

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**REMEDIÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR
HIDROCARBONETOS LEVES (LNAPL) ATRAVÉS
DAS TÉCNICAS CONJUGADAS “PUMP-AND-
TREAT” E SVE (“SOIL VAPOR EXTRACTION”)-
ESTUDO DE CASO.**

Eduardo Ferrer Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco

Co-Orientador: Antonio Sergió Egydio Rameh

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2000/8)

SÃO PAULO
2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**REMEDIÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR
HIDROCARBONETOS LEVES (LNAPL) ATRAVÉS DAS
TÉCNICAS CONJUGADAS "PUMP-AND-TREAT" E SVE ("SOIL
VAPOR EXTRACTION") - ESTUDO DE CASO**

EDUARDO FERRER FERREIRA



DISCIPLINA 0440500 - TRABALHO DE FORMATURA

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alberto Pacheco

Profa. Dra. Gianna Maria Garda

Prof. Dr. Fabio Taioli

Three handwritten signatures are written over three horizontal lines. The first signature is 'A. Pacheco', the second is 'Gianna Maria Garda', and the third is 'Fabio Taioli'.

SÃO PAULO
2000

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

**Remediação de Áreas Contaminadas por
Hidrocarbonetos Leves (LNAPL) Através das
Técnicas Conjugadas “Pump-and-Treat” e SVE
(“Soil Vapor Extraction”) – Estudo de Caso.**

(TF/2000-08)

Monografia de Trabalho de Formatura

Eduardo Ferrer Ferreira



Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco GSA/IG-USP

Co-Orientador: Eng.º Antonio Sérgio E. Rameh – EPA Engenharia

São Paulo
Novembro de 2000

DEDALUS - Acervo - IGC



309000006070

F383
EF.11

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

Remediação de Áreas Contaminadas por
Hidrocarbonetos Leves (LNAPL) Através das
Técnicas Conjugadas "Pump-and-Treat"
("Soil Vapor Extraction") - Estudo
(111200-00)

DOAÇÃO Comissão

do Trabalho de Formatura

Data: 07/02/01

Monografia de Trabalho de Formatura

Eduardo Fetter Fetter

Co-Orientador: Eng.º Antonio Sérgio E. Ramos - EPA Engenharia
Orientador: Prof. Dr. Alberto Padua GSA-IG-USP

São Paulo
Novembro de 2000

Agradecimentos

Eu gostaria de agradecer aos meus pais, pelo financiamento e força nestes longos sete anos de geologia. Também agradeço ao meu "chefe", Sérgio Rameh, pelos conselhos e apoio. Ah, a Fabíola (Joleval) também merece um abraço!

Aos "manos e minas da Geo" que dentre tantos nomes, resolvi generalizar. Por toda a ajuda, convívio, campos (que, infelizmente acabaram) e baladas (que, felizmente não acabarão).

Ao Prof. Alberto Pacheco, pela ajuda e tranquilidade, marcante em todos os momentos.

E a Deus.

Valeu!

Eduardo Ferrer Ferreira, 24 de novembro de 2000.

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO	4
2. RESUMO DO PROJETO	6
3. ABSTRACT	8
4. INTRODUÇÃO	10
4.1 INTRODUÇÃO	10
4.2 RELEVÂNCIA DO PROJETO	10
5. OBJETIVOS	13
6. HISTÓRICO DA CONTAMINAÇÃO	15
7. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	17
8. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DA ÁREA	19
8.1 GEOLOGIA DA ÁREA	19
8.1.1 COMPLEXO COSTEIRO	19
8.1.2 SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS QUATERNÁRIOS	19
8.2 HIDROGEOLOGIA DA ÁREA	20
9. METODOLOGIAS UTILIZADAS	24
9.1 PROPRIEDADES DOS CONTAMINANTES	24
9.2 SISTEMAS DE REMEDIAÇÃO	28
9.2.1 SISTEMA DE EXTRAÇÃO DE VAPORES DO SOLO (SVE - "SOIL VAPOR EXTRACTION")	29
9.2.2 SISTEMA "PUMP AND TREAT"	30
9.3 MÉTODOS ANALÍTICOS	31
10. RESULTADOS OBTIDOS E COMENTÁRIOS	34
10.1. MONITORAMENTO E REMEDIAÇÃO DAS FASES DISSOLVIDA E ADSORVIDA	34
11. CONCLUSÕES	38

12. BIBLIOGRAFIA	40
12.1 LIVROS, TESES, PUBLICAÇÕES.	40
12.2 SITES DA INTERNET	41

ANEXOS

Anexo I – Figuras

Anexo II – Cronograma de Trabalho

Anexo III – Colunas Geológicas dos Poços de Monitoramento

Anexo IV – Dados Hidrogeológicos

Anexo V – Gráficos

Anexo VI – Mapas de Isoconcentração

Anexo VII – Laudos de Análises

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Título do Projeto: Remediação de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos Leves (LNAPL) através das técnicas conjugadas "Pump and Treat" e SVE ("Soil Vapor Extraction") - Estudo de Caso.

Trabalho de Formatura n.º: TF08/2008

Nome do Aluno: Eduardo Ferrer Ferreira

Nome do Orientador: Prof. Dr. Alvaro Pacheco - GSA - IGUSP

Nome do Co-orientador: Eng.º. Andrés Sérgio E. Remon - EPA Engenharia

São Paulo, 24 de novembro de 2008.

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Título do Projeto: Remediação de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos Leves (LNAPL) através das técnicas conjugadas "Pump and Treat" e SVE ("Soil Vapor Extraction") - Estudo de Caso.

Trabalho de Formatura n.º: TF08/2000.

Nome do Aluno: Eduardo Ferrer Ferreira

Nome do Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco - GSA - IG\USP

Nome do Co-orientador: Eng.º. Antônio Sérgio E. Rameh - EPA Engenharia.

São Paulo, 24 de novembro de 2000.

2. RESUMO DO PROJETO

2. RESUMO DO PROJETO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o projeto de remediação de uma área contaminada por hidrocarbonetos leves (LNAPL) através das técnicas conjugadas "Pump and Treat" e SVE ("Soil Vapor Extraction").

O projeto foi desenvolvido em parceria com a empresa responsável pela gestão da área, com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e econômica da aplicação das técnicas conjuntas de remediação.

O projeto foi dividido em duas fases principais: a primeira fase consistiu na caracterização da contaminação e na avaliação da viabilidade técnica e econômica da aplicação das técnicas conjuntas de remediação.

A metodologia de trabalho adotada no projeto consistiu na aplicação das técnicas conjuntas de remediação, com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e econômica da aplicação das técnicas conjuntas de remediação.

2. RESUMO DO PROJETO

2. RESUMO DO PROJETO

Em uma área industrial de armazenamento de derivados de petróleo, houve vazamentos de querosene e principalmente gasolina.

Depois de caracterização hidrogeológica e avaliação inicial no "site", se optou pela utilização de duas técnicas de remediação ao mesmo tempo, a fim de se obter resultados tanto na zona saturada e não saturada.

Estas técnicas são o "Pump and Treat", na qual a água subterrânea é retirada por poços de bombeamento, sendo tratada posteriormente; e o SVE "Soil Vapor Extraction", onde é aplicado vácuo na zona não saturada e os contaminantes são removidos por volatilização.

A remediação foi realizada no local durante um ano e meio aproximadamente, sendo acompanhada a sua evolução através de medições com aparelho Fotoionizador Portátil (PID), medidores de níveis diferenciados, tipo "Interface Probe" além de análises químicas de TPH ("Total Petroleum Hydrocarbons") e VOC (Compostos Orgânicos Voláteis).

3. ABSTRACT

3. ABSTRACT

In an industrial area with petroleum-based products, there were spills of kerosene and large amounts of gasoline.

After the hydrogeologic characterization and initial evaluation of the site, two remediation techniques were chosen to work at same time, for best results in the saturated zone and non-saturated zone.

These techniques are the Pump and Treat, where the groundwater is removed by pumping wells, then treated later, and the SVE: Soil Vapor Extraction, where vacuum is applied to the soil and the contaminants are removed by volatilization.

This remediation was realized in the site for one year and a half, and its evolution has been accompanied by a portable Photoionization PID, water table meter interface Probe and chamber analysis for Total Petroleum Hydrocarbons and VOC (Volatile Organic Compounds).

3. ABSTRACT

3. ABSTRACT

In an industrial area with petroleum-based products, there were spills of kerosene and large amounts of gasoline.

After the hydrogeologic characterization and initial evaluation of the site, two remediation techniques were chosen to work at same time, for best results in the saturated zone and non-saturated zone.

These techniques are the Pump and Treat, where the groundwater is removed by pumping wells, been treated later; and the SVE: Soil Vapor Extraction, where vacuum is applied to the soil and the contaminants are removed by volatilization.

This remediation was realized in the site for one year and a half, and it's evolution has been accompanied by a portable Phototoionizator PID, water table meter Interface Probe and chemical analyses for Total Petroleum Hidrocarbons and VOC (Volatile Organic Compounds).

4. Introdução

4.1 Introdução

O projeto de Trabalho de Formação escolhido pelo aluno está relacionado com as atividades de estudo que vêm sendo desenvolvido juntamente com a EPA - Engenharia desde o início de 1999.

O tema do projeto é "Remediação de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos Leves (LNAPL) através das técnicas conjugadas Pump and Treat e SVE ("Soil Vapor Extraction") - Estudo de Caso". A Área escolhida se situa no Rural norte de São Paulo, em um local de estocagem de hidrocarbonetos.

Na área houve armazenamento de hidrocarbonetos leves durante operações de revolvimento dos tanques. Como a água do lençol também contém contaminantes dissolvidos, não se conhece as quantidades de gasolina e querosene armazenadas.

Foi projetado um sistema misto de remoção de água e vapor, a fim de se tratar a água contaminada e também remover os hidrocarbonetos da zona não saturada. Para isto, foram instalados três poços de bombeamento mistos, três poços de extração de vapor e 10 poços de monitoramento.

A duração do projeto foi de dezembro de 1999 a julho de 2000. Neste relatório serão feitas as ações colhidas durante o projeto, bem como as considerações e conclusões finais de eficiência dos métodos utilizados, através de observações contínuas efetuadas em campo.

4.2 Antecedência do Projeto

Nos países industrializados, especialmente nas grandes cidades, existem centenas de milhares de tanques, utilizados em suas indústrias, armazenando hidrocarbonetos e utilizados para o armazenamento particular em de empresas, privadas ou estatais.

4. INTRODUÇÃO

4. INTRODUÇÃO

4.1 Introdução

O projeto de Trabalho de Formatura escolhido pelo aluno está relacionado com as atividades do estágio que vem sendo desenvolvido juntamente com a EPA – Engenharia desde o início de 1999.

O tema do projeto é "Remediação de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos Leves (LNAPL) através das técnicas conjugadas "Pump and Treat" e SVE ("Soil Vapor Extraction") - Estudo de Caso". A área escolhida se situa no litoral norte de São Paulo, em um local de estocagem de hidrocarbonetos.

Na área houve derramamento de hidrocarbonetos leves durante operações de esvaziamento dos lastros dos tanques. Como a água do lastro também continha contaminantes dissolvidos, não se conhece as quantidades de gasolina e querosene derramadas.

Foi projetado um sistema misto de remoção de água e vapor, a fim de se tratar a água contaminada e também remover os hidrocarbonetos da zona não saturada. Para isto, foram instalados três poços de bombeamento mistos, três poços de extração de vapor e 10 poços de monitoramento.

A duração do projeto foi de dezembro de 1998 a julho de 2000. Neste relatório estão todos os dados colhidos durante o projeto, bem como as considerações e conclusões finais da eficiência dos métodos utilizados, através de observações contínuas efetuadas em campo.

4.2 Relevância do Projeto

Nos países industrializados, sobretudo nas grandes cidades, existem centenas de milhares de tanques, subterrâneos em sua maioria, armazenando hidrocarbonetos e utilizados para o abastecimento particular ou de empresas, privadas ou estatais.

Por serem tão numerosos, esses tanques apresentam vazamentos, principalmente porque em muitos países (como o Brasil), a grande maioria dos tanques é apresenta idades avançadas, de quase 20 anos e é revestida apenas com uma parede de aço simples.

Os riscos da contaminação das águas subterrâneas por hidrocarbonetos são vários. O petróleo e os seus derivados, sendo mais leves do que a água e parcialmente imiscíveis geram uma poluição concentrada com forma de plumas, que acompanham a direção geral do fluxo d'água regional (**Figura 01 – Anexo I**). Esta poluição pode tornar o aquífero impróprio para o consumo de água pelo homem, bem como gerar vapores inflamáveis e tóxicos. O benzeno, um dos componentes principais da gasolina, é comprovadamente carcinogênico (USEPA, 1994).

Esses vapores são particularmente perigosos quando atingem alguma área confinada, como estacionamentos subterrâneos em prédios, redes de esgoto e águas pluviais. Nestes lugares, as concentrações destes vapores podem atingir níveis críticos, podendo gerar explosões, causando danos a propriedades e às pessoas nas proximidades.

A melhor alternativa sempre é o monitoramento preventivo. Onde existem tanques, subterrâneos ou não, devem ser instalados poços de monitoramento, bem como uma medição constante de seus níveis e testes de estanqueidade periódicos devem ser efetuados, inclusive nas linhas de abastecimento. Estas são as grandes ferramentas para evitar vazamentos de maior vulto, detectando os mesmos a tempo de controlá-los.

