o Aterro Metropolitano apenas nos meses de janeiro de 2004, e janeiro e maio de 2005.

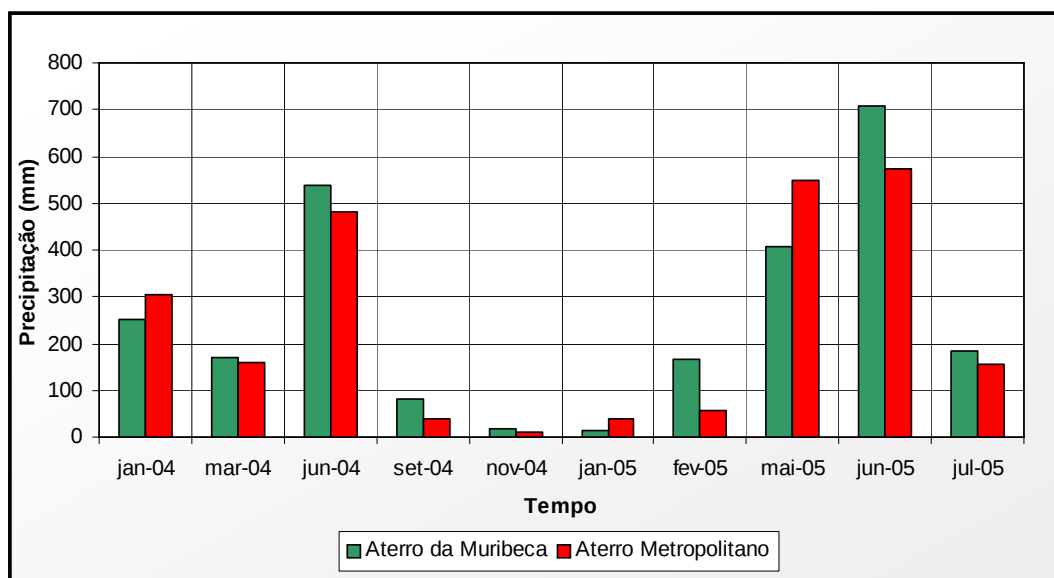


Figura 4.25 – Comparação entre as precipitações ocorridas no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa e no Aterro da Muribeca – RMR.

Conforme as Figura 3.9 e 3.19, apresentadas no Capítulo 3 – Materiais e Métodos, onde mostra o balanço hídrico do Aterro Metropolitano de João Pessoa e do Aterro da Muribeca, respectivamente, não foram identificadas diferenças relevantes entre estes dois aterros, que pudessem influenciar na geração e caracterização dos percolados. Sendo assim o parâmetro *precipitação* não será levado em consideração em termos comparativos, já que apresentaram comportamentos semelhantes, no intervalo de tempo considerado.

- Composição Gravimétrica

A composição gravimétrica dos resíduos que compõe o Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, Figura 3.10 do Capítulo 3 – Materiais e Métodos, apresentou um percentual de papel/papelão de 6,65%, inferior ao encontrado para a composição do Aterro da Muribeca, Figura 3.20 do Capítulo 3 – Materiais e Métodos, que foi de 15%, já no caso do plástico esta diferença foi praticamente inversa, sendo 19,2% de plástico para o Aterro Metropolitano e 8% para o Aterro da Muribeca. Segundo o IPT (2000), uma quantidade elevada de plásticos em aterros de resíduos sólidos dificulta a compactação das células do aterro e prejudicam a decomposição dos materiais biologicamente degradáveis, pois criam camadas impermeáveis que afetam as trocas de líquidos e gases gerados no processo de biodegradação da matéria orgânica, já o aumento do papel pode causar uma redução na atividade bacteriana, devido à matéria prima ser a madeira, que apresenta uma resistência à decomposição anaeróbia.

A composição gravimétrica utilizada para o Aterro da Muribeca foi realizada no ano de 2000, desta forma pode ter sofrido alterações ao longo desses anos, já que o consumo de produtos plásticos vem tendo uma elevação. Alcântara *et al* (2005), relata que o consumo do plástico no Brasil aumentou em quase 100% de 1987 a 1998, entretanto o plástico classificado como PET, apesar de ser consumido em grande quantidade tem seu percentual reduzido, já que grande parte é coletada pelos catadores para serem reciclados.

Quanto ao percentual de matéria orgânica para os dois aterros em estudo, houve uma variação de apenas 2,38%, sendo do Aterro da Muribeca o maior percentual. Os demais tipos de resíduos, como por exemplo, o vidro apresentou diferenças irrelevantes.

- Idade dos Aterros

A idade de um aterro, ou seja, o tempo em que uma massa de lixo está aterrada é uma variável de grande importância para a caracterização do percolado. À medida que aumenta a vida útil do aterro, diversas fases de degradação da matéria orgânica vão ocorrendo, porém vale salientar que não necessariamente uma fase deixa de acontecer para ser iniciada uma outra, o que geralmente ocorre é a predominância de determinadas fases. Este fato pode ser observado nos dois aterros em estudo, pois apesar do Aterro da Muribeca possuir uma idade avançada, ainda encontra-se em operação, apresentado oscilações nos resultados. No caso do Aterro Metropolitano, apesar de ser um aterro novo, o mesmo já possui células encerradas que possivelmente se comportam de maneira diferente daquela em operação. Entretanto, nos dois casos, é drenado diariamente, para a estação de tratamento, o percolado proveniente do conjunto de células que compõe os aterros com características diversificadas que em determinados momentos podem apresentar predominância de uma fase de degradação já avançada, como também de uma fase em início de decomposição.

Desta forma, a análise comparativa entre alguns parâmetros do percolado do Aterro Metropolitano e do Aterro da Muribeca, será realizada levando em consideração os parâmetros relativos à *composição gravimétrica* e a *idade dos aterros*, tendo em vista que estes parâmetros por possuírem características diversificadas podem contribuir de forma diferente para a geração dos percolados nos dois aterros de resíduos sólidos considerados no estudo.

4.3.1 - pH

Analisando os resultados encontrados para o pH do percolato produzido nos dois aterros de resíduos sólidos estudados, verificou-se que este parâmetro não apresentou diferenças significativas ao longo do tempo estudado. O pH encontrado no percolato do Aterro Metropolitano teve resultados inferiores ao pH do percolato do Aterro da Muribeca, com exceção do mês de janeiro de 2004, onde o resultado para o percolato do Metropolitano foi mais elevado, e no mês de maio de 2005 onde o resultado foi praticamente igual, conforme Figura 4.26. As diferenças encontradas para o pH do percolato dos dois aterros podem ser justificadas pela diferença de idade entre os aterros, tendo em vista que o Aterro Metropolitano tem idade inferior ao Aterro da Muribeca, e por se encontrar em uma fase metânica instável, tende a possuir valores de pH inferiores ao percolato gerado no Aterro da Muribeca que se encontra na fase considerada metanogênica estável. Entretanto deve-se levar em consideração que o Aterro da Muribeca, apesar de possuir uma idade mais avançada do que o Aterro Metropolitano, recebe aproximadamente três vezes mais resíduos sólidos por dia, podendo acarretar uma concentração maior de percolato com características de um aterro com pouca idade. Este fato pode ter ocasionado uma diminuição do pH do percolato da Muribeca no mês de janeiro de 2004 e valores aproximados em maio de 2005, a operacionalidade das células também pode ter contribuído para estes resultados.

