



Universidade Estadual de Campinas  
UNICAMP  
Instituto de Geociências- IG

Trabalho de Conclusão de Curso – GE 001  
Graduação em Geologia

**CARACTERIZAÇÃO DE DIMENSÃO E COMPOSIÇÃO GEOQUÍMICA  
DE PLUMA DE CONTAMINAÇÃO NO ATERRO SANITÁRIO  
MUNICIPAL DELTA A EM CAMPINAS (SP)**

**Professor Orientador: Prof. Dr. Pedro Wagner Gonçalves**

Lídia Maria Diniz Gurgel Santos

Trabalho de conclusão de curso apresentado no dia 13 de Dezembro de 2011 para  
obtenção do título de Bacharel em Geologia pelo Instituto de Geociências- IG da  
Universidade Estadual de Campinas  
UNICAMP

Comissão Examinadora:  
Prof. Dr. Ricardo Perobelli Borba  
Prof. Dr. Wanilson Luiz Silva

Campinas, 2011

Dedico este trabalho a meu marido  
Anésio e a meus filhos Pedro e Marcos.

## **AGRADECIMENTOS**

Estudar geologia é descobrir um universo micro e macroscópico. Ao longo desses cinco anos aprendi a olhar além do que se vê e entender a natureza um pouco mais do que ela mostra. Partilhar essa emoção única que é estar em contato com nosso Planeta Terra não tem preço.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Wagner pela sua paciência e tranquilidade nessa minha trajetória e de ter me mostrado a importância da Geologia Urbana.

Agradeço à Professora Sueli (IG) e à Professora Miriam Miguel (FEC) pela boa vontade em me ajudar a prosseguir neste projeto, me colocando em contato com as pessoas certas para que eu tivesse acesso a todas as informações que utilizei neste trabalho.

Agradecimento especial à minha filha Maíra por tanta ajuda que me prestou ao longo desses anos.

Agradecimento especial ao Sr. Alexandre do Departamento de Limpeza Pública da Prefeitura Municipal de Campinas por conceder graciosamente acesso aos dados do Aterro Sanitário Delta A.

Agradeço ao grupo de Estudos “Grupo Aterro” da FEC, Júlio, Jorge Paixão, Mariane Alves, Alan e Jéssica com que muito aprendi nesses poucos meses de convivência.

Agradeço a meus professores e a meus colegas de turma pela dedicação e ajuda em inúmeras situações, que sem a ajuda deles o meu percurso nesta Universidade não seria tão prazeroso.

Agradeço aos professores da Graduação com quem partilhei meu tempo nesses anos e que despertou em mim a paixão pela Geologia, meu muito obrigado, em especial ao Prof. Dr. Celso, ao Prof. Dr. Elson, Prof. Dr. Roberto Xavier, Prof. Dra. Jacinta, Prof. Dra. Maria José, Prof. Dra. Lena, Prof. Dr. Bernardino, Prof. Dr. Wanilson, Prof. Dr. Vidal, Prof. Dr. Giorgio, Prof. Dr. Emilson, Prof. Dra. Frésia, Prof. Dr. Perobelli, Prof. Dr. Batezelli, Prof. Vaz, Prof. Dr. Álvaro, Prof. Dr. Beto, Prof. Dr. Herrmann, Prof. Dr. Francisco Ladeira, Prof. Dr. Ticiano e Prof. Dra. Silvia que de uma forma ou de outra contribuíram com minha formação.

Aos PEDs e PADs, em especial à Carol, Danilo, Théo, Zé, Maurício Aoki, Cleiton, Seu Madruga, João, Maria Fernanda, André e Rafael, muito obrigado pela paciência e ensinamentos.

Aos amigos que fiz da turma de 2007, tenho uma enorme dívida de gratidão, em especial ao Francisco Ferreira de Campos que guardo em meu coração. Ao amigo Vítor da turma 2006 meu muito obrigado pelas horas preciosas que me ajudou. Às amigas: Fernanda, Carol Athayde, Nina, Jaqueline, Nathalia, Gisele, Karen, Silvana, Dani, Aline, Luana, Camila, Carolzinha, Cibele, Greice, Isadora, Maíra, Mariana, aos amigos: Gustavo, Gabriel, Ednei, Seu Boneco, Tio, Figuiinha, Jozias, Léo, Ivan, Adriano, Burca, Guilherme, Maurício, Bruno, Levi, muito obrigado. A viagem nesses anos todos com vocês foi um grande prazer.

## RESUMO

A coleta domiciliar de resíduos sólidos urbanos é um direito do cidadão. A responsabilidade pela coleta é do município, que pode, segundo seu critério delegar a administração dessa tarefa a empresas particulares. Achar uma solução adequada para a deposição desses resíduos é um desafio. Encontrar o local correto para a implantação de um aterro sanitário envolve diversos critérios, que vão desde o estudo geológico do local, até o impacto de ruídos que isso venha a causar no ambiente.

O destino do lixo ainda é tratado de forma inadequada em muitos lugares e, o impacto causado pela deposição incorreta desses resíduos, provoca danos irreparáveis no solo e nos corpos d'água, tanto superficiais quanto subterrâneos.

A demanda crescente de consumo de produtos industrializados pela população provoca uma elevação de resíduos a serem depositados, acelerando processos de contaminação. O aumento da produção do lixo implica também numa produção maior de chorume (líquido contaminante produzido pela decomposição dos resíduos). Por meio de análises laboratoriais de corpos d'água é possível determinar se a produção de lixiviados está carreando para o ambiente, metais tóxicos como mercúrio, chumbo, manganês, etc.

Neste trabalho foram estudados os resultados de amostras de águas superficiais e subterrâneas (setembro/2010) na área do Aterro Delta A em Campinas. Também foram analisados resultados do período de 2002 a 2010. A partir desse estudo conclui-se que determinados metais provenientes dos lixiviados atingem os corpos d'água.

O planejamento da implantação do Aterro Sanitário é de fundamental importância para minimizar as contaminações no ambiente.

Palavras chave: Aterro Sanitário, chorume, lixiviados, resíduos sólidos, contaminantes, águas subterrâneas, águas superficiais, Aterro Delta A.

**Abstract**

*The home collection of municipal solid waste is a citizen's right. The responsibility for the collection is the municipality, which may at its discretion delegate the administration of this task to private companies. Find a solution for the deposition of such waste is a challenge. Finding the right location for the establishment of a landfill involves several criteria, ranging from the geological survey of the site to the impact of noise that this will have on the environment.*

*The disposal of garbage is still inadequately addressed in many places, and the impact caused by the incorrect disposal of this waste, causes irreparable damage to the soil and water bodies, both on the surface and underground.*

*The growing consumer demand for industrial products by the population causes an increase of waste to be deposited, accelerating processes of contamination. The increased production of waste also means a greater production of slurry (liquid contaminant produced by the decomposition of waste). Through laboratory analysis of water bodies it is possible to determine whether the production of leachate into the environment is hauling toxic metals like mercury, lead, manganese, etc.*

*In this work were studied the results of samples of surface and groundwater (September/2010) in the Delta area of the landfill in Campinas. Results were also analyzed for the period 2002 to 2010. From this study it was concluded that certain metals from the leachate are reaching the water bodies.*

*The planning to the implementation of the Landfill is crucial to minimize contamination in the environment.*

*Keywords: landfill leachate, leachate, solid waste, contaminants, groundwater, surface water, landfill Delta A.*

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Temperatura e pluviosidade no município de Campinas no período de Junho/1988 a Out/2008.	18
Tabela 4.2 - Distribuição mensal de pluviosidade no Aterro Delta A no período de 25/02/2002 a 31/12/2010.	19
Tabela 4.3 - Parâmetros orgânicos e inorgânicos para lançamento de efluentes em corpos d'água.	25
Tabela 6.1 Quantidade de resíduos recolhidos no Aterro Delta A desde a sua implantação.	32
Tabela 6.2 - Porcentagem de composição média de resíduos sólidos no Aterro Delta A.	32
Tabela 6.3 – Dados de instalação de Poços de Monitoramento (PM) de águas subterrâneas no Aterro Delta A instalados em 2001.	39
Tabela 6. 4 - Coordenadas de Pontos de coleta de águas superficiais no Aterro Delta A.	39
Tabela 7.1 - Resultado de amostras de águas superficiais coletadas no Aterro Delta A em setembro/2010.	42
Tabela 7.2 - Resultado de análise de amostras de águas subterrâneas de poços de monitoramento nos dias 5 e 7 de outubro/2009 no Aterro Delta A.	44
Tabela 7.3 - Resultado de amostras de águas subterrâneas coletadas em Poços de Monitoramento (PM) no Aterro Delta A em 21 e 22 de setembro/2010	46
Tabela 7.4 - Dados de localização e profundidade de poços de monitoramento do Aterro Delta A.	47
Tabela 7.5 - Valores de pH das amostras de águas subterrâneas dos Poços de Monitoramento do Aterro Delta A.	48
Tabela 7.6 - Tabela de dados de concentração de manganês em amostras de águas subterrâneas em poços de monitoramento e pluviosidade no período de junho/02 a março/09 no Aterro Delta A.	52
Tabela 7.7 – Concentração de elementos de amostras de águas subterrâneas de poços de monitoramento do Aterro Delta A.	55
Tabela 7.8 - Valores do Fator de Enriquecimento (FE).	56
Tabela 7.9 - Correlação entre os parâmetros de interesse.	57
Tabela 7.10 - Valores de Média, Moda, Desvio Padrão, valores de Mínimo e Máximo e Coeficiente de Variação.	57



## **LISTA DE FOTOS**

Foto. 4.1 - Afloramento de ritmitos do Subgrupo Itararé no Aterro Delta A.	12
Foto 4.2 - Solos no Aterro Delta A.	17
Fotos 6.1 - Lagoas de captação de chorume no Aterro Delta A.	34
Fotos 6.2 - Procedimento de cobertura de resíduos no Aterro Delta A.	35
Fotos 6.3 - Rotina de trabalho no Aterro Sanitário Delta A.	36
Fotos 6.4 - Elementos do Aterro Sanitário como A.	37
Fotos 6.5 - Locais de monitoramento de águas no Aterro Delta A.	38
Foto 6.6 - Procedimentos de coleta de amostra de águas subterrâneas no Aterro Delta A.	41

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 4.1 - Mapa de Localização do Aterro Delta A.	4
Fig. 4.1 - Mapa geológico simplificado da região de Campinas.	9
Fig. 4.2 - Mapa de s feições estruturais na área do Aterro Delta A.	13
Fig. 4.3 - Mapa geomorfológico do município de Campinas.	15
Fig.4.4 - Gráfico de pluviosidade média no município de Campinas.	18
Fig.4.5 - Gráfico de distribuição mensal de pluviosidade no Aterro Delta A.	19
Fig.4.6 - Seção de um aterro sanitário.	22
Fig. 6.1 - Gráfico de composição média de resíduos.	33
Fig.7.1 - Gráfico comparativo de parâmetros de águas superficiais.	43
Fig.7.2 - Mapa de localização de poços amostrados em outubro de 2009.	45
Fig.7.3 - Gráfico de concentração de elementos em águas subterrâneas amostradas em Set./2010.	49
Fig.7.4 - Gráfico de relação de cloreto x condutividade elétrica.	49
Fig.7.5 - Gráfico de relação cloreto x condutividade elétrica x sólidos totais dissolvidos.	50
Fig.7.6 - Gráfico de relação coreto x sódio.	51
Fig.7.7 - Gráfico de relação ferro x manganês.	52
Fig.7.8 - Gráfico de concentração de manganês no período de junho/02 a março/09.	53
Fig.7.9 - Gráfico de pluviosidade no Aterro Delta A no período de junho/02 a março/09.	53
Fig.7.10 - Gráfico de relação nitrogênio amoniacal x condutividade elétrica	55
Fig. 7.11 - Mapa de concentração de cloreto nos poços de monitoramento no Aterro Delta A.	58
Fig. 7.12 – Mapa de condutividade elétrica nos poços de monitoramento no Aterro Delta A.	59

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DLU – Departamento de Limpeza Urbana

DQO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA – *Environmental Protection Agency*

ETA – Estação de Tratamento de Águas

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FE – Fator de Enriquecimento

FEAGRI-UNICAMP – Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP

FEPASA – Ferrovia Paulista S.A.

FERROBAN – Ferrovia Bandeirantes S.A.

FUNDESPA – Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas

NBR – Denominação de norma da ABNT

NE – Nordeste

NNE – Norte Nordeste

NNE – Norte Nordeste

NW - Noroeste

PAS – Pontos de Amostragem Superficial

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PETROBRAS- Petróleo Brasileiro S.A.

PM- Poços Monitoramento

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SMWW- *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*

ZCC – Zona de Cisalhamento Campinas

ZCV – Zona de Cisalhamento Valinhos

# SUMÁRIO

Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Abstract	v
1. Introdução	1
2. Objetivos	3
2.1. Geral	3
2.2. Específico	3
3. Localização	3
4. Revisão Bibliográfica	5
4.1. Aspectos Geológicos e Fisiográficos	5
4.1.1. Geologia regional	5
4.1.2 Hidrogeologia	7
4.1.3. Evolução Geológica	8
4.1.4. Geologia do Local	10
4.1.4.1. Feições Estruturais Locais	13
4.1.4. Geomorfologia	14
4.1.6. Solos	15
4.1.6.1. Solos no Aterro Delta A	16
4.1.7. Clima	17
4.1.7.1. Pluviosidade no Aterro Delta A	19
4.2. Resíduos Sólidos	20
4.2.1. Conceito	20
4.2.2. Classificação	20
4.2.3. Caracterização	21
4.2.3.1. Composição Gravimétrica	21

4.2.4. Aterro Sanitário	21
4.2.4.1. Definição	21
4.2.4. O Chorume.	23
4.2.6. Lançamento de resíduos em corpos d'água.	24
4.2.7. Parâmetros orgânicos e inorgânicos na decomposição dos resíduos.	26
5. Materiais E Métodos	29
6. Estudo de Caso	31
6.1. O Aterro Delta A	31
6.2. Monitoramento de águas superficiais e subterrâneas no Aterro Delta A – Campinas.	38
6.2.1 Processo de Coleta de amostras de águas superficiais e Subterrâneas.	39
7. Resultados e Discussão	42
7.1. Resultados	42
7.1.1. Águas Superficiais	42
7.1.2. Águas Subterrâneas	44
7.2. Discussão	48
8. Considerações Finais	61
9. Referências Bibliográficas	62
Anexos	72

## 1. Introdução

O saneamento básico é um conjunto de serviços a que todo cidadão tem direito. Deste preceito depreende-se, portanto, que o saneamento básico consiste em um processo complexo que se inicia com a captação ou derivação da água, seu tratamento em estações apropriadas (ETAs), adução e distribuição, incluindo o transporte de água desde o local de retirada até o de consumo final, culminando com o esgotamento sanitário, isto é, todo o procedimento de coleta e purificação nas estações de tratamento de esgotos (ETEs). Neste contexto integram o saneamento básico a coleta de lixo, drenagem urbana e o manejo de águas pluviais (Demoliner, 2008).

Achar uma solução adequada para a deposição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um grande desafio para os municípios. Poucos são os municípios que garantem a alocação final adequada, isto é, em aterros sanitários, incineração em equipamentos e locais apropriados ou que os remetem às estações de triagem, reciclagem e compostagem (Demoliner, 2008).

A contaminação do solo e nível freático, ocasionada pela deposição de lixo doméstico de Classe II A e II B em Lixões, Aterros Controlados, Aterros Sanitários e terrenos baldios é um problema para os municípios. Por mais alternativas que possam ser levantadas para destinação de resíduos sólidos urbanos, não se antevê em futuro próximo a eliminação dos aterros. Em virtude disso, o projeto para caracterização ambiental e fisiográfica destas unidades que recebem os resíduos sólidos urbanos (RSU) é parte crucial para antecipar problemas de contaminação e mitigá-los na medida do possível.

O aumento do consumo humano de produtos industrializados e descartáveis, que contêm substâncias anômalas aos locais de depósito acelera os processos de contaminação. Ao aterrar o lixo, problemas ambientais podem ser sanados, como por exemplo, o impedimento da propagação de vetores. Porém, há a contrapartida, como a formação de gases tóxicos e a formação de lixiviados (chorume). Ao percolar o solo, o chorume pode atingir a área de recarga do aquífero, contaminando as águas que serão usadas para abastecimento. Os cuidados necessários na impermeabilização do solo que recebe esses dejetos, as lagoas de tratamento do lixiviado e a cobertura desses resíduos são fatores importantes para a degradação da matéria orgânica de forma segura.

O chorume como produto da degradação da matéria orgânica presente nos resíduos facilita a dissociação de moléculas e libera íons metálicos muito tóxicos para o ambiente, como por exemplo, Pb, As, Hg, Zn entre outros. Como produto dessa fermentação tem-se a produção de gás metano ( $\text{CH}_4$ ), que deve ser removido do aterro através de dutos de escoamento. Este gás é altamente energético e pode ser aproveitado.

Na questão da produção de lixiviados a água é elemento primordial, pois é parte integradora dos fenômenos que ocorrem no aterro. É responsável pelo transporte de material em solução de um ponto a outro, além de reações isoladas. Portanto, a disponibilidade de água que atinge o aterro e o comportamento de seu escoamento é importante para o desempenho da degradação dos resíduos sólidos. Evidentemente uma parte da água encontra-se na própria matéria orgânica, mas a precipitação é uma fonte que facilita as reações químicas.

Diversas áreas acadêmicas lidam com o problema do Resíduo Sólido Urbano (RSU) como Saneamento Ambiental, Engenharia Civil, Engenharia Mecânica, Biologia, Química, Geografia e Geologia. Estas áreas, em conjunto ou em separado, efetuam estudos para minimizar efeitos contaminantes desses depósitos. Contribuem para a remediação dos locais utilizados, para que possa ser controlada a poluição ambiental e diminuindo o prejuízo à vida humana. Os trabalhos de remediação desses espaços proporcionam outros destinos a esses depósitos, quando sua capacidade de utilização como aterro se esgotar. O planejamento do aterro deve partir desde a definição do local até seu fechamento prevendo desde operação até remediação.

A importância de se estudar a caracterização de plumas de contaminação em aquíferos justifica-se pela utilização das águas subterrâneas para abastecimento da população. Através de análise sistemática das águas subterrâneas de poços de monitoramento pode-se definir se há ou não contaminação de determinado aquífero e, sua possível extensão.

O Aterro Sanitário de Campinas está em processo de expansão. Atualmente está em atividade a unidade Delta A, cujo prazo final de licença de funcionamento expira em dezembro de 2011. A autorização para alteamento do aterro de 630 para 640 metros está em andamento junto à CETESB. Isto dará uma sobrevida de dois anos ao aterro. Há também

projeto de implantação de nova área (unidade Delta B), que está em fase de aprovação na CETESB.

Este trabalho propõe um estudo de caso do Aterro Sanitário de Campinas. Relacionar contribuição da decomposição de resíduos sólidos na contaminação de águas subterrâneas, com caracterização, deslocamento e composição da pluma de contaminação do Aterro Sanitário Delta A em Campinas-SP, através de resultado de análise de águas subterrâneas de poços de monitoramento no Aterro Delta A.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo Geral**

O presente trabalho tem por objetivo principal a caracterização da dimensão, deslocamento e composição da pluma de contaminação em águas subterrâneas no Aterro Sanitário Delta A em Campinas-SP.

### **2.2. Objetivo Específico**

Identificar a pluma contaminante gerada por lagoas de chorume e caracterizar indicadores para identificar a pluma de contaminação.

## **3. Localização**

O Aterro Sanitário Delta A está localizado no município de Campinas, no estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são 22°54'57"S, 47°8'50"W, próximo à Rodovia dos Bandeirantes. O acesso se dá pela Estrada Vicinal CAM-331, que se interliga com a Av. John Boyd Dunlop, tendo como limites físicos além da referida estrada, um ramal ferroviário da FEPASA e o córrego Rio das Cobras no bairro Jardim Campo Grande (Fig. 3.1).

Possui uma área de 52 hectares, sendo que 26 hectares são destinados para disposição de resíduos sólidos. Está a cerca de 20 km de distância do centro urbano. Pertence à Administração Pública Municipal e é operado pelo consórcio de empresas privadas: TECAM (Severo Vilarés, Tejofran, Delta e MB Engenharia, são os principais parceiros) e administrado pelo Departamento de Limpeza Urbana (DLU) da Prefeitura Municipal de Campinas.



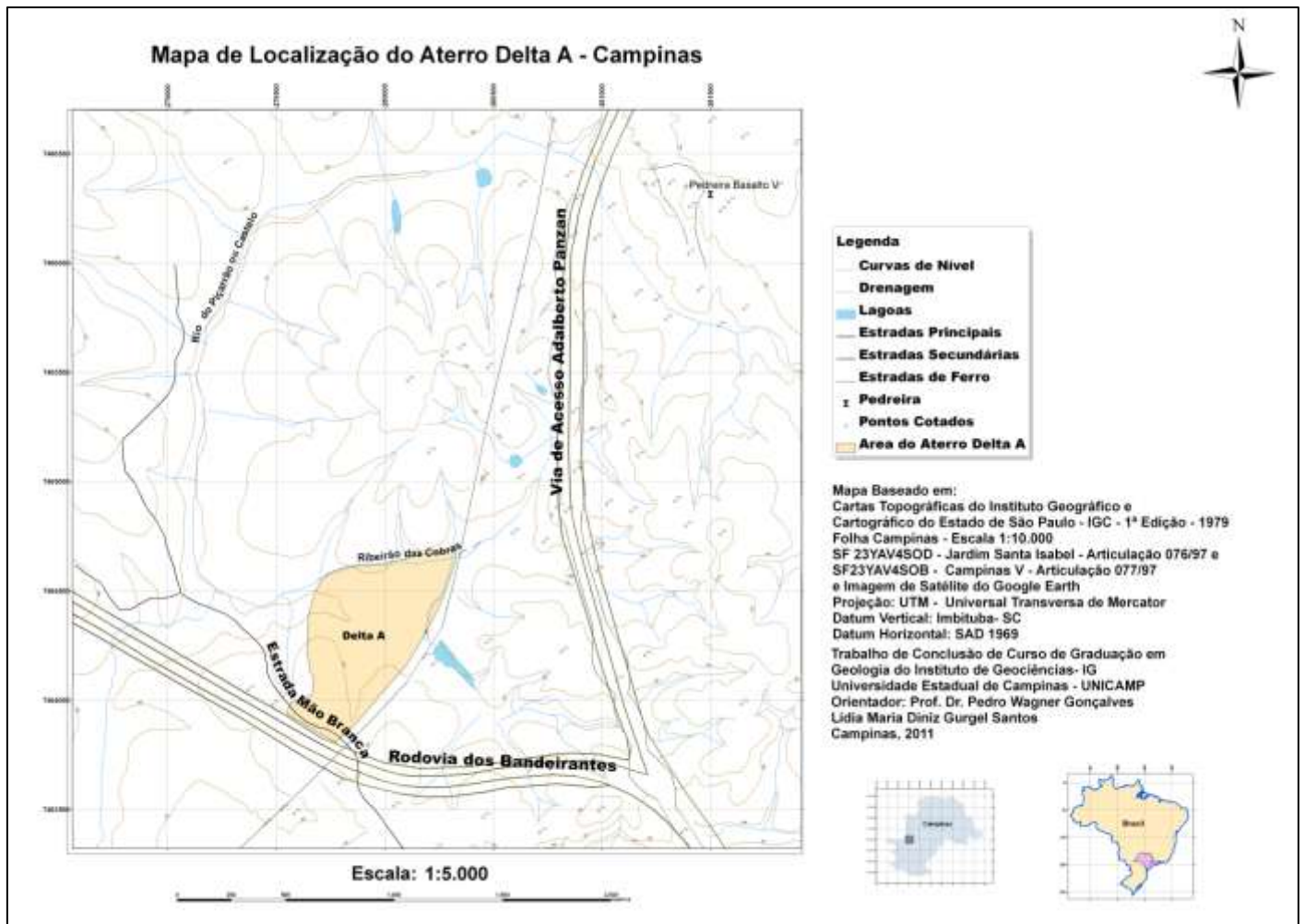


Fig. 3.1 – Mapa de Localização do Aterro Delta A- Campinas-SP. Confeção: Lídia Maria Diniz Gurgel Santos.

## **4. Revisão Bibliográfica**

### **4.1 Aspectos Geológicos e Fisiográficos**

#### **4.1.1. Geologia regional**

A região foi mapeada por poucos trabalhos, entre eles Mapeamento Faciológico do Subgrupo Itararé na Quadricula de Campinas (SP) por Souza Filho (1986) e Subsídios do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Campinas (SP) – (São Paulo, 2009).

Em Campinas encontram-se simplificadaamente três tipos de terrenos geológicos. Na parte leste encontram-se as rochas de alto e médio grau metamórficos intrudidas por granitos e a oeste, rochas sedimentares do Subgrupo Itararé e diabásios (mesmo evento magmático gerador da Formação Serra Geral) e depósitos Cenozóicos (São Paulo, 2009). Os diabásios da Formação Serra Geral (Juro-Cretáceo) no Estado de São Paulo, foram datados em  $137,8 \pm 0,7$  Ma, pelo método Ar/Ar por Turner *et al.* (1994).

Alguns autores referem-se ao Subgrupo Itararé como Grupo Itararé e às vezes como Formação Itararé. Neste trabalho esse conjunto de rochas será denominado Subgrupo Itararé conforme trabalho do Instituto Geológico do Estado de São Paulo (São Paulo, 2009).

Os sills de diabásio intrudem as rochas do embasamento cristalino e o Subgrupo Itararé, principalmente a partir da região de Campinas para norte. Apresentam granulação fina a média e estrutura maciça, sendo mais abundantes e contínuos entre Paulínia e Campinas e a oeste de Santo Antônio de Posse (Fernandes e Melo, 2004). Os sills da Formação Serra Geral ocorrem com maior frequência em direção à borda da bacia. As espessuras dos sills variam de centímetros a 150-180 metros. Os mais espessos podem ocupar até 900 km<sup>2</sup> e estender-se por mais de 15 km. São geralmente concordantes com as rochas encaixantes (São Paulo, 2009).

Na porção ocidental da região de Campinas, o Subgrupo Itararé (Permo-Carbonífero) recobre as rochas do embasamento cristalino. São constituídos por arenitos, diamictitos, ritmitos, argilitos e conglomerados. O Subgrupo Itararé (subdivisão do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo- nomenclatura historicamente adotada, mas que não segue normas do Comitê Internacional de Normatização estratigráfica) apresenta-se em contato discordante e erosivo, com mergulhos regionais suaves para oeste.

Por ter um ambiente deposicional bastante complexo, associado a várias litofácies que se sucedem horizontal e verticalmente, apresenta grande dificuldade de se fazer uma correlação estratigráfica (São Paulo, 2009).