Porém quando há um histórico de vazamento(os), as tecnologias de remediação ativa podem ser utilizadas, a fim de se minimizar os impactos ambientais e sociais. O custo na remediação costuma ser mais alto do que um monitoramento periódico das instalações, porém muitas vezes, o vazamento somente é percebido quando começa a incomodar a população que vive próxima ao local de estocagem e distribuição dos produtos.

Outra possibilidade é a análise de risco, onde através de dados como a concentração do contaminante, permeabilidade do solo, tipo de uso do local, entre muitos outros, determina-se a necessidade ou não da implantação de um sistema de remediação.

5. OBJETIVOS

Os objetivos principais desta etapa são a caracterização das metodologias utilizadas e a correlação dos resultados de sua aplicação em campo.

A caracterização das metodologias foi elaborada através da pesquisa bibliográfica com base no livro de EPA Engenharia e do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, além de contar também com as observações de campo durante o tempo que foi efetuada a remediação no local.

O monitoramento dos resultados foi executado com aparelhos próprios e de última geração, criando dados confiáveis para a interpretação dos resultados. Espera-se uma diminuição gradual das concentrações dos contaminantes, a ser observada nas análises laboratoriais, bem como nas medições de vazão no sistema de extração. Esta diminuição deve ser visualizada nos gráficos a ser uma curva de vazão/concentração por tempo de remediação como mostrado na Figura 92 (Anexo B).

Como foram reportados dois vazamentos, um ocorrido nos meses de 1998 e outro no final de 1998/início de 1999, existem duas plumas com centros de vazão distintos a serem captadas pelo sistema. Sendo que o intervalo de tempo entre o segundo vazamento (junho 99) até o final do contrato (junho de 2001) é de um ano e meio aproximadamente, é esperado que este segundo pluma não seja totalmente vazado pelo bombeamento se confirmado, pois houve um aumento nas concentrações ocorrido a partir de fevereiro de 2000. Esse aumento e suas implicações para com o projeto são discutidos juntamente com os resultados.

5. OBJETIVOS

5. OBJETIVOS

Os objetivos principais deste projeto são a caracterização das metodologias utilizadas e a observação dos resultados de sua atuação em conjunto.

A caracterização das metodologias foi efetuada através da pesquisa bibliográfica com títulos do acervo da EPA Engenharia e do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, além de contar também com as observações de campo durante o tempo que foi efetuada a remediação no local.

O monitoramento dos resultados foi executado com aparelhos próprios e de última geração, imprimindo dados confiáveis para a interpretação dos resultados. Espera-se uma diminuição gradual das concentrações dos contaminantes, a ser observada nas análises laboratoriais, bem como nas medições do aparelho fotoinizador portátil. Esta diminuição deve ser visualizada nos gráficos e em uma curva de massa removida/concentração por tempo de remediação como mostrada na **Figura 02 (Anexo I)**.

Como foram reportados dois vazamentos, um ocorrido nos meados de 1998 e outros no final de 1998/início de 1999, existem duas plumas com centro de massa distintos a serem captadas pelo sistema. Sendo que o intervalo de tempo entre o segundo vazamento (janeiro 99) até o final do contrato (junho de 2000) é de um ano e meio aproximadamente, a expectativa que esta segunda pluma não seja totalmente capturada pelo bombeamento se confirmou, pois houve um aumento nas concentrações ocorrido a partir de fevereiro de 2000. Esse aumento e suas implicações para com o projeto são discutidos juntamente com os resultados.

6. HISTÓRICO DA CONTAMINAÇÃO

Como foi descrito anteriormente, o local do vazamento é utilizado para armazenamento de hidrocarbonetos leves em tanques de superfície. A área em estudo apresenta dois tanques, A e B (**Figura 03 – Anexo I**). O sistema de remediação foi projetado inicialmente para conter vazamento ocorrido no tanque B.

A medida de proteção dos tanques é um lastro de água em seu interior, prevenindo qualquer vazamento pela sua base. Esse lastro sofre um esvaziamento periódico, com controle manual, com o fluxo seguindo para as canaletas da área, daí para a ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) da empresa.

A contaminação inicial pode ter se originado em um dos descartes manuais do lastro do tanque B. Por falha humana, as canaletas estavam fechadas enquanto se realizava o descarte, gerando um transbordamento das mesmas (**Figura 04 – Anexo I**). Este transbordamento ocorreu na bacia do tanque B, onde houve extravasão não apenas do lastro do tanque, mas também de uma quantidade desconhecida de gasolina, que escoou para dentro do solo arenoso e bem permeável da área, facilmente atingindo o aquífero freático.

Porém após estudos iniciais do "site" e a implantação dos sistemas em setembro de 1998, houve um novo vazamento, porém desta vez ocorrido na bacia do tanque A, adjacente ao tanque B, ocorrido em dezembro/janeiro de 1998. Esse vazamento foi absorvido pelo solo mais rapidamente, pois havia uma trincheira escavada na bacia. Desde então o sistema tem sido direcionado para conter esta nova contaminação.

7. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

7. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

7. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

De acordo com o cronograma proposto no Relatório de Progresso as atividades restantes do projeto seriam a continuidade das pesquisas bibliográficas, das discussões com orientador e co-orientador, a integração final dos dados com confecção do Relatório Final e a preparação do Resumo Expandido e Apresentação Final.

Todas as atividades propostas foram executadas, exceto pela elaboração do Resumo Expandido, que foi novamente substituído pelo antes excluído pôster.

As dificuldades encontradas neste projeto estão relacionadas com a greve, pois houve uma paralisação nas atividades do Instituto de Geociências, dificultando o acesso à biblioteca e também a indecisão em se saber se haveria ou não o pôster, sendo isso resolvido somente nos meados de novembro, gerando um aumento não previsto de tarefas nesta fase final de integração de dados. O cronograma final é apresentado no **Anexo II**

8. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DA ÁREA

8.1 Geologia da Área

Das unidades principais afloram na região de estudo: as rochas Arqueanas do Complexo Costeiro e sedimentos inconsolidados aluviais, marinhos ou coluvionares, descritos a seguir.

8.1.1 Complexo Costeiro

O embasamento da área de estudo é composto por rochas Arqueanas do Complexo Costeiro. Esta unidade se estende na zona costeira do Estado de São Paulo e abrange grandes áreas por várias outras do longo das eros (Hass, et al., 1981).

É uma unidade bastante heterogênea, apresentando várias rochas com metamorfismo em graus granulito e anfibolito, bem como migmatização e gneissização em graus variados.

Dentre as litologias predominantes as rochas migmatíticas, tendo bastante ocorrência a presença de migmatitos com estruturas complexas de pelocitos predominantemente graníticos.

Os granulitos aparecem em bolsões, faixas e núcleos isolados, distribuídos basicamente em áreas de ocorrência no sul do estado. Podem também ser encontrados granulitos basicos migmatizados e feldspatizados (Hass, et al., 1981). São geralmente representados por plaxívolos granulitos, granulitos quartz-feldspáticos e charoquitos.

Os xistos do Complexo Costeiro se apresentam como mica-xisto, migmatito-xisto e xisto magnesianos com intercalações quartzíferas, calcossilíceas e filices não individualizadas.

Rochas básicas coexistem em diques de metadiques, e quartzo gabros, localizados a noroeste e sudoeste de Caraguatatuba, principalmente.

8.1.2 Sedimentos inconsolidados Quaternários

Os depósitos sedimentares que afloram na área podem ser classificados em quatro tipos:

8. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DA ÁREA

8. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DA ÁREA

8.1 Geologia da Área

Duas unidades principais afloram na região de estudo: as rochas Arqueanas do Complexo Costeiro e sedimentos inconsolidados aluvionares, marinhos ou coluvionares, descritos a seguir.

8.1.1 Complexo Costeiro

O embasamento da área de estudo é composto por rochas Arqueanas do Complexo Costeiro. Esta unidade se distribui na zona costeira do Estado de São Paulo e abrange unidades descritas por vários autores ao longo dos anos. (Hasui, *et al.*, 1981).

É uma unidade bastante heterogênea, apresentando várias rochas com metamorfismo em fácies granulito a anfibolito, bem como migmatização e granitização em graus variáveis.

Dentre as litologias predominam as rochas migmatíticas, sendo bastante comuns a presença de migmatitos com estruturas complexas de paleossoma predominantemente gnáissico.

Os granulitos aparecem em bolsões, faixas e núcleos esparsos, distribuindo-se basicamente em áreas de ocorrência no sul do estado. Podem também ser encontrados granulitos bem migmatizados e feldspatizados (Hasui *et al.*, 1981). São geralmente representados por piroxênio granulitos, granulitos quartzo-feldspáticos e charnoquitos.

Os xistos do Complexo Costeiro se apresentam como mica-xisto, magnetita xistos e xistos magnesianos com intercalações quartzíticas, calcossilicáticas e filíticas não individualizadas.

Rochas Básicas ocorrem em diques de metadioritos, e quartzo gabros, localizados à noroeste e sudeste de Caraguatatuba, principalmente.

8.1.2 Sedimentos Inconsolidados Quaternários

Os depósitos sedimentares que afloram na área podem ser classificados em quatro tipos:

- Depósitos de tálus: são aqueles que recobrem rampas de colúvio nas bases da Serra do Mar, circundando toda planície costeira, muitas vezes, se misturando aos sedimentos aluvionares. Caracteriza-se por sedimentos diferenciados argilo-arenoso, com matações.
- Depósitos fluviais: apresentam pouca representatividade, visto que apenas se situam nas margens dos rios que deságuam na área. São constituídos de sedimentos arenosos mal selecionados com pelitos intercalados.
- Depósitos marinhos: localizam-se ao longo da linha de costa e são constituídos principalmente por areias finas, moderadamente selecionadas, com praticamente nenhum pelito (Souza, 1990). Diferenciam-se de outros depósitos marinhos mais antigos pela diferença topográfica e proximidade à costa atual.

A geologia local, através da observação dos perfis de sondagem dos poços de monitoramento (**Anexo III**), indica que o local está inserido nos sedimentos marinhos, apresenta areia fina-média, de cor amarela e cinza clara, medianamente selecionada. Estes sedimentos ocorrem após uma camada de aterro de 1 metro em média e seguem, até aproximadamente 15 metros de profundidade.

8.2 Hidrogeologia da Área

Os dados referentes ao aquífero foram determinados de duas formas: através de teste de bombeamento e determinações de nível d'água através do aparelho "Interface Probe".

Os dados hidrogeológicos estão no **Anexo IV**.

Através do teste do aquífero, no qual bombeia-se o poço com uma vazão constante e observa-se a evolução do rebaixamento em um ou mais poços de observação situados a uma distância conhecida do poço de bombeamento. Com os dados deste teste, utiliza-se o programa "Aquifer Test" para tratar os dados, obtendo a Transmissividade (T), o Coeficiente de Armazenamento (S) e a condutividade hidráulica (K).

O teste no "site" foi feito no PB-01 e o poço de observação foi o PM-05, os detalhes podem ser encontrados no **Anexo XX**. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Vazão da Bomba: 1,8 m³/h

Espessura do aquífero: 15 m – dados fornecidos pela empresa.

Transmissividade: $1,51 \times 10^1 \text{ cm}^2/\text{s}$ – por se tratar de um aquífero livre, este valor pode mudar com a recarga ou descarga do mesmo.

Condutividade Hidráulica: $1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$

Os resultados indicam um aquífero com alta condutividade hidráulica, o que indica altas velocidades de deslocamento de água e conseqüentemente do contaminante (gasolina).

Admitindo o valor de 80 metros como a maior distância entre poços (PM-02 e PB-02, vide **Figura 03 – Anexo I**) com uma diferença entre níveis d'água nos poços de 0,5 metro, além de utilizar como porosidade específica o valor de 0,25, a velocidade real do fluxo da água subterrânea pode ser calculada através da Lei de Darcy:

$$V = K/n_{ef} \cdot \Delta h$$

Onde:

V= velocidade real da água subterrânea

K= condutividade hidráulica (em metros por segundo)

n_{ef} = porosidade efetiva (adimensional)

Δh = gradiente hidráulico (sem unidade)

Com os dados obtidos chegou-se a uma velocidade real da água subterrânea de $2,5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$, o que indica que a água para percorrer toda a extensão da rede de poços levaria aproximadamente 370 dias, pouco mais que um ano, no caso dos contaminantes, esse tempo deverá ser considerado como tempo de chegada do centro da pluma, por processo de advecção.

No **Anexo IV** são apresentados os mapas potenciométricos bidimensionais para os meses de outubro de 1999, janeiro e junho de 2000, os quais estão referidos em cotas arbitrárias, determinadas pela topografia.

Observando estes mapas, é importante lembrar que o software "Surfer" trabalha com interpolações matemáticas, sendo que os resultados obtidos não devem ser considerados como absolutos, mas sim como uma ferramenta indicativa.

O fluxo de água subterrânea no local é determinado pelo bombeamento efetuado nos PBs. O PB-01 por apresentar maiores taxas de bombeamento desenvolve um cone de rebaixamento mais expressivo. A profundidade do nível d'água está em 2 metros

aproximadamente, porém no mês de janeiro de 2000, houve um aumento nos níveis d'água da ordem de 0,4 metros, devido às fortes chuvas.