Segundo POHLAND e HARPER (1985) *apud* PINTO (2000), pode-se dizer que as oscilações nas características de um percolato, como por exemplo, as oscilações do pH, devem-se a influência de diversos fatores classificados como: natureza do resíduo, distribuição espacial dos componentes orgânicos no aterro, disponibilidade de nutrientes, grau de compactação inicial, características químicas do resíduo, fechamento das células e fechamento final do aterro. Assim, em um aterro, a evolução das fases pode variar de célula para célula, dependendo das condições físicas, químicas e microbiológicas desenvolvidas em cada seção com o tempo.

Em termos de lançamento, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA N°. 357 de 17 de março de 2005, estabelece que para condições de lançamento de efluentes, o pH pode variar na faixa de 5 a 9, e sendo assim, o pH encontrado para os dois aterros estudados encontra-se dentro do padrão estabelecido, porém deve ser levado em consideração também os limites estabelecidos para o corpo

receptor. No caso do Aterro da Muribeca o efluente é lançado em um corpo receptor considerado de Classe 3, já o percolado do Aterro Metropolitano, durante o período de tempo considerado no estudo, ainda não estava sendo lançado, porém se previa o lançamento em um corpo receptor também de Classe 3, que segundo o CONAMA N°. 357/2005 deve apresentar um pH variando de 6,0 a 9,0.

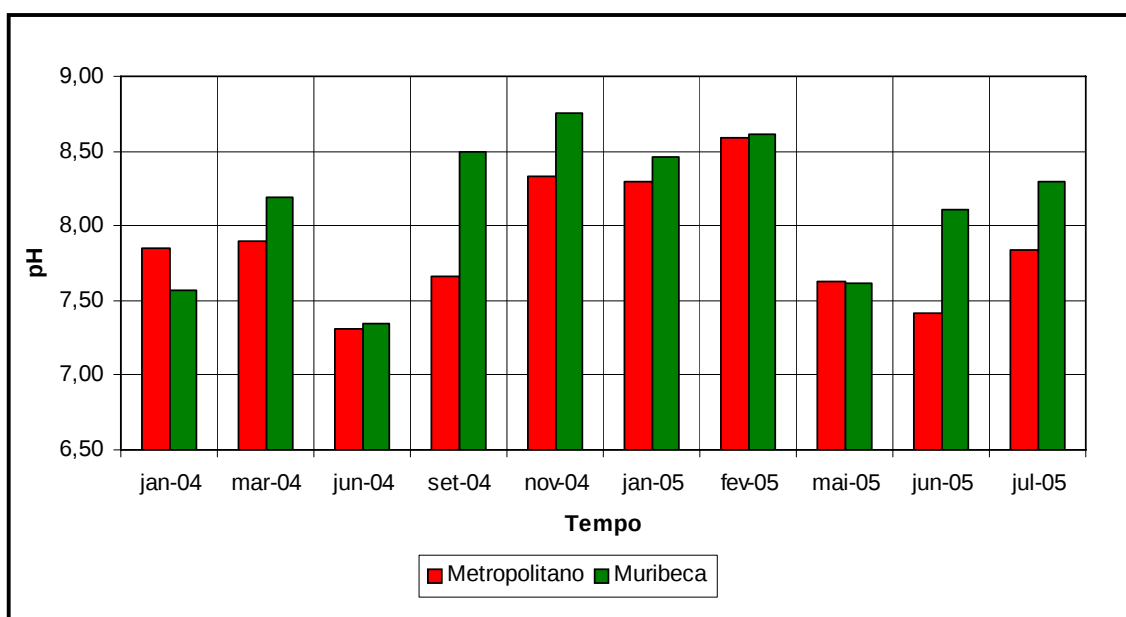


Figura 4.26 - Valores do pH, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.

4.3.2- Alcalinidade Total

É ilustrado na Figura 4.27, a variação dos resultados de alcalinidade total obtidos para o percolado dos aterros estudados, onde foi verificado que nos meses de janeiro e março de 2004, como também em janeiro e fevereiro de 2005 os valores encontrados para o percolado do Aterro Metropolitano foram inferiores aos resultados encontrados no percolado do Aterro da Muribeca, com uma diferença mínima de 4% no mês de janeiro de 2005 e máxima de 56% em março de 2004. Um fato importante é que apenas com exceção do mês de janeiro de 2004, o pH do percolado gerado no Aterro Metropolitano apresentou resultados inferiores aos encontrados para o percolado gerado no Aterro da Muribeca, podendo significar que baixos valores de alcalinidade tendem a permitir uma diminuição no pH, já que a capacidade de tamponamento também é reduzida. Deve-se também levar em consideração que o aumento da alcalinidade para o percolado do Aterro da Muribeca, pode está relacionado com a quantidade de resíduo novo depositado diariamente nesse aterro, pois apesar de possuir idade avançada, recebe

diariamente 3 vezes mais resíduos do que o Aterro Metropolitano, podendo ter comportamento de um aterro novo em determinados momentos.

Sendo assim, em termos de alcalinidade total não foi possível identificar diferenças significativas, entre o percolato dos aterros em estudo, já que a literatura técnica indica uma faixa de valores bem distinta entre um percolato gerado em aterro novo e um percolato gerado em aterro considerado velho, pois segundo TCHOBNOUGLOUS *et al* (1994), ocorre uma variação de alcalinidade entre 1.000 a 10.000 mg/L em CaCO_3 para percolados gerados em aterros com até 2 anos de idade, e uma variação de 200 a 1.000 mg/L em CaCO_3 para percolados gerados em aterros com idade superior a 10 anos. Entretanto, o que pode ser dito é que apesar do Aterro da Muribeca possuir uma idade praticamente dez vezes mais elevada do que o Aterro Metropolitano ainda apresenta características marcantes de um aterro novo, fato que pode ser justificado pela disposição constante de resíduos novos na área do aterro.