Com a finalidade de estabelecer uma reconstrução paleogeográfica, Souza Filho (1986) realizou mapeamento faciológico do Grupo Itararé na quadrícula de Campinas. Neste estudo, determinaram-se vários sistemas glaciais, sendo que na região de Campinas ocorreu um sistema proglacial. Em Monte Mor ocorreu um sistema supraglacial de base úmida, na Rodovia dos Bandeirantes um sistema de leques subaquosos e em Hortolândia, um sistema de plataforma. Por fim, em Casa Branca ocorreu um sistema de leques aluviais, em Tupi um sistema costeiro e na Rodovia do Açúcar um sistema deltaico.

Apesar de vários autores considerarem o Subgrupo Itararé como um sistema deposicional glacial *sensu lato*, estudos de palinologia revelam que a maior parte da sedimentação ocorreu em ambientes de clima temperado úmido. Estes estudos quantitativos efetuados por Picarelli (1993), a partir de amostras de testemunhos de poços perfurados pela PETROBRÁS em Mato Grosso do Sul, Paraná e Santa Catarina, constatou que existia uma alta frequência de formas vinculadas a microplâncton, que caracterizariam níveis transgressivos durante a sua sedimentação. Os esporos encontrados por todo o pacote sedimentar indicaram condições predominantemente temperadas e com umidade. (Petri e Souza, 1993).

Milani *et al.* (2007) atribui a formação do Subgrupo Itararé a uma grande variedade de condições deposicionais. Estas condições se sucederam no tempo, evoluindo em um contexto neocarbonífero de sedimentação, com marcada influência glacial, até um amplo e árido interior continental. Na chegada do Mesozóico foi caracterizada com domínio de campos de dunas eólicas.

Os depósitos Cenozóicos estão localizados na Depressão Periférica (região da Bacia do Paraná) e no Planalto Atlântico (Zona Cristalina do Norte e Subzona da Morraria de Jundiaí) (São Paulo, 2009). Na Depressão Periférica estes depósitos são controlados por soleiras locais, correspondendo à Formação Rio Claro e depósitos correlatos. Há divergência entre autores, surgindo ambiguidades em virtude de falta de datações precisas. A maioria dos autores acredita tratar-se de idade próxima ao limite Miocênica-Pleistocênica. Bistrichi (2001) apresenta dados palinológicos e paleobotânicos que indicam

condições temperadas, com estações bem definidas para a seqüência do Mioceno Superior, na região de Atibaia-Bragança Paulista.

O Cenozóico é representado por ocorrências ocasionais de arenitos com estratificação cruzada e com camadas de argilito, além de lamitos ricos em grânulos. Os sedimentos da formação Rio Claro têm contato inferior discordante com as rochas do embasamento cristalino, Grupo Itararé Indiviso, Grupo Passa-Dois e do Grupo São Bento (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral). Na parte superior, há contato com depósitos colúvio-eluviais areno-argilosos e lamíticos de fluxos gravitacionais (São Paulo, 2009).

O ambiente deposicional é admitido como fluvial meandrante, ou ainda, de áreas alagadas. O clima durante a sedimentação era quente e úmido, indicado pelo intenso intemperismo químico (ausência de argilas esmectíticas e abundância de caulinitas dentríticas) (Melo *et al.* (1997).

#### **4.1.2. Hidrogeologia**

As feições hidrogeológicas da região correspondem a três tipos de aquíferos: Diabásio (formado pelas rochas da Formação Serra Geral), Tubarão (rochas do Subgrupo Itararé) e Cristalino (rochas do embasamento cristalino).

No Aterro Delta A aflora o Sistema Aquífero Tubarão, cujas características hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas fornecem um quadro complexo ao se analisar sua geometria e geoquímica. Este aquífero é constituído principalmente por rochas do Grupo Itararé, podendo suas camadas alcançarem dezenas de metros de espessura, sendo associadas a diversos subambientes do ambiente glacial, isto é, fluvial, marinho, lacustre, praiano, deltaico, entre outros (São Paulo, 2005).

A qualidade das águas do Aquífero Tubarão na porção onde aflora o Grupo Itararé é classificada como fracamente salina e bicarbonatada sódica, com pH variando de 4,8 a 8,9, sendo adequadas para abastecimento público e uso geral (São Paulo, 2005).

Yoshinaga *et al.* (1992) classificam as águas do aquífero como predominantemente bicarbonatadas sódicas e cálcio sódicas, comentando que as análises dos índices hidroquímicos demonstram aporte de íons alcalinos da rocha hospedeira. Os elementos K e Na contidos nas águas subterrâneas do Aquífero Tubarão têm sua origem na alteração da

fonte primária dos sedimentos. Como o Ca e Mg são os primeiros a serem eliminados nos processos decorrentes de lixiviação em ambientes ácidos, restam como resíduos nos sedimentos desse grupo o Na, K, Fe e Al. Após a infiltração por águas de chuva (mais ácidas), as águas subterrâneas se enriquecem destes elementos residuais, caracterizando a composição típica atual. A presença dos elementos Ca e Mg pode ser indicativa de lixiviação parcial destes elementos, explicando assim a presença de concentrações significativas dos elementos Ca e Mg nos sedimentos e conseqüentemente nas águas subterrâneas. A CETESB possui uma tabela classificatória de condições ideais de aquíferos (XVII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 2007) que é utilizado neste trabalho como referência.

#### **4.1.3. Evolução geológica**

A área de Campinas possui diversas unidades de evolução geológica. São elas: Proterozóico Médio (Complexo Itapira), Proterozóico Superior (Suítes graníticas Jaguariúna e Morungaba), Permo-Carbonífero (Subgrupo Itararé), Juro-Cretáceo (diabásios da Formação Serra Geral) e Cenozóicos (sedimentos aluvionares). As rochas do embasamento cristalino estão na porção oriental do município e as paleozóicas e mesozóicas, na porção ocidental (São Paulo, 2009).

As principais estruturas geológicas que ocorrem na região são: Zona de Cisalhamento Valinhos (ZCV) e Zona de Cisalhamento Campinas (ZCC), ambas de direção NNE (Fig. 4.1). Esta região está delimitada pelas falhas Jacutinga, a norte, Camanducaia a leste e Jundiuvira-Itu a sul.

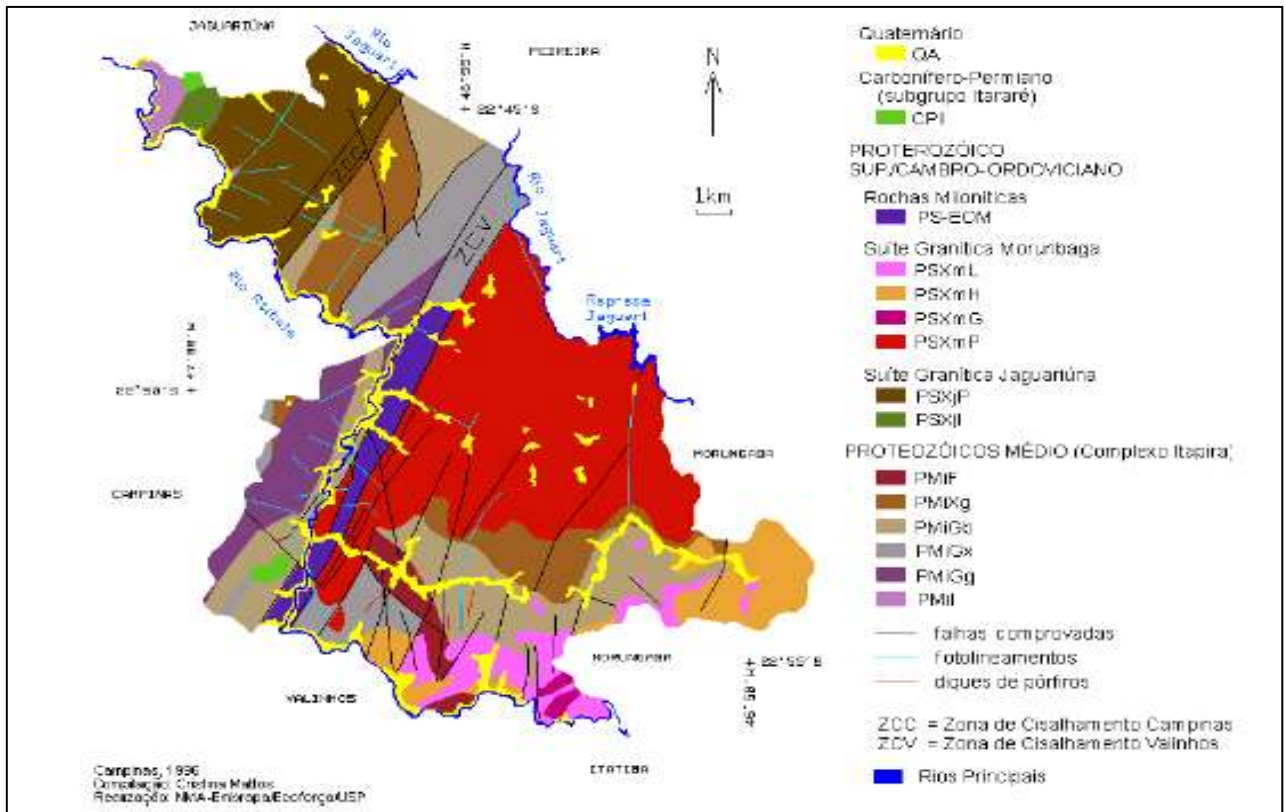


Fig. 4.1. Mapa Geológico simplificado da região de Campinas, mostrando as principais Zonas de Cisalhamento da região. – Autor: Cristina Mattos, 1996. Fonte: Base Cartográfica Digital da Embrapa.

O Subgrupo Itararé, o embasamento cristalino e os depósitos Cenozóicos apresentam quatro fases deformacionais rúpteis. Destas deformações foram geradas falhas transcorrentes sinistrais e dextrais, inversas e normais com posicionamentos distintos dos esforços principais. O padrão de deformação na lente gnáissica de Joaquim Egídio, a oeste da ZCV é distinto daquele a leste. Na zona de cisalhamento a oeste a orientação é NE e a leste, NW. Os compartimentos geomorfológicos distintos na região das coberturas cenozoicas demonstra dois tipos de esforços diferentes (São Paulo, 2009).

O Complexo Itapira ocorre em três domínios estruturais distintos: a oeste da Zona de Cisalhamento Campinas, a leste da Zona de Cisalhamento Valinhos e entre estas duas faixas. É composto por rochas meta-vulcano-sedimentares, onde dominam os gnaisses bandados xistosos, granada-biotita gnaisses, gnaisses indiferenciados, gnaisses facoidais e gnaisses graníticos. As suítes graníticas Jaguariúna e Morungaba foram intrudidas nos gnaisses do Complexo Itapira. A suíte Jaguariúna apresenta-se com foliação ora mais ou menos intensas. Já o maciço Morungaba (final do Proterozoico superior) possui tipos

litológicos maciços e homogêneos. Sua natureza está associada ao período distensivo da Zona de Cisalhamento Valinhos. A ocorrência de rochas miloníticas (desde protomilonitos até ultramilonitos), é possivelmente decorrência de cisalhamento dextral cujos elementos estruturais estão indicados nas rochas. Um segundo período de deformação rúptil-dúctil deve ter atuado sinistralmente, permitindo a colocação de diques de pórfiros relacionados ao magmatismo do maciço Morungaba (São Paulo, 2009).

O Subgrupo Itararé está inserido estratigraficamente acima do embasamento cristalino, sendo representado por quatro unidades: arenitos, ritmitos, associação de ritmitos com lamitos/diamictitos e Itararé indiferenciado. Estas duas últimas unidades estariam na base estratigráfica do subgrupo e teriam se originado a partir de correntes de turbidez com ocasionais depósitos de corrida de lama em ambiente de plataforma ou planície deltáica. Os arenitos sobrepostos a estes representariam um sistema deltaico. Os arenitos com estratificação cruzada e acanalada corresponderiam aos canais distributários e os arenitos com estratificação sigmoidal à frente deltáica. Os sedimentos associados às geleiras são muito restritos e assemelham-se a tilitos que estão em contato muito irregular com o embasamento. Na porção oeste do município de Campinas os sills de diabásio da Formação Serra Geral intrudem o embasamento cristalino e o Subgrupo Itararé. Ocorrências ocasionais de arenitos com estratificação cruzada e com camadas de argilitos, assim como lamitos ricos em grânulos representam o Cenozóico (São Paulo, 2009).

#### **4.1.4. Geologia do local**

O Aterro Sanitário Delta A está situado sob o domínio do Subgrupo Itararé. É constituído basicamente por sedimentos permo-carboníferos, de natureza clástica. São representados por arenitos finos silto-argilosos e siltitos argilo-arenosos, que se apresentam capeados por uma camada pouco espessa de solos coluvionares e/ou aluvionares junto aos vales.

Souza Filho (1986) caracteriza esta parte da região onde está localizado o Aterro Delta como lamitos, que é individualizada na parte inferior do Subgrupo Itararé. Os termos litológicos característicos são os lamitos rítmicos na porção inferior e siltitos na porção superior. Essas rochas encontram-se assentadas sobre o embasamento cristalino,

interdigitadas em sua parte inferior. As litofácies reconhecidas nessa unidade foram os lamitos maciços, lamitos acamados, os ritmitos e os siltitos.

Na ocasião da implantação do aterro foram realizadas investigações geológico-geotécnicas. O topo rochoso foi definido a profundidades variando de 8 a 10 metros, com a resistência à sondagem por percussão. As rochas foram caracterizadas como siltitos argilo-arenosos. Furos de sondagem para construção de poços de monitoramento no Aterro Delta A de Campinas confirmaram a presença de siltito cinza escuro em profundidade a partir de 6 metros de profundidade (cota 580 m) (Campinas, 2001).

No local pode ser observado um afloramento (coordenadas UTM 0279364 E, 7464326 N) de aproximadamente 200 metros de extensão por 6 metros de altura. É onde se retira material de empréstimo para cobertura do aterro (Foto 4.1 - A e C). A geologia local é caracterizada por ritmitos que se intercalam em camadas de espessuras milimétricas a centimétricas de arenitos finos subordinados de cor clara variegada (cinza, creme, amarelada e marrom claro), com concreções de ferro, com estratificação plana paralela. Apresenta família de fraturas com preenchimento de óxidos de ferro e manganês. Há ocorrência de fósseis vegetais principalmente em sua parte arenosa (Foto 4.1- D, E e F).

Foi elaborado mapa geológico do local (Anexo 1), baseado no Mapa Geológico do Município de Campinas elaborado pelo Instituto Geológico de São Paulo (2009).





**A** – Afloramento de ritmo do Subgrupo Itararé dentro da área do Aterro Delta A – Campinas.



**B** – Afloramento abaixo de área de empréstimo próximo à frente de trabalho do Aterro Delta A e ao lado de córrego.



**C** – Afloramento de ritmo do Subgrupo Itararé dentro da área do Aterro Delta A com estratificação plano paralela. Acima camada de solo.



**D** – Amostra de ritmo com marca de fósseis encontrado em afloramento no Aterro Delta A.



**E** – Amostra de ritmo silto-arenoso avermelhado encontrado em afloramento no Aterro Delta A.



**F** – Amostra de ritmo silto-arenoso acinzentado encontrado em afloramento no Aterro Delta A.

Fotos. 4.1- A, B e C afloramentos de ritmos encontrados no Aterro Delta A. Fotos 4.1- D, E e F, amostras de ritmos encontrados em afloramentos, sendo que em D com marca de fósseis. Fotos: Lídia M.D. Gurgel Santos em 30 de agosto de 2011.

#### 4.1.4.1. Feições estruturais locais

Segundo estudos de EIA-RIMA realizados pela FUNDESPA – Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas para implantação do Aterro Delta B vizinho ao atual Aterro Sanitário Delta A, o local apresenta duas famílias distintas de fraturas verticais e ortogonais entre si, com atitude principal N40-50W e N35-50E.

Baseado em imagem de satélite do local permitiu-se identificar lineamentos a partir de estruturas de drenagem, com predominância de lineamento NE-SW, ocorrendo também estruturas com orientação, NW-SE e N-S, com média concentração de ocorrência. Estas feições constam representadas no mapa da figura 4.2.

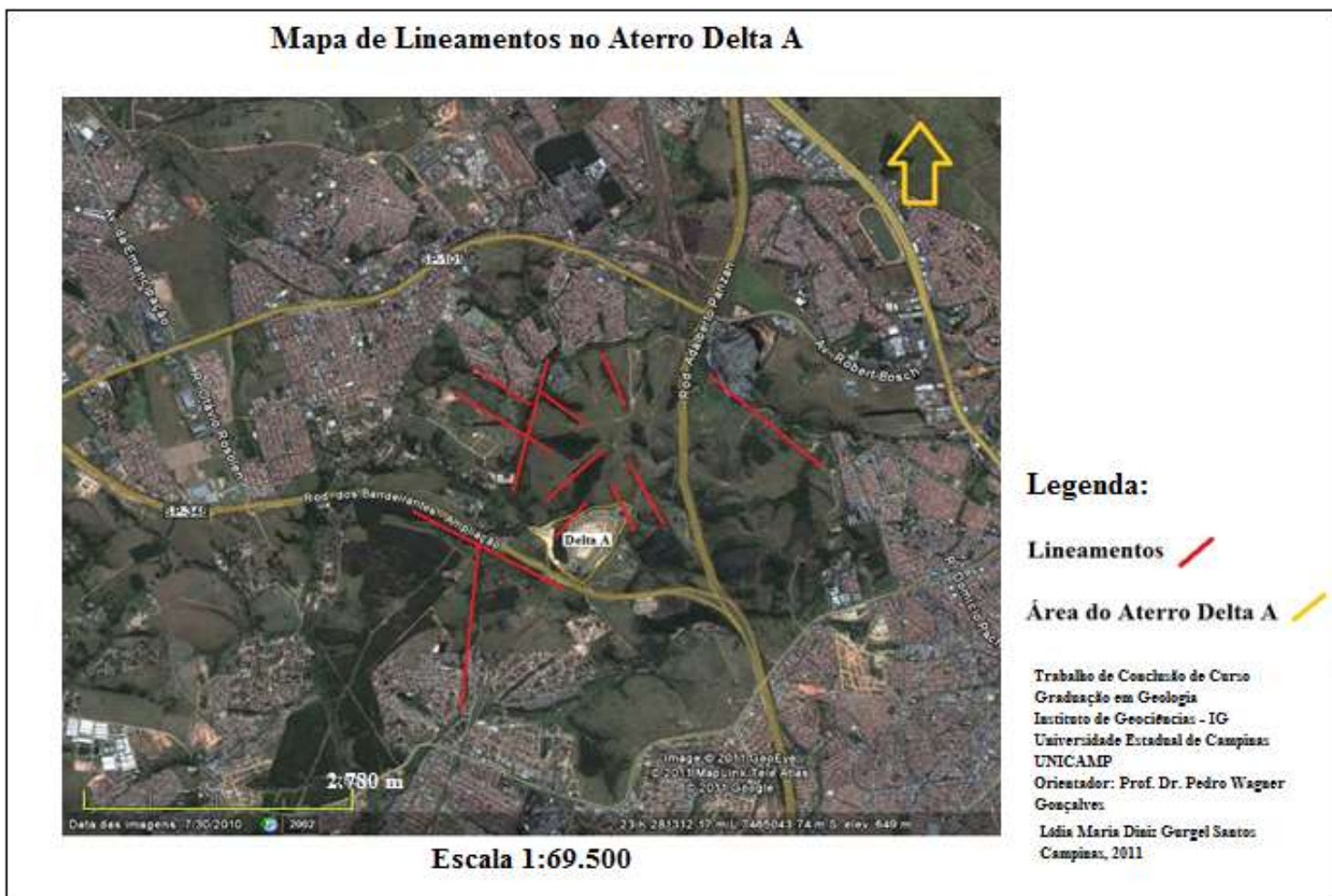


Fig. 4.2 – Mapa de Lineamentos com as feições estruturais na área do Aterro Delta A baseado em imagem de satélite do Google Earth de 30/07/2010.

#### **4.1.5. Geomorfologia**

O Município de Campinas está inserido em dois grandes compartimentos geomorfológicos, o Planalto Atlântico, a leste, a Depressão Periférica, a oeste. Entre estes dois compartimentos há ainda uma área de transição.

A disposição do relevo (Planalto Atlântico) é determinada pela ocorrência de rochas gnáissicas do Complexo Itapira, graníticas das suítes Jaguariúna e Morungaba e miloníticas, a leste; e (Depressão Periférica) de arenitos, ritmitos e lamitos do Subgrupo Itararé, junto com os diabásios da Formação Serra Geral a oeste (Yoshinaga *et al.*,1995).

O Planalto Atlântico corresponde a relevos de morros e serras do Planalto de Jundiaí, onde as altitudes máximas atingem 990 metros (Serra das Cabras – limite sudoeste do município de Campinas) (São Paulo, 2009). No primeiro compartimento formam-se dois tipos de terrenos: os amorreados de inclinação moderada a forte e os amorreados ondulados a inclinados (Yoshinaga *et al.*,1995). Na zona intermediária entre esses dois compartimentos nas zonas de cisalhamento Valinhos e Campinas ocorrem os gnaisses bandados e rochas miloníticas, (SÃO PAULO, 2009).

A Depressão Periférica é constituída por colinas e morrotes, com altitudes médias entre 600 e 700 metros. Neste compartimento aloja-se quase a totalidade da malha urbana do município (Fig. 4.3).

As declividades na área estudada (Aterro Delta A) variam entre 4% e 10%, nos setores próximos à cumeeira da encosta existente na área ocupada pelo aterro e entre 15% e 25% em suas vertentes. A drenagem é considerada como de alta a média densidade, com padrão dendrítico e vales fechados (CAMPINAS, 2001).

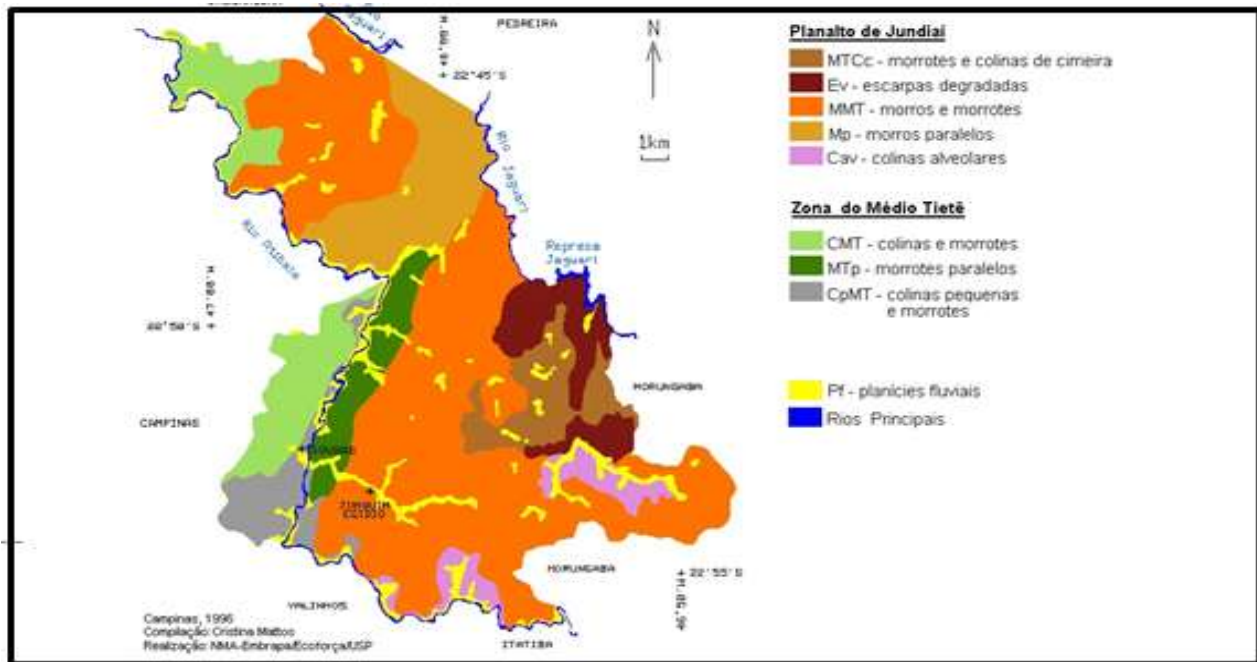


Fig. 4.3- Mapa geomorfológico do município de Campinas. Autor: Cristina Mattos, 1996. Fonte: Embrapa - Base Cartográfica Digital.

#### 4.1.6. Solos

Dentro dos domínios do complexo cristalino, os solos daí provenientes são solos areno-argilosos com a presença de frações grossas, originando através da pedogênese, solos podzólicos vermelho-amarelados, com textura grossa e, de cascalhos nos horizontes superiores. São solos argilosos, impermeáveis e homogêneos, com profundidade variando em torno de 1,5 m. (SÃO PAULO, 2009). Devido a sua constituição apresentam alta susceptibilidade à erosão, agravados pelas altas declividades (12 a 30% nos domínios amorrados de inclinação moderada a forte e 9 a 21% nos domínios amorrados ondulados e inclinados). O desmatamento e a ocupação histórica que promoveu a supressão da cobertura vegetal favoreceu a aceleração dos processos erosivos naturais (Yoshinaga *et al.*, 1995). Nos terrenos onde o substrato é granítico, predominam solos com frações grossas, sendo que as areias grossas e cascalhos chegam a 70% do total dos horizontes superiores dos perfis de solos, enquanto que o silte e a argila aumentam em função da profundidade.

Os solos originados das rochas metamórficas na região das zonas de cisalhamento podem variar conforme a sua composição. Em virtude de suas fraturas e foliações reagem bem ao intemperismo, podendo formar solos predominantemente argilosos (solos

originados de rochas com presença de granada biotita gnaisses, gnaisses bandados e xistos) em função de sua fácil alteração (SÃO PAULO, 2009).

Os sills de diabásio que ocupam a região norte-nordeste do município formam solos espessos, em virtude de constituírem rochas pouco resistentes ao intemperismo. Formam solos com grande porosidade possibilitando maior infiltração de águas pluviais, diminuindo o escoamento superficial e conseqüentemente sua capacidade erosiva. Caracteriza-se por padrão de drenagem dendrítico de baixa densidade.

Na região oeste-sudoeste do município onde predominam as rochas do Subgrupo Itararé, os arenitos formam padrões de drenagem subdendrítico devido a sua maior permeabilidade. Nestes locais os processos erosivos são mais intensos que em terrenos onde ocorrem associações de lamitos, diamictitos e ritmitos. Nos locais onde há ocorrência de arenitos a formação de ravinas e boçorocas é maior. Dão origem a solos podzólicos vermelho-amarelo. Os solos originados do embasamento cristalino são espessos e profundos do tipo latossolo (latossolo roxo). Constituem-se de solos muito argilosos com alta permeabilidade superficial, favorecendo a infiltração das águas. (SÃO PAULO, 2009).