9. METODOLOGIAS UTILIZADAS

As metodologias utilizadas foram escolhidas, pois as estudos anteriores sobre as características locais de fase dissolvida, como da subsuperfície, proporcionando um melhor conhecimento da tecnologia. Porém, é importante considerar as propriedades físicas e biológicas das águas locais e avaliar cuidadosamente para se estabelecer a estratégia de remediação que mais se adequa a cada condição.

9.1 Propriedades das Contaminantes

As propriedades físicas das poluentes são importantes no momento de se estabelecer a estratégia de remediação e as ações necessárias. Para isso, é necessário conhecer as propriedades físicas das substâncias presentes na zona não saturada.

- Solubilidade das substâncias na zona não saturada;
- Volatilidade das substâncias que se volatiliza em no transporte atmosférico;
- Adsorção das substâncias na zona saturada, devido aos seus tipos de solo.

As metodologias utilizadas na obtenção das amostras para os estudos de caracterização e avaliação ambiental foram escolhidas de acordo com a natureza da contaminação. No caso da fase dissolvida, foi realizada a coleta de amostras de água de poço, a ser analisada em um laboratório, para se estabelecer a estratégia de remediação. Em outro momento a coleta de amostras de vapor de água de poço e análise em laboratório para se estabelecer a estratégia de remediação e avaliar o sucesso.

Para a fase adsorvida as metodologias foram escolhidas de acordo com a natureza da contaminação e a natureza do solo. No caso da fase adsorvida, foi realizada a coleta de amostras de solo de poço e análise em laboratório para se estabelecer a estratégia de remediação e avaliar o sucesso. A estratégia de remediação escolhida para a fase adsorvida e a estratégia de remediação para a fase dissolvida.

A metodologia utilizada preferencialmente no "SVE" é a coleta de amostras de vapor de água de poço e análise em laboratório para se estabelecer a estratégia de remediação e avaliar o sucesso.

Segundo Taylor (1997), quando se trata de uma mistura de hidrocarbonetos voláteis, os estudos de caracterização ambiental devem considerar a natureza da contaminação e a natureza do solo.

9. METODOLOGIAS UTILIZADAS

9. METODOLOGIAS UTILIZADAS

As metodologias utilizadas foram escolhidas, pois ao atuarem juntamente retiram os contaminantes tanto da fase dissolvida, como da adsorvida, propiciando um menor período de remediação. Porém, é importante conhecer as propriedades físicas e toxicológicas dos produtos a serem remediados para se estabelecer o sistema de remediação que mais se adapta a estas condições.

9.1 Propriedades dos Contaminantes

Quando os hidrocarbonetos de petróleo são introduzidos no ambiente, eles prontamente interagem com os solos adjacentes e água subterrânea. Esta interação pode se dar de três formas diferentes:

- Hidrocarbonetos adsorvidos na zona não saturada;
- Hidrocarbonetos que se volatilizam no transporte descendente;
- Hidrocarbonetos na zona saturada: dissolvidos ou em fase livre.

Os métodos utilizados na obtenção dos dados para os mapas de isoconcentração e gráficos diferiam para qual fase se queria amostrar. No caso da fase dissolvida, era retirada um pouco da água do poço, colocada em um frasco, que era coberto com um plástico e agitado, para possibilitar volatilização. Era então inserida a ponta do Fotoionizador PID, adaptada com uma agulha para injeção e feita a leitura.

Para a fase adsorvida as medições eram feitas da seguinte forma: colocava-se na tampa do poço um "cap" adaptado a uma bomba manual, que gerava um vácuo no poço. O ar era retirado e depois de algum tempo, era inserida uma bexiga na saída da bomba. A bexiga era então inflada com o ar do poço e feita a medição com o Fotoionizador PID.

O contaminante orgânico predominante no "site" é a gasolina de acordo com informações das análises e da empresa.

Segundo Nyer (1992) gasolina é uma mistura de hidrocarbonetos voláteis, que apresenta como constituintes principais, orgânicos como alcanos, cicloalcanos e aromáticos, como benzeno e tolueno.

No caso da gasolina, não conseguimos encontrar todos os seus constituintes apenas em uma fase das acima citadas. Os compostos que tem baixa solubilidade, baixa volatilidade e forte adsorção estarão mais presentes nos solos. Os compostos com alta solubilidade serão mais presentes na água enquanto que os compostos com maior volatilidade serão encontrados predominantemente nos gases do solo.

Algumas das características físicas que auxiliam na determinação do sistema de tratamento são as seguintes:

- **Solubilidade:** A solubilidade é uma das características que mais influem no transporte de compostos orgânicos no ambiente. A solubilidade de um componente indica com qual facilidade que este se dissolve na água a uma determinada temperatura. Compostos mais solúveis tendem a serem transportados com maior facilidade com a água. A tabela abaixo mostra valores de solubilidade para alguns compostos.

Tabela 9.1.1 – Solubilidade de alguns compostos orgânicos⁽¹⁾

Composto	Solubilidade (mg/L)
Benzeno	1750
Etilbenzeno	152
Tolueno	535
o-Xileno	175
Naftaleno	32
PCE	150
Cloreto de Vinila	2670

⁽¹⁾ Fonte: (Nyer, 1992)

- **Coeficiente de Partição Octanol/Água (K_{ow}):** Este parâmetro é definido como a razão entre a concentração de um composto em um sistema de duas fases: octanol e água. As medidas de compostos orgânicos variam entre 10^{-3} e 10^7 , sendo que compostos com valores menores que 10 são considerados hidrofílicos e tendem a apresentar alta solubilidade na água enquanto que compostos com valores maiores que 10^4 são considerados hidrofóbicos e tendem a permanecer no solo. Valores deste coeficiente para alguns compostos são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 9.1.2 – Coeficiente de Partição Octanol/Água para compostos orgânicos⁽¹⁾

Composto	K _{ow}
Benzeno	1,3x10 ²
Etilbenzeno	1,4x10 ⁴
Tolueno	1.3x10 ²
o-Xileno	8.9x10 ²
Naftaleno	2.8x10 ³
PCE	3.9x10 ²
Cloreto de Vinila	2.4x10 ¹

⁽¹⁾ Fonte: (Nyer, 1992)

- **Biodegradabilidade:** Os compostos orgânicos são transformados por reações no meio ambiente que podem ocorrer aeróbia ou anaerobiamente dependendo da estrutura molecular do composto ou das condições do ambiente, podendo ser facilmente degradados ou serem mais persistentes. A seguir são apresentados alguns compostos orgânicos e suas condições de biodegradabilidade.

Tabela 9.1.3 – Potencial de Biodegradação de Alguns Compostos Orgânicos ⁽¹⁾

Composto	Biodegradabilidade
Benzeno	Degradável
Etilbenzeno	Degradável
Tolueno	Degradável
o-Xileno	Degradável
Naftaleno	Degradável
PCE	Degradável ou Persistente
Cloreto de Vinila	Degradável ou Persistente

⁽¹⁾ Fonte: (Nyer, 1992)

- **Peso Específico:** É um parâmetro adimensional derivado da densidade. É definido como a razão entre o peso de um certo volume de um composto a uma certa temperatura e o mesmo volume de água. Esta propriedade é importante, pois determina quais elementos irão flutuar (peso específico <1) ou afundar (peso específico >1) quando chegarem ao aquífero. Os pesos específicos de alguns compostos podem ser observados na tabela abaixo.

Tabela 9.1.4 – Peso Específico de alguns compostos orgânicos⁽¹⁾

Composto	Peso Específico (20°C/Água 4°C)
Benzeno	0,879
Etilbenzeno	0,867
Tolueno	0,866
O-Xileno	0,880
Naftaleno	1,145
PCE	1,631 (15°/4°C)
Cloreto de Vinila	0,905 (25°/25°C)

⁽¹⁾ Fonte: Nyer (1992)

- Lei de Henry: A Lei de Henry indica que o equilíbrio da pressão parcial de um composto no ar abaixo da interface ar/água é proporcional a concentração do composto na água. Quanto maior a constante de Henry para um composto, maior será sua volatilidade. Esta lei pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_A = H_A * X_A$$

Onde: P_A = Pressão parcial do composto na fase líquida em equilíbrio com vapor (atm)

H_A = Constante de Henry (atm)

X_A = Fração molar do composto na fase gasosa (mol/mol)

A Tabela abaixo mostra valores da Constante de Henry para alguns compostos:

Tabela 9.1.5 – Constante de Henry para alguns compostos orgânicos⁽¹⁾

Composto	Constante de Henry (atm)
Benzeno	230
Etilbenzeno	359
Tolueno	217
o-Xileno	266
Naftaleno	20
PCE	1035
Cloreto de Vinila	355000

⁽¹⁾ Fonte: Nyer (1992)

- Pressão de Vapor: A pressão de vapor de um composto é uma medida que indica a facilidade de evaporação. Quanto maior a pressão de vapor, maior será a tendência de evaporação. Compostos com pressão de vapor maior que 0,5 mm Hg são geralmente voláteis o suficiente para serem extraídos pelo sistema SVE (USEPA, 1994). A tabela abaixo mostra alguns valores de pressão de vapor:

Tabela 9.1.6 – Constante de Henry para alguns compostos orgânicos⁽¹⁾

Composto	Pressão de Vapor (mm Hg a 20°C)
Benzeno	76
Etilbenzeno	7
Tolueno	22
Xilenos	6
Naftaleno	0,5

⁽¹⁾ Fonte: USEPA (1994)

Os compostos mais importantes do ponto de vista ambiental que estão presentes na gasolina são: o Benzeno, o Tolueno, o Etilbenzeno e o Xileno. São compostos voláteis, com moderada as altas solubilidades na água, sobretudo o benzeno. Abaixo segue uma lista com algumas características toxicológicas de cada um deles.

- **Benzeno:** o Benzeno tem fórmula C_6H_6 , é um composto comprovadamente carcinogênico segundo a USEPA (Internet). Altamente volátil, sua inalação pode provocar dores de cabeças, tonturas e vômitos, bem como a morte em altas concentrações. Exposições crônicas podem afetar a medula óssea, podendo gerar leucemia e também defeitos genéticos em recém nascidos. Benzeno é irritante das mucosas e da pele.
- **Tolueno:** sua fórmula é C_7H_8 . Foram realizados alguns estudos nos quais não se comprovou que o composto é carcinogênico. É volátil, sua inalação em baixas a moderadas concentrações provoca sonolência, dores de cabeça, fadigas e náuseas. A ingestão de tolueno pode provocar hemorragia interna e até a morte.
- **Etilbenzeno:** com fórmula C_8H_{10} , não foi confirmado ainda como cancerígeno, porém é o composto que apresenta maior potencial de irritação de mucosas, podendo irritar até a garganta e a laringe. Também pode causar tonturas. Em longo prazo, seus efeitos são predominantes sobre o sangue.
- **Xilenos:** fórmula C_8H_{10} . Estudos comprovaram que estes compostos (o-Xileno, p-Xileno, m-Xileno) não são carcinogênicos. Inalação aguda pode causar irritação do nariz e garganta, náuseas, vômitos e inflamação estomacal. Exposição crônica pode causar dores de cabeça, tonturas, fadigas, tremores e descoordenação motora.

9.2 Sistemas de Remediação

Os dois sistemas utilizados no local são descritos detalhadamente a seguir.

9.2.1 Sistema de Extração de Vapores do Solo (SVE - "Soil Vapor Extraction")

O sistema de extração de vapores do solo, também conhecido como "soil venting", é um sistema de remediação "in situ" que reduz as concentrações de elementos voláteis (no caso, gasolina) adsorvidos no solo na zona não saturada. É um sistema que vem sendo usado amplamente obtendo ótimos resultados na remoção de contaminantes voláteis da zona não saturada, além dos custos utilizados para sua operação e manutenção serem baixos (USEPA, 1994).

Nesta tecnologia de remediação, é aplicado um vácuo no solo, de modo a criar um gradiente negativo de pressão, que causa um movimento dos vapores em direção ao poço de extração. Os constituintes voláteis são rapidamente remobilizados, são tratados se necessário e descarregados na atmosfera (**Figura 05 - Anexo I**).

No caso em estudo, o vácuo é feito por um soprador radial, que atua nos poços de bombeamento, além de três poços de extração de vapor espalhados pela área.

Abaixo segue uma lista de vantagens e desvantagens do Sistema SVE

Tabela 9.2.1.1 – Vantagens e desvantagens do Sistema SVE

Vantagens	Desvantagens
Ótimo rendimento, facilmente instalável.	Reduções de concentrações menores que 90% são difíceis de atingir.
Tempos curtos de tratamento: usualmente seis meses a dois anos até atingir ótimas condições de operação.	Pouco efetivo quando aplicada a <i>sites</i> com solo pouco permeável ou camadas estratificadas.
Mínimos distúrbios na estrutura do "site".	Somente trata solos da zona não saturada; outros métodos podem ser necessários para remediar a zona saturada.
Facilmente combinado com outras tecnologias de remediação ("pump-and-treat", biorremediação, entre outras).	
Pode ser utilizado embaixo de prédios e outros locais que não podem ser escavados.	

Duas características são muito importantes para a utilização do sistema SVE: A permeabilidade do solo impactado e a volatilidade dos compostos que o contaminaram.