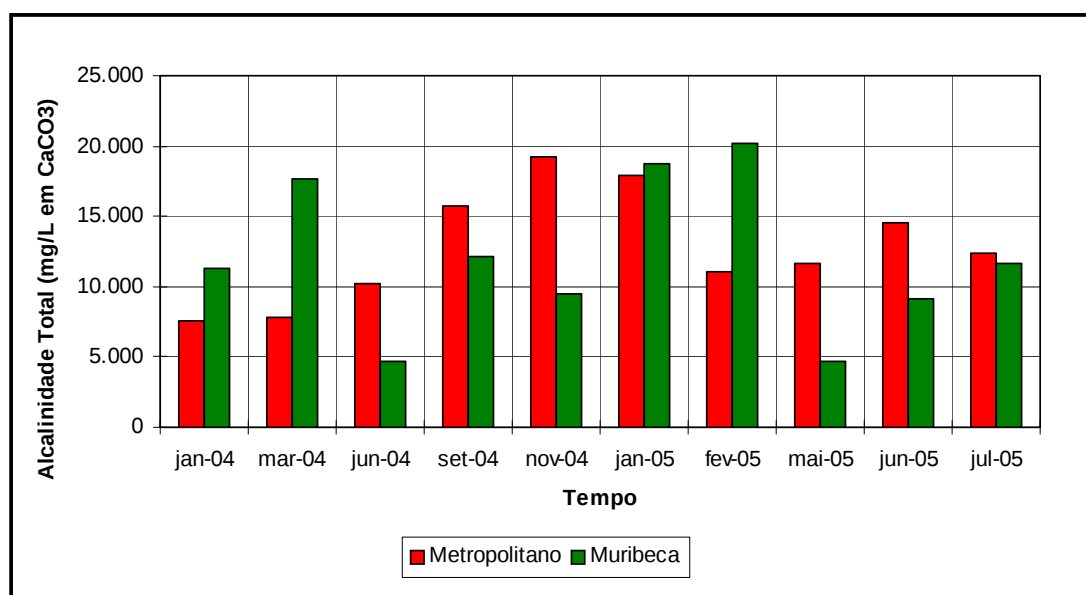


Figura 4.27 - Valores da Alcalinidade Total, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.

4.3.3 - Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO_5

A Figura 4.28 ilustra os resultados da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO_5 , encontrados para o percolato do Aterro Metropolitano e para o Aterro da Muribeca onde se observa uma oscilação desses valores ao longo do tempo, porém sem diferenças significativas, apesar destes aterros possuírem idades bem diferenciadas.

Os resultados da DBO_5 do percolato do Aterro da Muribeca apresentaram valores superiores nos meses de janeiro e março de 2004, como também em janeiro e fevereiro de 2005, este fato pode ser justificado pela composição do resíduo nesse período de tempo, podendo ter ocorrido uma contribuição maior de matéria orgânica no Aterro da Muribeca em relação ao Aterro Metropolitano. Vale ressaltar que o percentual de matéria orgânica identificada na composição gravimétrica do Aterro Metropolitano é inferior em 2,38% em relação ao Aterro da Muribeca. Um outro fator que também pode ser levado em consideração é a quantidade elevada de resíduo disposto mensalmente no Aterro da Muribeca, já que chega a ser praticamente três vezes maior do que o resíduo disposto no Aterro Metropolitano, o que pode, em alguns momentos, gerar um percolato com uma concentração elevada de DBO_5 , apesar da quantidade de resíduo velho aterrado no Aterro da Muribeca ser bem maior do que o resíduo velho do Aterro Metropolitano.

Os picos de DBO_5 encontrados no percolato do Aterro Metropolitano, nos meses de junho e setembro de 2004, como também em junho e julho de 2005, podem ter ocorrido devido ao início de operação das Células 2 e 4, respectivamente, que possivelmente ocasionaram um incremento da matéria orgânica presente na massa de lixo depositada nestas novas células, já que a composição gravimétrica indica um percentual de 57,62% de matéria orgânica.

Desta forma, observa-se que o Aterro da Muribeca recebe uma quantidade maior de resíduos sólidos do que o Aterro Metropolitano, possuindo ainda, em sua composição gravimétrica, um percentual maior de matéria orgânica. Porém, a sua quantidade de resíduo aterrado com idade avançada é bem maior do que o Aterro Metropolitano. Sendo assim, pode-se sugerir que essas características identificadas para os dois aterros em estudo podem se equilibrar e gerar um percolato sem diferenças relevantes, apesar do Aterro da Muribeca ser mais velho do que o Aterro Metropolitano em aproximadamente dezoito anos.

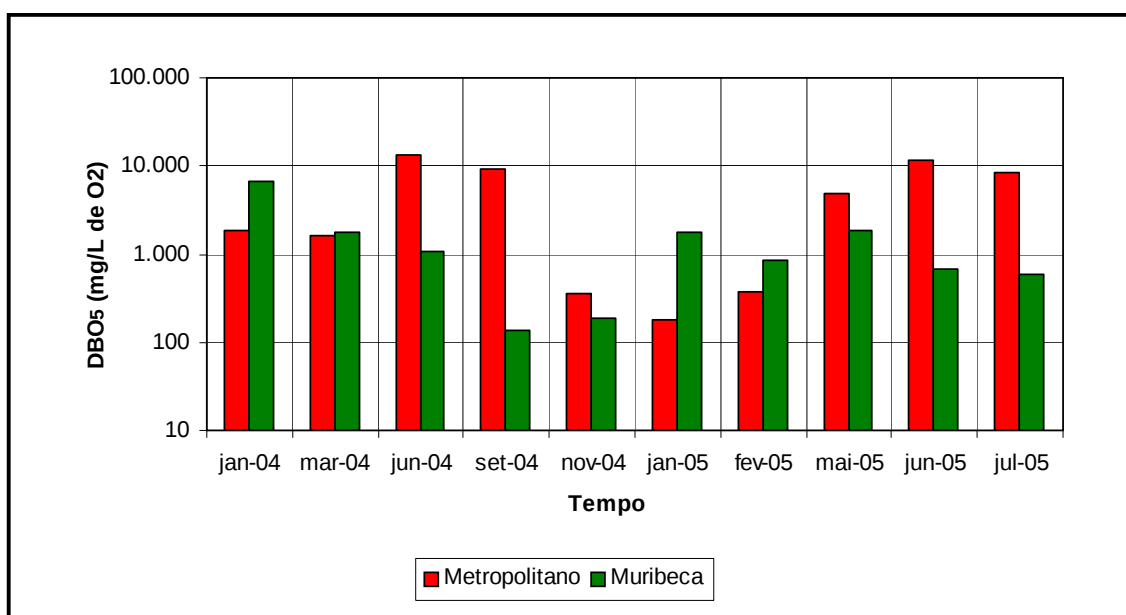


Figura 4.28 - Valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.