#### **4.1.6.1. Solos no Aterro Delta A**

Os materiais inconsolidados mostraram-se pouco evoluídos, com espessuras máximas de 3 e 4 metros. Já o perfil de intemperismo, a partir da superfície, mostrou solos coluvionares de natureza argilo-arenosa (Foto 4.2-A) (1 m de espessura), solos residuais maduros de natureza argilo-siltosa (2-3 m de espessura) e por fim, solos de alteração de rocha ou saprólitos, de textura argilosa e argilo-siltosa (Foto 4.2-B), e com espessura bastante variada. Estes solos de alteração de rocha guardam as estruturas originais da rocha mãe, identificando aí família de fraturas sub-ortogonais entre si, abertas e revestidas por hidróxidos de ferro e óxidos de manganês, sugerindo constituírem-se caminhos preferenciais de percolação de água. Nas rochas sedimentares, há também descontinuidades sub-horizontais, paralelas à estratificação, apresentando-se abertas e impregnadas pelos óxidos de manganês e hidróxidos de ferro (CAMPINAS, 2001).



**A** – Solo argilo- arenoso em local próximo à frente de trabalho no Aterro Delta A.



**B** – Área de empréstimo do Aterro Delta A. Solo argilo-siltoso usado para cobertura de célula do aterro.

Foto 4.2 – A e B solos no Aterro Delta A. A – solo argilo-arenoso e B silto-arenoso. Fotos: Lídia Maria Diniz Gurgel Santos, em 27 de setembro de 2011.

#### 4.1.6. Clima

As condições climáticas no município de Campinas são características do clima Subtropical de Altitude, cujas características estão atreladas à altitude. Desta forma dependendo da altitude do local o clima vai ter sua condicionante característica ao gradiente térmico vertical. Sendo assim, à medida que a altitude aumenta o gradiente térmico diminui e em oposição ao gradiente térmico os índices pluviométricos aumentam com a elevação. O verão é quente e úmido e, o inverno é seco e frio. A temperatura média anual é de 20,6°C (SÃO PAULO, 2009). Em casos extremos no verão a temperatura pode ultrapassar os 35 °C e no inverno pode chegar a 2°C, conforme dados da FEAGRI-UNICAMP (Tabela 4.1).

As temperaturas mínimas registradas na região são ocasionadas por frente fria de origem subpolar, sob a ação direta do anticiclone polar. Nessas ocasiões o ar torna-se seco e o céu limpo. Podem atingir temperaturas de até 2°C (SÃO PAULO, 2009).

Tabela 4.1 Temperatura e pluviosidade no município de Campinas no período de Junho/1988 a Out/2008. Fonte: CEPAGRI- UNICAMP.

Período Junho/1988 a Outubro/2008									
MES	TEMPERATURA DO AR (C)					CHUVA (mm)			UMIDADE (%)
	média	máxima média	máxima absoluta	mínima média	mínima absoluta	média	máx 24hs	(9hs)	(15hs)
<b>JAN</b>	24,7	29,7	36,2	19,8	14,0	280,3	132,2	78	57
<b>FEV</b>	24,9	30,0	35,6	19,9	14,2	215,9	104,8	78	54
<b>MAR</b>	24,7	29,9	35,0	19,6	15,0	162,3	107,6	73	50
<b>ABR</b>	23,05	28,5	34,1	17,6	7,0	58,6	68,0	72	47
<b>MAI</b>	20	25,5	32,0	14,5	4,0	63,3	143,4	75	46
<b>JUN</b>	18,8	24,8	31,0	12,9	0,0	35,4	35,5	75	43
<b>JUL</b>	18,5	24,8	32,0	12,3	2,0	43,3	50,8	73	41
<b>AGO</b>	20,5	27,2	34,4	13,8	5,0	22,9	34,2	67	36
<b>SET</b>	21,8	27,8	37,6	15,8	5,6	59,5	48,0	68	43
<b>OUT</b>	23,3	29,1	37,4	17,6	9,4	123,5	110,4	70	46
<b>NOV</b>	23,8	29,3	36,8	18,3	10,9	155,6	88,0	72	49
<b>DEZ</b>	24,3	29,6	36,0	19,1	11,6	203,9	126,5	75	54
<b>ANUAL</b>	22,4	28,0	37,6	16,8	0,0	1424,5	143,4	73	47

O período chuvoso em Campinas é bem marcado. Inicia-se na primavera, culminando com índices máximos no verão (Fig. 4.4).

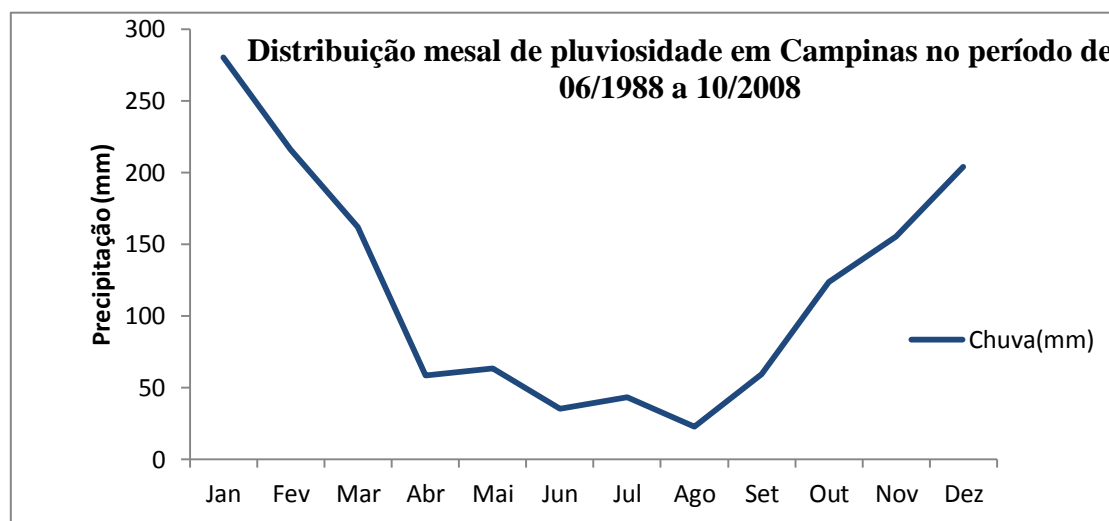


Fig. 4.4 - Distribuição mensal da pluviosidade média no período de 06/1988 a 10/2008 no Município de Campinas. Fonte: CEPAGRI – UNICAMP.

O período seco começa no outono e no inverno os índices pluviométricos são os mais baixos registrados. O regime pluvial no período chuvoso é bastante regular, porém o mesmo não ocorre no período seco, quando as chuvas ocorrem de forma intermitente. A pluviosidade anual é em torno de 1.700 mm (SÃO PAULO, 2009).

#### 4.1.6.1. Pluviosidade no Aterro Delta A

O Aterro Delta A mantém um registro das precipitações pluviométricas na área de influencia do aterro desde 2002. O pluviômetro da marca GEHAKA está instalado em uma plataforma no início (montante) do maciço de resíduos. Os dados apresentados na tabela 4.2 estão representados no gráfico da Fig. 4.5. Os eventos de maior pluviosidade nestes anos está ilustrado no Anexo 2.

Tabela 4.2 - Distribuição mensal de pluviosidade no Aterro Delta A no período de 25/02/2002 a 31/12/2010. Fonte: CAMPINAS, 2010

Distribuição mensal de pluviosidade no Aterro Delta A no período de 25/02/2002 a 2010 (mm)													
Ano	JAN	FEV.	MAR.	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	TOTAL
2002	0,0	5,0	94,0	26,0	98,0	0,0	1,0	71,0	43,5	58,0	117,0	128,0	641,5
2003	415,0	151,0	62,0	53,0	42,5	14,0	25,0	31,0	30,5	100,0	184,5	188,0	1296,5
2004	229,0	211,0	63,0	57,0	79,0	82,0	80,5	0,0	10,0	190,4	186,4	195,0	1383,3
2005	364,0	81,5	211,0	9,0	129,5	41,0	25,0	14,0	58,0	160,0	15,5	74,0	1182,5
2006	230,0	129,0	200,5	55,5	8,0	12,5	38,0	20,5	55,0	57,5	146,5	66,7	1019,7
2007	352,3	106,0	127,0	63,0	74,0	34,0	256,0	0,0	0,0	127,0	85,5	198,0	1422,8
2008	239,4	168,5	199,0	183,0	99,0	41,0	0,0	106,0	35,0	130,0	109,5	283,0	1593,4
2009	193,0	154,0	94,0	99,0	42,0	53,0	100,0	64,0	191,0	100,0	299,0	490,0	1879,0
2010	477,0	145,0	153,0	84,0	24,0	0,0	72,0	0,0	77,0	85,0	173,0	238,0	1528,0

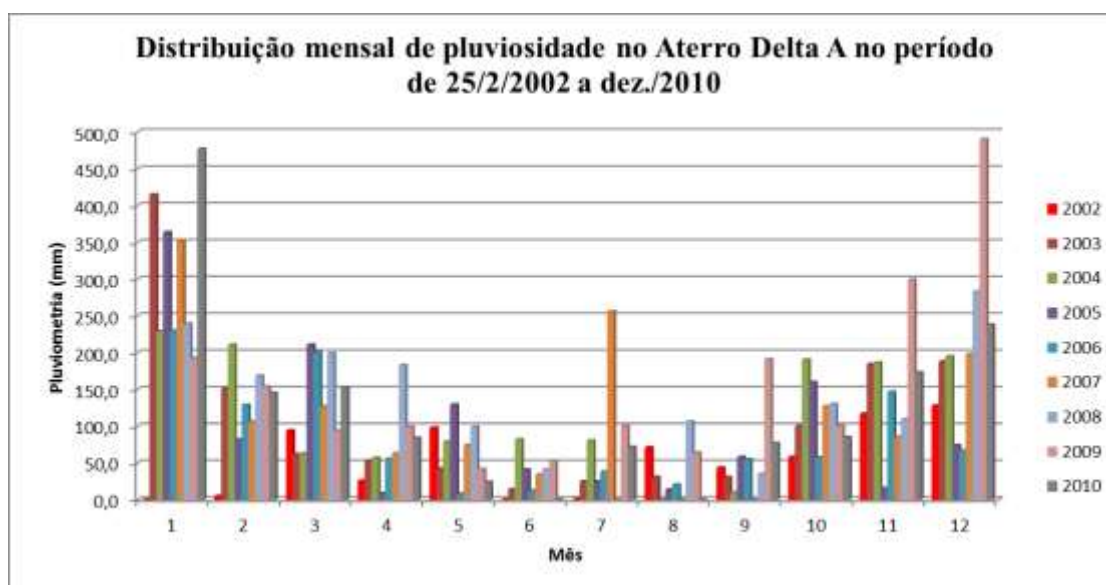


Fig. 4.5 – Gráfico de Distribuição mensal de pluviosidade no Aterro Delta A no período de 25/2/2002 a dez./2010.



## 4.2. Resíduos Sólidos

### 4.2.1. Conceito

Conforme norma da ABNT de nº NBR 10004/04, resíduos sólidos e semissólidos são classificados quanto ao risco potencial ao ambiente e à saúde pública. Os resíduos são resultado de atividades industriais, hospitalares, de varrição, comercial, de serviços, doméstico e agrícola. Aí também estão incluídos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações para tratamento de poluição, assim como líquidos que por sua particularidade não podem ser lançados na rede pública de esgoto ou cursos d'água, ou ainda que exijam uma tecnologia específica de caráter inviável em face à melhor tecnologia disponível para seu tratamento.

### 4.2.2. Classificação

A partir dessas considerações os resíduos podem ser classificados conforme a NBR 1004/04:

Quanto à sua periculosidade, toxicidade, como agente tóxico, toxicidade aguda, agente teratogênico, agente mutagênico, agente carcinogênico, agente ecotóxico, DL<sub>50</sub> (oral, ratos), CL<sub>50</sub> (inalação, ratos) e DL<sub>50</sub> (dérmica, coelhos).

- Periculosidade: característica de um resíduo em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas que podem apresentar risco à saúde pública provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou risco ao ambiente quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

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

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

- Toxicidade aguda: propriedade potencial que o agente tóxico tem de provocar um efeito adverso grave ou mesmo morte em sua interação com o organismo ao ser exposto a uma única dose alta ou a seguidas doses em um curto espaço de tempo.

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

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

- Agente carcinogênico: qualquer substância, mistura, agente físico ou biológico, cuja ingestão, inalação ou absorção cutânea possa desenvolver câncer ou aumentar a sua frequência. O câncer é o resultado de um processo anormal, não controlado, da proliferação celular, podendo ser iniciado por alteração mutacional.

- Agente ecotóxico: substâncias ou misturas que apresentam ou possam apresentar perigo para um ou vários compartimentos ambientais.

- DL<sub>50</sub> (oral, ratos): dose letal para 50% da população de ratos testados quando administrados por via oral (DL= dose letal).

- CL<sub>50</sub> (inalação, ratos): concentração de uma substância que é letal para 50% da população de ratos, quando expostos à inalação desta substância (CL= concentração letal).

- DL<sub>50</sub> (dérmica, coelhos): dose letal para 50% da população de coelhos testados, quando administrados em contato com a pele (DL= dose letal).

### **4.2.3. Caracterização**

Conforme esta mesma norma (NBR 1004/04), os resíduos foram divididos em duas classes:

- a) Resíduos Classe I – Perigosos - Risco à saúde pública e ao ambiente, ou seja, resíduos que possuam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
- b) Resíduos Classe II – Não perigosos

Classe II A – Não Inertes – podem apresentar características como biodegradabilidade, combustibilidade, solubilidade e que não se enquadram nas Classes I e Classe II B. Como exemplo tem-se os resíduos sólidos domiciliares.

Classe II B – Inertes – quando submetidos a ensaios com água destilada não apresentam solubilidade de nenhum de seus componentes a concentrações superiores ao padrão de potabilidade, exceto cor, turbidez, sabor e dureza. Como exemplo desses materiais tem-se os resíduos de construção civil e de demolição.

#### **4.2.3.1. Composição Gravimétrica**

A composição de resíduos sólidos domésticos nos municípios brasileiros varia de acordo com os hábitos culturais, socioeconômicos, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que diferenciam as comunidades entre si. A composição gravimétrica é um dado essencial para estimar estabilidade do talude no aterro sanitário. Na literatura são apresentados diferentes métodos para realizar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos, a maior parte com base no quarteamento da amostra conforme a NBR 10007/ABNT (1987). Normalmente os resíduos sólidos de origem domiciliar apresentam matéria orgânica, papel, papelão, metais ferrosos e não ferrosos, plásticos, vidros, couro, madeira, trapos, borracha, entre outros (Zanta e Ferreira, 2003).

### **4.2.4. Aterro Sanitário**

#### **4.2.4.1. Definição**

O Aterro Sanitário é uma obra de engenharia que consiste de um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente do lixo domiciliar, que fundamentado em normas operacionais específicas, bem como, baseado e amparado em

critérios e métodos de engenharia, permite uma confinção segura, em termos de controle de poluição ambiental e proteção da saúde pública.

Para a disposioo adequada do aterro é necessrio que tenha:

- condies hidrolgicas favorveis;
- sistema de impermeabilizao da base do aterro;
- sistema de drenagem sub-superficial de lquidos percolados;
- sistema de drenagem vertical de gases;
- sistema de drenagem de guas pluviais;
- sistema de tratamento de lquidos percolados (gua + chorume);
- sistema de monitoramento hidrogeolgico de efluentes e guas subterrneas e de corpos hdricos prximos ao empreendimento;
- mo de obra qualificada para administrar, operar e dar manuteno ao empreendimento.
- equipamentos adequados para compactao e cobertura diria dos resduos slidos dispostos na frente da operao. Isto evita a presena de vetores transmissores de doenas e reduz infiltraes de guas pluviais na massa de resduos. So necessrios tambm para realizar obras de infraestrutura necessrias. Na figura 4.6 tem-se uma ideia esquemtica de como é um aterro sanitrio e seu funcionamento.

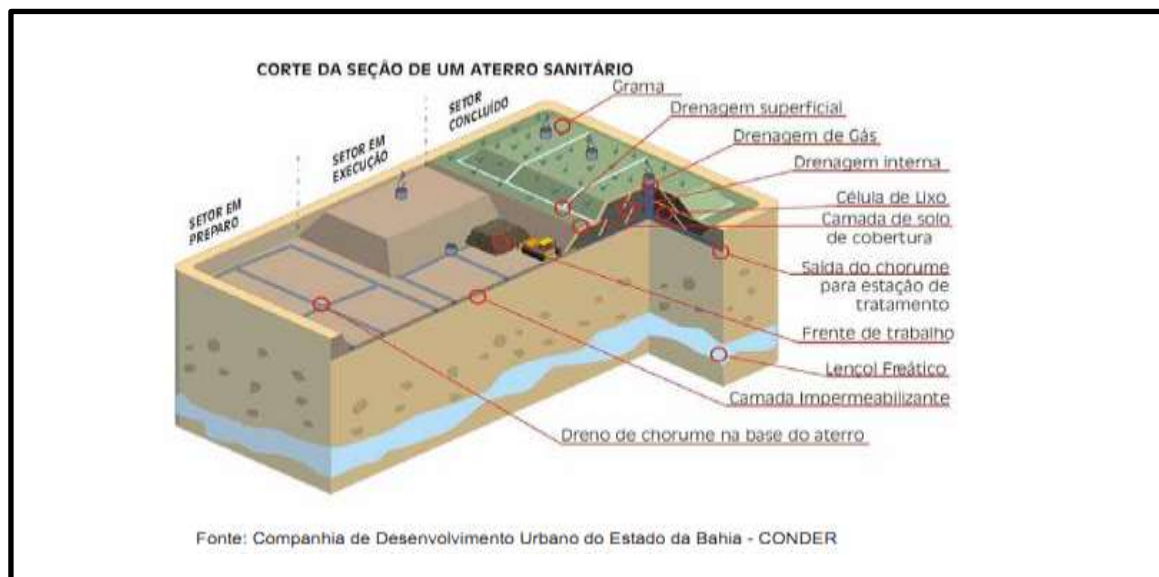


Fig. 4.6 - Corte de Seção de um aterro sanitrio, mostrando os sistemas de drenagem de gás, drenagem interna de chorume, drenagem superficial e frente de trabalho. Fonte: Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia - CONDER

#### 4.2.5. O Chorume

O chorume é um líquido proveniente da decomposição de resíduos sólidos em um aterro ou depósito de lixo. Por ser resíduo de alto poder energético, oferece condições de desenvolvimento de microorganismos decompositores aeróbicos e principalmente anaeróbicos. A atividade bacteriana e de outros organismos, aliados às condições do meio, como pH, temperatura, condutividade redox, entre outros parâmetros físico-químicos, são responsáveis pela sua formação (Barbosa, 1999).

Como a composição dos resíduos sólidos pode ser muito variável, o conteúdo do chorume também assim o é. Além disso, a idade do depósito, o seu grau de evolução, assim como outros fatores promovem essa diferenciação de componentes.

Num primeiro processo o resíduo é decomposto aerobiamente e depois via anaeróbia. Logo após a cobertura dos resíduos num aterro sanitário, ainda há a presença de ar e, portanto, de oxigênio, aprisionado no interior da célula confinada. Nesta fase começa a degradação aeróbia, ou seja, a degradação da matéria orgânica por organismos que utilizam oxigênio. Assim, a matéria orgânica polimérica é submetida à ação de enzimas extracelulares específicas (Castilhos Jr, *et al.*,2003).

A segunda fase de degradação da matéria orgânica acontece em meio anaeróbio. Com a diminuição da quantidade de oxigênio, os organismos facultativos, ou seja, aqueles que preferencialmente não usam o oxigênio na decomposição da matéria, porém podendo fazê-lo, convertem o material orgânico particulado como celulose e outros materiais putrescíveis, em compostos dissolvidos, num processo denominado hidrólise ou liquefação. Em outra fase posterior, as bactérias obtêm energia pela transformação da matéria orgânica hidrolisada, contudo sem recorrer à estabilização da matéria orgânica. Durante esta fase, que pode durar anos, é produzida quantidade considerável de compostos orgânicos simples de alta solubilidade, principalmente ácidos graxos voláteis. Neste processo há intensa produção de hidrogênio (Castilhos Jr, *et al.*,2003).

Numa terceira fase há a produção de ácido acético e grandes quantidades de nitrogênio amoniacal. Esses ácidos se misturam com os líquidos que percolam a massa de resíduo sólido, fazendo com que o pH do meio atinja valores entre 4 e 6 (Castilhos Jr. *et al.*,2003). Nestas concentrações a solubilidade de metais aumenta, podendo apresentar altas concentrações de ferro, manganês, zinco, cálcio e magnésio.

Os valores de pH baixo favorecem o aparecimento de maus odores ocasionados pela liberação de gás sulfídrico ( $H_2S$ ), amônia( $NH_3$ ), e outros gases. Nesta fase a demanda bioquímica de oxigênio é alta (DBO). Este parâmetro é medido para indicar a concentração de matéria orgânica em um dado volume líquido. Os valores de DBO nesta fase chegam a atingir 10g/L. Outro indicador utilizado para analisar a demanda de oxigênio é o DQO (demanda química de oxigênio). A razão DBO/DQO dos lixiviados superior a 0,5 indicam que eles são relativamente biodegradáveis (Castilhos Junior *et al.*, 2006). A quantidade e qualidade do lixiviado são afetadas pela ação das águas da chuva, do líquido produzido pelo próprio lixo e pelas águas subterrâneas que se infiltram no aterro.

Na quarta e última fase os compostos orgânicos simples formados na fase acetogênica são consumidos por bactérias estritamente anaeróbias, denominadas bactérias metanogênicas, que dão origem ao metano ( $CH_4$ ). Essas bactérias desenvolvem-se preferencialmente em pH próximo ao neutro (pH= 7,0). Neste processo de decomposição da matéria há formação de gases como o gás carbônico e o metano (Barbosa *et al.*, 2001).

#### **4.2.6. Lançamento de resíduos em corpos d'água**

Segundo a Resolução de nº 357 de 2005 do CONAMA, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

O órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento acrescentar outras condições e padrões, ou torná-los mais restritivos. Se achar necessário poderá exigir a melhor tecnologia disponível, tendo em vista as condições locais e mediante fundamentação técnica para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo curso de água superficial. Desta forma, é vedado o lançamento e a autorização de lançamento de efluentes em desacordo com as condições e padrões estabelecidos naquela Resolução. Excepcionalmente o órgão ambiental competente poderá autorizar o lançamento de efluente acima das condições e padrões estabelecidos no art. 34, daquela Resolução, desde que haja comprovação de relevante interesse público e amparado em Estudo de Impacto Ambiental-EIA com fixação de prazo máximo para o lançamento excepcional.

No caso de lançamento de significativo impacto, o órgão ambiental, na ocasião da renovação de licença deverá exigir estudo de capacidade e suporte de carga do corpo de água receptor.

A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não poderá causar poluição ou contaminação das águas. As condições de lançamento de efluentes devem estar com pH entre 5 a 9, temperatura inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura. Os parâmetros utilizados são exibidos na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Parâmetros orgânicos e Inorgânicos para lançamento de efluentes em corpos d'água. Fonte: CONAMA.

<b>PADRÕES</b>	
<b>PARÂMETROS INORGÂNICOS</b>	<b>VALOR MÁXIMO</b>
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo total	0,5 mg/L Cr
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
<b>PARÂMETROS ORGÂNICOS</b>	<b>VALOR MÁXIMO</b>
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano	1,0 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Tetracloroeto de Carbono	1,0 mg/L
Tricloroetano	1,0 mg/L

#### **4.2.7. Parâmetros orgânicos e inorgânicos na decomposição dos resíduos**

Os metais de uma forma geral são elementos presentes na degradação dos resíduos sólidos. O chumbo e o cobre são encontrados em quantidades consideráveis nos metais ferrosos; cádmio e níquel em plásticos; borracha representa uma grande fonte de zinco e as pilhas fontes de mercúrio, cádmio, zinco e níquel (Sisinno, 2002). Durante a fase de fermentação ácida da decomposição desses resíduos, os metais estão mais solúveis. Nas fases de estabilização, com o pH mais alcalino, a disposição destes elementos é menor (Sisinno, 1995).

Estes metais, juntamente com outros compostos orgânicos que ocorrem nos lixiviados podem se tornar corrosivos, tóxicos, inflamáveis, reativos, carcinogênicos, teratogênicos, mutagênicos e ecotóxicos, entre outros resíduos, que podem se apresentar como bioacumulativos e/ou persistentes (Slack *et al.*, 2004).

Nos aterros sanitários, onde ocorre a disposição planejada dos resíduos sólidos, normalmente o chorume é canalizado para um tanque a céu aberto (como é o caso do Aterro Delta A), podendo haver ou não um pré-tratamento, e, a partir desse reservatório, em alguns casos, é despejado em bacias hidrográficas. A poluição das águas pelo chorume pode provocar endemias ou intoxicações, se houver a presença de organismos patogênicos e substâncias tóxicas em níveis acima do permissível (Sisinno, 2000).

A identificação dos contaminantes responsáveis pela ocorrência dessas toxicidades é difícil em função da restrição de detecção desses metais, por conta de análises rotineiras e também em virtude da complexidade das misturas dos lixiviados e a incerteza de sua biodisponibilidade (Isidori, *et al.*, 2003).

Quanto à abundância de oxigênio dissolvido na água, ela é comprometida pela presença de bactérias e outros organismos detritívoros que decompõem a matéria orgânica. Esta quantidade de oxigênio que pode estar dissolvida na água é bastante limitada. Em águas frias, o nível de oxigênio dissolvido pode atingir cerca de 10mg/L, sendo que a solubilidade do gás diminui com o aumento da temperatura. Se comparar esse valor com o oxigênio do ar (210.000 ppm), é infinitamente menor. Conseqüentemente, a presença de matéria orgânica, ainda que pequenas quantidades podem ocasionar uma diminuição significativa do oxigênio dissolvido na água (Grassi, 2001). Esse grau de consumo é avaliado pelo parâmetro DBO que é a demanda bioquímica de oxigênio.

A DBO serve como uma forma de medição do potencial poluidor de certas substâncias biodegradáveis em relação ao consumo de oxigênio dissolvido. Em esgotos domésticos pode atingir 300 mg/L. Para águas limpas a 20° C esses valores situam-se em torno de 9mg/L (Braga *et al.*, 2005).

Considerados como metais perigosos à saúde, chumbo, mercúrio, arsênio, cromo, manganês, zinco e cobre são encontrados em diversos resíduos sólidos, já que a indústria utiliza estes elementos na laminação de metais e mesmo alguns podem ser encontrados em medicamentos, pigmentos, esmaltes, tintas e corantes (Siegel, 2002).

Em geral, o processo de precipitação de constituintes químicos é em função do pH. No entanto, a força iônica, temperatura, estado de oxidação dos metais, concentrações destes metais em solução e a condutividade elétrica podem contribuir com esse processo. Na maioria dos casos, o pH de hidrólise é que vai comandar a precipitação desses elementos. O pH de hidrólise do manganês é 8,8. Em ambientes onde o pH é inferior a este valor ele permanece em solução (Campaner e Luiz-Silva, 2009; Siegel, 2002).

A condutividade elétrica na água representa a capacidade da mesma em conduzir corrente elétrica decorrente da presença de sais em solução. Quanto maior a presença de íons dissolvidos no soluto, maior é a condutividade elétrica do meio (SÃO PAULO, 1993).