A permeabilidade do solo é o fator mais importante que determina a eficiência do SVE em uma área contaminada. Geralmente o sistema é efetivo em valores de K (coeficiente de permeabilidade) maiores que 10^{-6} cm/s que resultam de granulometrias a partir do silte-arenoso. A permeabilidade também é influenciada pela estrutura do solo (maciço, estratificado) e umidade.

A volatilidade de um composto é função da constante de Henry, da pressão de vapor, que influi no ponto de ebulição dos combustíveis. A gasolina tem ponto de ebulição entre 40 e 225°C e o Querosene entre 180 e 300°C (USEPA, 1994). Em geral o sistema SVE é eficiente em produtos com pontos de ebulição menores que 300°C. Isto indica que o sistema SVE pode remover quase todos os constituintes da gasolina, alguma parte do querosene e dos óleos lubrificantes (USEPA, 1994).

9.2.2 Sistema "Pump and Treat"

O sistema "pump-and-treat" é um dos processos de remediação mais usados em todo mundo (USEPA, 1995). O sistema convencional consiste em bombeamento da água contaminada e tratamento na superfície. É usualmente utilizado com outras técnicas tais como "air stripping" ou SVE (Nyer, 1992) obtendo bons resultados a médio e longo prazo.

Neste sistema, mostrado na **Figura 06 (Anexo I)**, a remoção da fase dissolvida se dá através do rebaixamento do lençol em poços de bombeamento. Este procedimento além de remover os contaminantes dissolvidos na água, torna a extração de vapores mais efetiva, pois aumenta a camada insaturada do solo. A extração de vapores por sua vez propicia também a volatilização dos contaminantes da fase dissolvida pelo arraste junto à interface ar/água e pela redução da pressão nesta interface, auxiliando o sistema de remoção por bombeamento. Na figura também podem ser observados os poços de injeção, onde a água tratada é reinserida no aquífero como opção não tendo sido usada neste projeto.

No local de estudo, são três poços (**Figura 03 – Anexo I**) para extração da água subterrânea. O acompanhamento é feito diariamente por um funcionário, que controla e também zela pelo bom funcionamento do sistema.

Após a captura nos poços de bombeamento, a água contaminada é levada até separadores de água/óleo gravimétricos (**Figura 07 – Anexo I**), seguindo daí para a Estação de Tratamento de Efluentes da empresa.

Este sistema é mais fácil de ser instalado para a remediação de hidrocarbonetos leves, sendo que seu princípio é bombear as fase livre e dissolvida que, no caso de LNAPLs, estão próximas do nível d'água do aquífero, facilitando a sua remoção. No caso de DNAPLs (contaminantes mais pesados que a água) um melhor planejamento é necessário.

Na década de 90, a agência ambiental americana (USEPA) divulgou uma série de artigos que indicavam que o sistema "*pump-and-treat*" não era muito eficaz e que não era mais uma tecnologia viável (EPA, 1989; Barron, 1989). Porém, o que pode ser observado é que o sistema apresenta bom desempenho, mas necessita de um maior espaço de tempo de funcionamento, além de ser um meio mais barato e fácil de se retirar fase livre e dissolvida e de controlar a migração da pluma contaminante. Porém, deve ser combinado com tecnologias com "*air sparging*" ou o SVE para uma remediação mais completa.

No "*site*", foi instalado um sistema misto, no qual o SVE e o "*pump-and-treat*" atuam juntos em 3 poços de bombeamento. O SVE atua ainda em 3 poços de extração de vapores. Um esquema deste sistema é mostrado na **Figura 08**.

9.3 Métodos Analíticos

As análises mandadas para o laboratório eram obtidas segundo alguns parâmetros de interesse a fim de se determinar a quantificação da contaminação. Os métodos analíticos utilizados neste projeto foram dois: Análises de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) e Hidrocarbonetos Totais de Petróleo, TPH "*Fingerprint*".

- **Compostos Orgânicos Voláteis (VOC):** São analisados através do método EPA 8260, por cromatografia gasosa e espectrômetro de massa. Por se tratarem de compostos altamente voláteis sua amostragem tem que ser feita em um frasco especial de vidro, chamado de VOA, conservado com HCl. Este frasco contém um septo de teflon que impede a saída de vapores do recipiente. Para sua amostragem não se pode ficar nenhuma bolha dentro do frasco e a água que está sendo amostrada não pode ser turbulenta. Os compostos analisados podem ser

subdivididos em três tipos: Hidrocarbonetos Clorados e Bromados (cloro de vinila, bromometano), Aromáticos (**benzeno, tolueno**) e cetonas.

- **TPH "*Fingerprint*"**: Método EPA 8015 B, analisados por cromatografia gasosa/ionizador de chama. Esta análise quantifica os hidrocarbonetos presentes como totais e os classifica de acordo com o cromatograma que mais se assemelha com um composto conhecido. Pode detectar desde gasolina até óleos minerais.

10. RESULTADOS OBTIDOS E COMENTÁRIOS

A avaliação dos resultados foi feita através de gráficos, planilhas e mapas de distribuição de concentração.

12.1. Monitoramento e Remediação das Fases Dissolvida e Adsorvida

Atendo às solicitações das etapas de implementação do software Sufer (Mapas 01 e 02 - Anexo IV), observa-se uma diminuição gradual e constante ocorrida durante o ano de 1999, reduzindo consideravelmente os níveis de TPH "Alquílns".

No caso da Remediação de 2002, houve um aumento das concentrações, nos locais de monitoramento, tal aumento foi observado nos Gráficos 01 e 02 no Anexo V. As concentrações de TPH "Alquílns" aumentaram, mas apresentaram um aumento no início do ano.

Os dados foram gerados para a identificação das causas deste problema.

1. A causa da segunda contaminação ocorrida no local do Tanque A estava originada a partir de um vazamento de óleo no centro do tanque, influenciando o aumento das concentrações.

2. O aumento geral do TPH "Alquílns" de ordem de 0,4 mg/L pode ser atribuído pelas atividades de manutenção que existem presentes no local não vedado e não tinham sido previstas antes pelo SVE.

Segundo o Relatório de Monitoramento, os responsáveis pelo aumento das concentrações no Tanque A, afirma que o vazamento ocorreu devido a uma falha na vedação, a qual não estava sendo realizada pelo SVE, como indicavam as concentrações de VOC no solo elevadas.

O monitoramento de uma vazilha de contaminação não segue somente a velocidade da água subterrânea, mas também outros fatores como dispersão, difusão e degradação que podem facilitar ou dificultar a remoção. Observando o Gráfico 02, pode-se visualizar melhor. O cenário de monitoramento da planta chegou ao fluxo advectivo, calculado pela Lei de Darcy, porém por causa da dispersão, a planta começa a chegar em pontos além do determinado.

10. RESULTADOS OBTIDOS E COMENTÁRIOS

10. RESULTADOS OBTIDOS E COMENTÁRIOS

A divulgação dos resultados foi feita através de gráficos, planilhas e mapas de isoconcentração do software "Surfer".

10.1. Monitoramento e Remediação das Fases Dissolvida e Adsorvida

Através da observação dos mapas de isoconcentração do software Surfer (**Mapas 01 a 06 – Anexo VI**), observa-se uma diminuição gradual e constante ocorrida durante o ano de 1999. Também observada nas análises de TPH "fingerprint".

A partir de fevereiro de 2000, houve um aumento das concentrações, nas leituras do Fotoionizador PID. Como pode ser observado nos **Gráficos 01 e 06 no Anexo V**. As concentrações estavam decrescendo, mas apresentaram um aumento no início do ano.

Dois fatores foram analisados para a identificação das causas deste problema:

- 1) A pluma da segunda contaminação ocorrida na Bacia do Tanque A estava começando a ser captada no seu centro de massa, influenciando o aumento das concentrações.
- 2) O aumento geral do nível d'água, da ordem de 0,4 metros pode ter solubilizado partes de outros contaminantes que estivessem presentes na zona não saturada e não tinham sido removidos ainda pelo SVE.

Esses dois tópicos são realmente os responsáveis pelo aumento das concentrações no Fotoionizador, sendo que o segundo apresenta menos intensidade, já que parte dos contaminantes já havia sido removida pelo SVE, como indicavam as concentrações de VOC no solo medidas.

O caminamento de uma pluma de contaminação não segue somente a velocidade da água (advecção), temos outros fatores como dispersão, difusão e degradação que podem fazê-la chegar um pouco antes. Observando o **Gráfico 02**, pode-se visualizar melhor. O centro de massa da pluma chega com o fluxo advectivo, calculado pela Lei de Darcy, porém por difusão e dispersão, a pluma começa a chegar um pouco antes do determinado.

Esta segunda pluma já estava sendo captada sem grande interferência no PB-01, mas seu centro de massa com as maiores concentrações, somente começou a ser bombeado a partir de fevereiro/março de 2000, restando apenas quatro meses para o final do projeto. O ideal seria a implantação de um outro poço de bombeamento entre o PM-08 e PB-01, para a captação mais eficiente desta recontaminação.

As tabelas abaixo indicam os resultados de análises de TPH "fingerprint" realizadas ao longo do projeto, além de uma análise de VOC realizada em junho de 2000.

Tabela 10.1.1 – Valores de Análises TPH "Fingerprint"

Local/ Mês	AGO/99	SET/99	OUT/99	NOV/99	DEZ/99
PB-01	10	10	7,1	6	5
PB-02	1,7	0,1	2,4	1,9	0,1
PB-03	1,4	0,1	0,1	0,1	0,1

Local/ Mês	MAR/2000	ABR/2000	MAI/2000	JUN/2000
PB-01	2,47	1,4	6,83	6,30
PB-02	0,10	0,10	2,45	1,30
PB-03	0,10	0,10	0,72	0,8

Tabela 10.1.2 Resultados de VOC

Análise	Ponto	JUN/2000
VOC (Compostos Orgânicos Voláteis)	PB-01	Benzeno: 544 µg/L Tolueno: 320 µg/L Etilbenzeno: 127 µg/L Xilenos: 992 µg/L

O aumento das concentrações ocorrido a partir de maio de 2000, deve ser devido à chegada do centro de massa da pluma da recontaminação, como já era esperado. Quanto às análises de VOC os compostos detectados foram os BTEX, em concentrações abaixo de 1 ppm (1000 µg/L).

Um exemplo de laudos de análises pode ser visualizado no **Anexo VII**.

Também foram feitos gráficos de massa removida estimada X tempo de bombeamento para os três PBs. Estes são apresentados nos **Gráficos 03 a 05**, presentes no **Anexo V**, e se referem à uma massa estimada, pois foram calculados com as concentrações obtidas pelo

aparelho fotoionizador portátil PID, que estava calibrado para medir o valor de pico, multiplicadas pelo volume bombeado mensalmente.

De acordo com a **Figura 03 (Anexo I)**, para um processo de remediação normal temos uma curva de comportamento assintótico com aumento da massa removida em função do tempo, ao longo que a concentração decresce, chegando a um ponto em que tende a estabilização.

Isto foi visualizado nos **Gráficos 03 a 05**, com apenas um pequeno aumento no final do período de remediação, devido a recontaminação que começou a ser sentida nos poços de bombeamento.

Para os mapas de isoconcentração de vapores (**Mapas 04 a 06 - Anexo**), podemos observar a eficiência do sistema de remediação, apresentando a captura dos contaminantes nas duas bacias, com decréscimo gradual observado, confirmando a remediação.

Ao final do projeto, observa-se que os picos de concentração estão restritos ao PM-02 e ao PB-01, sendo totalmente formados pela recontaminação.

11. CONCLUSÕES

A metodologia utilizada para a remoção dos contaminantes orgânicos voláteis (COVs) e hidrocarbonetos leves (LNAPL) em solos contaminados, com a combinação das técnicas "Pump and Treat" e SVE, foi considerada muito eficiente, com uma redução da concentração de COVs de 90% e de LNAPL de 80% em relação ao estado inicial.

O sistema de bombeamento de água para o solo, de água subterrânea contaminada, com uma vazão de 200 L/min, e a extração de vapor de água do solo, com uma vazão de 100 L/min, foram considerados muito eficientes.

O sistema de monitoramento utilizado, com a combinação das técnicas "Pump and Treat" e SVE, foi considerado muito eficiente, com uma redução da concentração de COVs de 90% e de LNAPL de 80% em relação ao estado inicial. A metodologia utilizada para a remoção dos contaminantes orgânicos voláteis (COVs) e hidrocarbonetos leves (LNAPL) em solos contaminados, com a combinação das técnicas "Pump and Treat" e SVE, foi considerada muito eficiente, com uma redução da concentração de COVs de 90% e de LNAPL de 80% em relação ao estado inicial.

Os resultados obtidos durante a remoção dos contaminantes orgânicos voláteis (COVs) e hidrocarbonetos leves (LNAPL) em solos contaminados, com a combinação das técnicas "Pump and Treat" e SVE, foram considerados muito eficientes, com uma redução da concentração de COVs de 90% e de LNAPL de 80% em relação ao estado inicial. A metodologia utilizada para a remoção dos contaminantes orgânicos voláteis (COVs) e hidrocarbonetos leves (LNAPL) em solos contaminados, com a combinação das técnicas "Pump and Treat" e SVE, foi considerada muito eficiente, com uma redução da concentração de COVs de 90% e de LNAPL de 80% em relação ao estado inicial.