4.3.4 - Demanda Química de Oxigênio - DQO

De acordo com a Figura 4.29, os resultados da demanda química de oxigênio-DQO, encontrados para os dois aterros em estudo apresentaram diferenças relevantes apenas nos meses de junho e setembro de 2004 e em maio, junho e julho de 2005, o que pode ser atribuído ao percolado proveniente das Células 2 e 4, do Aterro Metropolitano, que tiveram início de operação neste mesmo período de tempo, gerando um percolado com elevada carga orgânica em fase inicial de degradação. Entretanto foi identificado que nos meses de janeiro, março e novembro de 2004, como também em janeiro e fevereiro de 2005 os resultados da DQO para o percolado do Aterro Metropolitano apresentaram valores inferiores aos encontrados para o percolado do Aterro da Muribeca, apesar do mesmo ser um aterro novo, com dois anos de operação. Porém em termos de valores médios, o percolado do Aterro da Muribeca apresentou um resultado de 4.302 mg/L e o percolado gerado no Aterro Metropolitano apresentou um resultado médio de 11.100 mg/L. Esta diferença entre os valores médios indica que o percolado gerado no Aterro Metropolitano possui maiores oscilações e uma quantidade de matéria orgânica maior a ser oxidada quimicamente do que o percolado gerado no Aterro da Muribeca, o que pode ser justificado pela diferença de idade entre os aterros.

É importante ressaltar que o Aterro da Muribeca, apesar de ser um aterro com idade avançada, ainda encontra-se em operação recebendo diariamente, cerca de 2.400

toneladas de resíduos domiciliares por dia, já o Aterro Metropolitano, ao longo do período de tempo estudado, teve duas células encerradas, passando a contribuir com uma quantidade maior de percolato em fase de degradação avançada, metanogênica instável, e recebia 1.000 toneladas de resíduos domiciliares por dia.

A composição gravimétrica dos aterros em estudo também contribuiu para os resultados encontrados, já que o Aterro da Muribeca possui em sua composição um percentual de 15% de papel, o que pode indicar uma redução na decomposição anaeróbia, já que o papel é originado da madeira que é difícil degradabilidade, podendo ter contribuído com os valores elevados de DQO, este percentual, para o Aterro Metropolitano, foi de 6,65%. Entretanto o Aterro Metropolitano teve um percentual elevado de plástico em sua composição gravimétrica em mais de 50%, do percentual encontrado para o Aterro da Muribeca, o que pode dificultar a decomposição anaeróbia tendo em vista que o plástico pode criar camadas impermeáveis, no interior da massa de lixo, o que dificulta as trocas de líquidos e gases gerados no processo de biodegradação da matéria orgânica. Sendo assim os dois aterros em estudo apresentam em sua composição gravimétrica, resíduos que podem dificultar o processo de decomposição anaeróbia.

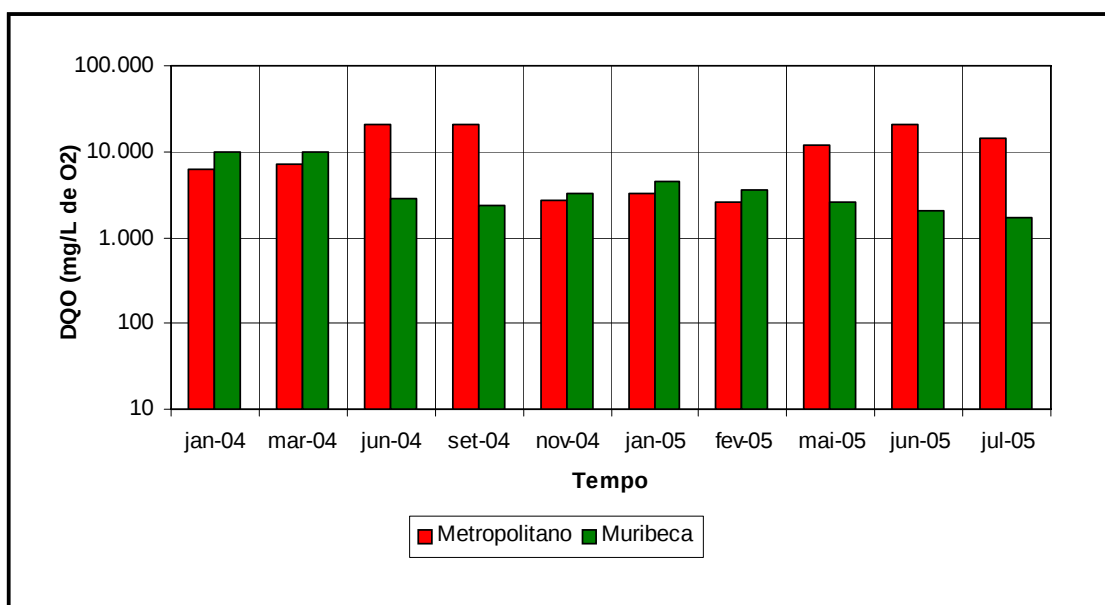


Figura 4.29 - Valores da Demanda Química de Oxigênio, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.

4.3.5– Biodegradabilidade

De acordo com a Figura 4.30, observa-se que nos meses de janeiro de 2004, como também em janeiro, fevereiro e maio de 2005, o percolato do Aterro Metropolitano apresentou valores de biodegradabilidade inferior aos resultados do percolato gerado no Aterro da Muribeca, o que pode ser atribuído à quantidade de resíduo novo que é depositado diariamente no Aterro da Muribeca ser aproximadamente três vezes maior do que a quantidade depositada no Aterro Metropolitano, podendo contribuir com uma concentração maior de resíduo novo e consequentemente valores elevados de DQO e DBO₅.

As reduções ocorridas na biodegradabilidade, para o percolato do Aterro Metropolitano, no período de novembro de 2004 a fevereiro de 2005, podem ser atribuídas a uma inibição do sistema, ocasionada por possíveis concentrações elevadas de metais, cátions, ânions, bem como macro e micronutrientes, que podem aumentar excessivamente a quantidade de ácidos no sistema inibindo a atividade das bactérias metanogênicas, passando a apresentar valores reduzidos de biodegradabilidade.

Para ambos os aterros em estudo, não se identificou uma estabilidade na variação dos resultados ao decorrer do tempo estudado, o que pode ser atribuído, no caso do Aterro da Muribeca, a mistura constante de percolato novo e velho, e no caso do Aterro Metropolitano deve ser levado em consideração que em maio de 2004 e em abril de 2005, a Célula 1 e a Célula 2 foram encerradas respectivamente, passando a contribuir com um percolato em fase de degradação evoluída, que ao chegar na estação de tratamento se mistura ao percolato gerado na célula em operação. Esta mistura pode atribuir ao percolato características diferenciadas ao longo do tempo.