A presença de bário nas águas naturais é rara. Seus teores variam de 0,0007 a 0,9 mg/L, sendo as principais fontes naturais o intemperismo e a erosão de depósitos naturais, normalmente veios, onde ocorre na forma de barita ( $BaSO_4$ ), ou feldspatos ricos em Ba. A indústria utiliza o bário em pigmentos, vidros, fogos de artifício e defensivos agrícolas. Em aterros sanitários, a fonte deste elemento pode acontecer via pigmentos em objetos e vidros (Grassi, 2001).

O cloreto está presente nas águas em teores inferiores a 100 mg/L. Forma compostos muito solúveis e tende a se enriquecer, junto com o sódio, a partir das zonas de recarga das águas subterrâneas. Por ser um íon conservativo, não sendo degradado ou mesmo adsorvido, seus teores anômalos são utilizados como indicativos de contaminação de água do mar ou por aterros sanitários (SÃO PAULO, 2009; Grassi, 2001; Braga *et al.*, 2005).

O ferro é um elemento que está presente em quase todas as águas subterrâneas em teores abaixo de 0,3 mg/L. A fonte primária provém de minerais como biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. Por sua afinidade geoquímica está sempre acompanhado pelo



manganês (Grassi, 2001). Durante a decomposição de matéria orgânica alguns contaminantes são liberados em virtude de sua incorporação em tecidos dos microrganismos. Dentre eles o ferro e o manganês em decorrência de processos de oxidação. A presença de ferro em aterros é em sua maior parte, no estado reduzido, e a mobilidade do ferro bivalente é mais alta do que o ferro trivalente (Braga *et al.*, 2005). O íon  $Fe^{2+}$  pode ser removido da solução como hidróxido, porém em valores de  $pH < 7,5$  a precipitação é lenta e incompleta (Campaner e Luiz-Silva, 2009).

No Brasil a maior parte dos solos é composta por latossolos que possui em sua constituição a caulinita, um tipo de argila cujas partículas são revestidas por óxidos de ferro. Esses minerais podem ser desagregados pelo gás carbônico presente na água da chuva, o qual é proveniente do  $CO_2$  atmosférico. Esse processo libera metais que vão se infiltrar no aterro junto com a água, podendo ou não vir a fazer parte do lixiviado e consequentemente atingir o nível freático (Souto, 2009).

A grande atividade biológica presente tanto na massa de resíduo quanto no sistema de drenagem faz com que a quase totalidade do nitrogênio orgânico seja convertida em nitrogênio amoniacal dentro do próprio aterro. Com isto, as concentrações de amônia são elevadas e, pouco nitrogênio orgânico fica no lixiviado. A quase totalidade da amônia presente no lixiviado é proveniente da degradação da matéria orgânica, sendo um importante traçador da contaminação do lixiviado nos corpos hídricos (Souto, 2009).

## 5. Materiais e Métodos

A pesquisa foi iniciada pela revisão bibliográfica procurando atender o campo multidisciplinar que abrange área da Hidrogeologia, Geologia de Engenharia, Geoquímica, Engenharia Civil, Engenharia Ambiental e Direito Ambiental. Após essa fase, houve um levantamento documental de dados do Departamento de Limpeza Urbana (DLU) sobre o Aterro Sanitário Delta A. Os documentos permitiram caracterizar a história desde a implantação da obra. Nesta etapa, a análise de águas subterrâneas e superficiais feitas no Aterro Delta A, no período de 2002 a 2010, foram comparadas aos índices de normas técnicas dos órgãos ambientais reguladores (CONAMA, CETESB).

O trabalho contou com visita técnica junto a afloramento dentro da área do Aterro Delta A visando caracterizar a geologia local. Além disso, foram visitados os poços de monitoramento, as lagoas de chorume e as frentes de trabalho onde os resíduos sólidos são depositados.

Dados de campo, interpretação de fotografias aéreas (Empresa Base, 1995) em escala 1:25.000, imagem de satélite do Google Earth em escala 1:69.500 de 30 de julho de 2010 permitiram elaborar mapa geológico da área em escala 1:25.000 e mapa de lineamento em escala 1:69.500. O mapa geológico do município de Campinas (São Paulo, 2009), escala 1:50.000, serviu de referência para o mapa geológico.

A carta topográfica de Campinas (São Paulo, 1979), escala 1:10.000 (folhas SF-23-Y-A-V-4-SO-B e SF-23-Y-A-V-4-SO-D) que cobre a área serviu de base cartográfica do mapa de pontos, assim como para confecção do mapa de caracterização da pluma. O *software* Arc Gis foi utilizado para confeccionar os mapas geológico, de lineamento e de pontos.

Os mapas de concentração de cloreto e condutividade elétrica no Aterro Delta A foram feitos com o *software* Oasis Montaj. O software Excel foi utilizado para executar as tabelas e gráficos constantes deste trabalho.

Para identificar possíveis contaminações antropogênicas foi utilizado o Fator de Enriquecimento (FE). Ele é calculado a partir de um valor de referência geogênico (“background”). Este fator quantifica a concentração do elemento de interesse ( $C_i$ ) na amostra em relação ao “background” geoquímico cujas heterogeneidades são minimizadas com a introdução de um elemento normalizador ( $CR =$  concentração do elemento de

referência). Utiliza-se normalmente o alumínio dentre os normalizadores por apresentar estabilidade química. Neste caso utilizaram-se como valor de referência os indicadores para qualidade de águas do Aquífero Tubarão emitido pela CETESB. O Fator de Enriquecimento (FE) obedece à seguinte equação:

$$FE = (C_i/CR)_{amostra} / (C_i/CR)$$

Os valores de FE calculados para os metais que ficam na faixa de  $0,5 \leq FE \leq 1,5$  sugerem que os traços dos metais presentes nas amostras podem ser devidos a processos naturais. Os pontos que apresentarem  $FE \geq 1,5$  indicam a evidência de que uma importante proporção do metal provém de outras fontes, sugerindo contaminação ambiental por esses metais. (Hortellani, *et al.*, 2008). Já Luiz Silva considera como valores anômalos os elementos cujo fator de enriquecimento (FE) seja maior que dois e aqueles menores que dois como valores normais. Quanto maior o FE, maior o enriquecimento do elemento de interesse em relação ao background geoquímico considerado. Neste trabalho considerou-se como valor anômalo o FE maior que dois.

## **6. Estudo de Caso**

### **6.1. O Aterro Delta A (breve histórico)**

O aterro sanitário de Campinas Delta A iniciou suas atividades em 1992. Em decorrência de pressões populares e políticas que culminaram com o fechamento do Lixão da Pirelli e o fechamento do Aterro Santa Bárbara, as atividades do Aterro iniciaram em caráter emergencial, enquanto se fazia a avaliação de Estudo de Impacto Ambiental para encaminhamento à Secretaria Estadual do Meio Ambiente (Cunha, 2002). A avaliação geológica-hidrogeológica foi realizada pela empresa Geocorp em setembro de 1992 e EIA/RIMA executado pela empresa Arquiteto Pedro Taddei e Associados, em dezembro de 1992 (CAMPINAS, 2001).

Em 1996, a Prefeitura Municipal de Campinas idealizou o projeto Complexo Delta, onde em um mesmo lugar existiria um Sistema Integrado de Tratamento e Destinação de Resíduos Sólidos, com tratamento de resíduos domésticos, hospitalares, industriais e da construção civil (Cunha, 2002). Tal empreendimento sofreu severas críticas, tanto por parte da população quanto pela Secretaria do Meio Ambiente, pois a implantação do projeto e o processo de licitação foram feitos de maneira apressada e não dispunha de licença ambiental dos órgãos competentes.

Hoje o Complexo Delta conta com a Usina de Desinfecção de Resíduos Hospitalares (Sistema de Microondas), Aterro de Resíduos da Construção Civil e Aterro de Resíduos Sólidos Domésticos. Está preparado para receber resíduos sólidos domiciliares classe II e resíduos perigosos classe I, conforme classificação da NBR 10004 (ABNT, 2004), todos gerados no município. Atualmente o Aterro Delta recebe mais de 350 mil toneladas/ano, conforme tabela 6.1, segundo informações do próprio aterro. Isso significa que em 19 anos de funcionamento do Aterro houve um acréscimo de 585% de deposição de resíduos. O município coleta 100% de seu resíduo e a recepção de resíduos chega a 27.000 toneladas/mês.

Tabela 6.1 Quantidade de resíduos recolhidos no Aterro Delta A desde a sua implantação.

Quantidade de resíduos recolhidos no Aterro Delta A desde sua implantação			
Ano	Quantidade de resíduos recebidos (ton./ano)	Ano	Quantidade de resíduos recebidos (ton./ano)
1992	61.297,75	2002	278.597,12
1993	183.893,25	2003	257.827,37
1994	188.715,42	2004	273.437,04
1995	218.276,89	2005	270.067,73
1996	243.266,03	2006	280.808,78
1997	258.036,98	2007	305.443,44
1998	259.666,10	2008	313.599,93
1999	266.797,31	2009	283.373,86
2000	265.491,83	2010	336.000,00 (**)
2001	271.926,35	2011	358.000,00(*)
(*) Estimado		(**) Média	
Fonte: Campinas, 2011			

Enquanto a população de Campinas cresceu 3% em cinco anos, segundo dados do IBGE, que passou de 1.045 mil em 2005 para 1.080 mil em 2010, a produção do lixo em Campinas aumentou 25%. Quase a metade do lixo é de matéria orgânica e vai gerar chorume. Na composição média há poucos bens metálicos, o que sugere mecanismo de reciclagem de metais (com destaque para alumínio, pelo seu alto valor no mercado de reciclagem). Outro ponto preocupante é a estabilidade do aterro: a matéria orgânica diminuiu muito o volume, portanto é um problema para estabilidade dos taludes do aterro. A composição dos resíduos esta representada está no gráfico da figura 6.1 cujos dados constam da tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Porcentagem de composição média de resíduos sólidos no Aterro Delta A.

Composição Média de Resíduos Sólidos no Aterro Delta A	
Material	%
Matéria Orgânica	49,09
Papel e papelão	14,09
Plástico	19,61
Madeira	0,89
Pano/estopa	2,51
Folha/mato	6,57
Outros	7,24



Fig. 6.1 - Gráfico de composição média de resíduos sólidos depositados no Aterro Delta A no município de Campinas. Fonte: Aterro Delta A.

O Aterro Delta possui na sua parte mais antiga, proteção de camada de argila de 70 cm de espessura para proceder à impermeabilização da sua base. Na parte mais nova, utiliza-se a manta de polietileno de alta densidade – PEAD de dois milímetros de espessura. A cobertura do topo é realizada com camada de argila de 40 cm (Iclei, 2009).

O fluxo de gases produzidos no aterro é direcionado a um sistema de dutos (são 110 drenos), para queima de gases (com acendimento manual). Estes dutos também são construídos conforme normas determinadas pela aplicação dos cuidados ambientais normatizados.

Quanto ao escoamento das águas superficiais, há a construção de canaletas de concreto e estruturas flexíveis, com utilização de gabiões nos dispositivos de vazão, sedimentação e dissipação das águas (Oliveira, 2005).

Para drenagem de líquidos percolados é utilizada uma rede de drenos com aplicação de brita. O chorume produzido no aterro é captado por meio de drenos verticais e horizontais encaminhados para a lagoa de decantação (Fotos 6.1). A quantidade de chorume produzido é de aproximadamente 300 m<sup>3</sup>/dia (Campinas, 2010).

Em 2002 quando as lagoas de tratamento estavam em implantação, optou-se pelo rebaixamento do canal de drenagem junto ao limite Norte do aterro. Isto permitiria o rebaixamento do nível freático nesta região para a construção da terceira lagoa de acumulação de lixiviados. Porém, deparou-se com problemas legais de limites de área com os titulares de propriedades vizinhas.

Um emissário de aproximadamente 1.000 metros de extensão foi implantado na margem esquerda do canal de drenagem da divisa Norte (Rio das Cobras) para lançamento dos percolados tratados, no próprio Rio das Cobras, aproximadamente a 200 metros a montante da

confluência com o Córrego Piçarrão.

Apesar de conter instalação para tratamento do chorume pela técnica de lodo ativado no aterro (sistema biológico), ela encontra-se desativada desde seis de setembro de 2008. A partir desta data todos os líquidos percolados gerados pelo Aterro são captados e conduzidos para os reservatórios de acumulação temporária e para as lagoas que faziam parte do sistema de tratamento de chorume do Aterro.

Após desativação da Estação de Tratamento de Chorume, foi firmada parceria entre Departamento de Limpeza Urbana - DLU da Prefeitura Municipal de Campinas e



Fotos 6.1 – Lagoas de Captação de chorume no Aterro Sanitário Delta A, em região próxima a córrego das Cobras. Fotos: Lídia Maria Diniz Gurgel Santos em 27 de setembro de 2011.

SANASA. Os líquidos percolados gerados pelo Aterro são transportados e encaminhados para tratamento na Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Piçarrão da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A. – SANASA em caminhões tipo esgota-fossa. Com estas medidas, os efluentes não são mais lançados no Ribeirão das Cobras.

Em abril de 2002 preparou-se a área situada entre os maciços 1 (Oeste) e 2 (Leste) para deposição de resíduos, com execução de aterro de base de solo compactado. Executou-se serviço de drenagem das nascentes e colocação de camada de solo compactado de 1 metro de espessura, para impermeabilização da fundação.

Com excedentes de solo de escavação preparatória do maciço, e solos retirados da área de empréstimo do Aterro Sanitário impermeabilizou-se a base no novo maciço. O solo comprimido por meio de rolo compactador DYNAPAC CA25, atingiu grau de compactação mínimo de 95% e teor dentro da faixa de 0% a mais ou menos 2% de umidade ótima, ambos referidos no Ensaio Proctor-Normal (NBR-7182:1986 – Solo – Ensaio de Compactação) (CAMPINAS, 2002). Neste maciço, denominado maciço central foram executados drenos verticais de gás (tipo Ranzini) (Foto 6.2-C) e drenos horizontais de gás e percolados no corpo do maciço central. Diariamente os resíduos depositados no Aterro são compactados e cobertos com uma camada de solo conforme modelo da Foto 6.2 A e B, sendo um dos elementos da rotina do aterro (Foto 6.3).



Fotos 6. 2 - Procedimentos de cobertura (A) e compactação (B) de resíduo sólido no Aterro Delta A para eliminação de vetores. Fotos: Lídia Maria Diniz Gurgel Santos em 23 de agosto de 2011.





A – Lixo no Aterro Sanitário Delta A



B - Coleta de lixo para caracterização gravimétrica.



C- Frente de trabalho no Aterro Delta A.



D – Compactação de célula de lixo no Aterro Delta A.

Fotos 6.3 - Rotina de trabalho no Aterro Sanitário Delta A – Campinas. Fotos: Lídia Maria Diniz Gurgel Santos em 23 de agosto de 2011.

A drenagem superficial é efetuada através de implantação de canaletas das bermas (parte superior das camadas de lixo que ficam expostas, objetivando aumentar a estabilidade do aterro e facilitar a manutenção e o monitoramento da célula) (Foto 6.4-B) e das descidas d'água com colchões Reno (estruturas retangulares, caracterizadas por sua grande área e pequena espessura, fabricadas com malha hexagonal de dupla torção, produzida com arames de baixo teor de carbono, revestidos e preenchidos com pedras, constituindo-se elementos drenantes) (Foto 6.4- A).



A - Colchão Reno para drenagem de águas superficiais no Aterro Delta A - Campinas



B – Canaletas no maciço das células de lixo para aliviar a pressão no talude.



C – Dreno vertical de gás tipo Ranzini para aliviar a pressão de gás do talude.

Fotos 6.4– Elementos do Aterro Sanitário como A- dreno para escoamento de águas superficiais; B – Construção de canaletas para aliviar a pressão no talude da célula de resíduos sólidos; C – Dreno vertical tipo Razini para aliviar a pressão de gases no interior da célula. Fotos: Lídia Maria Diniz Gurgel Santos em 27 de setembro de 2011.

## 6.2. Monitoramento de águas superficiais e subterrâneas no Aterro Delta A - Campinas.

Em novembro de 2001 foram instalados 05 poços de monitoramento de águas subterrâneas no Aterro Delta A com a finalidade de se monitorar a qualidade das águas subterrâneas e conseqüentemente acompanhar os efeitos do Aterro Sanitário no nível freático local. As medições no início eram efetuadas a cada três meses e atualmente é feito um acompanhamento semestral da qualidade dessas águas.

Os poços foram colocados estrategicamente na área do Aterro de modo que se pudesse acompanhar a migração de possíveis contaminantes. Os poços PM 01 A (próximo à Lagoa Seca) e PM 01 B (próximo ao pátio de compostagem) estão a montante do Aterro. O poço PM 02 está na parte central, os poços PM 03 (próximo ao Microondas) e o PM 04 (próximo às lagoas de chorume) a jusante, próximos ao Rio das Cobras (Fotos 6.5).



Lagoa de monitoramento próxima à estação de armazenamento de chorume no Aterro Delta A.

Córrego fronteiro ao Aterro Delta A. A.

Córrego ao lado das lagoas de Chorume no Aterro Delta A.

Poço de monitoramento de água subterrânea ao lado das lagoas de chorume, do Aterro Delta A, próximo ao rio das Cobras.

Fotos 6.5 - No alto à esquerda lagoa de monitoramento de águas superficiais próxima às lagoas de chorume; no alto à direita, drenagem ao lado do Aterro Delta A; abaixo à esquerda, drenagem ao lado da lagoa de chorume e abaixo à direita poço de monitoramento PM-04 próximo à lagoa de chorume. Fotos: Lídia Maria Diniz Gurgel Santos em 23 de agosto de 2011.

Suas especificações estão na Tabela 6.3 e encontram-se localizados no mapa de pontos do Anexo 8. Atualmente o Aterro Delta conta com 38 poços de monitoramento de águas subterrâneas, porém as análises são feitas somente em parte deles.

Tabela 6.3 – Dados de instalação de Poços de Monitoramento (PM) de águas subterrâneas no Aterro Delta A instalados em 2001.

<b>Dados de instalação de Poços de Monitoramento(PM) no Aterro Delta A</b>					
<b>Poço de Monitoramento</b>	<b>Coordenada E</b>	<b>Coordenada N</b>	<b>Cota do terreno (m)</b>	<b>Prof. Do Poço (m)</b>	<b>Nível D'água (m).</b>
PM-01-A	279832,60	7463841,71	610,57	22,00	4,13
PM-01-B	279581,68	7463934,54	614,21	22,26	5,75
PM-02	279528,78	7464473,73	580,01	10,50	2,90
PM-03	279884,73	7464550,27	588,50	15,00	6,15
PM-04	280229,98	7464624,38	588,41	10,00	1,11

As coletas de amostras de águas superficiais são efetuadas em 03 pontos, um a montante (P-AS-01) na lagoa ao lado da FERROBAN, um na parte central (P-AS- 02), próximo ao Leito de Secagem e outro a jusante (P-AS-03) no córrego Fazenda cujas coordenadas constam da Tabela 6.4.

Tabela 6. 4 - Coordenadas de Pontos de coleta de águas superficiais no Aterro Delta A

<b>Pontos de Amostragem</b>	<b>Coordenada E</b>	<b>Coordenada N</b>
P-AS-01	280228,71	7464242,11
P-AS-02	280245,30	7464629,74
P-AS-03	279509,13	7464439,07

Os parâmetros definidos para análise de águas superficiais e subterrâneas estão elencados no Anexo 6 e obedecem às normas estabelecidas pelo CONAMA, pelo Ministério da Saúde e valores orientadores da CETESB.

### **6.2.1. Processo de Coleta de amostras de águas superficiais e subterrâneas.**

As coletas foram processadas pela empresa TCA – Empresa de Apoio Técnico, Consultoria Ambiental e Comercio Ltda., até 2006. Atualmente quem faz a coleta e análise de amostras de águas superficiais e subterrâneas, tanto em campo como em laboratório é a Keller Empresa de Saneamento e Ecologia Ltda. A empresa utilizou para efetuar a coleta

das amostras frascos estéreis, álcool, extran neutro, água destilada, pHmetro, condutivímetro, medidor de oxigênio dissolvido, medidor de temperatura, célula de fluxo, mangueiras estéreis, compressor, gerador, gelo, coolers, preservantes (ácido sulfúrico, ácido nítrico e hidróxido de sódio).

Ao acessar o poço subterrâneo é efetuada a medição do nível estático. Após este procedimento procede-se ao esgotamento do poço com coletor estéril. Espera-se a reposição de água do poço e em seguida procede-se então à coleta da amostra da água do poço com a ajuda de um compressor. A primeira alíquota retirada é utilizada para a observação imediata de Temperatura, Odor, Cor, Aspecto, pH e Condutividade. Simultaneamente efetua-se a medição da temperatura do ar (Fotos 6.6). A sequência de acondicionamento e preservação dos parâmetros leva em consideração a facilidade de volatilização ou alterações químicas. Realiza-se então a medição do nível estático, o esgotamento e a recuperação do poço, igual descrito anteriormente para a primeira coleta.

Coloca-se preservantes nas amostras que são acondicionadas em cooler com gelo para posterior análise dos demais parâmetros em laboratório. Os parâmetros analisados e métodos utilizados encontram-se relacionados no Anexo 5 e obedecem às normas da ABNT e da CETESB para análise de águas superficiais e subterrâneas. A maioria dos métodos adotados está indicada como *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21ª Edition* – de acordo com a *United States of Environmental Protection Agency - EPA*. Os valores obtidos são comparados aos valores máximos permitidos para águas subterrâneas de acordo com a Portaria 518 de 25 de março de 2004 e valores orientadores CETESB de 23 de novembro de 2005.

Para as águas superficiais os valores são comparados aos valores máximos permitidos de acordo com o artigo 11 do decreto 8.468 de 08 de setembro de 1976 e artigo 15 da resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005.



**A – Aspecto no início do esgotamento.**



**B – Nível de água no poço PM-102.**



**C – Medição de parâmetros de Eh na primeira alíquota.**



**D – Colocação de preservantes nas amostras.**



**E - Medição de parâmetros pH, temperatura na primeira alíquota da amostra.**



**F - Coleta com bomba de baixa vazão.**

Foto 6.6 - Procedimentos de coleta de amostra de águas subterrâneas no Aterro Delta A efetuados pela Keller Empresarial Saneamento e Ecologia Ltda.. Fotos: Lídia Maria Diniz Gurgel Santos, de 27 de setembro de 2011.

## 7. Resultados e Discussão

### 7.1 Resultados

#### 7.1.1 Águas Superficiais

Os resultados de análise de amostras de águas superficiais do Aterro Delta A estão expostos na tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Resultado de amostras de águas superficiais coletadas no Aterro Delta A em setembro/2010. Fonte: CAMPINAS. 2010.

<b>Resultado de amostras de águas superficiais coletadas no Aterro Delta A - Campinas em Setembro/2010</b>					
<b>Parâmetro (*)</b>	<b>Unidade</b>	<b>AS-01 (Montante)</b>	<b>AS-02 (Central)</b>	<b>AS-03 (Jusante)</b>	<b>Resolução CONAMA nº357 - Art. 15º- Classe 2</b>
Alumínio dissolvido	mg/L	2,6	<0,1	<0,1	0,1
Ferro Total	mg/L	0,005	<0,002	0,003	0,3
Manganês total	mg/L	1,04	0,67	9,2	1
Bário	mg/L	0,34	0,98	0,92	1
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
Mercúrio	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	0,01
Selênio	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Fluoreto	mg/L	0,2	0,27	0,33	10
Fosfato	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	0,15(**)
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	2
Nitrogênio Nitrato	mg/L	<0,05	0,6	4,51	10
Nitrogênio Nitrito	mg/L	0,64	0,36	0,66	1
Fenol	µg/L	0,87	1,7	0,14	0,5
Oxigênio Dissolvido	mg/L	10,6	5,5	4,8	>5,0
DBO	mg/L	19	5	8	<5,0
DQO	mg/L	27,7	38,5	38,4	***
Carbono Orgânico Total	mg/L	48,8	23,3	15	***
Dureza	mg/L	41,2	284,1	939,1	
Cor Verdadeira	Pt/L	31,2	16	38,4	75
Aspecto	-	Turva	Turva	Levem.Turva	***
Turbidez	FTU	<0,1	<0,1	<0,1	5
Odor	-				Ausente
Sólidos Totais	mg/L	469	19,9	7	100
pH	UpH	8,1	7,57	7,65	6,0 a 9,5
Condutividade Elétrica	µS/Cm	241	302	903	***
Coliformes Fecais	NMP/100ml	<1,0	4	7	1000UFC/100mL
Coliformes Totais	NMP/100ml	3900	50	560	1000UFC/100mL
Bactérias heterotróficas	UFC/mL	44000	1,35E+07	12800	***
Obs.(*)as unidades dos parentes analisados são as dos padrões de referência utilizados(Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 - Artigo 15º - Classe 2) e alterações e complementações estabelecidas na Resolução CONAMA Nº397, de 3 de abril de 2008;					
OBS. (**): ambientes Ióticos: ambientes relativos a águas continentais moventes.					
Valores acima do permitido					

Comparando os resultados das análises das amostras de águas superficiais coletadas nos pontos a montante (PAS 01), na lagoa ao lado da FERROBAN, central (PAS 02), próximo ao Leito de Secagem e a jusante, (PAS 03) no córrego Fazenda, com os parâmetros orgânicos e inorgânicos estabelecidos na Resolução CONAMA N°357, de 17 de março de 2005 (Capítulo III – Das Condições e Padrões de Qualidade das Águas) e alterações e complementações estabelecidas na Resolução CONAMA N° 397, de 3 de abril de 2008 conclui-se que apresentaram valores acima do permitido pela legislação os seguintes parâmetros: alumínio dissolvido (PAS 01), manganês total (PAS 01 e PAS 03), fenol (PAS 01 e PAS 02), oxigênio dissolvido (PAS 03), demanda biológica de oxigênio (DBO), aspecto e coliformes totais nos três pontos de amostragem, sólidos totais (PAS 01) e coliformes fecais (PAS 02 e PAS 03) (Fig. 7.1).