As metodologias utilizadas na remoção dos contaminantes orgânicos voláteis (COVs) e hidrocarbonetos leves (LNAPL) em solos contaminados, com a combinação das técnicas "Pump and Treat" e SVE, foram consideradas muito eficientes, com uma redução da concentração de COVs de 90% e de LNAPL de 80% em relação ao estado inicial.

11. CONCLUSÕES

11. CONCLUSÕES

A geologia local se resume em depósitos de areia medianamente selecionadas de origem marinha, gerando um aquífero freático que pode ser considerado como homogêneo, com alto coeficiente de permeabilidade, 1×10^{-2} cm/s, de acordo com teste de bombeamento 24 horas.

Os cálculos para a velocidade real do fluxo da água subterrânea obtiveram um valor de 2×10^{-6} m/s, o que indica que o tempo necessário para a água se mover por todo o "site" é de um ano, aproximadamente.

O sistema de remediação conjunta "Pump and Treat"/SVE foi bastante funcional e versátil no "site", removendo a contaminação inicial e boa parte da recontaminação ocorrida na Bacia do Tanque A. Porém o sistema não foi projetado inicialmente para remover esta contaminação, sendo então adaptado para isto, com maiores taxas de bombeamento no PB-01.

Houve uma recontaminação ocorrida na Bacia do Tanque A em dezembro de 1998 e seus efeitos começaram a ser sentidos no começo do ano de 2000, porém no final do projeto, em junho de 2000, as concentrações já haviam reduzido muito. Isso pode ser observado nos gráficos de acompanhamento (**Gráficos 01 e 06 – Anexo V**) que podem ser divididos em três períodos principais, um inicial, de altas concentrações de vapores e na água (final de 1998 a agosto de 1999); outro com decréscimo destas concentrações, apresentando picos cada vez mais baixos, tendendo a estabilização em baixas concentrações (agosto de 1999 a janeiro de 2000) e um ligeiro aumento final devido a recontaminação ocorrida (fevereiro de 2000 a junho de 2000).

As metodologias utilizadas se apresentaram de forma muito satisfatória, apresentando grande eficiência em remover os contaminantes tanto na fase dissolvida como na adsorvida.

11. Bibliografia

11.1 Lista de Referências

- BARRETT, T. L. 1988. Pump-and-Treat is not Effective Enough. USEPA, WTN Special Aquaria Coverage Paper.
- BRANDÃO, J. M. 1991. Hidrologia Ambiental. Coleção ABRIN de Recursos. 153cm. Rio de Janeiro: Universidade de São Paulo. 413 p.
- COOPER, J. R., BREWER, P. S.; DODD, R. C. 1992. Groundwater Remediation. Water Supply Technology Library Vol. 5, Technomic Publishing Co., Pennsylvania. 198 p.
- DEBORA, E. A. O. & MARCEL FILHO, J. (Coord.), 1997. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. OBRM LABHO - UFPE, Fortaleza - CE. 420 p.
- FRANCO, M. D. 1989. Hidrologia de Meios Porosos: Escoamento em Meios Porosos. Universidade Estadual de São Paulo. 172 p.
- HAGGE, R. A. and Cherry, J. A., 1979. Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 1044 p.
- MADEIRA, V.; GARCIA, A. S. L.; CARVALHO, C. D. R.; SIEGEL, C. A., 1981. O Entendimento Político, Legal e Engenharia em São Paulo. In: Mapa Geológico do Estado de São Paulo - 1:500.000. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia. p. 12-15.
- MARIN, R. C. A., ALVES SANTOS, C. R., RODRIGUES, G. A. (Coord.), 1997. Mapeamento da Qualidade da Água e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Instituto Geológico e CETESB, São Paulo. Vol. 1. 144 p.
- MILLER, G. M. (editor), 1991. Practical Handbook of Ground Water Monitoring. Lewis Publishers, Michigan. 717 p.
- RYAN, E. N., 1992. Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation. Chemistry and Other Environmental Science and Engineering Series, Lewis Publishers. 214 p.

12. BIBLIOGRAFIA

12. BIBLIOGRAFIA

12.1 Livros, Teses, Publicações.

BARRON, T., 1989. Pump-and-Treat is not Effective Enough. USEPA, WTN Special Superfund Coverage Paper.

BRANCO, S. M. (Org.), 1991. Hidrologia Ambiental. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Vol. 3. Editora da Universidade de São Paulo. 415 p.

CHARBENAU, J. R.; Bedient, P. B.; Loehr, R. C.; 1992. Groundwater Remediation. Water Quality Management Library Vol. 8. Technomic Publishing Co., Pennsylvania. 188 p.

FEITOSA, F. A. C. & Manoel Filho, J. (Coord.), 1997. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM, LABIHD - UFPE, Fortaleza - CE. 420 p.

FRANCIS, F. O., 1980. Hidráulica de Meios Permeáveis: Escoamento em Meios Porosos. Editora da Universidade de São Paulo 170 p.

FREEZE, R. A. and Cherry, J. A., 1979. Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 604 p.

HASUI, Y; Dantas, A. S. L.; Carneiro, C. D. R.; Bistrichi, C. A., 1981. O Embasamento Pré-Cambriano e Eopaleozóico em São Paulo. In Mapa Geológico do Estado de São Paulo - Vol.1, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia. p. 12-45.

HIRATA, R. C. A.; Assis Bastos, C. R.; Rocha, G. A., (Coord.), 1997. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no estado de São Paulo. Instituto Geológico e CETESB, São Paulo. Vol. 1. 144 p.

NIELSEN, D. M. (editor), 1991. Practical Handbook of Ground Water Monitoring. Lewis Publishers, Michigan. 717 p.

NYER, E. K., 1992. Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation. Geraghty and Miller Environmental Science and Engineering Series. Lewis Publishers. 214 p.

OLIVEIRA, E. & Koleniskovas, C., 1999. Contaminação de Solos e Águas Subterrâneas por Compostos Orgânicos. Apostila do Curso.

RAIL, C. D., 1989. Groundwater Contamination. Technomic Publishing Co., Pennsylvania. 140 p.

SOUZA, C. R. de G., 1990, Considerações sobre os processos sedimentares quaternários e atuais na região de Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo. Dissertação de Mestrado, IG-USP. 334 p.

TODD, D. K., 1959. Hidrologia de Águas Subterrâneas. Edgard Blüncher. São Paulo. 320p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), 1989. Performance Evaluations of Pump-and-Treat Remediations. USEPA Ground Water Issue, EPA/540/4-89/005

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), 1994. How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide for corrective action, plan reviewers. EPA 510-B-94-003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA), 1996. Pump-and-Treat Ground Water remediation. A guide for decision maker and practitioners. EPA/625/R95/06.

12.2 Sites da Internet

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) - www.epa.gov

FEDERAL REMEDIATION TECHNOLOGIES ROUNDTABLE - www.frtr.gov

SPECTRUM LABORATORIES - www.speclab.com



Tempo (dias)	1ª ordem	2ª ordem
0	0	0
1	1	1
2	2	4
3	3	9
4	4	16
5	5	25
6	6	36
7	7	49
8	8	64
9	9	81
10	10	100

Figura 01 - Comparação de 1ª e 2ª ordem polinomial para a relação entre o número de dias e o número de dias, 1998.

ANEXO I – FIGURAS

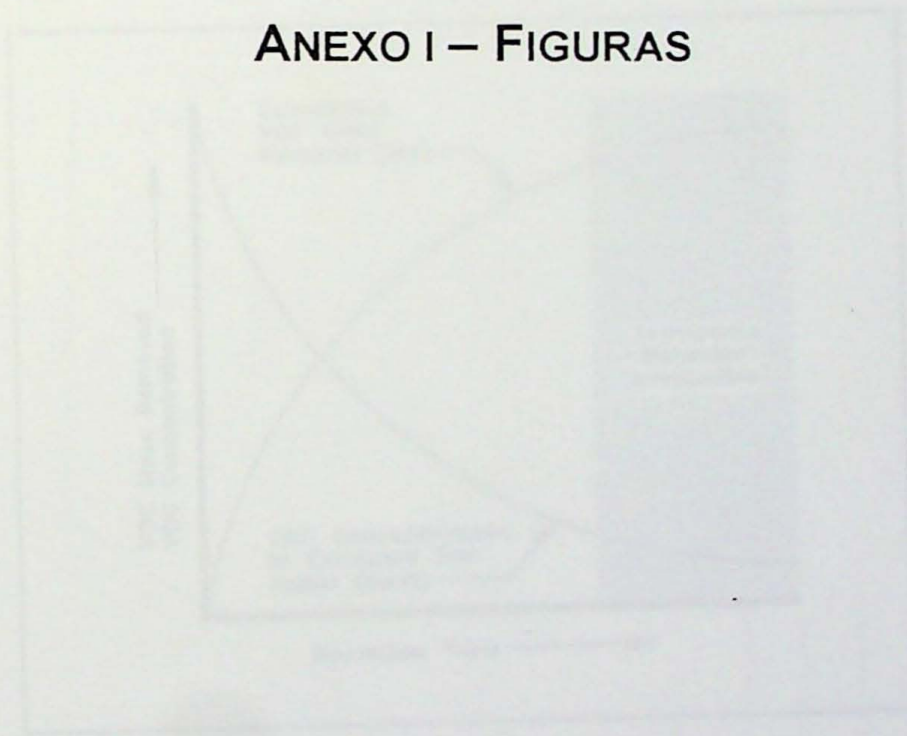
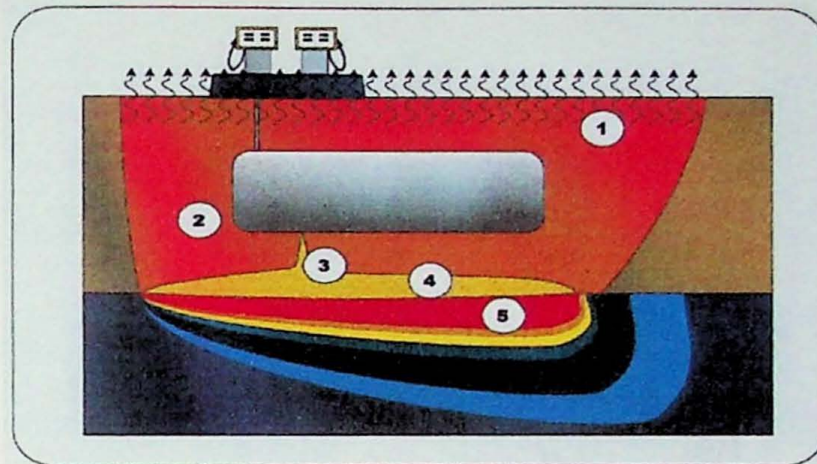


Figura 02 - Gráfico mostrando a relação entre o número de dias e o número de dias, 1998. Observar a curva que representa a relação entre o número de dias e o número de dias.



Legenda	Zona	Fase do Contaminante
1	Não Saturada	Vapor
2	Não Saturada	Sorvida
3	Saturada – Franja Capilar	Retida
4	Saturada	Livre
5	Saturada	Dissolvida

Figura 01 - Comportamento de Hidrocarbonetos Leves em Sub-superfície, com suas respectivas fases (Oliveira & Koleniskovas, 1999)

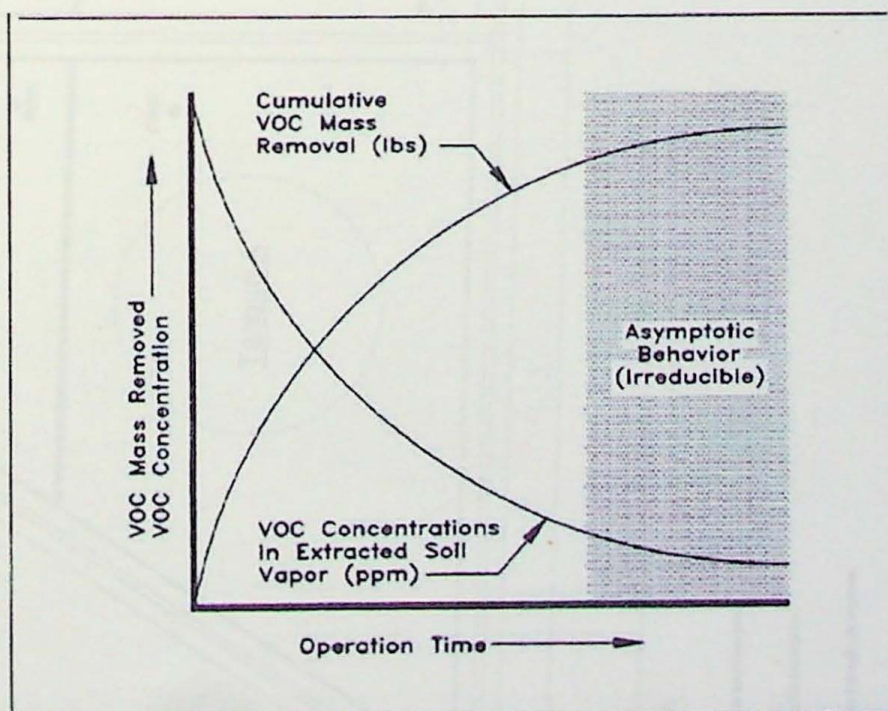


Figura 02 - Gráfico Massa Removida de VOC X Tempo de Remediação(USEPA, 1994).
Observar comportamento assintótico da concentração na faixa hachurada.