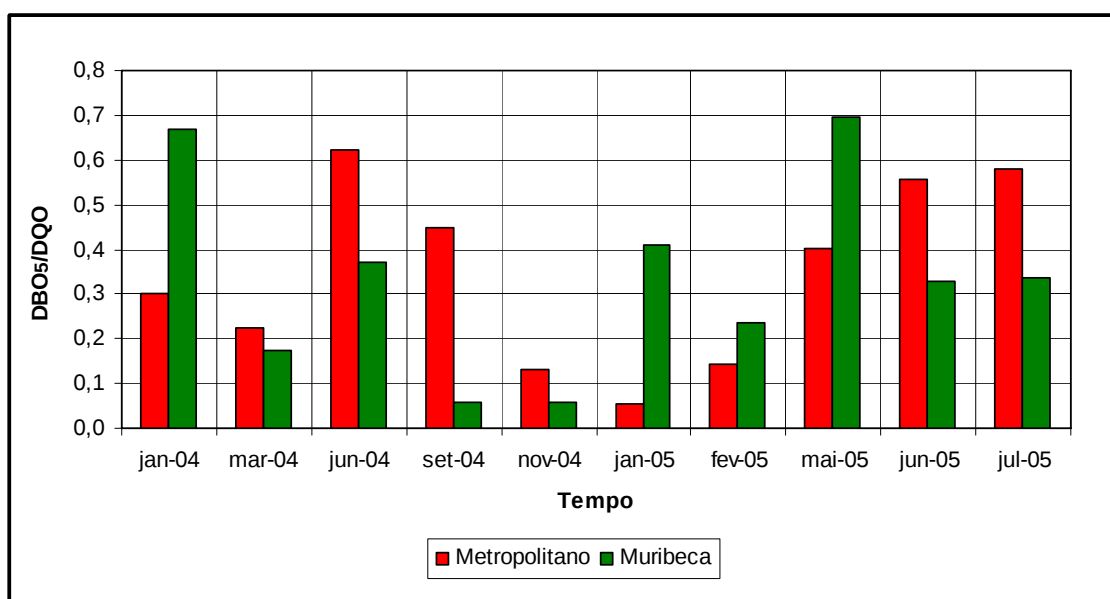


Figura 4.30 - Valores da Biodegradabilidade, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.

4.3.6 – Sólidos Totais Voláteis/Sólidos Totais

A matéria orgânica presente no percolado pode ser representada pela relação entre os sólidos totais voláteis e os sólidos totais – STV/ST. Segundo JORDÃO e PESSOA (1995), a verificação do percentual entre STV/ST é importante em relação aos processos de estabilização biológica (digestão), de incineração, de aplicação no solo, de produção de fertilizantes. De acordo com a Figura 4.31, observa-se que exceto os meses de janeiro de 2004 e fevereiro de 2005, o percolado gerado no Aterro Metropolitano apresentou um percentual mais elevado de matéria orgânica do que o percolado gerado no Aterro da Muribeca, como por exemplo, nos meses de setembro de 2004 e junho de 2005, esta diferença chegou a ser duas vezes maior. Este fato pode ser atribuído a diferença de idade entre os aterros em estudo, já que o Aterro da Muribeca chega a ser mais velho do que o Aterro Metropolitano em aproximadamente 18 anos. Sendo assim, apesar de determinados parâmetros não apresentarem diferenças relevantes quando comparados, como é o caso do pH, pode ser observado através da relação STV/ST, que o processo de estabilização biológica é bem mais significativo no percolado gerado no Aterro da Muribeca do que no percolado do Aterro Metropolitano.

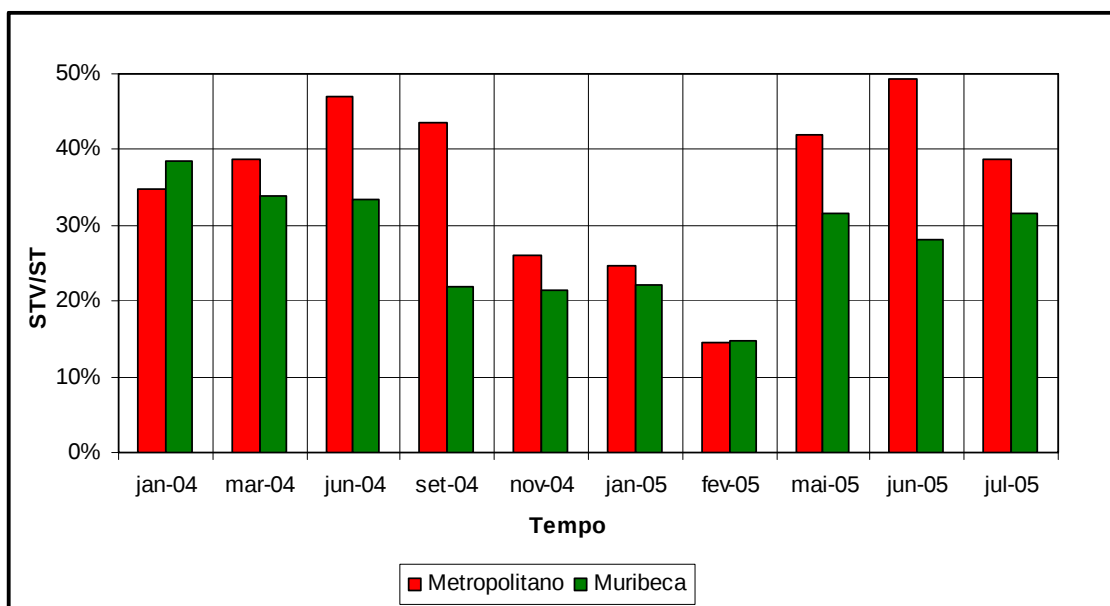


Figura 4.31 – Relação entre os Sólidos Totais Voláteis e os Sólidos Totais, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano.

4.3.7 – Metais Pesados

No que diz respeito aos metais pesados será comparado apenas o metal ferro, já que este apresentou tanto no Aterro Metropolitano de João Pessoa quanto no Aterro da Muribeca, concentrações mais elevadas que os demais metais analisados nesse estudo.

a) Ferro

Conforme ilustrado na Figura 4.32, durante o tempo estudado observa-se que as concentrações de ferro são muito variáveis, tanto no percolado do Aterro Metropolitano quanto no percolado do Aterro da Muribeca. Percebe-se também que as oscilações encontradas para o percolado gerado nos dois aterros em estudo, são relativamente aproximadas, apesar desses aterros possuírem idades bem diferenciadas. Essa geração de percolado com características semelhantes, pode ser atribuída ao fato do Aterro da Muribeca, apesar de ser mais velho que o Aterro Metropolitano, ainda se encontrar em operação, recebendo diariamente uma quantidade de resíduo novo. Entretanto o Aterro Metropolitano, apesar de possuir idade relativamente pequena, teve durante o período de tempo estudado duas células encerradas, que passaram a contribuir com um percolado com características de uma fase relativamente avançada. Desta forma, apesar

desses aterros possuírem idades distintas, fatores como quantidade de resíduo, forma de operacionalidade das células, clima e etc., tendem a tornar estes líquidos com diferenças não muito significantes.