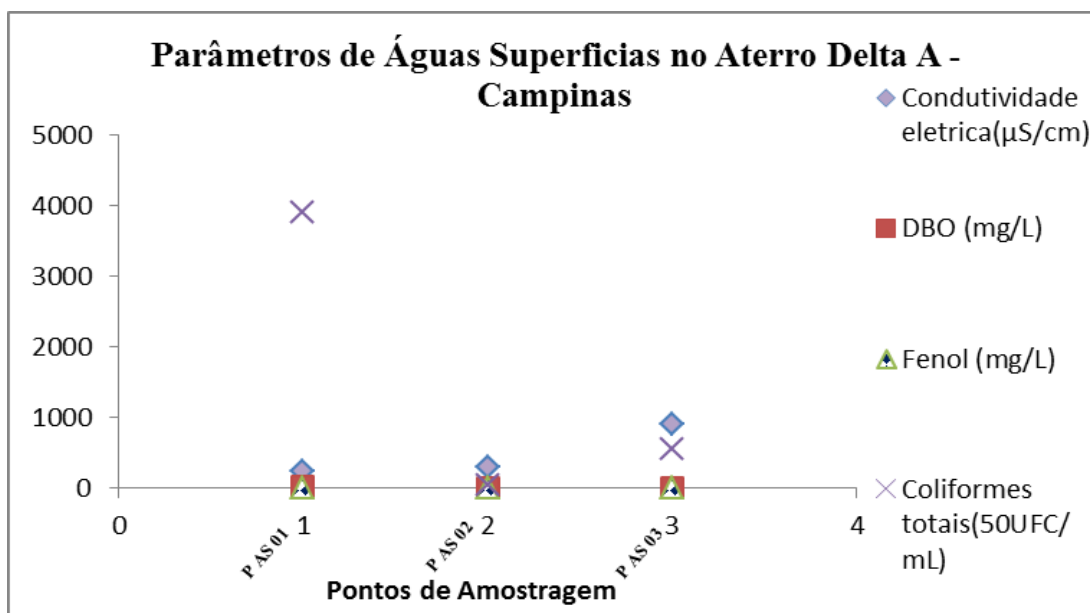


Fig. 7.1 - Parâmetros de Águas Superficiais no Aterro Delta A, acima dos valores permitidos.



### 7.1.2. Águas Subterrâneas

A águas subterrâneas do Aterro Delta A foram classificadas baseadas em dados laboratoriais coletados em poços de monitoramento nos dias 5 e 7 de outubro de 2009 (CAMPINAS, 2009) apresentados na Tabela 7.2. Adotou-se o critério de classificar as águas do referido Aterro considerando poços a montante (poços PM 01-A e PM 01-B), na parte central (PM 02- próximo ao Rio das Cobras, PM-105 B na mata, PM-110- próximo à lagoa de secagem) e a jusante (PM 114 e PM 115, próximo ao microondas) (Fig. 7.2).

Tabela 7.2 - Resultado de análise de amostras de águas subterrâneas de poços de monitoramento nos dias 5 e 7 de outubro/2009 no Aterro Delta A utilizados para classificação de águas. Fonte: CAMPINAS, 2009.

Resultados de análise de amostras de águas subterrâneas de poços de monitoramento (out./2009) no Aterro Delta utilizados para classificação de águas.									
Poços	Ca(mg/L)	Mg(mg/L)	Na(mg/L)	K(mg/L)	CO3(mg/L)	HCO3(mg/L)	Cl(mg/L)	SO4(mg/L)	TDS(mg/L)
PM-01A	21,2	11,67	17,5	3,4	0,002727	92,4	10,5	72,77	160
PM-01B	13,4	9,76	74	68	0,08167	138,7	4,4	25,6	609
PM-02	1,8	9,44	98	11,2	0,03424	163,9	7,3	66,4	414
PM-105B	20,3	25,7899	174	19,3	0,03558	170,3	49,3	90,45	783
PM-110	9,8	12,6685	18,4	2,6	0,00052	19,8	78	24	749
PM-114	979	196,48	1780	1025	15,30537	16400	2279	80,59	7363
PM-115	45,7	27,77	85,7	22,6	0,010499	178,3	193	77,12	612

Os resultados foram plotados no Diagrama de PIPER e recebeu a seguinte classificação: Poço PM-01A, PM-110 e PM-115 como sulfatada cálcica, PM-01B, PM-02 e PM-114 como bicarbonatada sódica e PM-105B como cloretada sódica. Este sistema de aquífero já havia sido classificado pelo IG (1990 e 1991) e Yoshinaga et al. (1992) como água bicarbonatada sódica a cálcio sódica (SÃO PAULO,2009).

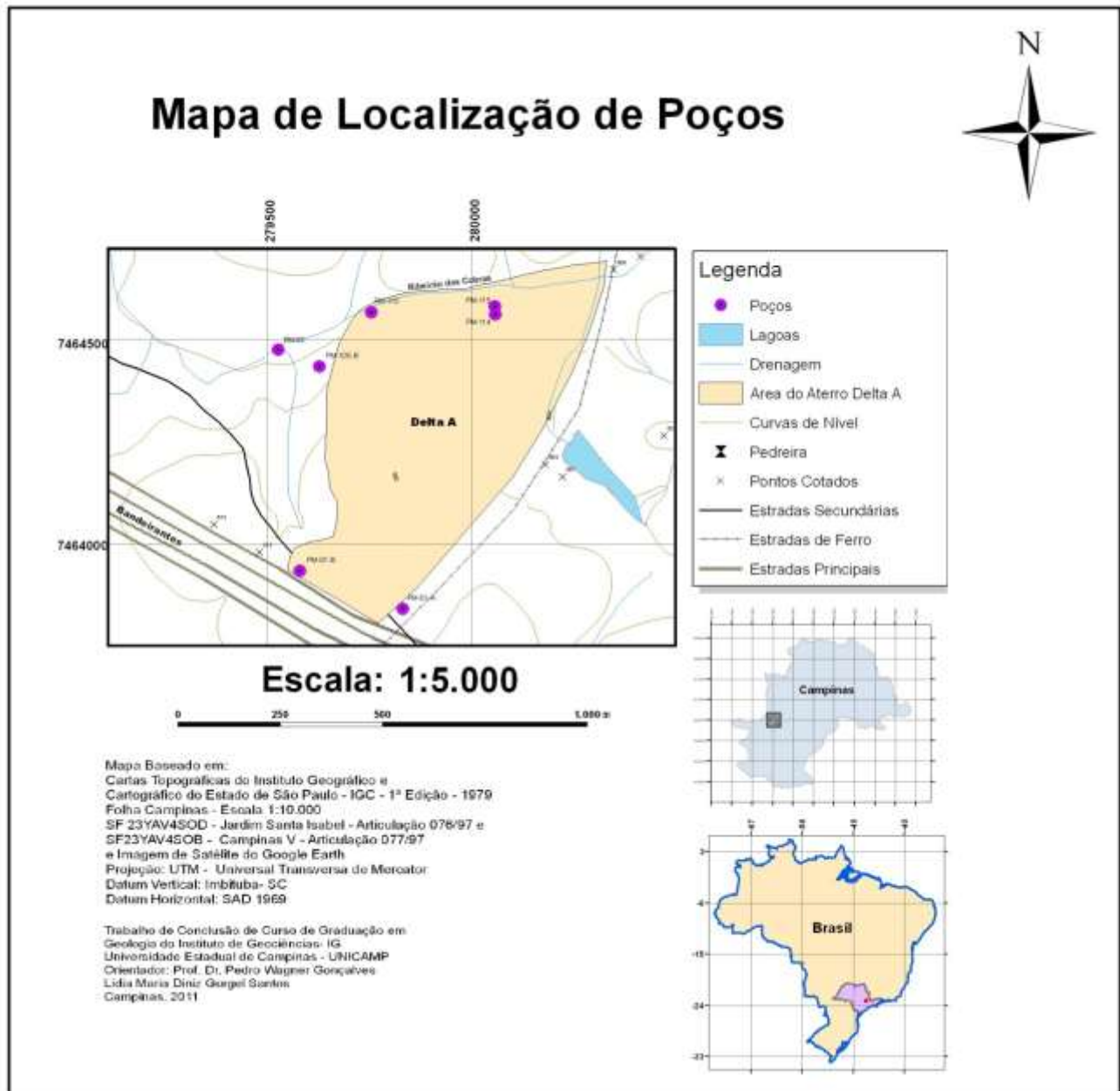


Fig. 7.2 - Mapa de localização de poços de amostragem utilizados para classificação de águas subterrâneas de amostras coletadas em outubro/2009 no Aterro Delta A. Confeção: Lídia Maria Diniz Gurgel Santos.

Na tabela 7.3 estão os dados dos poços cujas águas foram analisadas e na tabela 7.4 estão expostos os resultados laboratoriais de análise de amostras de águas subterrâneas coletadas em poços de monitoramento em 21 e 22 de setembro de 2010 (CAMPINAS, 2010).

Tabela 7.3 - Dados de localização e profundidade de poços de monitoramento do Aterro Delta A, cujos resultados de amostras de águas subterrâneas são apresentados neste trabalho. Fonte: CAMPINAS, 2010.

Poços	Coordenada E	Coordenada N	Profundidade(m)	Diâmetro (cm)
PM 107	280157,113	7464573,243	6,08	5,08
PM 108	280078,472	7464602,567	8	10,16
PM 112	280081,804	7464573,243	3,64	5,08
PM 113	280097,132	7464584,572	3,54	5,08
PM 114	280056,062	7464581,052	4,82	5,08
PM 115	280059,777	7464596,627	5,64	5,08

Adotando os critérios estabelecidos pela Portaria 518 de 25/03/2004 e os Valores Orientadores da CETESB (Anexo 6) para águas subterrâneas no Estado de São Paulo de 23/11/2005, conclui-se que os poços a jusante do Aterro apresentaram os seguintes resultados acima dos padrões indicativos da legislação em vigor: alumínio total (poços PM-107, PM -108 e PM- 115); ferro total (poços PM-107,PM-108, PM-112, PM-113, PM-114 e PM-115); bário total (PM-107,PM-108 e PM-113); chumbo total (PM-107); cobalto total (PM-107 e PM-108); níquel (PM-107, PM-112, PM-113 e PM 114); cloreto (PM-107, PM-112, PM-113 e PM-114); sódio (PM-108, PM-112, PM-114 e PM-115); nitrogênio amoniacal (PM-107, PM-108, PM-112, PM-113, PM 114 e e PM-115); oxigênio dissolvido (PM-112, PM-113 e, PM 114); Demanda Biológica de Oxigênio – DBO (PM-112, PM-113, PM 114 e PM-115); Dureza (PM-107, PM-108, PM-112, e PM-115); Sólidos Totais Dissolvidos (PM-107, PM-112, PM-113 e PM 114); Cor Verdadeira (PM-107, PM-112, PM-113, PM 114 e PM-115).

Tabela 7.4 - Resultado de amostras de águas subterrâneas coletadas em Poços de Monitoramento (PM) no Aterro Delta A em 21 e 22 de setembro/2010 contido no 106º Relatório mensal de outubro de 2010- DELCTOA-106. Fonte: CAMPINAS, 2010.

Resultado de amostras de águas subterrâneas em poços de monitoramento coletadas no Aterro Delta A nos dias 21 e 22 de setembro/2010.								
Parâmetro (*)	Unidade	PM-107	PM-108	PM-112	PM-113	PM-114	PM-115	Portaria 518 (25/03/2004) e Valores Orientadores CETESB(23/11/2005)
Alumínio Total	mg/L	1,4	9	<0,1	<0,1	<0,1	14,4	0,2
Ferro Total	mg/L	52,7	106,49	0,66	9,68	17,87	368,76	0,3
Manganês total	mg/L	59,67	21,59	<0,01	<0,010	0,15	41,17	0,1
Bário Total	mg/L	8,32	3,65	0,61	0,98	0,55	3,99	0,7
Arsênio	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,01
Chumbo Total	mg/L	0,65	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Cobalto Total	mg/L	0,183	0,213	<0,005	0,063	<0,005	<0,005	0,013
Cobre Total	mg/L	0,278	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	2
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
Zinco Total	mg/L	0,4	0,1	0,2	0,25	0,3	<0,1	5
Níquel Total	mg/L	0,19	<0,01	0,36	0,32	0,23	<0,01	0,013
Cloreto	mg/L	637,8	167,6	2000,8	2963,1	432,2	202,7	250
Sulfato	mg/L	<25	119,6	<25	<25	<25	<25	250
Sódio	mg/L	51,8	361,9	234,8	58,7	471,2	683,9	200
Fenol	µg/L	0,008	0,003	0,009	<0,002	0,009	0,015	
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	226,1	18,3	4846,2	6255,56	31,3	57,7	2
Nitrogênio Nitrato	mg/L	0,1	<0,1	0,52	0,2	2,9	<0,1	10
Oxigênio Dissolvido	mg/L	12,2	10,4	0,4	0,4	1,2	5,2	>5,0
DBO	mg/L	4	2	140	47	402,4	65	<5,0
DQO Total	mg/L	26,5	<4,0	615	1418	1169	972	***
Surfactantes	mg/L	<0,05	<0,05	0,09	0,08	<0,05	0,12	0,5
Dureza cálculo	mg/L	1673,6	545,3	515,13	499,1	145,1	671,2	500
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1838	507	9003	11833	6057,1	370	1000
pH	UpH	6,89	6,32	6,9	6,8	6,4	6,2	6,0-9,0
Condutividade Elétrica	µS/Cm	2830	810	24600	31200	19620	1380	***
Cor Verdadeira	Pt/L	719	11,7	99,8	96,8	186	341	15
Coliformes Totais	NMP/100ml	Ausencia	Ausencia	Presença	Presença	Presença	Presença	Ausente
Coliformes Fecais	NMP/100ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausente
Escherichia coli	NMP/100ml	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	Ausente
Bactérias heterotróficas	UFC/mL	2,71E+04	1,98E+04	7,90E+03	3,64E+05	1,02E+04	6,00E+03	***
Valores acima do permitido								

Os poços acima relacionados estão representados em mapa de pontos de poços contaminados no Anexo 7.

## 7.2. Discussão

A concentração de metais existentes nos lixiviados provenientes de aterros sanitários é muito variável. Depende do lixo depositado. Sua composição abrange desde resíduos orgânicos a pilhas, plásticos e metais. No caso de aterros que recebem lixo doméstico a concentração é relativamente baixa se comparada aos despejos industriais, porém continua sendo uma importante fonte de metais para o ambiente.

No Aterro Delta A o chorume tratado era descarregado no Rio das Cobras até 2008, apesar de apresentar parâmetros bioquímicos acima dos limites permitidos conforme informações do relatório da Prefeitura Municipal de Campinas do Aterro Delta A.

Nas águas subterrâneas amostradas foram encontrados valores elevados de DBO nos poços PM-112 (140 mg/L), PM-113 (47 mg/L), PM-114 (402,4mg/L) e PM-115 (65mg/L).

O elemento chumbo só foi detectado no poço PM-107 (0,65mg/L) devendo tratar-se de uma contaminação pontual.

O valor de referência para o parâmetro pH determinado pela CETESB para o Aquífero Tubarão é 9. Muitos elementos têm sua permanência em solução nas águas, em virtude do pH existente na solução, que é o caso dos poços do Aterro Delta A, onde o pH das amostras de água se situam entre 6,2 e 6,9 (Tabela 7.5).

Tabela 7.5 – Valores de pH das amostras de águas subterrâneas dos Poços de Monitoramento do Aterro Delta A coletadas em 21 e 22 de setembro de 2010.

Parâmetro (*)	Unidade	PM-107	PM-108	PM-112	PM-113	PM-114	PM-115
pH	UpH	6,89	6,32	6,9	6,8	6,4	6,2

Desta forma, na maioria das amostras o teor de manganês está elevado (Fig. 7.3). Consequentemente, elementos que possuem pH de hidrólise como o Zn (7), Co (6,8), Fe (5,5), Ni (6,7), Cr (5,3), Al (4,1), Cu (5,3) e Pb (6) diferentes destes valores de pH têm sua presença minimizada em solução (Campaner e Luiz-Silva, 2009; Siegel, 2002).

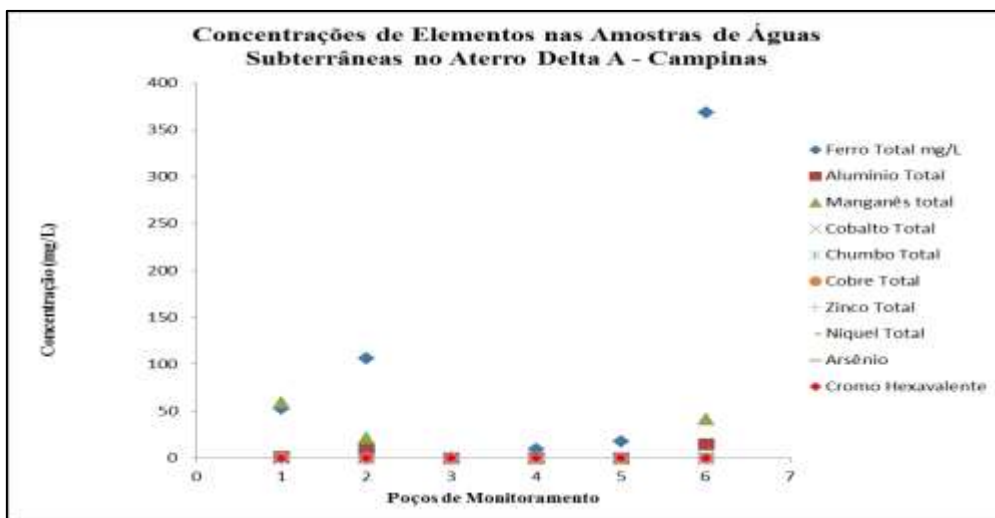


Fig. 7.3 – Gráfico de Concentração de elementos em amostras de águas subterrâneas no Aterro Delta A – Campinas – Amostras N° 1 (PM-107), N° 2 (PM-108), N° 3 (PM-112), N° 4 (PM-113), N° 5 (PM-114), N° 6 (PM-115), cujos pHs variam de 6,2 a 6,9 comparados com o pH de hidrólise do Mn (8,8), Zn (7), Co (6,8), Fe (5,5), Ni (6,7), Cr (5,3), Al (4,1), Cu (5,3) e Pb (6).

A condutividade elétrica é um bom indicador da representatividade de contaminação pois indica a presença de sais na água. A presença de cloreto em solução está intrinsecamente ligada à capacidade da água em transmitir corrente elétrica. O valor de referência estabelecido pela CETESB para condutividade elétrica no Aquífero Tubarão (Anexo 4) é de 410  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ . Os valores encontrados nas amostras dos poços de monitoramento do Aterro Delta A variaram de 810  $\mu\text{S}/\text{Cm}$  a 31.200  $\mu\text{S}/\text{Cm}$ . Esta relação entre condutividade elétrica e cloreto está representada na figura 7.4.

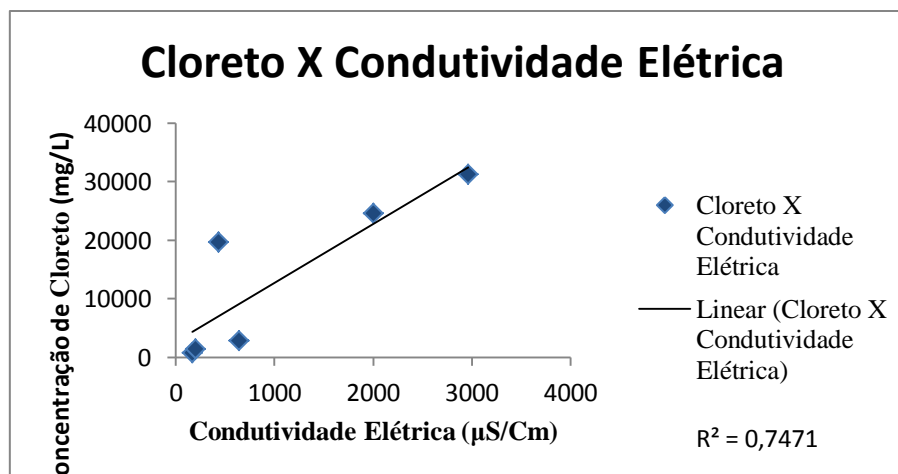


Fig.7.4 - Relação de Concentração de Cloreto versus Condutividade Elétrica de amostras de águas subterrâneas no Aterro Delta A demonstrando a correlação positiva entre os dois parâmetros.

As amostras de águas subterrâneas no Aterro Delta A apresentaram valores de concentração de sólidos totais de 370 mg/L a 11.833 mg/L. Estes valores estão relacionados com o cloreto.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) esperados para as águas do Aquífero Tubarão são de 375 mg/L. Este parâmetro representa a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água. Segundo o padrão da Organização Mundial da Saúde ele não deve exceder a 1000 mg/L. Os sólidos totais, cloreto e condutividade elétrica estão sempre associados, já que a condutividade elétrica reflete a quantidade de sais dissolvidos na água. Isto pode ser observado na relação positiva entre os três parâmetros no gráfico da Fig 7.5.

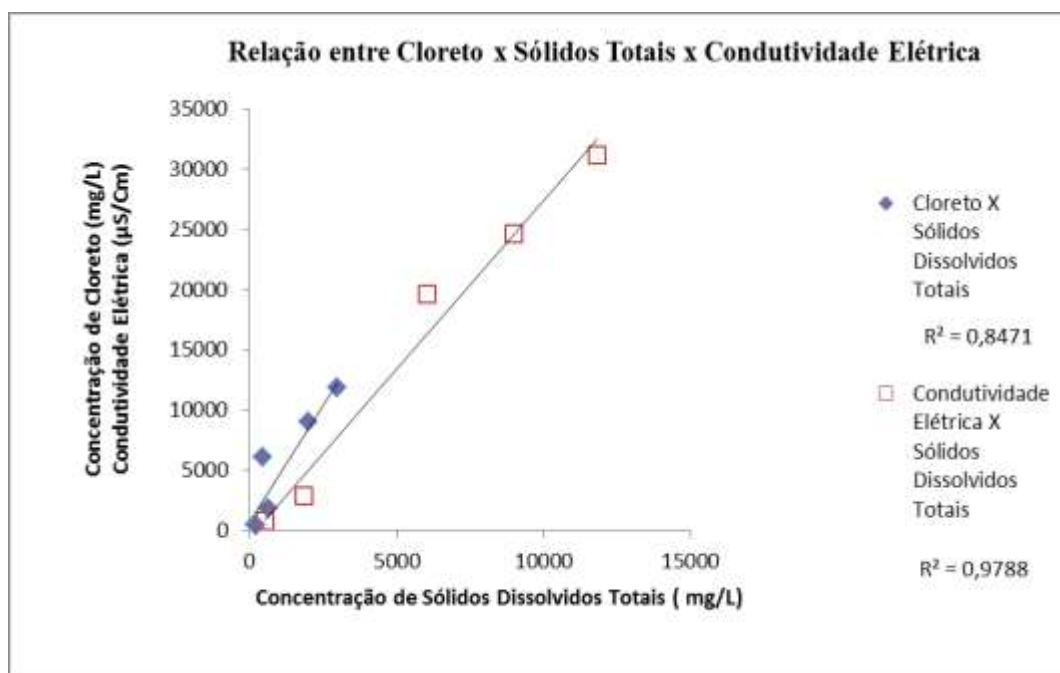


Fig. 7.5 - Gráfico mostrando a relação entre concentração de Cloreto, Sólidos Dissolvidos Totais e Condutividade Elétrica de amostras de águas subterrâneas do Aterro Delta A, mostrando a relação positiva entre estes parâmetros.

Para o Aquífero Tubarão, a CETESB determinou como teor normal de bário 0,08 mg/L. Em amostras de água subterrânea no Aterro Delta A, a concentração de bário variou de 0,55mg/L (poço PM-114) a 8,32 mg/L (poço PM-107) nos poços próximos às lagoas de chorume.

O valor do íon cloreto para o Aquífero Tubarão, a CETESB assume que deve ser de 10 mg/L. No Aterro Delta A os valores do cloreto nas amostras de água subterrânea estiveram entre 167,6 mg/L (PM-108) a 2.963,1 mg/L (PM-113), demonstrando a contribuição antrópica do aterro sanitário (o cloreto provavelmente seria proveniente dos resíduos orgânicos dos alimentos). A Fig. 7.6 apresenta a relação negativa de Cloreto e Sódio das amostras de águas subterrâneas dos poços amostrados no Aterro Delta A.

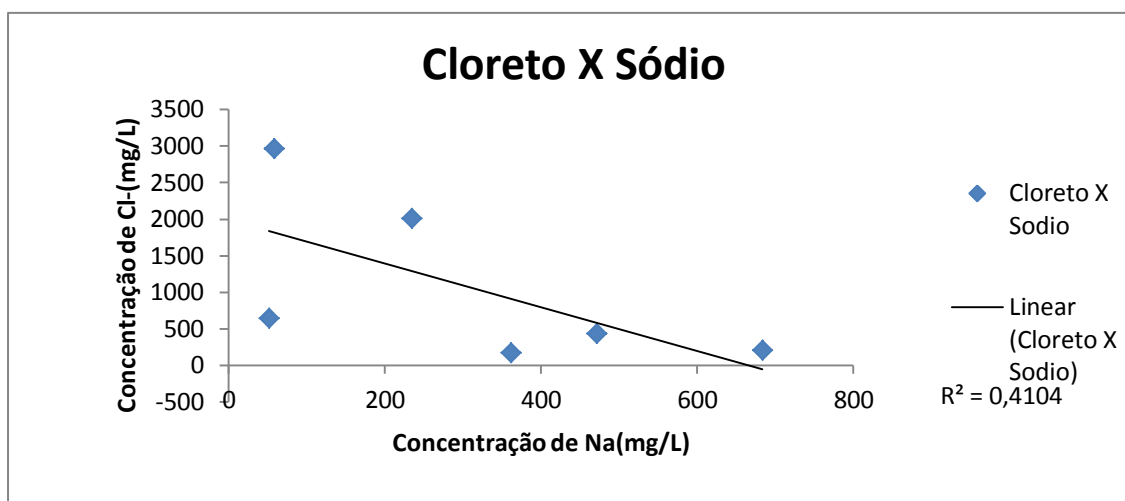


Fig. 7.6 - Gráfico mostrando a relação negativa dos íons  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$  em amostras de águas subterrâneas no Aterro Delta A.

A concentração geogênica do Aquífero Tubarão para o elemento ferro segundo a CETESB é de 0,12 mg/L. No Aterro Delta A, nas amostras de águas subterrâneas, este valor ficou bem acima do esperado em todos os poços amostrados, com valores mínimos de 0,66 mg/L para a amostra do poço PM-112 e máximo de 368,76 mg/L para o poço PM-115.

O manganês ocorre em teores abaixo de 0,2 mg/L, quase sempre como óxido de manganês. A CETESB estipula em 0,02 mg/L como a presença normal de manganês no Aquífero Tubarão. No Aterro Delta A as amostras de águas subterrâneas apresentaram teores desde valores inferiores a 0,01 mg/L (poços PM-112 e PM-113) a valores de 59,67 mg/L (PM-107), 41,17 mg/L (PM-115), 21,59 mg/L (PM-108) e 0,15 mg/L (PM-114).



A presença das rochas sedimentares do Subgrupo Itararé, como origem do solo do aterro onde há presença de óxidos de Fe e Mn nos sedimentos e no preenchimento de fraturas das rochas no local não justificam valores tão elevados para o elemento. No gráfico da Fig. 7.7 pode se observar a relação positiva do ferro e do manganês, comprovando sua afinidade geoquímica.