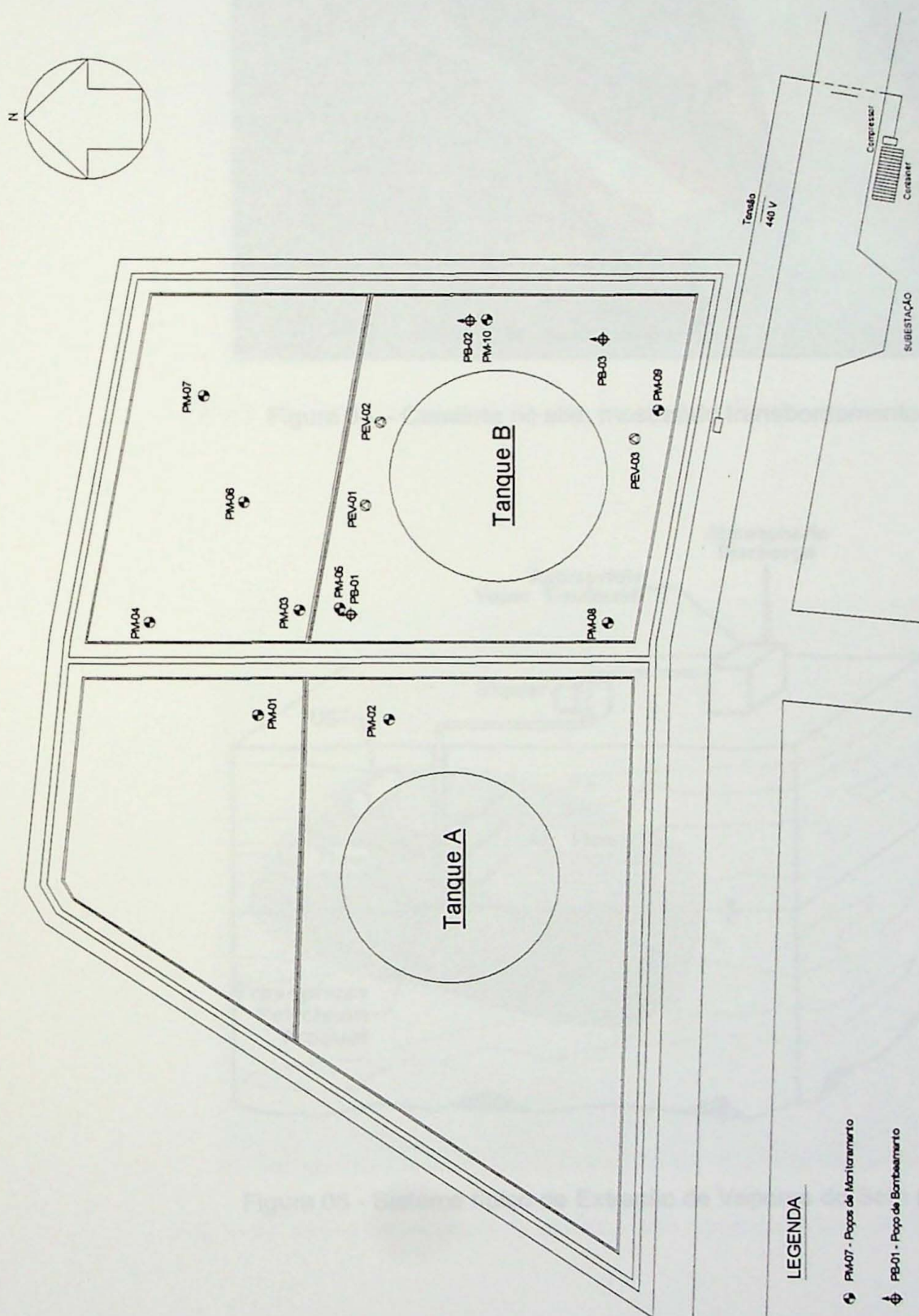


Figura 03: Aspecto geral do Site

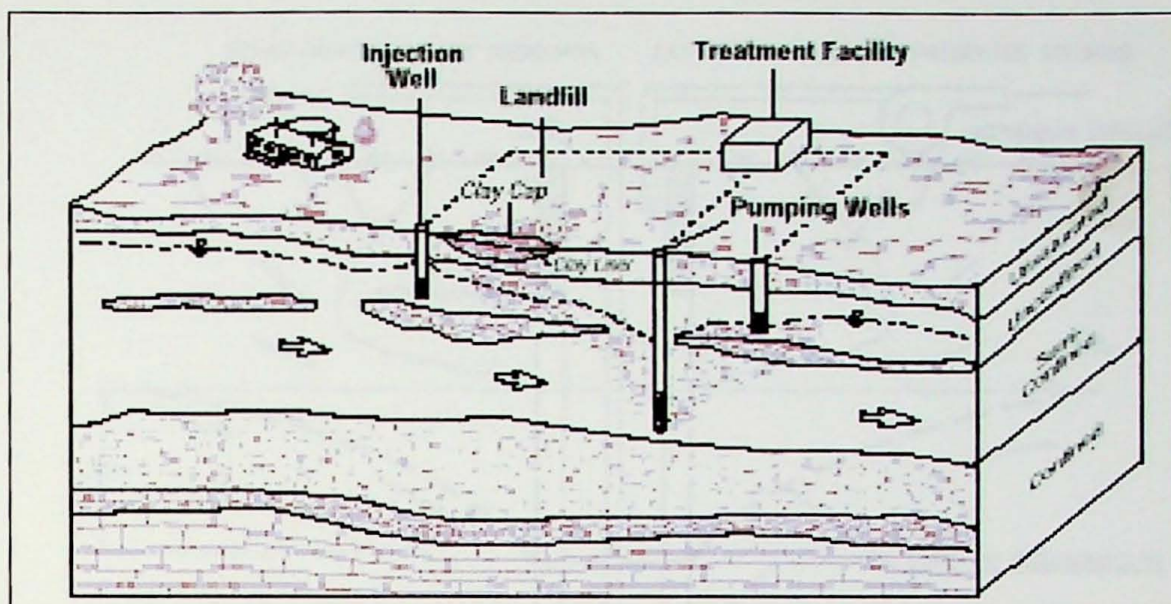


Figura 06 : Exemplo simplificado de um sistema "Pump-and-Treat" (USEPA, internet)



Figura 07: Caixa Separadora Água/Óleo com água separada sendo jogada na canaleta.

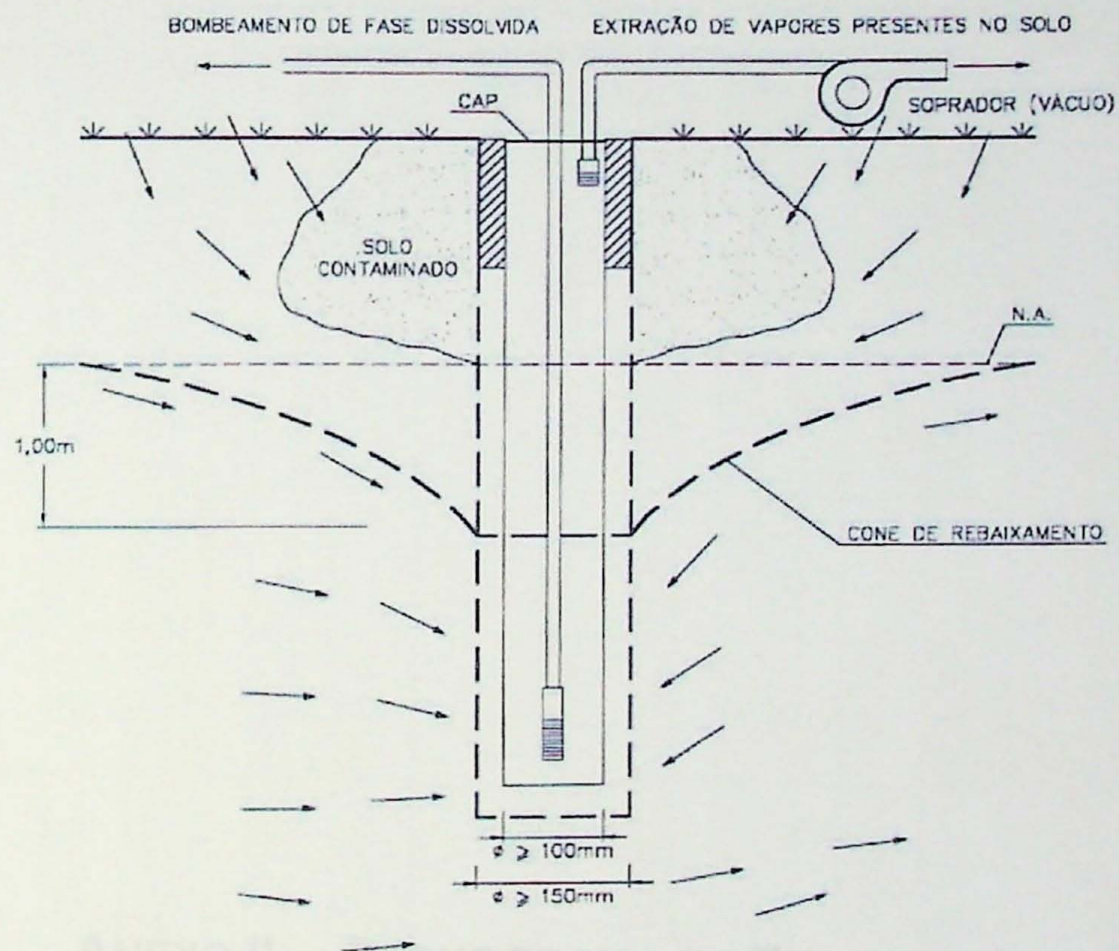


Figura 08 - Esquema do Sistema Misto Utilizado no Site.

ANEXO II - Cronograma de Trabalho Atividades Propostas - Relatório de Progresso X Relatório Final

Cronograma - Relatório de Progresso

Atividades Programadas	Meses											
	Mar/00	Abr/00	Mai/00	Jun/00	Jul/00	Ago/00	Set/00	Out/00	Nov/00	Dez/00		
Pesquisa bibliográfica	R			R	R	R						
Visitas de Campo	R	R	R	R								
Discussões com Orientador	R	R			R	R						
Discussões com Co-Orientador	R	R	R	R	R	R						
Preparação de Projeto Inicial	R	R										
Preparação de Relatório de Progresso					R	R						
Preparação de Relatório Final												
Integração de Dados					R	R						
Preparação de Resumo e Apresentação												

Cronograma Definitivo - Relatório Final

Atividades Programadas	Meses											
	Mar/00	Abr/00	Mai/00	Jun/00	Jul/00	Ago/00	Set/00	Out/00	Nov/00	Dez/00		
Pesquisa bibliográfica	R			R	R	R	R	R	R	R		
Visitas de Campo	R	R	R	R								
Discussões com Orientador	R	R			R	R	R	R	R	R		
Discussões com Co-Orientador	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R		
Preparação de Projeto Inicial	R	R										
Preparação de Relatório de Progresso					R	R						
Preparação de Relatório Final								R	R	R		
Integração de Dados					R	R		R	R	R		
Preparação de Pôster e Apresentação									R	R		

Legenda:

	Atividades Propostas
R	Atividades Realizadas

ANEXO III – COLUNAS GEOLÓGICAS DOS POÇOS

SONDAGEM A TRADO
PM.01

OBRA : INSTALACAO DE PIEZOMETROS

INICIO: 18/06/1997 FIM : 18/06/1997

COTA: 0

COORD. N: E:

PENETRACAO (golpes/ 30 cm.) S.P.T.		NUMERO DE GOLPES - S.P.T.	CONSISTENCIA* OU COMPACTIDADE**	INTERPRETACAO GEOLOGICA	PERFIL GEOLOGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	T.C. 152.4mm.	NIVEL D'AGUA E AVANCO
GRAF. Esc 1:2000							REVESTIMENTO: 101.8mm	
50	40						30	
					ATERRO	25	ARGILOSA, VARIEGADA (MARROM CLARA)	2.80 = 2.97 18/06/97
						.85	AREIA FINA E MEDIA POUCO ARGILOSA, FINA	
						1.38	COM ENTULHOS, VARIEGADA (CINZA CLARA) MUITO ARGILOSA	
					SEDIMENTOS MARINHOS	4.80	AREIA FINA E MEDIA POUCO ARGILOSA, MICACEA, VARIEGADA (MARROM CLARA)	
						5.20		
							Obs.: O MATERIAL ENCONTRADO ABAIXO DO N.A., FOI COLETADO NA BICA DE LAVAGEM	

LAVAGEM POR TEMPO - 10 MINUTOS; PROF. DE INICIO:

m ESTAGIOS: 1' cm - 2' cm - 3' cm

PERFIL GEOLOGICO e GEOTECNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO

NOTAS:

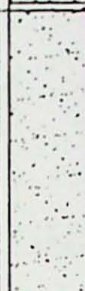
SONDAGEM A TRADO
PM.02

OBRA : INSTALACAO DE PIEZOMETROS

INICIO: 18/06/1997 FIM : 18/06/1997

COTA: 0

COORD. N: E:

PENETRAÇÃO (golpes/ 30 cm.) S.P.T.		NÚMERO DE GOLPES - S.P.T.	CONSISTÊNCIA OU COMPACTIDADE**	INTERPRETAÇÃO GEOLOGICA	PERFIL GEOLOGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	T.C. 152.4mm.	NÍVEL D'ÁGUA E AVANÇO
GRAF. Esc 1:2000 50 40 30 20 10							REVESTIMENTO: 101.6mm	
							DESCRIÇÃO DO MATERIAL	
				ATERRO		0.50 0.70 1.00	AREIA FINA ARGILOSA, COM ENTULHOS, VARIEGADA (MARROM CLARA) FINA E MEDIA MUITO ARGILOSA, VARIEGADA (CINZA CLARA)	
				SEDIMENTOS MARINHOS		1.88 4.80	FINA E MEDIA VARIEGADA (MARROM CLARA) AREIA FINA, MICACEA, VARIEGADA (CINZA CLARA)	2.70 2.73 18/06/97
						4.90	Obs.: O MATERIAL ENCONTRADO ABAIXO DO N.A., FOI COLETADO NA BICA DE LAVAGEM	

LAVAGEM POR TEMPO - 10 MINUTOS: PROF. DE INICIO:

m ESTAGIOS: 1° cm - 2° cm - 3° cm

PERFIL GEOLOGICO e GEOTECNICO INDIVIDUAL
DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO

NOTES:

INTERESSADO : E.P.A. ENGENHARIA DE PROTECAO AMBIENTAL LTDA

SONDAGEM A TRADO
PM.03

OBRA : INSTALACAO DE PIEZOMETROS

INICIO: 18/06/1997 FIM : 18/06/1997

COTA: 0

COORD. N: E:

PENETRACAO (golpes/ 30 cm.) S.P.T.		NUMERO DE GOLPES - S.P.T.	CONSISTENCIA* OU COMPACIDADE**	INTERPRETACAO GEOLOGICA	PERFIL GEOLOGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	T.C. 152,4mm. REVESTIMENTO: 101,8mm	NIVEL D'AGUA E AVANCO
GRAF. Esc 1:2000 50 40 30 20 10								
				AT		.50	AREIA FINA ARGILOSA, COM ENTULHOS, VARIEGADA (MARROM ESCURA)	1.72
				SEDIMENTOS MARINHOS		1.30	VARIEGADA (AMARELA)	1.73
						4.00	AREIA FINA E MEDIA, MICACEA, VARIEGADA (CINZA CLARA)	18/06/97
							APRESENTA FORTE ODOR DE COMBUSTIVEL A PARTIR DE 0.50m	
							Obs.: O MATERIAL ENCONTRADO ABAIXO DO N.A., FOI COLETADO NA BICA DE LAVAGEM	

LAVAGEM POR TEMPO - 10 MINUTOS: PROF. DE INICIO: m ESTAGIOS: 1' cm - 2' cm - 3' cm

PERFIL GEOLOGICO e GEOTECNICO INDIVIDUAL
DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO

NOTAS:
AT = ATERRRO

INTERESSADO : E.P.A. ENGENHARIA DE PROTECAO AMBIENTAL LTDA

SONDAGEM A TRADO

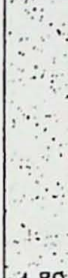
PM.04

OBRA : INSTALACAO DE PIEZOMETROS

INICIO: 17/08/1997 FIM : 17/08/1997

COTA: 0

COORD. N: E:

PENETRACAO (golpes/ 30 cm.) S.P.T.		NUMERO DE GOLPES - S.P.T.	CONSISTENCIA* OU COMPACTIDADE**	INTERPRETACAO GEOLOGICA	PERFIL GEOLOGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	T.C. 152.4mm.	NIVEL D'AGUA E AVANCO
GRAF. Esc 1:2000							REVESTIMENTO: 101.8mm	
50	40						30	
				ATERRO		1.00	AREIA FINA POUCO ARGILOSA, VARIEGADA (MARROM CLARA)	1.55
				SEDIMENTOS MARINHOS		4.80 4.95	AREIA FINA E MEDIA, MICACEA, VARIEGADA (CINZA CLARA)	1.60
							Obs.: O MATERIAL ENCONTRADO ABAIXO DO N.A., FOI COLETADO NA BICA DE LAVAGEM	17/06/97

LAVAGEM POR TEMPO - 10 MINUTOS: PROF. DE INICIO:

m ESTACIOS: 1' cm - 2' cm - 3' cm

PERFIL GEOLOGICO e GEOTECNICO INDIVIDUAL
DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO

NOTAS:

4-7560

INTERESSADO : E.P.A. ENGENHARIA DE PROTECAO AMBIENTAL LTDA

SONDAGEM A TRADO
PM.05

OBRA : INSTALACAO DE PIEZOMETROS

INICIO: 17/08/1997 FIM : 17/08/1997

COTA: 0

COORD. N: E:

PENETRACAO (golpes/ 30 cm.) S.P.T.		NUMERO DE GOLPES - S.P.T.	CONSISTENCIA* OU COMPACIDADE**	INTERPRETACAO GEOLOGICA	PERFIL GEOLOGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	T.C. 152.4mm. REVESTIMENTO: 101.6mm	NIVEL D'AGUA E AVANCO
GRAF. Esc 1:2000 50 40 30 20 10								
				AT		.80	AREIA FINA ARGILOSA, COM ENTULHOS, VARIEGADA (MARROM CLARA)	1.74 1.80 17/06/97
				SEDIMENTOS MARINHOS		1.35	VARIEGADA (MARROM CLARA)	
						4.40	AREIA FINA E MEDIA, MICACEA, VARIEGADA (CINZA CLARA)	
							APRESENTA ODOR DE COMBUSTIVEL DE 0.80m. a 4.40m.	
							Obs.: O MATERIAL ENCONTRADO ABAIXO DO N.A., FOI COLETADO NA BICA DE LAVAGEM	

LAVAGEM POR TEMPO - 10 MINUTOS: PROF. DE INICIO:

m ESTAGIOS: 1'

cm - 2'

cm - 3'

cm

PERFIL GEOLOGICO e GEOTECNICO INDIVIDUAL
DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO

NOTAS:

AT = ATERRIO

INTERESSADO : E.P.A. ENGENHARIA DE PROTECAO AMBIENTAL LTDA

SONDAGEM A TRADO

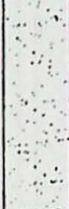
PM.06

OBRA : INSTALACAO DE PIEZOMETROS

INICIO: 17/06/1997 FIM : 17/06/1997

COTA: 0

COORD. N: E:

PENETRACAO (golpes/ 30 cm.) S.P.T.		NUMERO DE GOLPES - S.P.T.	CONSISTENCIA OU COMPACIDADE**	INTERPRETACAO GEOLOGICA	PERFIL GEOLOGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	T.C. 152.4mm. REVESTIMENTO: 101.6mm	NIVEL D'AGUA E AVANCO
GRAF. Esc 1:2000 50 40 30 20 10								
				ATERRO		1.20	AREIA FINA POUCO ARGILOSA, COM ENTULHOS, VARIEGADA (MARROM CLARA)	
				SEDIMEN. MARINHOS		4.25	AREIA MEDIA E GROSSA, MICACEA, VARIEGADA (CINZA CLARA)	1.87 1.98 17/06/97
							Obs.: O MATERIAL ENCONTRADO ABAIXO DO N.A. FOI COLETADO NA BICA DE LAVAGEM	

LAVAGEM POR TEMPO - 10 MINUTOS: PROF. DE INICIO: m ESTAGIOS: 1° cm - 2° cm - 3° cm

PERFIL GEOLOGICO e GEOTECNICO INDIVIDUAL
DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO

NOTAS:

SONDAGEM A TRADO
PM.07

INICIO: 17/08/1997 FIM : 17/08/1997

COTA: 0

COORD. N: E:

LAVAGEM POR TEMPO - 10 MINUTOS: PROF. DE INICIO: m ESTAGIOS: 1° cm - 2° cm - 3° cm

PERFIL GEOLOGICO e GEOTECNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO

NOTES:

AT = AFTERNOON

INTERESSADO : E.P.A. ENGENHARIA DE PROTECAO AMBIENTAL LTDA	SONDAGEM A TRADO PM.08
OBRA : INSTALACAO DE PIEZOMETROS	INICIO: 17/06/1997 FIM : 17/06/1997
	COTA: 0
	COORD. N: E:

PENETRACAO (golpes/ 30 cm.) S.P.T.					NUMERO DE GOLPES - S.P.T.	CONSISTENCIA* OU COMPACTIDADE**	INTERPRETACAO GEOLOGICA	PERFIL GEOLOGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	T.C. 152.4mm	NIVEL D'AGUA E AVANCO
GRAF. Esc 1:2000										REVESTIMENTO: 101.8mm	
50	40	30	20	10						DESCRICAO DO MATERIAL	
							ATERRO		0.50	VARIEGADA (MARROM CLARA)	1.56 1.65 17/06/97
									1.25	AREIA FINA ARGILOSA, COM ENTULHOS E DETRITOS VEGETAIS, VARIEGADA (CINZA CLARA)	
						SEDIM. MARINHOS		1.90	FINA, VARIEGADA (AMARELA)		
								4.00	AREIA FINA E MEDIA, MICACEA, VARIEGADA (CINZA CLARA)		
										APRESENTA ODOR DE COMBUSTIVEL A PARTIR DE 1.60m.	
										Obs.: O MATERIAL ENCONTRADO ABAIXO DO N.A., FOI COLETADO NA BICA DE LAVAGEM	

LAVAGEM POR TEMPO - 10 MINUTOS: PROF. DE INICIO:	m ESTAGIOS: 1'	cm - 2'	cm - 3'	cm
PERFIL GEOLOGICO e GEOTECNICO INDIVIDUAL DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO				NOTAS:

INTERESSADO : E.P.A. ENGENHARIA DE PROTECAO AMBIENTAL LTDA

SONDAGEM A TRADO
PM.10

OBRA : INSTALACAO DE PIEZOMETROS

INICIO: 17/06/1997 FIM : 17/06/1997

COTA: 0

COORD. N: E:

PENETRACAO - (golpes/ 30 cm.) S.P.T.					NUMERO DE GOLPES - S.P.T.	CONSISTENCIA* OU COMPACTADE**	INTERPRETACAO GEOLOGICA	PERFIL GEOLOGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	T.C. 152.4mm	NIVEL D'AGUA E AVANCO
GRAF. Esc 1:2000										REVESTIMENTO: 101.8mm	
50	40	30	20	10						DESCRICAO DO MATERIAL	
							ATERRO		1.20	AREIA FINA ARGILOSA, COM DETRITOS VEGETAIS, VARIEGADA (CINZA CLARA)	
									1.40	VARIEGADA (CINZA ESCURA)	
									1.80	VARIEGADA (CINZA CLARA)	1.92 = 2.20
							SEDIMENTOS MARINHOS			AREIA FINA E MEDIA, MICACEA, VARIEGADA (AMARELA)	17/06/97
									4.80		
									5.00		
										Obs.: O MATERIAL ENCONTRADO ABAIXO DO N.A., FOI COLETADO NA BICA DE LAVAGEM	
										APRESENTA FORTE ODOR DE COMBUSTIVEL A PARTIR DE 1.20m.	
		</									

LAVAGEM POR TEMPO - 10 MINUTOS: PROF. DE INICIO:

m ESTAGIOS: 1'

cm - 2'

cm - 3'

cm

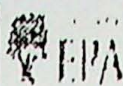
PERFIL GEOLOGICO e GEOTECNICO INDIVIDUAL
DE RECONHECIMENTO DO SUB-SOLO

NOTAS:

ANEXO IV – DADOS HIDROGEOLÓGICOS

Teste de bombeamento 24 horas

Hora	Tempo de corrido (min)	Poço de Bombeamento - PB-01				Poço de Observação - PM-05					
		Rebaixamento (m)	variação do rebaixamento (m)	vazão média (m3/h)	Cota da boca do poço (m)	NA estático	Rebaixamento (m)	variação do rebaixamento (m)	vazão média (m3/h)	Cota da boca do poço (m)	NA estático
11:45	0	5,18	0,00		7,10		5,21	0,00		7,32	5,21
11:46	1	4,71	0,47		7,10		5,16	0,05		7,32	
11:47	2	4,68	0,50		7,10		5,15	0,06		7,32	
11:48	3	4,64	0,54		7,10		5,15	0,07		7,32	
11:49	4	4,65	0,53		7,10		5,14	0,07		7,32	
11:50	5	4,64	0,54		7,10		5,14	0,07		7,32	
11:51	6	4,66	0,52		7,10		5,14	0,08		7,32	
11:52	7	4,65	0,53		7,10		5,13	0,08		7,32	
11:53	8	4,64	0,54		7,10		5,13	0,09		7,32	
11:54	9	4,63	0,55		7,10		5,13	0,09		7,32	
11:55	10	4,62	0,56		7,10		5,12	0,10		7,32	
11:57	12	4,62	0,56		7,10		5,12	0,09		7,32	
11:59	14	4,63	0,55		7,10		5,11	0,10		7,32	
12:01	16	4,61	0,57		7,10	5,18	5,12	0,10	1,85	7,32	
12:03	18	4,59	0,59		7,10		5,11	0,11		7,32	
12:06	21	4,58	0,59		7,10		5,11	0,11		7,32	
12:10	25	4,58	0,60		7,10		5,10	0,12		7,32	
12:15	30	4,55	0,63		7,10		5,10	0,12		7,32	
12:20	35	4,57	0,61		7,10		5,10	0,12		7,32	
12:25	40	4,56	0,62		7,10		5,09	0,12		7,32	
12:35	50	4,55	0,63		7,10		5,08	0,13		7,32	
12:45	60	4,54	0,64		7,10		5,08	0,14		7,32	
12:55	70	4,53	0,65		7,10		5,08	0,14		7,32	
13:05	80	4,52	0,66		7,10		5,08	0,14		7,32	
13:15	90	4,54	0,64		7,10		5,07	0,14		7,32	
13:45	120	4,53	0,65		7,10		5,07	0,15		7,32	
8:45	1320	4,48	0,70		7,10		4,99	0,23		7,32	
9:45	1380	4,45	0,73		7,10		4,98	0,23		7,32	
10:45	1440	4,43	0,75		7,10		4,98	0,24		7,32	