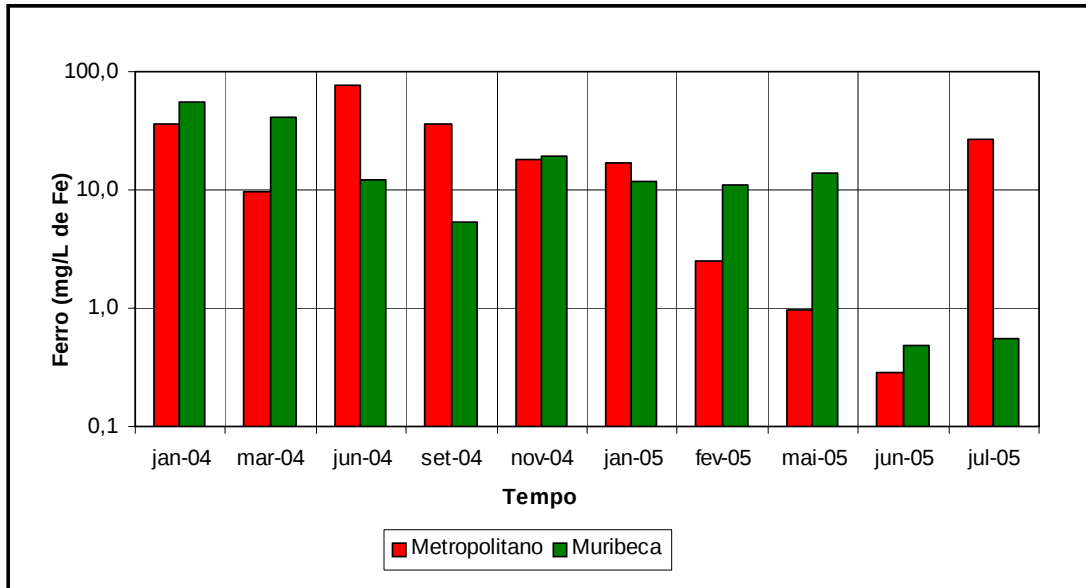


Figura 4.32 - Valores do Ferro, obtidos no período de janeiro/2004 a julho/2005 para o Aterro da Muribeca e o Aterro Metropolitano, e da precipitação para o mesmo período de tempo.

CAPITULO 5 - CONCLUSÕES

5.1– Conclusões

- O estudo da caracterização dos percolados gerados no Aterro Metropolitano de João Pessoa, com 2 anos de operação, e no Aterro da Muribeca, Região Metropolitana do Recife, com 20 anos de operação, no período de janeiro de 2004 a julho de 2005, não apresentou diferenças significativas em sua composição ao longo do tempo estudado.

- Fatores externos como operacionalidade das células, cobertura diária, compactação adequada da massa de lixo e drenagem das águas pluviais podem ter interferido na composição dos percolados gerados para os dois aterros em estudo. O Aterro da Muribeca, por se tratar de um aterro controlado e de grande porte, tende a apresentar maiores dificuldades no controle destes fatores, proporcionando condições desfavoráveis para a evolução do processo anaeróbio já que a entrada descontrolada de água de chuva e de oxigênio torna difícil a ação das bactérias metanogênicas. Em contrapartida as células do Aterro Metropolitano apresentam maiores facilidades na sua operação o que torna o ambiente mais propício para a degradação da massa de lixo no interior das células.

- A diferença entre as idades do Aterro Metropolitano e o Aterro da Muribeca, não acarretou diferenças relevantes nos resultados encontrados para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos considerados nesta pesquisa. Todavia, ao decorrer do tempo estudado, nota-se que o Aterro da Muribeca possui idade superior ao Aterro Metropolitano. É importante ressaltar que o percolado que chega à estação de tratamento de chorume é proveniente da drenagem de todas as células que compõe o aterro, com idade diversificada, este percolado é homogeneizado e em seguida é submetido ao tratamento.

- De acordo com análise de determinados parâmetros como o pH, alcalinidade, DBO₅, DQO, sólidos totais, sólidos totais voláteis e os sólidos totais dissolvidos, foi possível identificar que o percolado gerado no Aterro da Muribeca, apresentou para o período de tempo estudado, características da fase metanogênica estável, enquanto que o percolado gerado no Aterro Metropolitano, para o mesmo período de tempo, apresentou características da fase metanogênica instável.

- A biodegradabilidade da matéria orgânica (DBO_5/DQO), determinada tanto para o percolado gerado no Aterro da Muribeca, como para o Aterro Metropolitano, indicou que a fração orgânica recalcitrante, ou seja, a fração não biodegradável foi relativamente elevada. Para o percolado do Aterro Metropolitano esta relação foi de 0,35, ao longo do período estudado, porém apresentou grandes oscilações, já a relação encontrada para o percolado do Aterro da Muribeca foi de 0,33 com oscilações relativamente pequenas. Os resultados encontrados, dentro do período de tempo estudado, caracterizam os percolados dos aterros em estudo como sendo medianamente biodegradáveis. Entretanto, no caso do percolado gerado no Aterro Metropolitano. De acordo com a literatura técnica citada, estes valores encontrados da relação DBO_5/DQO para ambos os percolados em estudo, a aplicação do tratamento biológico é satisfatório para a eficiência do sistema de tratamento.

- Os sólidos totais dissolvidos representaram para os dois percolados, a fração mais significativa, sendo em torno de 95% dos sólidos totais. O percentual de matéria orgânica, determinada através da relação STV/ST , apresentou um valor de 27,4% para o percolado do Aterro da Muribeca, e de 37,8% para o percolado do Aterro Metropolitano, onde este último indica possuir uma quantidade relativamente maior de matéria orgânica a ser degradada.

- Considerando os valores médios, para o período de tempo estudado, encontrados para os metais pesados no percolado gerado no Aterro da Muribeca, apenas o metal chumbo apresentou valor superior ao estabelecido pelo CONAMA 357/2005, para lançamento em corpos hídricos. O percolado do Aterro Metropolitano demonstrou uma mobilidade maior nos resultados dos seus metais, pois o metal ferro, manganês, chumbo e o cromo apresentaram valores superiores ao permitido para lançamento em corpos hídricos. Ressalta-se que estes valores, para ambos os percolados, possivelmente apresentarão reduções, tendo em vista que o percolado ainda não foi submetido a nenhuma forma de tratamento.