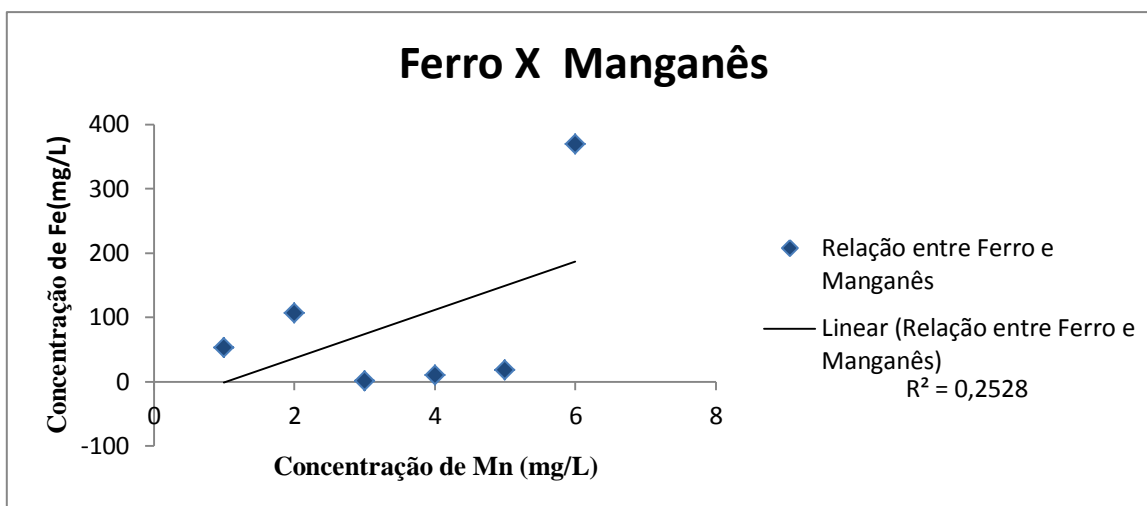


Fig. 7.7 - Gráfico mostrando a relação positiva entre os elementos Fe e Mn em amostras de águas subterrâneas em poços de monitoramento no Aterro Delta A em 21 e 22 de setembro de 2010.

O manganês tem um comportamento peculiar em relação à pluviosidade. No período seco sua presença diminui em comparação com a estação chuvosa, como se pode observar pelos dados da tabela 7.6 representados nos gráficos das figuras 7.8 e 7.9.

Tabela 7.6- Tabela de dados de concentração de manganês em amostras de águas subterrâneas em poços de monitoramento e pluviosidade no período de junho/02 a março/09 no Aterro Delta A. Fonte: Campinas 2002 a 2009.

Mês/Ano	Concentração de manganês em amostras de águas subterrâneas no Aterro Delta A - Campinas no período de Junho/02 a Março/09 e Pluviosidade no mesmo período.																		
	jun02	set02	abr03	mai03	jul03	nov03	fev04	ago04	fev05	mai05	ago05	dez05	fev06	mai06	abr07	abr08	jul08	set08	mar09
PM-01-A	0,85	0,78	1,14	0,56	1,13	0,61	0,34	0,75	0,28	0,5	0,33	0,2	0,12	0,05	0,19	0,74	0,051	0,03	<0,01
PM-01-B	0,12	0,66	0,03	0,03	0,11	0,02	<0,002	0,01	0,01	0,03	<0,002	0,06	0,03	0,01	ND	0,12	0,025	0,12	0,05
PM-02	0,91	0,34	0,56	0,56	0,17	0,61	<0,002	0,79	0,41	0,35	0,39	0,42	0,26	0,37	0,24	0,26	0,28	0,44	<0,01
Pluviosidade	0	43,5	62	53	25	184,5	211	0	81,5	129,8	14	74	129	8	63	187	0	35	94

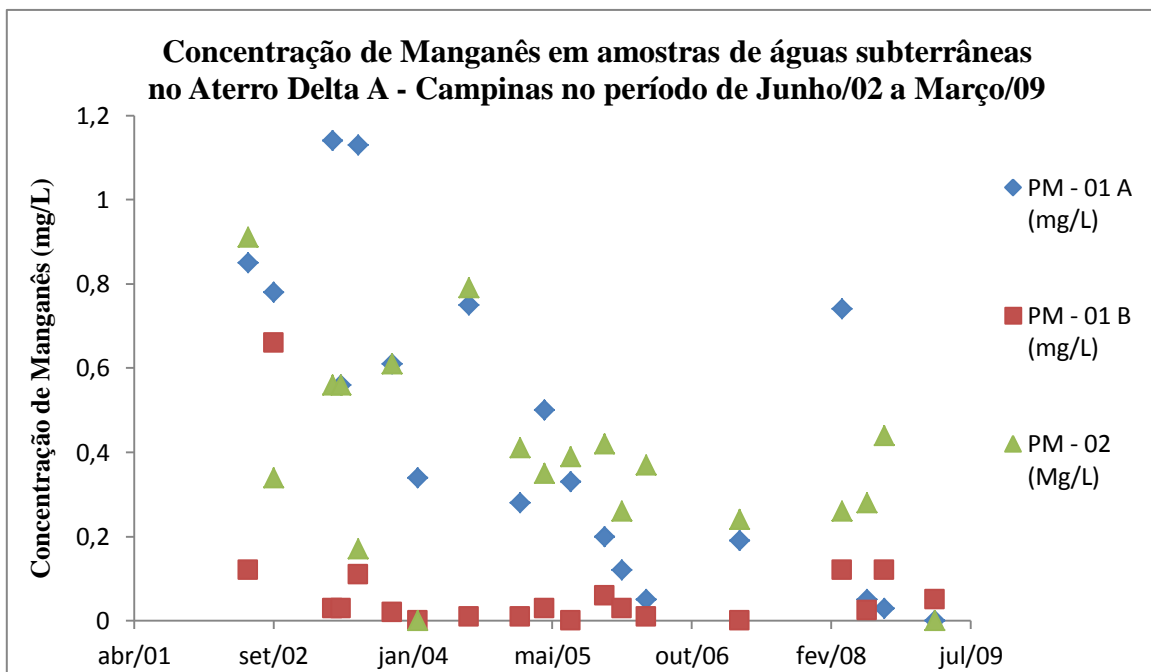


Fig. 7.8 - Concentração de manganês em amostras de águas subterrâneas de amostras coletadas no Aterro Delta A – Campinas no período de junho/2002 a março/2009 mostrando a relação de aumento de concentração de manganês com períodos chuvosos, comparada com o gráfico de Pluviosidade na Fig.7.9.

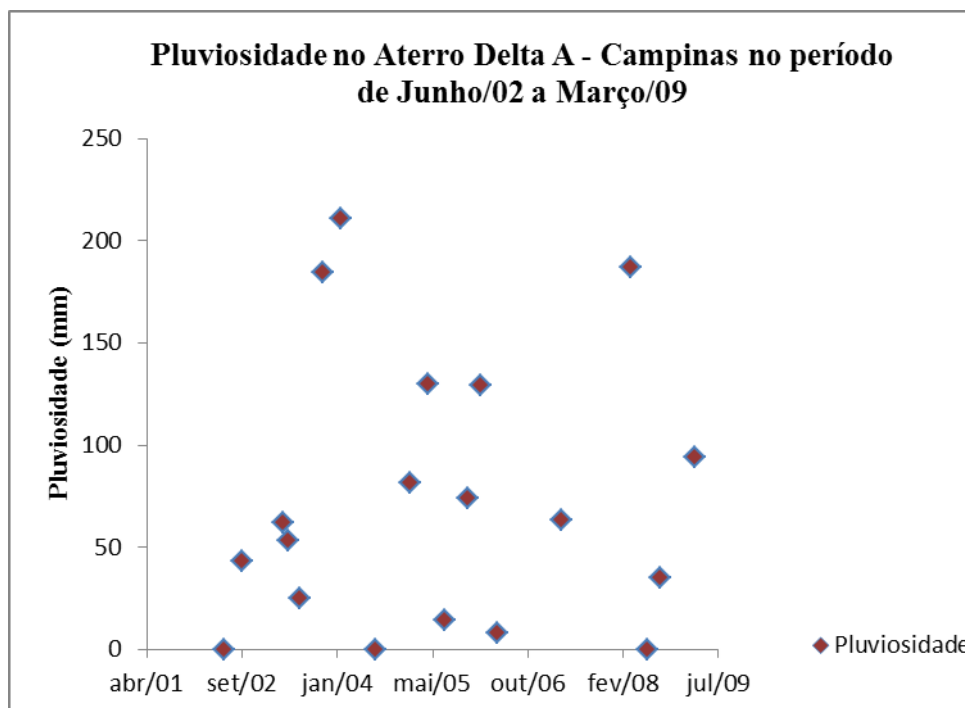


Fig. 7.9 - Pluviosidade no Aterro Delta A – Campinas, no período de junho de 2002 a março de 2009. Fonte: Relatórios Mensais do Aterro Delta A da PM de Campinas.

A concentração alta de ferro e manganês pode ser justificada não só pela presença de seu teor no solo do aterro, ou pela lixiviação que ocorre dentro da célula, mas também pelo material de cobertura que é feito diariamente na frente de trabalho para a cobertura do lixo.

A presença de níquel em águas subterrâneas está em torno de 0,1 mg/L. As principais fontes antropomórficas do níquel são de queima de combustíveis fósseis, fundição, ligas metálicas e galvanoplastia. O teor máximo permitido pelo CONAMA em águas de abastecimento é de 0,025 mg/L. No Aquífero Tubarão a CETESB estima que seja menor que 0,02 mg/L, no entanto nas amostras de águas subterrâneas do aterro Delta A apurou-se valores de 0,19 mg/L no poço PM-107, 0,36 mg/L no poço PM-112, 0,32 mg/L no poço PM-114 e 0,23 mg/L no polo PM-115. 0,36 mg/L. Como observado em Campaner e Luiz-Silva (2009), por ter pH de hidrólise estimado em 6,7, e como as águas amostradas possuem pH em torno desse número, o níquel ainda permaneceu em solução.

O nitrogênio amoniacal é formado por processo de decomposição da matéria orgânica. Nos aterros sanitários, os ambientes de decomposição são predominantemente anaeróbios, produzindo efluentes com baixíssimas concentrações de nitrito e nitratos.

Para o Aquífero Tubarão, segundo a CETESB, o teor esperado para o nitrogênio amoniacal é de de 0,07 mg/L. O que foi encontrado nos poços amostrados do Aterro Delta A foi 226,1 mg/L no poço PM-07, 18,3 mg/L no poço PM-108, 4.846,2 mg/L no poço PM-112, 6.255,56 mg/L no poço PM-113, 31,3 mg/L no poço PM-114 e 57,7mg/L no poço PM-115. O valor estabelecido pela Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde e Valores Orientadores da CETESB de 23/11/2005, fixam em 2 mg/L o valor máximo aceitável. No gráfico da Fig. 7.10 pode-se observar a relação positiva entre o nitrogênio amoniacal e a condutividade elétrica.

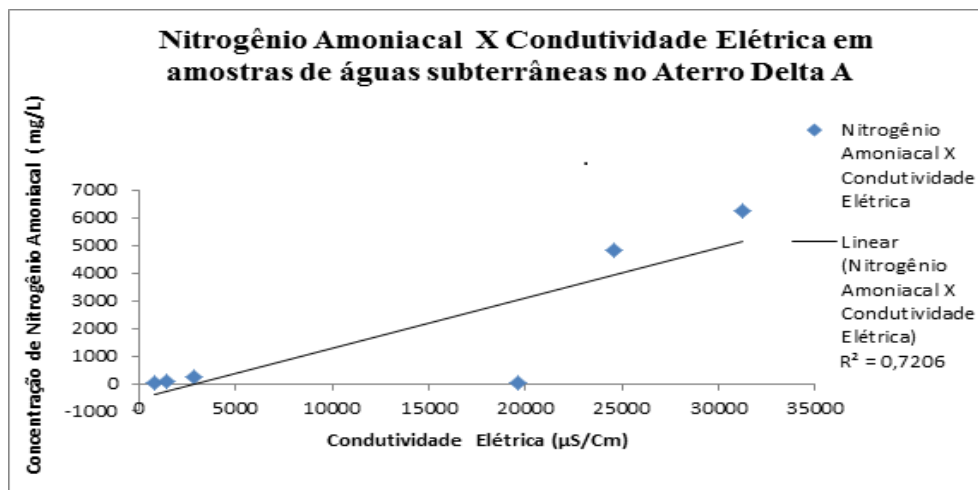


Fig. 7.10 – Relação de Nitrogênio Amoniacal e Condutividade Elétrica em amostras de águas subterrâneas em poços de monitoramento no Aterro Delta A em 21 e 22 de setembro de 2010, mostrando a relação positiva entre estes parâmetros.

Para analisar se há contribuição antropogênica em contaminação de ambientes utiliza-se uma ferramenta denominada Fator de Enriquecimento (FE) Na tabela 7.7 estão expostos os valores dos parâmetros utilizados para calcular o Fator de Enriquecimento. Como Valor de Referência utilizou-se o valor de referência da CETESB para o Aquífero Tubarão, conforme Anexo quatro. Os valores que não estavam contemplados no Anexo quatro foram substituídos por valores de análise de amostra do poço de monitoramento a montante (PM-01A) de janeiro de 2002 (CAMPINAS, 2002). Quanto aos valores mínimos de detecção, optou-se de utilizar na tabela metade do seu valor, para que se obtivesse um valor mais próximo da realidade, sem superestimá-lo.

Tabela 7.7 – Concentração de elementos de amostras de águas subterrâneas de poços de monitoramento do Aterro Delta A, utilizada para calcular o Fator de Enriquecimento (FE) dos elementos para verificar a contaminação dessas águas. Em azul valores de referência da CETESB, em verde dados de amostras de água de poço PM01 A de janeiro de 2002 e em rosa valores de detecção divididos pela metade.

Amostras (Set/2010)	Concentração de elementos em mg/L																	
	Al	Ba	Cloreto	Cu	DBO	DQO	Dureza	Fe	Sulfato	Sol. T.D	Fenol	Mn	N amoniacal	N Nitroto	Ni	O2 Dis.	Pb	Zn
PM-107	1,4000	8,3200	637,8	0,278	4	26,5	1673,6	52,7	12,5	1838	0,008	59,67	226,1	0,1000	0,19000	12,2	0,65000	0,4000
PM-108	9,0000	3,6500	167,6	0,0045	2	4	545,3	106,49	119,6	507	0,003	21,59	18,3	0,0500	0,00500	10,4	0,00500	0,1000
PM-112	0,1000	0,6100	2000,8	0,0045	140	615	515,13	0,66	12,5	9003	0,009	0,005	4846,2	0,5200	0,36000	0,4	0,00500	0,2000
PM-113	0,1000	0,9800	2963,1	0,0045	47	1418	499,1	9,68	12,5	11833	0,001	0,005	6255,56	0,2000	0,32000	0,4	0,00500	0,2500
PM-114	0,1000	0,5500	432,2	0,0045	402,4	1169	145,1	17,87	12,5	6057,1	0,009	0,15	31,3	2,9000	0,23000	1,2	0,00500	0,3000
PM-115	14,4000	3,9900	202,7	0,0045	65	972	671,2	368,76	12,5	370	0,015	41,17	57,7	0,0500	0,00500	5,2	0,00500	0,0500
VR CETESB	0,0400	0,0800	10	0,005	4	42	60	0,12	20	375	0,0005	0,02	0,07	0,2	0,01000	0,8	0,00100	0,0050

Valor de referência CETESB para Aquífero Tubarão	Valor utilizado é metade do valor mínimo de referência
Dados de amostra de água subterrânea de poço de monitoramento a montante do Aterro Delta A (PM-01A) em jan/2002	

Os valores do Fator de Enriquecimento encontrados na tabela 7.8 mostram que no poço PM-107 há contaminação antrópica de bário, cloreto, ferro, manganês, nitrogênio amoniacal, chumbo e zinco. No poço PM-108 a contaminação ficou restrita ao ferro e manganês. No poço PM-112 os parâmetros que caracterizam contaminação são: bário, cloreto, DBO, DQO, dureza, ferro, sólidos totais dissolvidos, fenol, nitrogênio amoniacal, níquel chumbo e zinco. Esta situação se repete para os poços PM-113 e PM-114 exceto para o parâmetro fenol no PM 113 e no poço PM-114 onde há também contaminação de nitrogênio nitrato e não há contaminação para o parâmetro dureza. No poço PM-115 a contaminação antrópica existe para os parâmetros ferro, manganês e nitrogênio amoniacal.

Tabela 7.8 - Valores do Fator de Enriquecimento (FE) calculados a partir de parâmetros encontrados nas amostras de águas subterrâneas do Aterro Delta A – Campinas, onde os valores do bário, cloreto, DBO, DQO, Dureza, ferro, Sólidos Totais Dissolvidos, fenol, manganês, nitrogênio amoniacal, níquel, chumbo e zinco encontram-se com valores de FE acima de 2, indicando contaminação antrópica.

Amostras (Set/2010)	Elemento	Ba	Cloreto	Cu	DBO	DQO	Dureza	Fe	Sulfato	Sol. T.D	Fenol	Mn	N amoniacal	N Nitrato	Ni	O2 Dis.	Pb	Zn
PM-107	FE	2,97143	1,822286	0,0286	0,028571	0,018027	0,796952381	12,5476	0,017857	0,1400381	0,45714	85,2429	92,2857143	0,014286	0,54286	0,4357	18,571	2,286
PM-108	FE	0,20278	0,074489	7E-05	0,002222	0,000423	0,040392593	3,94407	0,026578	0,00600889	0,02667	4,79778	1,16190476	0,001111	0,00222	0,0578	0,0222	0,089
PM-112	FE	3,05	80,032	0,0065	14	5,857143	3,4342	2,2	0,25	9,6032	7,2	0,1	27692,5714	1,04	14,4	0,2	2	16
PM-113	FE	4,9	118,524	0,0065	4,7	13,50476	3,327333333	32,2667	0,25	12,6218667	0,8	0,1	35746,0571	0,4	12,8	0,2	2	20
PM-114	FE	2,75	17,288	0,0065	40,24	11,13333	0,967333333	59,5667	0,25	6,46090667	7,2	3	178,857143	5,8	9,2	0,6	2	24
PM-115	FE	0,13854	0,056306	4E-05	0,045139	0,064286	0,031074074	8,53611	0,001736	0,00274074	0,08333	5,71806	2,28968254	0,000694	0,00139	0,0181	0,0139	0,028
<b>FE = Fator de Enriquecimento</b>										<b>Fator de Enriquecimento maior que 2</b>								

Foi elaborada tabela 7.9 usando ferramenta estatística do programa Excel para determinar a correlação entre os parâmetros analisados nas amostras de águas subterrâneas.

As correlações acima de 0,5 significam que há afinidade entre os parâmetros. Há uma forte relação entre o alumínio e o ferro, explicado pela presença de ferro e alumínio nos solos de origem sedimentar. Entre o cobre e o chumbo a afinidade é bastante acentuada, juntamente com o zinco, já que os minérios que contêm esses elementos passam pelos mesmos processos de formação. O ferro e o manganês normalmente estão associados às mesmas rochas, mostrando nesta correlação a sua origem geogênica. O cloreto está associado com o nitrogênio amoniacal, com o nitrato, com os Sólidos Totais Dissolvidos e com a Demanda Bioquímica de Oxigênio, explicado pela origem de contaminação antrópica por lixiviados de aterros sanitários.

Tabela 7.9 - Correlação entre os parâmetros de interesse em amostras de águas subterrâneas de poços de monitoramento no Aterro Delta A. Valores acima de 0,5 mostra uma correlação positiva entre os parâmetros, podendo considerar que têm a mesma origem genética.

Correlação de parâmetros de amostras de águas subterrâneas no Aterro Delta A - Campinas																		
	Al	Ba	Cloreto	Cu	DBO	DQO	Dureza	Fe (%)	Sulfato	Sol. T.D	Fenol	Mn	N amoniaca	N Nitrate	Ni	O2 Dis.	Pb	Zn
Al	1																	
Ba	0,288	1																
Cloreto	-0,598	-0,475	1															
Cu	-0,224	0,8613	-0,18303	1														
DBO	-0,377	-0,585	-0,10943	-0,342	1													
DQO	-0,177	-0,69	0,488662	-0,558	0,4973	1												
Dureza	0,0058	0,9259	-0,15227	0,9411	-0,609	-0,613	1											
Fe (%)	0,9383	0,3018	-0,53127	-0,139	-0,272	0,0133	0,0716	1										
Sulfato	0,3876	0,1029	-0,38336	-0,2	-0,349	-0,576	-0,1221	0,048	1									
Sol. T.D	-0,743	-0,694	0,920366	-0,316	0,2817	0,6366	-0,3971	-0,6593	-0,4515	1								
Fenol	0,4485	0,1738	-0,50839	0,0493	0,262	0,0506	0,09	0,6515	-0,4436	-0,4432	1							
Mn	0,4635	0,9666	-0,55366	0,7578	-0,544	-0,586	0,8578	0,5193	0,02237	-0,7681	0,3834	1						
N amoniaca	-0,522	-0,538	0,985434	-0,288	-0,124	0,4648	-0,2243	-0,4775	-0,3234	0,90053	-0,463	-0,599	1					
N Nitrate	-0,419	-0,484	-0,17175	-0,234	0,9765	0,4114	-0,535	-0,3431	-0,256	0,2221	0,1444	-0,481	-0,2113129	1				
Ni	-0,9	-0,466	0,807449	0,0161	0,3196	0,3909	-0,1177	-0,7762	-0,5797	0,90215	-0,287	-0,57	0,77314753	0,270496	1			
O2 Dis.	0,3823	0,9044	-0,62044	0,675	-0,581	-0,852	0,7363	0,2522	0,50704	-0,8074	-0,015	0,838	-0,6537731	-0,44805	-0,643	1		
Pb	-0,224	0,8613	-0,18303	1	-0,342	-0,558	0,9411	-0,1393	-0,2	-0,3157	0,0493	0,7578	-0,2877957	-0,23416	0,0161	0,67502	1	
Zn	-0,81	0,2582	0,222358	0,6957	0,2289	-0,061	0,4514	-0,6874	-0,4427	0,31124	-0,234	0,096	0,08671851	0,336433	0,583	0,07771	0,6957	1

Correlação acima de 0,5

O cálculo de média, mediana, desvio padrão, mínimo, máximo e coeficiente de variação dos resultados das amostras, fornece indicadores sobre o comportamento de seus parâmetros. Valores de coeficiente de variação menores que 30% indicam que a distribuição de teores das amostras se comporta de forma normal, isto é, não há indicativos de que as amostras apresentem valores diferentes de sua origem genética. Valores de coeficiente de variação entre 30% e 80% indicam grau de incerteza genética dos parâmetros dessas amostras. Já, quando esse coeficiente de variação está acima de 80%, indica que a alteração de valores dessas amostras é de origem anômala a sua gênese.

Nas amostras analisadas de águas subterrâneas dos poços de monitoramento do Aterro Delta A, a maioria indicou que o enriquecimento desses parâmetros é anômalo. Somente nos casos de Dureza, fenol e zinco ficaram na área de incerteza (Tabela 7.10).

Tabela 7.10 - Valores de Média, Moda, Desvio Padrão, valores de Mínimo e Máximo e Coeficiente de Variação de amostras de águas subterrâneas de poços de monitoramento no Aterro Delta A - Campinas. Valores em azul (acima de 80%) indicam amostras que possuem valores anômalos e em verde (valores entre 30% e 80%) indicam amostras em zona de incerteza.

Amostras	Al	Ba	Cloreto	Cu	DBO	DQO	Dureza	Fe	Sulfato	Sol. T.D	Fenol	Mn	N amoniaca	N Nitrate	Ni	O2 Dis.	Pb	Zn
Média	4,183	3,017	1067,367	0,050	110,067	700,750	674,905	92,693	30,350	4934,683	0,008	20,432	1905,860	0,637	0,185	4,967	0,113	0,217
Mediana	0,750	2,315	535,000	0,005	56,000	793,500	530,215	35,285	12,500	3947,550	0,009	10,870	141,900	0,150	0,210	3,200	0,005	0,225
Desvio padrão	6,088	3,017	1149,808	0,112	151,850	592,403	519,871	140,686	43,723	4804,747	0,005	25,365	2859,358	1,123	0,152	5,250	0,263	0,129
Mínimo	0,100	0,550	167,600	0,005	2,000	4,000	145,100	0,660	12,500	370,000	0,001	0,005	18,300	0,050	0,005	0,400	0,005	0,050
Máximo	14,400	3,990	2963,100	0,005	402,400	1418,000	671,200	368,760	119,600	11833,000	0,015	41,170	6255,560	2,900	0,360	10,400	0,005	0,300
Coeficiente de Variação	1,455	1,000	1,077	2,229	1,380	0,845	0,770	1,518	1,441	0,974	0,663	1,241	1,500	1,764	0,822	1,057	2,341	0,596

Valores acima de 80%      Valores entre 30% e 80%

Baseados nos dados de concentração de cloreto e condutividade elétrica das amostras de águas subterrâneas dos poços de monitoramento confeccionaram-se dois mapas. A escolha desses parâmetros explica-se pelo cloreto ser um íon conservativo, não sendo degradado ou mesmo adsorvido. Frequentemente é utilizado como indicativo de contaminação. O parâmetro condutividade elétrica representa a capacidade da água em conduzir carga elétrica através de sais que se encontram em solução. Se há presença de contaminantes seus valores são elevados. Pode-se observar nos mapas das figuras 7.11 e 7.12 que à medida que os poços se distanciam das lagoas de chorume (PM-114 e PM-115) os valores de concentração de cloreto e valores de condutividade elétrica diminuem.

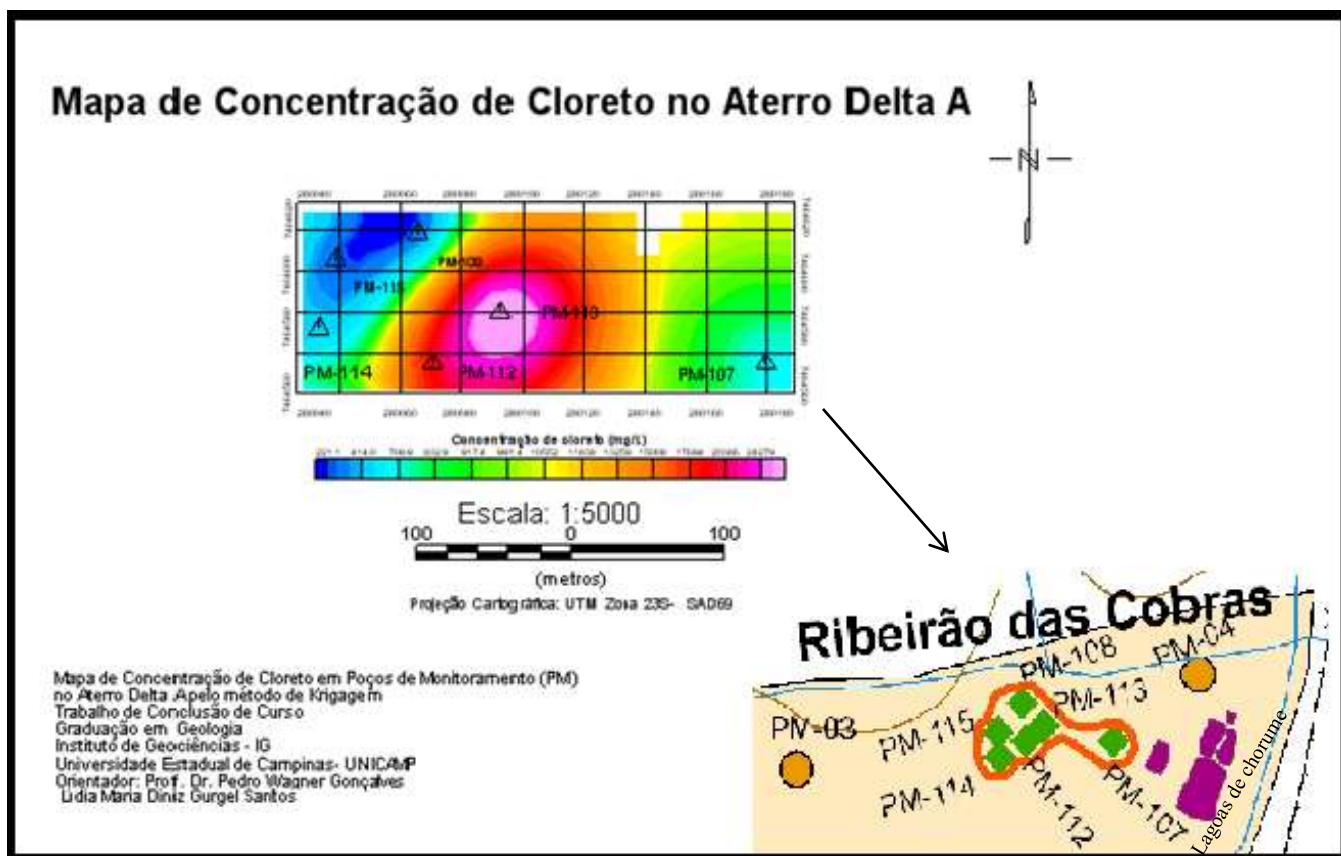


Fig. 7.11- Mapa de concentração de cloreto baseado em amostras de águas subterrâneas coletadas em 21 e 22 de setembro de 2010, em poços de monitoramento no Aterro Delta A.

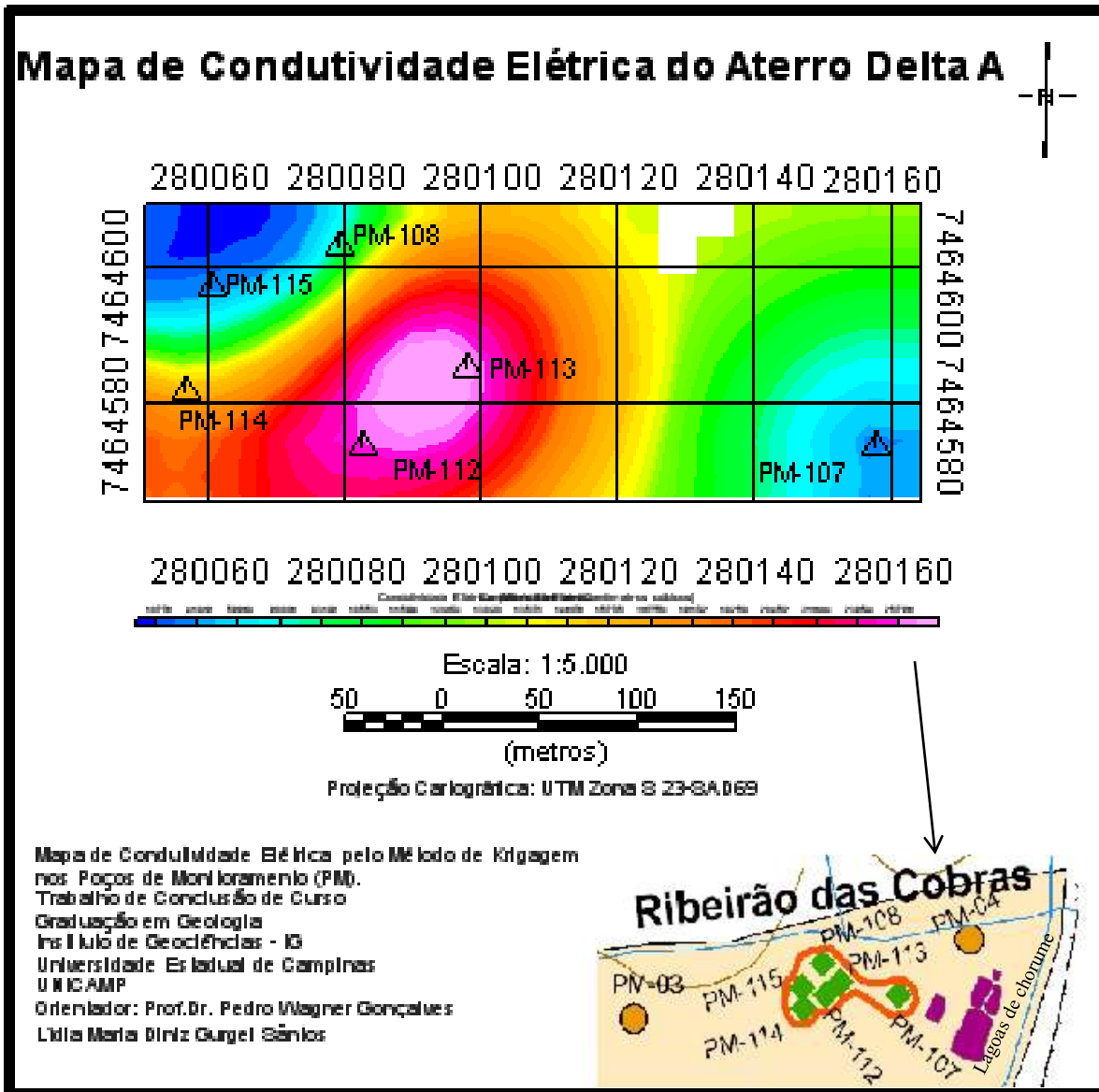


Fig. 7.12 – Mapa de condutividade elétrica baseado em amostras de águas subterrâneas coletadas em 21 e 22 de setembro de 2010, em poços de monitoramento no Aterro Delta A.

Comparando o mapa de lineamento com a direção da pluma de contaminação e a hidrografia, não se vê uma relação direta. Portanto, não se pode afirmar que a pluma segue a direção dos lineamentos da região e nem tão pouco a direção das vertentes. A coleta das águas se dá a profundidades rasas (entre 3,54 m e 6,08 m), sugerindo que a contaminação possa estar restrita a níveis mais superficiais que o aquífero principal.



Pelos resultados de amostras de águas superficiais a montante e a jusante do aterro conclui-se que há uma nítida diferença de resultados. Não se pode descartar também que o entorno do aterro a montante sofre influência da estrada de ferro FERROBAN e também de atividades antrópicas como os sítios vizinhos, podendo contribuir com a elevação de parâmetros como coliformes fecais. A região do aterro a jusante, onde está o Rio das Cobras também sofre influência de descarga de águas pluviais que lavam a estrada próxima ao aterro.

Parâmetros que designam contribuição antrópica já consagrados na literatura como condutividade elétrica, aumento na concentração de manganês, Oxigênio Dissolvido e Demanda Química de Oxigênio denotam a influência do aterro na qualidade das águas do Rio das Cobras.

Concentrações anômalas de alumínio, ferro total, bário, manganês, cobalto, níquel, cloreto, sódio, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais, chumbo (ainda que pontual) em poços próximos às lagoas de chorume, à jusante do aterro, mostram que algo está acontecendo. Há uma nítida evidência da contribuição desses parâmetros no comprometimento da qualidade das águas subterrâneas. É evidente que os cuidados da Engenharia Sanitária ao colocar PEAD (polietileno de alta densidade) nas lagoas para isolar o contato do chorume com o solo é importante, porém não está sendo suficientemente eficaz.

Os solos do aterro são argilo-arenosos e silto-argilosos, portanto não possuem as condições ideais para recebimento de resíduos sólidos. Mesmo após compactação estes solos se reacomodam, permitindo a passagem de líquidos em seus poros. Além disso, o aterro está situado em cima de nascentes, e próximo a corpos d'água, que por si só deveriam estar em área de proteção ambiental.

O Aterro Sanitário Delta A apresenta em suas águas subterrâneas e superficiais valores e parâmetros acima do permitido para vários elementos, comprometendo a qualidade das águas do aquífero na região.

## **8. Considerações Finais**

O Aterro Sanitário Delta A começou suas atividades em caráter emergencial antes que estivesse concluído Estudo de Impacto Ambiental para avaliar a vulnerabilidade do local aonde foi instalado e que tipo de danos ocasionaria no entorno. Por estar próximo a córregos e depositado em área com nível freático muito baixo, o aterro corria um sério risco de contaminar não só águas superficiais como também as águas subterrâneas do aquífero. Depois de 19 anos de funcionamento, tal preocupação se reflete atualmente.

Os dados apresentados a partir de exames laboratoriais de águas superficiais e subterrâneas, fornecidas pela própria empresa que faz a administração do aterro (empresa esta subordinada ao Departamento de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal de Campinas), mostra que esta preocupação é válida. Parâmetros elevados de Dureza, Condutividade Elétrica, DBO e Oxigênio Dissolvido abaixo dos limites estabelecidos pela lei, mostram que a influência de lixiviados do Aterro se faz presente ao alterar as condições ambientais dos corpos de água.

O objetivo inicial deste trabalho era caracterizar a dimensão e composição geoquímica da pluma de contaminação provocada pelo aterro sanitário. Foi possível caracterizar a composição geoquímica, porém a dimensão total da pluma depende de diversos dados que não estavam disponíveis para análise como, por exemplo, dados para confecção de mapa potenciométrico.

O acesso aos dados das análises químicas foi disponibilizado tardiamente e não houve tempo hábil para conseguir autorização do órgão responsável para coleta de amostras próprias, de todos os poços do aterro favorecendo uma análise mais ampla do local.

Para melhor avaliar o vetor tendencial da pluma de contaminação do aterro é recomendável confecção de mapa potenciométrico da área e do entorno. A dimensão da pluma depende também da análise de águas de poços de abastecimento da região vizinha ao aterro (jusante), além de análise de mais poços dentro do próprio aterro.

## 9. Referências Bibliográficas

- ABNT NBR 10004:2004 – Norma Brasileira de Classificação de Resíduos Sólidos. Disponível em: <[www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf](http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2011.
- BAHIA, Governo do Estado da Bahia – CONDER –Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia – **Manual de Operação de Aterro Sanitário**. Disponível em < [http://www.conder.ba.gov.br/manual\\_aterro.pdf](http://www.conder.ba.gov.br/manual_aterro.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2011.
- BARBOSA, R.M. et al.. III-043 - **Características do Lixão Canabrava, em Salvador - BA e seus Impactos Ambientais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Abes, 2001. p. 1 - 11. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/brasil/iii-043.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2011.
- BASE – Empresa- Fotografia Aérea de Campinas – Escala 1:25.000, 1995.
- BORGES, Armando de (coordenador) - **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro sustentável para Municípios de Pequeno Porte**- PROSAB – Editora ABES-RJ, 2003.280 p.
- BRAGA, Benedito *et al.* - **Introdução à Engenharia Ambiental**- 2ª edição- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo- Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Pearson Prentice Hall, 2005. C.9 (125-167) 318 p.
- BRASIL, Leis etc. **Portaria do Ministério da Saúde n. 518 DE 25 de Março de 2004** – Ministério da Saúde. Disponível em: <<http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>>. Acesso em 10 out. 2011.
- BISTRICHI, C.A. 2001. **Análise Estratigráfica e Geomorfológica do Cenozóico da Região de Atibaia-Bragança Paulista, do de São Paulo**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 160 p. Disponível em: <[www1.capes.gov.br/estudos/dados/2001/33004137/005/2001\\_005\\_33004137035P2\\_Teses.pdf](http://www1.capes.gov.br/estudos/dados/2001/33004137/005/2001_005_33004137035P2_Teses.pdf)>. Acesso em 10 out. 2011.

- CAMPANER, V.P e LUIZ-SILVA, Wanilson- **Processos Físico-Químicos em Drenagem Ácida de Mina Em Mineração de Carvão no Sul do Brasil** - Revista Química Nova, Vol 32, nº 1, 146-152, 2009. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_pdf&pid=S0100-40422009000100028&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0100-40422009000100028&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 10 nov.2011.
- CAMPINAS- - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - ENGEIO Nº DEL-MON- 02 (Nov./2001).
- CAMPINAS - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - ENGEIO Nº DEL-MON- 03 (Jan/02); Nº DEL-MON-06 (Abril/02); DEL-MON-09 (Jul./02); ENGEIO Nº DEL- MON-12(Out/02).
- CAMPINAS - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - ENGEIO Nº DEL- MON-16 (Fev./03); ENGEIO Nº DEL- MON-20(Jun03); ENGEIO-Nº DEL MON-22 (Ago./03); ENGEIO Nº DEL- MON-26 (Dez/03).
- CAMPINAS - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - ENGEIO Nº DEL- MON-29 (Mar/04); ENGEIO Nº DEL- MON-32(Jun./04); ENGEIO Nº DEL- MON-35 (Set/04); ENGEIO Nº DEL-MON-38 (Dez/04).
- CAMPINAS - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - ENGEIO Nº DEL- MON-32(Jun./04); ENGEIO Nº DELMON-35 (Set/04); ENGEIO Nº DEL- MON-38 (Dez/04).
- CAMPINAS - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - ENGEIO Nº DEL- MON-41 (Mar/05); ENGEIO Nº DEL- MON-44 (Jun./05); ENGEIO Nº DEL- MON-47 (Set/05); ENGEIO Nº DEL- MON-50(Dez/05).
- CAMPINAS - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - ENGEIO Nº

- DEL- MON-44; ENGEO N° DEL- MON-53 (Mar/06); ENGEO N° DEL- MON-56 (Jun./06); ENGEO N° DEL- MON-59 (Set/06).
- CAMPINAS - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - CTOA-65 (Mai/07); CTOA-68 (Ago./07); CTOA-71 (Nov./07).
- CAMPINAS - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - CTOA-74 (Fev./08); CTOA-77 (Mai./08); CTOA-79 (Jul./08); CTOA-82 (Out./08).
- CAMPINAS - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - CTOA- 85 (Jan/09); CTOA-88 (Abr./09); CTOA-91(Jul./09); CTOA-94 (Out./09).
- CAMPINAS - Prefeitura Municipal de Campinas – Departamento de Limpeza Urbana – Coordenadoria de Tratamento de Resíduos - **Relatórios Mensais** - CTOA-97 (Jan/10); CTOA-100 (Abr./10); CTOA-104 (Jul./10); CTOA-106 (Out./10); CTOA-108 (Dez/10).
- CASTILHOS Jr, et al. - **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Ênfase na Proteção de Corpos D'Água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários**. PROSAB – Rede Cooperativa de Pesquisas. Santa Catarina, 2006.
- CETESB – **Valores Orientadores para qualidade de águas subterrâneas e solos no Estado de Paulo** – 23/11/2005. Decisão de Diretoria nº 195/2005. Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br/solo/legislacao/6-valores-orientadores](http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/legislacao/6-valores-orientadores)>. Acesso em 29 ago.2011.
- CETESB – **Valores Orientadores para qualidade de aquíferos no estado de São Paulo** - Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua\\_sub/arquivos/valores\\_referencia\\_qualidade\\_aquifero.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/arquivos/valores_referencia_qualidade_aquifero.pdf)>. Acesso em: 16 ago.2011.
- CINTRA, F.H. *et al.* – **Fatores que afetam a qualidade do chorume gerado em aterro controlado de resíduos sólidos urbanos**. In: SIMPÓSIO ÍTALO- BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. VI. 2002. Viçosa - ABES-

2002. Disponível em: <[www.coenge.ufcg.edu.br/arquivos/Arquivo\\_64.pdf](http://www.coenge.ufcg.edu.br/arquivos/Arquivo_64.pdf)>. Acesso em: 28 ago.2011.
- DEMOLINER, Karine Silva – **Água e Saneamento Básico** – Regimes jurídicos e marcos regulatórios no ordenamento brasileiro- Porto Alegre, Livraria do Advogado Editora, 2008.
- DIAS, C.L. *et al.*, - **O Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo** – Resultados 2004-2006. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 17.2007- São Paulo. Disponível em: <<http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/ASUB/WebHome/316.pdf>>. Acesso em 03 ago.2011.
- EIA-RIMA – DELTA B – FUNDESPA – Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas, 2009.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Base Cartográfica Digital- **Mapa Geológico Simplificado do Município de Campinas, 1996**. Disponível em: <[www.apacampinas.cnpm.embrapa.br/cartogra.html](http://www.apacampinas.cnpm.embrapa.br/cartogra.html)>. Acesso em: 08 set.2011.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Base Cartográfica Digital- **Mapa Geomorfológico do Município de Campinas, 1996**. Disponível em: <[www.apacampinas.cnpm.embrapa.br/cartogra.html](http://www.apacampinas.cnpm.embrapa.br/cartogra.html)>. Acesso em: 08 set.2011.
- ETCHEBEHERE, M. L *et al.* – **Modelo de Evolução Geológica da Região do Atual Município de Atibaia (SP) Durante o Cenozóico**, *Revista Ung – Geociências* V.6, N.1, 2007, 4-3. Disponível em: <[www.revistas.ung.br/index.php/geociencias/article/viewFile/133/272](http://www.revistas.ung.br/index.php/geociencias/article/viewFile/133/272)>. Acesso em: 10 out. 2011.
- FAURE, Gunter – **Principles and Applications of Geochemistry** - A comprehensive Textbook for Geology Students- 2<sup>nd</sup> ed. Prentice-Hall International- USA, 1998.
- FEITOSA, F.A.C. *et al.* – **Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações**- CPRM – 3<sup>a</sup> Edição- 2008.
- FERNANDES, Amélia João e MELLO, Claudio Limeira - **Coberturas cenozoicas e estruturas deformadoras na depressão periférica paulista**, Campinas, São Paulo- *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, 25(1/2), 49-66, 2004. Disponível em:

- <[www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista\\_ig/25\\_1-2\\_3.pdf](http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista_ig/25_1-2_3.pdf)>. Acesso em 10 out. 2011.
- FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro, **Minérios e Ambiente** – Editora Unicamp – Campinas, 2000 C. 18 (325-337) (401p.).
- GANDELINI, Luciana e CAIXETA FILHO, José Vicente – **Otimização dos aterros sanitários**. *Revista Economia Contemporânea*, Rio de Janeiro, v. 11 nº 3, p. 509-523, set-dez 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-98482007000300005&lng=pt&nrm=isso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-98482007000300005&lng=pt&nrm=isso)>. Acesso em: 29/ago/2011.
- GRASSI, Marco Tadeu - **Águas no Planeta Terra- Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola-** Edição Especial, Maio 2001. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/introd.pdf>>. Acesso em: 11/set/2011.
- HORTELLANI, Marcos Antônio e SARKIS, Jorge E.S. – **Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do estuário Santos-São Vicente** – *Revista Química Nova*, Vol. 31, Nº 1,10-19, 2008. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2008/vol31n1/index.htm>>. Acesso em: 07 out.2011.
- ICLEI, 2009 – Governos locais pela sustentabilidade - **Estudo técnico sobre o potencial de aproveitamento de biogás gerado no Aterro Sanitário do Município de Campinas – SP**. Disponível em: <[toolkits.reEEP.org/file\\_upload/107040350\\_1.pdf](http://toolkits.reEEP.org/file_upload/107040350_1.pdf)> Acesso em: 09 set. 2011.
- IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - **LIXO MUNICIPAL - MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO** - Coord. Niza Silva Jardim *et al.*. 1ª Edição- São Paulo, 1995. C. IV(75-122) 278 p.
- ISIDORI, M. et al.- **Toxicity identification evaluation of leachates from municipal solid waste landfills:a multispecies approach**. *Chemosphere* 52 (2003)85-94. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653503002984>>. Acesso em 30 ago.2011.
- LUIZ-SILVA, Wanilson- Notas de Aula do Curso de Geoquímica Ambiental do Instituto de Geociências – IG, na Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2011.

MANUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS – **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários**- Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental - NUCASE - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental- Belo Horizonte: RECESA, 2008 (120 P).

MAPA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO: escala 1:1.000.000: **Nota explicativa**{coordenação geral Gerôncio Rocha} – São Paulo: DAEE- Departamento de Águas e Energia Elétrica; IG – Instituto Geológico; IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005. Disponível em: <[http://www.igeologico.sp.gov.br/ler\\_noticia.asp?id=122](http://www.igeologico.sp.gov.br/ler_noticia.asp?id=122)>. Acesso em: 25 set. 2011.

MELO, M. C *et al.*- **Estudos de Toxicidade em aterros de resíduos sólidos urbanos**- *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, nº 28- Setembro/Outubro 2002. Disponível em: <[http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio28/bio\\_28.pdf](http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio28/bio_28.pdf)> Acesso em: 14 out.2011.

MELO, M.S.; COIMBRA, M.; CUCHIERATO, G. **Fácies Sedimentares da Formação Rio Claro, no Cenozóico da Depressão Periférica Paulista**. *Revista do Instituto Geológico de São Paulo*, 18 (½). Janeiro/Dezembro, 1997. p 49-63. Disponível em: <[www.igeologico.sp.gov.br/downloads/.../Boletim%20IG%2018.pdf](http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/.../Boletim%20IG%2018.pdf)>. Acesso em 04 out. 2011.

MILANI, Edson Jose. **Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. Geologia do Continente Sul Americano: Evolução e Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida/ Organizado por Virgílio Mantesso-Neto *et al.***, - São Paulo; Beca, 2004. C. XVI(265-279) (647 p).

MILANI, Edson Jose, et al.. **Bacia do Paraná**. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.265-287, maio/nov.2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA-g8AA/bacia-parana>>. Acesso em: 14 out. 2011.

NYER, Evank K. **Groundwater Treatment Thecnology** – Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2009. C.1 (1-23)(424 p).



- OLIVEIRA, A.M.S. e BRITO, Sergio N.A. (organizadores)- **Geologia de Engenharia- ABGE**, 1998 C.21(343-360)(587 p).
- OLIVEIRA, Cauê Nascimento de, 2004. **Recuperação ambiental na região metropolitana de Campinas: Revegetação e uso futuro**. Dissertação de Mestrado para obtenção de título de mestre em engenharia civil da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Disponível em:  
<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000358665&fd=y>>.  
Acesso em: 08 ago. 2011.
- PETRI, S. e SOUZA, P. A. **Síntese dos conhecimentos e novas concepções sobre a bioestratigrafia do Subgrupo Itararé, Bacia do Paraná, Brasil**. *Revista IG*, São Paulo, 14(1), - 7-18, jul./dez./1993. Disponível em <[http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista\\_ig/14\\_2\\_1.pdf](http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista_ig/14_2_1.pdf)>. Acesso em 19 out.2011.
- PETRI, Setembrino *et al.*. **O Subgrupo Itararé, Permocarbonífero da Região do Médio Tietê, Estado de São Paulo, Estudos em superfície**. *Revista IG São Paulo*, Dez 1996. Disponível em: <[www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista\\_ig/17\\_1-2\\_4.pdf](http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista_ig/17_1-2_4.pdf)>. Acesso em: 19 out. 2011.
- PICARELLI et al., **Palinologia quantitativa e a evolução paleoambiental do Grupo Itararé – Bacia do Paraná**. *In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ*, 1, Rio Claro. Resumos, p.34.
- RESOLUÇÃO CONAMA 357 de 17 de Março de 2005. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2011.
- RESOLUÇÃO CONAMA 397 de 03 de abril de 2008. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=563](http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=563)>. Acesso em: 29 ago. 2011.
- ROCHA, Eliane Ferreira, AZEVEDO, Roberto Silva- **Determinação de Capacidade Hidráulica e Capacidade de Campo de Resíduos Sólidos Urbanos – Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa**, 2008.

Disponível em: <<ftp://ftp.bbt.ufv.br/teses/engenharia%20civil/2008/211471f.pdf>>.

Acesso em: 16 ago. 2011.

SÃO PAULO - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO- Instituto Geológico- **Subsídios do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Campinas (SP)-** Volume II – Relatórios Técnicos – Programa: Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região entre Sorocaba e Campinas- São Paulo, 1993.

SÃO PAULO - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO- Instituto Geológico- **Subsídios do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Campinas (SP)-** Volume II – Relatórios Técnicos – Programa: Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região entre Sorocaba e Campinas- São Paulo, 2009.

SÃO PAULO, 2009 - **Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da Bacia do Rio Piracicaba-SP** - Volume II – Relatórios Técnicos – Programa: Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento regional e urbano do meio físico da porção média da bacia do Rio Piracicaba. São Paulo, 2009. Instituto Geológico-SP, 2009.

SÃO PAULO, **MAPA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO: escala 1:1.000.000: Nota explicativa**{coordenação geral: Gerônimo Rocha} – São Paulo: DAEE- Departamento de Águas e Energia Elétrica; IG – Instituto Geológico; IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005.

SIEGEL, Frederic R., **Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals**- Springer – Germany, 2002 (217 p.).

SISINNO, C. L. S & OLIVEIRA, R.M., **Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde**. Editora Fiocruz, Rio de Janeiro. 2000 (142 p.).

SISINNO, C. L. S., **Destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais no Estado do Rio de Janeiro**: Avaliação da toxicidade dos resíduos e suas implicações para o ambiente e para a saúde humana – Tese de Doutorado –Orientador: Prof. Dr. Josino Costa Moreira- Fundação Osvaldo Cruz – Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<teses.icict.fiocruz.br/pdf/sisinnoclsd.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2011.

- SLACK, R.J. et al. **Household hazardous waste in municipal landfills contaminants in leachate**, Science of the Total Environment 337(2005) 119-137 - Elsevier . Disponível em: <<http://www.mendeley.com/research/household-hazardous-waste-in-municipal-landfills-contaminants-in-leachate/>>. Acesso em: 30 ago. 2011.
- SOBRINHO, N. L. C. C.-Azevedo, R.F. 2000 **Considerações Sobre O Funcionamento Do Sistema De Cobertura Do Balanço Hídrico De Aterros Sanitários de Presidente Prudente**- Tese para obtenção de título de “Magister Scientiae” da Faculdade de Engenharia Civil -Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais (128 p.). Disponível em: <[www.ufv.br/dec/ppg/Teses/ms\\_Sobrinho/ms\\_Sobrinho.pdf](http://www.ufv.br/dec/ppg/Teses/ms_Sobrinho/ms_Sobrinho.pdf)>. Acesso em: 16 ago.2011.
- SOUTO, Gabriel D’Arrigo de Brito, **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros – Estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”)- Tese de Doutorado em Engenharia Sanitária e Hidráulica na Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2009.** Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../tde.../TeseGabrielSouto.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../tde.../TeseGabrielSouto.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2011.
- SOUZA FILHO, Edvard Elias de, 1986. **Mapeamento Faciológico do Subgrupo Itararé na Quadricula de Campinas (SP) – Dissertação de Mestrado- Instituto de Geociências – USP- SP.**
- TURNER, S., et al.. **Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision geochronology.** Earth Planet. Sci Letters, 122:333-348, 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0012821X94900760>>. Acesso em: 19 out. 2011.
- YOSHINAGA, S. et al.. C. A.. **Hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Tubarão (São Paulo, Brasil): uma contribuição ao seu entendimento.** In: CONGRESSO HIDROGEOLOGICO LATINO-AMERICANO, 1, Mérida, Venezuela. 1992. Compendio de Ponencias... Merida, Venezuela, ALHSUD.
- YOSHINAGA, Sueli, et al.. - **Subsídios ao planejamento territorial de Campinas: A aplicação da abordagem de tipos de terreno, Revista IG.** São Paulo, Volume Especial 1995. Disponível em:

<[www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista\\_ig/v16nspa10.pdf](http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista_ig/v16nspa10.pdf)>. Acesso em: 19 out. 2011.