- Os resultados dos coliformes totais e dos termotolerantes, para o percolado gerado nos dois aterros, não apresentaram diferenças relevantes ao longo do tempo, não demonstrando relação com a idade dos aterros em estudo. Quanto à precipitação foi observado para os coliformes totais e para os termotolerantes, em ambos os aterros estudados, que o aumento da precipitação tende a elevar os valores desses parâmetros.

- A variável precipitação considerada no presente estudo, demonstrou ter influência nos resultados dos parâmetros analisados. Entretanto, em termos comparativos entre os dois percolados, esta variável não foi significativa, tendo em vista que as médias anuais de precipitação apresentaram variações bem semelhantes, tornando a precipitação como um fator não diferencial.

- Um outro parâmetro levado em consideração, foi à composição gravimétrica, onde a matéria orgânica, em termos percentuais, não apresentou diferenças significantes entre os aterros. Entretanto foi identificado que a quantidade de resíduo disposto diariamente no Aterro da Muribeca é aproximadamente, três vezes maior do que a quantidade disposta no Aterro Metropolitano, gerando uma concentração maior de matéria orgânica.

- A quantidade de papel/papelão encontrada para o Aterro Metropolitano foi praticamente 45% do total encontrado para o Aterro da Muribeca, onde essa diferença pode tornar o percolado gerado no Aterro da Muribeca menos propício a atividade bacteriana, levando em consideração que a matéria prima utilizada na fabricação do papel/papelão é de difícil degradabilidade. Entretanto, deve-se levar em consideração também que para o Aterro Metropolitano, a quantidade relevante de poda depositada nas células do aterro pode aumentar a quantidade de celulose presente na massa de lixo, incrementando o processo de decomposição.

- Quanto ao percentual de plástico, o Aterro Metropolitano apresentou um valor de 19,2%, já o Aterro da Muribeca teve um percentual de 8%, o que significa dizer que o Aterro Metropolitano, em função desta diferença tende apresentar uma maior dificuldade no processo de degradação da matéria orgânica, visto que uma quantidade maior de plástico presente na massa de lixo pode criar camadas impermeáveis que afetam as trocas de líquidos e gases gerados no processo de decomposição.

5.2– Sugestões para Pesquisas

- Construção de uma caixa medidora de vazão na entrada da estação de tratamento de chorume do Aterro Metropolitano de João Pessoa, como também em cada célula, com objetivo de determinar a vazão total do percolado e a vazão individual das células.

- Realização de coletas sistemáticas na entrada e na saída da Lagoa de Decantação, Lagoa Anaeróbia e Lagoa Facultativa do Aterro Metropolitano de João Pessoa e do Aterro da Muribeca, a fim de determinar e comparar a eficiência de remoção da matéria orgânica dos dois sistemas de lagoas de estabilização.

- Caracterização do percolado gerado em cada célula do Aterro Metropolitano de João Pessoa, associada a uma caracterização geoquímica do material utilizado para a cobertura diária e final das células, como também as características físico-químicas das águas de chuva.

- Estudo comparativo entre uma célula composta apenas de resíduos velhos no Aterro da Muribeca e uma célula composta de resíduo novo no Aterro Metropolitano de João Pessoa, a fim de se verificar as diferenças dos parâmetros físico-químicos, metais pesados e microbiológicos.

- Realizar um monitoramento dos líquidos, gases e sólidos de uma célula do Aterro Metropolitano de João Pessoa, durante um período de tempo igual ao início e fim de operação da mesma.

- Estudo diário do Aterro Metropolitano de João Pessoa, durante um período de tempo pré-determinado, com o objetivo de acompanhamento dos líquidos, sólidos e gases gerados no aterro. Este estudo deve ser acompanhado pelas alterações climáticas ocorridas na área em estudo.

CAPITULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419/1992**. Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos-Procedimentos.

ALCANTARA, P. B.; MONTEIRO, V. E. D.; PALHA, M. L. P.; ARAÚJO, J. M.; JUCÁ, J. F. T. **Construção e Monitoramento de um Célula de R.S.U em Escala Reduzida**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, p. 1-10. 2005.

APHA – AWWA - WEF. **Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater**. 19th edition. American Public Heath Association, American Water Works Association and Water Enviroment Federation. 1995.

BARLAZ, M.A.A.; HAM, R.K.; SCHAEFER, D.M. **Methane Production form Municipal Refuse: A Review of Enhancement Techiniques and Microbiol Dynamics**, vol, p. 557-585. 1990.

BIDONE, F. R. A. e POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos – SP. EESC/USP. Projeto REENGE. 109p. 1999.

BRAILE, P. M. e CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo – SP, CETESB. 764p. 1993.

BRANCO, S. M. **Hidrologia Aplicada a Engenharia Sanitária**. 3 ed. São Paulo. CETESB/ASCETESB. 1986.

CARVALHO, A. L. **Contaminação de Águas Subsuperficiais em Área de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos – O Caso do Antigo Lixão de Viçosa (MG)**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa. 2001.

CASTILHOS Jr, A. B., LANGE, L. C., GOMES, L. P., PESSIN, N. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. Projeto PROSAB 3 – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Florianópolis, p 280. 2003.

CETESB, **Guia de Coleta e Conservação de Amostras de Água**. 1986

CETESB, **Caracterização e Estudo de Tratabilidade de Líquidos Percolados de Aterros Sanitários**. 1995.

CHEN, P.H. **Assessment of Leacheates from Sanitary Landfills: Impact of Age, Rainfall, and Treatment**. In: Environment International, vol. 22, n°2, pp.225-237. 1996.

CINTRA, F. H., HAMADA, J., CASTILHO FILHO, G. S. **Fatores que Afetam a Qualidade do Chorume Gerado em Aterro Controlado de Resíduos Sólidos Urbanos**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 7p. 2002.

CONAMA, **Resolução Número 357, de 17 de março de 2005.**

D' ALMEIDA, M. L. O. e VILHENA, ANDRÉ. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** IPT/CEMPRE. 2ª Ed. São Paulo. 370p. 2000.

EHRIG, H. J. **Quality and Quantity of Sanitary Landfill Leachate.** Waste Management & Research I, p. 53-68. 1989.

FERNANDES, C. **Esgotos Sanitários,** Editora Universitária, João Pessoa – PB, p 435. 1997.

FILHO, E. B. S.; VAN HAANDEL, A.C.; CAVALCANTI, P.F.F.; SILVA, V.L.; MOTTA, M. **Avaliação da Respirometria Para Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio.** XI SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal – RN. 2004.

FLECK, E. **Sistema Integrado por Filtro Anaeróbio, Filtro Biológico de Baixa Taxa e Banhado Construído Aplicado ao Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário,** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. 2003.

GEBARA, D. (1985), **Estudo da Decomposição do Lixo em um Modelo de Célula de Aterro Sanitário.** Dissertação de Mestrado. 89p.