ZANTA, V.M. e FERREIA, C.F.A., in **Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos-** PROSAB, 2003. Disponível em: <<http://etg.ufmg.br/~gustavo/arquivos/livroprosab.pdf>>. Acesso em: 16 ago.2011.

ZHU, Chen and ANDERSON, Greg – **Environmentl Applications of Geochemical Modeling**. Cambridge University Press, 2002. C.3 (32-73) (284 p.).

Sites visitados:

<http://eptv.globo.com/campinas/noticias/NOT,1,1,335024,Producao+de+lixo+em+Campinas+aumenta+40+em+5+anos.aspx>

<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/aguas.pdf>.

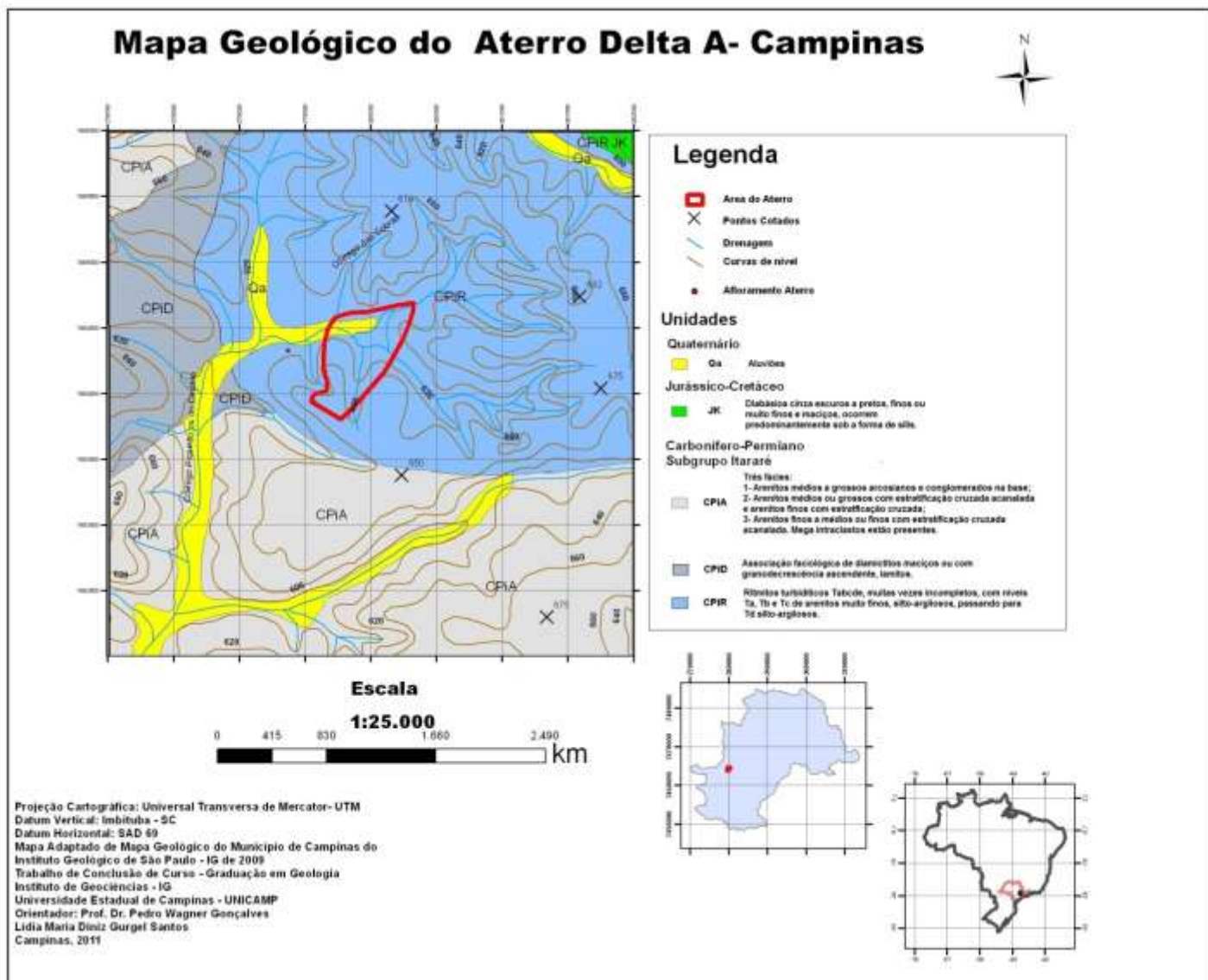
<http://www.apacampinas.cnpm.embrapa.br/cartogra.html>

<http://www.apacampinas.cnpm.embrapa.br/cartogra.html>

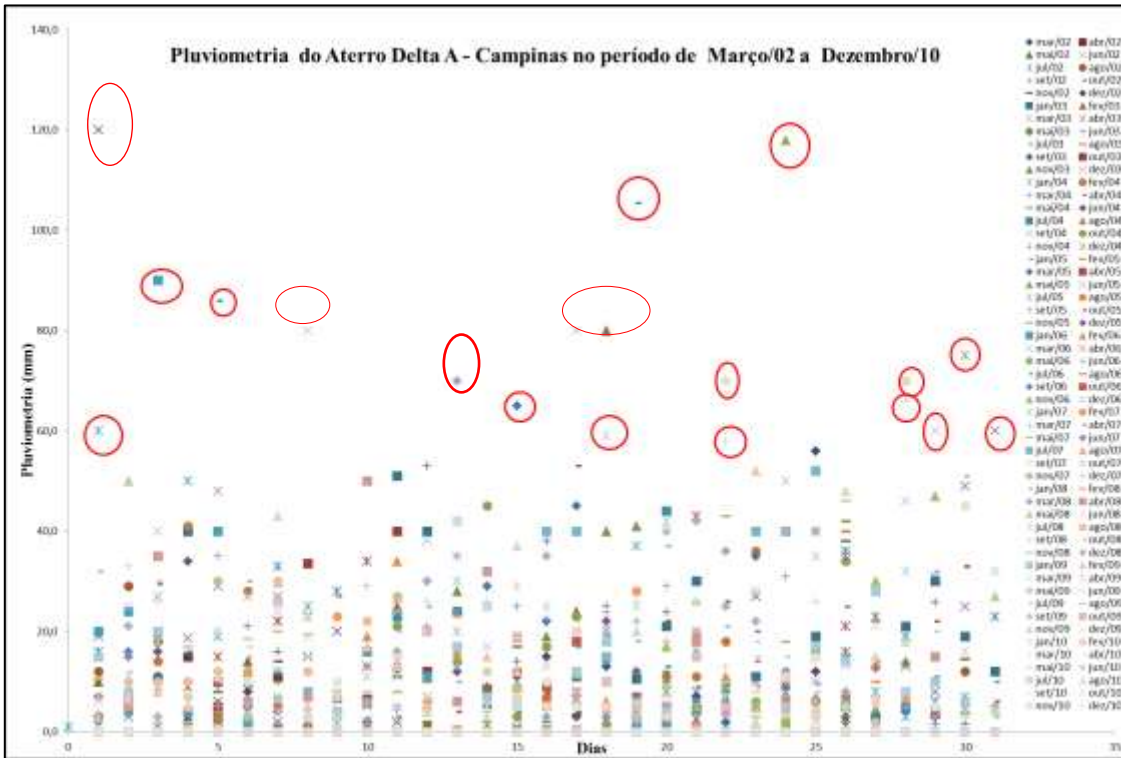
<http://www.campinas.sp.gov.br/governo/servicos-publicos/dlu/serie-hist.php>

<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm>

## Anexo 1. Mapa Geológico do Aterro Delta A- Campinas.



**Anexo 2.** Pluviometria do Aterro Delta A – Campinas no período de Março/02 a Dezembro/10.



Valores acima de 60 mm

**Anexo 3** – Parâmetros utilizados para análise de águas superficiais e subterrâneas.

<b>Parâmetros utilizados para análise de águas em Poços de Monitoramento e águas superficiais.</b>			
<b>PARÂMETROS</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>PARÂMETROS</b>	<b>UNIDADE</b>
Aspecto	-	Cromo Hexavalente	mg/L Cr
Cor (Verdadeira)	Pt/L	Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Condutividade Específica	µS/Cm	Fenóis	µg/L
Odor	-	Ferro Total	mg/L Fe
pH	UpH	Fuoretos	mg/L F
Temperatura da Amostra	Celsius	Fosfato Total	mg/L As
Turbidez	FTU	Magnésio	mg/L Mg
Coliformes Fecais	N.M.P/100 ml	Mangans Total	mg/L Mn
Coliformes Totais	N.M.P/100 ml	Mercúrio	mg/L Hg
Contagem padrão de Bactérias	UFC / ml	Níquel	mg/L Ni
Alcalinidade de Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Nitrogênio Albuminóide	mg/L N
Alcalinidade de Carbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Nitrogênio Amoniacal	mg/L N
Alcalinidade de Hidróxidos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Nitrogênio Nitrato	mg/L N
Alumínio	mg/L Al	Nitrogênio Nitrito	mg/L N
Arsênio	mg/L As	Oxigênio Consumido	mg/L O <sub>2</sub>
Bário	mg/L Ba	Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>
Cádmio	mg/L Cd	Potássio	mg/L K
Cálcio	mg/L Ca	Prata	mg/L Ag
Chumbo	mg/L Pb	Selênio	mg/L Se
Cianetos	mg/L Cn	Sólidos Totais	mg/L
Cloretos	mg/L Cl	Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>
Cloro Residual	mg/L Cl <sub>2</sub>	TOC	
Cobre	mg/L Cu	Zinco	mg/L Zn

**Anexo 4** – Valores de referência de qualidade de aquíferos emitidos pela CETESB, relatados no XVII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos.

Valores de Referência de Qualidade, por Aquífero.

Parâmetro	Unidade	Valor de Referência de Qualidade por Aquífero							VMP
		Guarani	Bauri	Tubarão	Taubaté	São Paulo	Serra Geral	Pré-Cambriano	
pH	--	7,5	7,5	9,0	7,0	7,5	8,0	7,5	6,0-9,5*
Temperatura	°C	28	26	26	26	26	26	24	--
Condutividade Elétrica	µS/cm	160	240	410	145	160	170	240	--
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	120	200	375	155	180	145	190	1000
Sólidos Totais	mg/L	135	215	360	165	130	170	200	--
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	60	100	60	40	30	55	90	500
Alcalinidade Bicarbonato	mg/L CaCO <sub>3</sub>	80	110	150	70	75	75	105	--
Alcalinidade Carbonato	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	0	<2	0	0	0	<2	--
Alcalinidade Hidróxido	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	0	<2	0	0	0	<2	--
Alumínio Total	mg/L Al	0,03	0,05	0,04	<0,15	0,04	0,04	0,07	0,2
Antimônio Total	mg/L SbI	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	--
Arsênio Total	mg/L As	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Bário Total	mg/L Ba	0,08	0,25	0,08	0,10	0,15	0,08	0,08	0,7
Boro Total	mg/L B	<0,03	<0,03	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	--
Carbono Orgân. Dissolv.	mg/L C	5,5	8,5	6,5	5,0	3,5	6,0	4,5	--
Calcio Total	mg/l Ca	18,5	25	18,5	8,0	10	15,5	28,5	--
Cádmio Total	mg/L Cd	<0,0001	<0,0001	<0,0001	--	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,005
Cianeto	mg/L CN	<0,01	<0,01	<0,01	--	<0,01	<0,01	<0,01	--
Cloreto Total	mg/L Cl	1,5	5	10	1,5	1,5	1,5	5	250
Chumbo Total	mg/L Pb	<0,002	<0,002	<0,002	--	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Cobre Total	mg/L Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2
Cobalto Total	mg/L Co	<0,01	<0,01	<0,01	--	<0,01	<0,01	<0,01	--
Cromo Total	mg/L Cr	0,003	0,04	<0,001	<0,005	0,002	0,002	0,002	0,05
Ferro Total	mg/L Fe	0,09	0,04	0,12	0,12	0,20	0,04	0,12	0,3
Fluoreto Total	mg/L F	0,2	0,3	0,6	0,3	0,5	0,2	0,6	1,5
Magnésio Total	mg/L Mg	3,5	8,0	4,0	1,0	2,5	4,0	3,5	--
Manganês Total	mg/L Mn	0,01	<0,005	0,02	0,03	0,10	<0,005	0,03	0,4(**)
Mercúrio Total	mg/L Hg	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001
Nitrogênio Nitrato	mg/L N	0,3	1,5	0,2	0,02	0,2	0,5	0,4	10
Nitrogênio Nitrato	mg/L N	0,005	<0,002	0,005	<0,001	<0,004	<0,002	0,005	0,1
Nitrogênio amoniacal	mg/L N	0,005	0,04	0,07	0,05	0,06	0,05	0,06	--
Nitrogênio Kjeldhal Total	mg/L N	0,2	0,1	0,4	0,2	0,4	0,1	0,4	--
Níquel Total	mg/L Ni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	--
Potássio Total	mg/L K	4,0	4,5	2,0	5,0	4,5	2,0	2,5	--
Selênio Total	mg/L Se	<0,002	<0,002	<0,002	--	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Sódio Total	mg/L Na	7,0	15	25	20	20	14,5	14,5	200
Sulfato	mg/L SO <sub>4</sub>	<10	<10	20	<10	<10	<10	10	--
Vanádio Total	mg/L V	<0,02	<0,02	<0,02	--	<0,02	<0,02	<0,02	--
Zinco Total	mg/L Zn	<0,01	0,03	<0,01	0,02	0,02	0,02	<0,01	5
Contagem Bactérias Heter.	UFC/mL	15	30	15	1	25	15	40	500
Coliformes Totais	PA/100 mL	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Escherichia coli	PA/100 mL	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente

Valores de Referência de Qualidade (VRQ), independentes dos aquíferos, para metais-traço, em comparação com valores de intervenção.

Fonte: "XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos"



**Anexo 5**– Parâmetros e Métodos de Análise de Águas utilizados pelo Laboratório Keller Saneamento e Ecologia em análise de amostras de águas superficiais e subterrâneas coletadas no Aterro Delta A – Campinas em setembro de 2010.



Laboratório de Ensaio acreditado pela Cgcre/inmetro de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CRL 0400

PARÂMETROS REALIZADOS EM CAMPO			
Parâmetros	Unidades	Referência ao Método	Incerteza de Medição
Coluna d'água	m	NA	NA
Condutividade elétrica	µS/cm	SMWW 2500-B	= 1,01
Diâmetro do poço	Polegadas	NA	NA
Nível Estático	m	NA	NA
Oxigênio dissolvido	mg/L	SMWW 4500-O-G	= 1,04
pH	-	SMWW 4500-H+	= 0,03
Profundidade do Poço	m	NA	NA
Temperatura	°C	SMWW 2550-B	= 1,21
Volume exsanado	L	NA	NA

PARÂMETROS REALIZADOS EM LABORATÓRIO			
Parâmetros	Unidades	Referência ao Método	Incerteza de Medição
Alcalinidade total	mg/L	SMWW 2320-B	= 0,06
Alumínio	mg/L	SMWW 3111-D e 3030 E	= 0,01
Amônio	mg/L	ME 45	= 0,07
Arsenio	mg/L	ME 40	= 0,07
Bário	mg/L	SMWW 3111-D e 3030 E	= 0,03
Bicarbonato	mg/L	SMWW 2320-B	= 0,06
Cádmio	mg/L	SMWW 3111-B e 3030 E	= 0,01
Cálcio	mg/L	SMWW 3500 Ca B	= 0,06
Carbonato	mg/L	SMWW 2320-B	= 0,06
Carbono Orgânico total	mg/L	ME 05	= 2,0
Chumbo	mg/L	SMWW 3111-B e 3030 E	= 0,01
Cianeto	mg/L	ME 06	= 0,07
Cloreto	mg/L	ME 07	= 0,31
Cobalto	mg/L	SMWW 3111-B e 3030 E	= 0,01
Cobre	mg/L	SMWW 3111-B e 3030 E	= 0,01
Coliformes fecais	UFC/100 mL	ME 08	= 1
Coliformes totais	UFC/100 mL	ME 08	= 1
Contagem heterotrófica	UFC/mL	ME 10	= 1,0
Cor verdadeira	Hr	SMWW 2120 C	= 0,07
Cromo hexavalente	mg/L	SMWW 3500-Cr B	= 0,03
Cromo total	mg/L	SMWW 3111-B e 3030 E	= 0,03
DBP	mg/L	SMWW 5210	= 0,58
DQO	mg/L	ME 13	= 0,07
Dureza	mg/L	SMWW 2340-D	= 0,01
E.Coli	UFC/100 mL	ME 08	= 1
Fenol	mg/L	ME 15	= 0,08
Ferro total	mg/L	SMWW 3111 B e 3030 E	= 0,02
Fluoreto	mg/L	ME 17	= 0,07
Fosfato	mg/L	ME 18	= 0,09
Magnésio	mg/L	SMWW 3111-B e 3030 E	= 0,01
Manganês	mg/L	SMWW 3111-B	= 0,01
Merúrio	mg/L	Micheler's thioesterone 4-4' - Bis(dimethylamino)-thiohexaphenone	= 0,07
Níquel	mg/L	SMWW 3111-B e 3030 E	= 0,02
Nitrogênio nitrato	mg/L	ME 21	= 0,21
Nitrogênio nítrico	mg/L	ME 22	= 0,07
Nitrogênio albuminóide	mg/L	Normae Tannin CETESB - L 189	= 0,07
Nitrogênio amoniacal	mg/L	ME 02	= 0,1
Nitrogênio Kjeldahl	mg/L	SMWW 4500-Norg	= 0,1
Oxigênio consumido	mg/L	CETESB-L3.143	= 0,06
Paracetol	mg/L	SMWW 3400-A B	= 0,06
Prata	mg/L	SMWW 3111-B e 3030 E	= 0,01
Selênio	mg/L	ME 44	= 0,07
Sódio	mg/L	ME 44	= 0,06
Sólidos totais	mg/L	SMWW 2540 B	= 0,07
Sólidos totais dissolvidos	mg/L	SMWW 2540 C	= 0,01
Sulfeto	mg/L	ME 17	= 7,06
Surfactante	mg/L	ME 33	= 0,07
Turbidez	NTU	SMWW 2130 B	= 0,07
Zinco	mg/L	SMWW 3111-B e 3030 E	= 0,01

Keller Empresa de Saneamento e Ecologia LTDA.  
 Rua: Padre José de Anchieta nº287 - Vila Malhada - CEP: 14807-150 - Araraquara - SP  
 Tel:(16) 3333-8862 - Cel:(16) 9773-5592.  
 Site: [www.kellersaneamento.com.br](http://www.kellersaneamento.com.br) - e-mail: [eduardokeller@kellersaneamento.com.br](mailto:eduardokeller@kellersaneamento.com.br)

## Anexo 6. Valores orientadores para solo e água subterrânea da CETESB.

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Substância	CAS Nº	Referência de qualidade	Solo (mg.kg <sup>-1</sup> de peso seco) <sup>(1)</sup>				Água Subterrânea (µg.L <sup>-1</sup> )
			Prevenção	Intervenção			Intervenção
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
<b>Inorgânicos</b>							
Alumínio	7429-90-5	-	-	-	-	200	
Antimônio	7440-38-0	<0,5	2	5	10	25	
Arsênio	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	
Bário	7440-39-3	75	150	300	500	750	
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	500	
Cádmio	7440-48-4	<0,5	1,3	3	8	20	
Chumbo	7440-43-9	17	72	180	300	900	
Cobalto	7439-92-1	13	25	35	65	90	
Cobre	7440-50-8	35	60	200	400	600	
Cromo	7440-47-3	40	75	150	300	400	
Ferro	7439-89-6	-	-	-	-	300	
Manganês	7439-96-5	-	-	-	-	400	
Merúrio	7439-97-6	0,05	0,5	12	36	70	
Molibdênio	7439-98-7	<4	30	50	100	120	
Níquel	7440-02-0	13	30	70	100	130	
Nitrato (como N)	797-55-08	-	-	-	-	10.000	
Prata	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	
Selênio	7782-49-2	0,25	5	-	-	10	
Vanádio	7440-62-2	275	-	-	-	-	
Zinco	7440-66-6	60	300	450	1000	2000	
<b>Hidrocarbonetos aromáticos voláteis</b>							
Benzeno	71-43-2	na	0,03	0,06	0,08	0,15	
Estireno	100-42-5	na	0,2	15	35	80	
Etilbenzeno	100-41-4	na	6,2	35	40	95	
Tolueno	108-98-3	na	0,14	30	30	75	
Xileno	1330-20-7	na	0,13	25	30	70	
<b>Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos <sup>(2)</sup></b>							
Antraceno	120-12-7	na	0,039	-	-	-	
Benzo(a)antraceno	56-55-3	na	0,025	9	20	65	
Benzo(k)fluoranteno	207-06-9	na	0,38	-	-	-	
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2	na	0,57	-	-	-	
Benzo(a)pireno	50-32-8	na	0,052	0,4	1,5	3,5	
Criseno	218-01-9	na	8,1	-	-	-	
Dibenzo(a,h)antraceno	59-70-3	na	0,08	0,15	0,6	1,3	
Fenantreno	85-01-8	na	3,3	15	40	95	
Índeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	na	0,031	2	25	130	
Naftaleno	91-20-3	na	0,12	30	60	90	
<b>Benzenos clorados <sup>(3)</sup></b>							
Clorobenzeno (Mono)	108-90-7	na	0,41	40	45	120	
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	na	0,73	150	200	400	
1,3-Diclorobenzeno	541-73-1	na	0,39	-	-	-	
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	na	0,39	50	70	150	
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	na	0,01	5	15	35	
1,2,4-Triclorobenzeno	120-82-1	na	0,011	7	20	40	
1,3,5-Triclorobenzeno	108-70-3	na	0,5	-	-	(a)	
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	634-66-2	na	0,16	-	-	(a)	
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	634-90-2	na	0,0065	-	-	-	
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	95-94-3	na	0,01	-	-	-	
Hexaclorobenzeno	118-74-1	na	0,003 <sup>(3)</sup>	0,005	0,1	1	
<b>Etanos clorados</b>							
1,1-Dicloroetano	75-34-2	na	-	8,5	20	25	
1,2-Dicloroetano	107-06-2	na	0,075	0,15	0,25	0,50	
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	na	-	11	11	25	
<b>Etenos clorados</b>							
Cloreto de vinila	75-01-4	na	0,003	0,005	0,003	0,008	

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Substância	CAS Nº	Referência de qualidade	Solo (mg.kg <sup>-1</sup> de peso seco) <sup>(1)</sup>				Água Subterrânea (µg.L <sup>-1</sup> )
			Prevenção	Intervenção			Intervenção
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
<b>1,1-Dicloroetano</b>							
1,1-Dicloroetano	75-35-4	na	-	5	3	8	
1,2-Dicloroetano - cis	156-59-2	na	-	1,5	2,5	4	
1,2-Dicloroetano - trans	156-60-5	na	-	4	8	11	
Tricloroetano - TCE	79-01-6	na	0,0078	7	7	22	
Tetracloroetano - PCE	127-18-4	na	0,054	4	5	13	
<b>Metanos clorados</b>							
Cloreto de Metileno	75-09-2	na	0,018	4,5	9	15	
Clorofórmio	67-66-3	na	1,75	3,5	5	8,5	
Tetracloroetileno	56-23-5	na	0,17	0,5	0,7	1,3	
<b>Fenóis clorados</b>							
2-Clorofenol (o)	95-57-8	na	0,055	0,5	1,5	2	
2,4-Diclorofenol	120-83-2	na	0,031	1,5	4	6	
3,4-Diclorofenol	95-77-2	na	0,051	1	3	6	
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	na	0,11	-	-	10,5	
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	na	1,5	3	10	20	
2,3,4,5-Tetraclorofenol	4901-51-3	na	0,092	7	25	50	
2,3,4,6-Tetraclorofenol	58-90-2	na	0,011	1	3,5	7,5	
Pentaclorofenol (PCP)	87-86-5	na	0,16	0,35	1,3	3	
<b>Fenóis não clorados</b>							
Cresóis	-	na	0,16	6	14	19	
Fenol	108-95-2	na	0,20	5	10	15	
<b>Ésteres ftálicos</b>							
Diethylil ftalato (DEHP)	117-81-7	na	0,6	1,2	4	10	
Dimetil ftalato	131-11-3	na	0,25	0,5	1,6	3	
Di-n-butil ftalato	84-74-2	na	0,7	-	-	-	
<b>Pesticidas organoclorados</b>							
Aldrin <sup>(4)</sup>	309-00-2	na	0,0015 <sup>(3)</sup>	0,003	0,01	0,03	
Dieldrin <sup>(4)</sup>	60-57-1	na	0,043 <sup>(3)</sup>	0,2	0,6	1,3	
Endrin <sup>(4)</sup>	72-20-8	na	0,001 <sup>(3)</sup>	0,4	1,5	2,5	
DDT <sup>(4)</sup>	50-29-3	na	0,010 <sup>(3)</sup>	0,55	2	5	
DDD <sup>(4)</sup>	72-54-8	na	0,013	0,8	3	7	
DDE <sup>(4)</sup>	72-55-9	na	0,021	0,3	1	3	
HCH beta	319-85-7	na	0,011	0,03	0,1	0,5	
HCH - gama (Lindano)	58-89-9	na	0,001	0,02	0,07	1,5	
<b>PCBs</b>							
total	-	na	0,0003 <sup>(3)</sup>	0,01	0,03	0,12	
total	-	na	0,0003 <sup>(3)</sup>	0,01	0,03	0,12	

- (1) - Procedimentos analíticos devem seguir SW-846, com metodologias de extração de inorgânicos 3050b ou 3051 ou procedimento equivalente.
- (2) - Para avaliação de risco, deverá ser utilizada a abordagem de unidade toxicológica por grupo de substâncias.
- (3) - Substância banida pela Convenção de Estocolmo, ratificada pelo Decreto Legislativo nº 204, de 07-05-2004, sem permissão de novos aportes no solo.
- na - não se aplica para substâncias orgânicas.
- (a) somatória para triclorobenzenos = 20 µg.L<sup>-1</sup>.
- (b) somatória para 1,2 dicloroetenos; = 50 µg.L<sup>-1</sup>.
- (c) somatória para DDT-DDD-DDE = 2 µg.L<sup>-1</sup>.
- (d) somatória para Aldrin e Dieldrin = 0,03 µg.L<sup>-1</sup>.



## Anexo 8 – Mapa de Localização dos pontos de Amostragem e poços de Monitoramento.