HAMADA, J. e MATSUNAGA, I. **Concepção do Sistema de Tratamento de Chorume para Aterro Sanitário de Ilhéus - BA.** IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1515-1524p. 2000.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Pesquisa do Saneamento Básico.** <http://www.ibge.gov.br>. 2000.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia.** (2005).

JUCÁ, J. F. T. **Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil.** 5º congresso Brasileiro de Geotécnica Ambiental – REGEO`2003, Porto Alegre-RS, p 32. 2003.

JUNQUEIRA, F. F. **Análise do Comportamento de Resíduos Urbanos e Sistemas Dreno-filtrantes em diferentes escalas, com referência ao aterro do Jóquei Clube-DF.** Tese-Doutorado. Universidade de Brasília, p. 283. Brasília-DF, 2000.

LANGE, L. C., SIMÕES, G. F., FERREIRA, C. F. A., SANTANA, D. W. E. A., GARCIA, N. L. **Estudo Comparativo de Metodologias para Análises Físico-Químicas de Resíduos Urbanos.** Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades. PROSAB 3. 2002.

Legislação Estadual de Pernambuco Lei N° 8.361 de 26 de Setembro de 1980, Regulamentada pelo Decreto N° 7.269 de 05 de junho de 1981.

LIMA, L.M.Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação.** 3ª Ed. São Paulo: Hemus. 265p. 1995.

LINS, E. A. M. **A Utilização da Capacidade de Campo na Estimativa do Percolado Gerado no Aterro da Muribeca**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. p 142. 2003.

MACIEL, F. J e JUCÁ, J.F.T. **Investigitions to Analyse Gas Recovery Potential From Muribeca's Landfill – Brazil**. Sardinia – Italy. 2005.

MARQUES, A. C. M e VILAR, O. M. **Avaliação dos Efeitos da Compactação na Geração de Líquidos Percolados em Aterros Sanitários**. - Revista Latino-americana de Geotécnica, ISSN 0103-7021, Vol. 25, Nº 1, Janeiro-abril 2002, 9p.

McBEAN, E. A; ROVERS, F.A.; FARQUAR, G. J. **Solid Waste Landfill Engineering and Desing**. Prentice Hall. Inc. p. 521, ISBN 0-13-0799187-3. 1995.

MELO, M. C. **Uma Análise de Recalques Associada a Biodegradação no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, p. 127. 2003.

MELO, V. L. A. **Estudos de Referência para Diagnostico Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, p. 130. 2000.

MENEZES, D. B. **Diagnóstico dos Impactos do Depósito de Resíduos Sólidos de São Carlos – SP, no Meio Físico**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 101p. 1995.

MERBACH JUNIOR, P. S. **Estudos de Avaliação de Metais Pesados em Percolado de Aterro Sanitário em Função do Tempo de Disposição**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 83p. 1989.

MONTEIRO, V. E. D. **Analises Físicas, Químicas e Biológicas no Estudo do Comportamento do Aterro da Muribeca**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, p 232. 2003.

ORTH, M.H. de A. Aterros Sanitários. **Revista de Limpeza Pública**. São Paulo, v. 8, n.20, p.26-34, 1981.

PAES, R. F. C. **Caracterização do Chorume Produzido no Aterro da Muribeca-PE**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, p. 150. 2003.

PASCHOALATO, C. F. P. R. **Caracterização dos Líquidos Percolados Gerados por Disposição de Lixo Urbano em Diferentes Sistemas de Aterramento**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 97p. 2000.

PESSIN, N.; BRUSTOLIN, I.; FINKLER, R. **Determinação da Eficiência de Tratabilidade de Reatores Biológicos para a Atenuação de Carga Orgânica Presente no Chorume Proveniente de Aterros Sanitários**. In: IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro-BA. 9 a 14 de abril de 2000.

PESSOA, C. A. e JORDÃO, E. P. **Tratamento de Esgoto Domésticos**. 3ª Edição – ABES. Rio de Janeiro, p. 681. 1995.

PINTO, D. M. C. L. **Avaliação da Partida da Digestão Anaeróbia da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Domésticos Inoculados com Percolado**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, 2000.

QASIM, R. S e CHIANG, W. **Sanitary Landfill Leachate: Generation, Control and Treatment**. p. 339. 1994.

REICHERT, G. A. e COTRIM, S. L. S. **Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário Realizado em Filtro Anaeróbio em Leito de Brita Construído Sob o Aterro: Avaliação de Desempenho**. XXVII – Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 8p. 2000.

REINHART, D.R. e GROSH, C.J. **Analysis of Florida MSW Landfill Leachate Quality**. University of Central Florida. 1998.

RELATÓRIO DO GRUPO DE RESÍDUOS SÓLIDOS – GRS. **Relatório do Monitoramento Ambiental do Aterro da Muribeca**. Universidade Federal de Pernambuco/ Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB), Convênio (ATEPE/PCR), Recife - PE. 2005.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP. Projeto REENGE. 840p. 1998.

ROCHA, E. M. R. **Desempenho de um Sistema de Lagoas de Estabilização na Redução da Carga Orgânica do Percolado Gerado no Aterro da Muribeca (PE)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. p.151. 2005.

RUSSO, M. A. T. e VIEIRA, J. M. P. **Estudos Sobre Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos**. IX SILUBESA - Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1781 – 1788p. 2000.

SCHALCH, V. **Produção e Características do Chorume em Processo de Decomposição de Lixo Urbano**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 103p. 1984.

SCHALCH, V. **Análise Comparativa do Comportamento de Dois Aterros Sanitários Semelhantes e Correlações dos Parâmetros do Processo de Digestão Anaeróbia**. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 220p. 1992.

SEGATO, L. M. e SILVA, L. C. **Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 9. 2000.

SILVA, A. C. **Tratamento do Percolado de Aterro Sanitário e Avaliação da Toxicidade do Efluente Bruto e Tratado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPE/UFRJ, p. 126. 2002.

SILVA, S. M. C. P; FERNANDES, F.; LEONE, G. **Redução de Carga Orgânica e Precipitação de Metais Pesados do Chorume Produzido em Aterro Sanitário IX SILUBESA** - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1291 - 1297p. 2000.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H. e VIGIL, A. S. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. McGraw-Hill International Editions. Civil Engineering Series, p 978. 1994.

VILAR, O. M. e CARVALHO, M. F. **Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas de Resíduos Sólidos Urbanos - Aterro Sanitário Bandeirantes**". REGEO'2003, p. 11. 2003.

VILLELA, S. M. e MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo – McGraw-Hill do Brasil. 1975.

VON SPERLING, M. **Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1996.

VON SPERLING, M. **Critérios e Dados Para Uma Seleção Preliminar de Sistemas de Tratamento de Esgotos**. BIO ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 7-21, 1994.