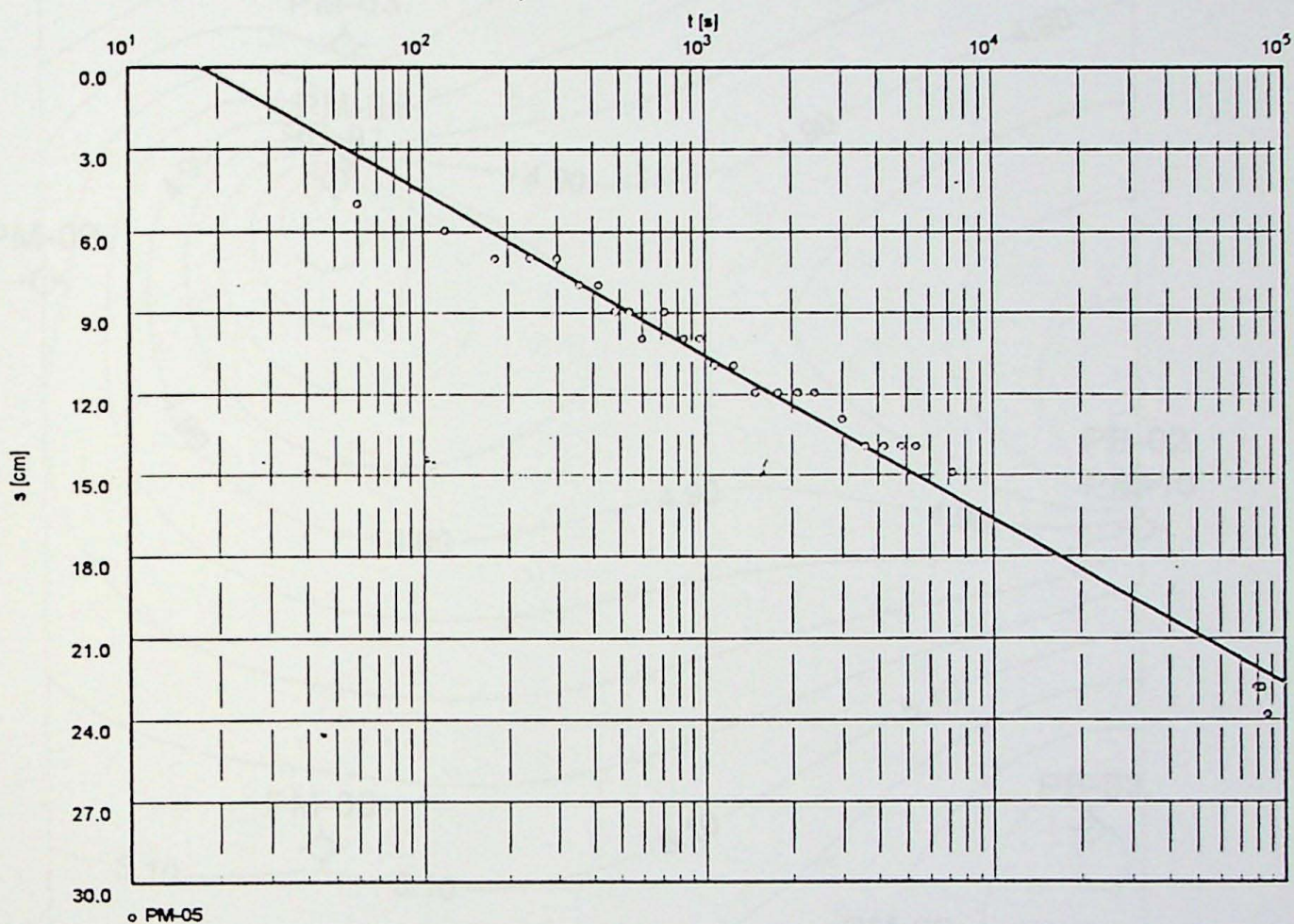
R. Dr. Paulo Vieira, 153
04011-031, Sumaré
São Paulo, S.P.
Fone : +55-11-283-0555

Solução de teste de bombeamento
Método do Tempo-Rebaixamento de
COOPER & JACOB
Aquifero Não Confinado

Teste de Bombeamento No. 1

PB-01

Vazão 1.800 m³/h

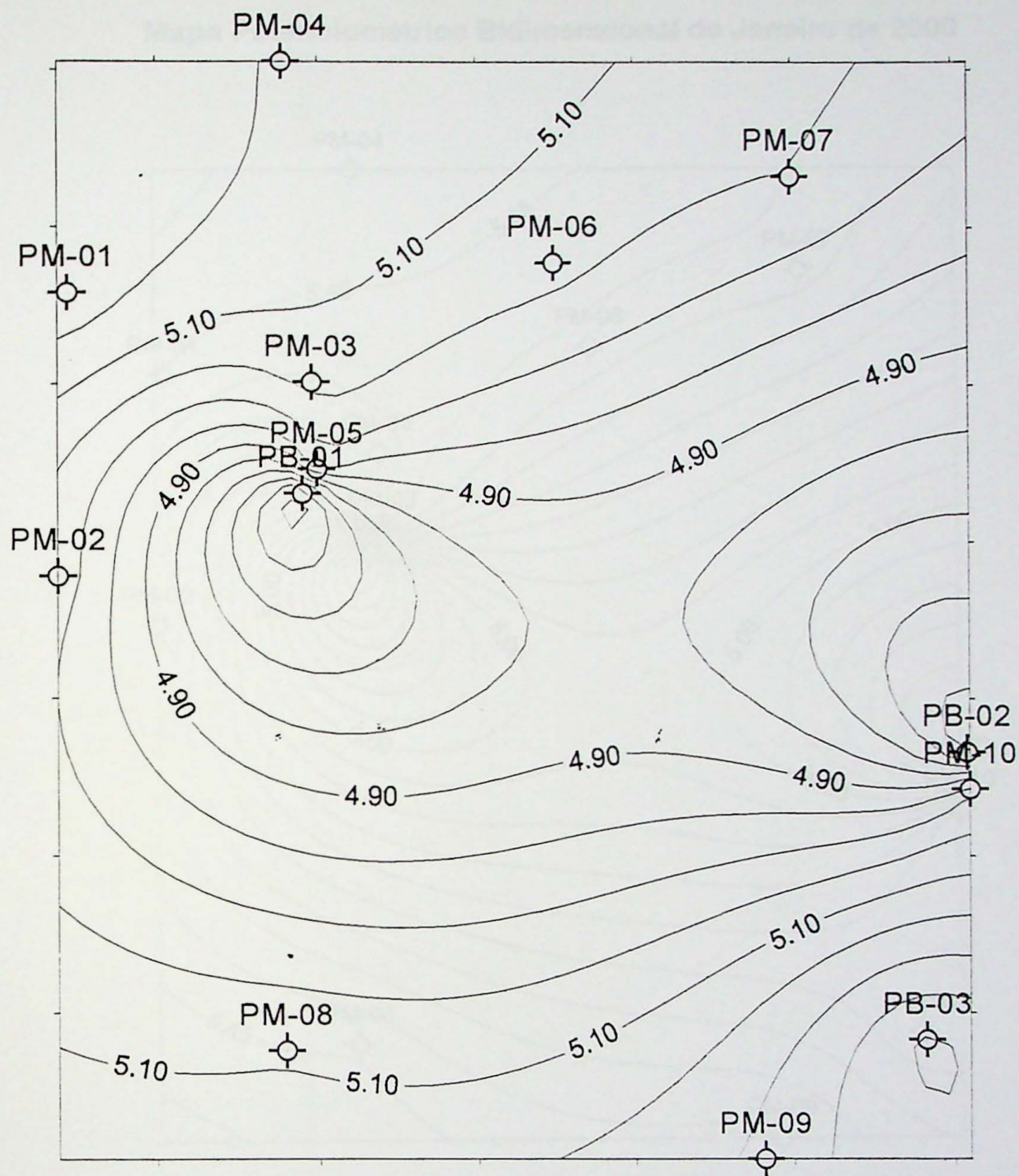


Transmissividade [cm²/s]: 1.51×10^1

Condut. hidráulica (K) [cm/s]: 1.00×10^{-2}

Espessura do Aquifero [cm]: 1500.0

Mapa potenciométrico Bidimensional de outubro de 1999



Legenda:

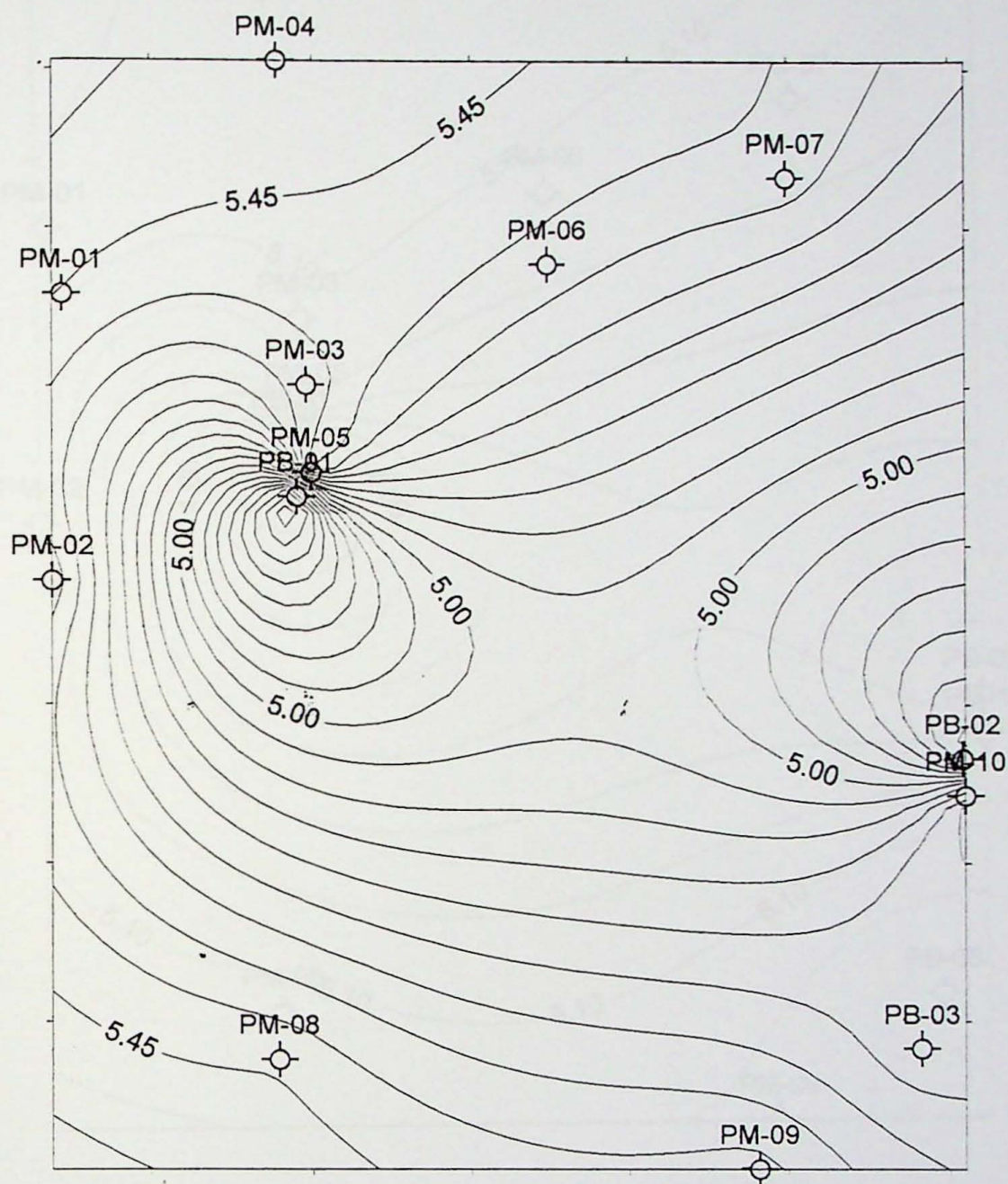


Poços



Linhas Equipotenciais

Mapa Potenciométrico Bidimensional de Janeiro de 2000



Legenda:

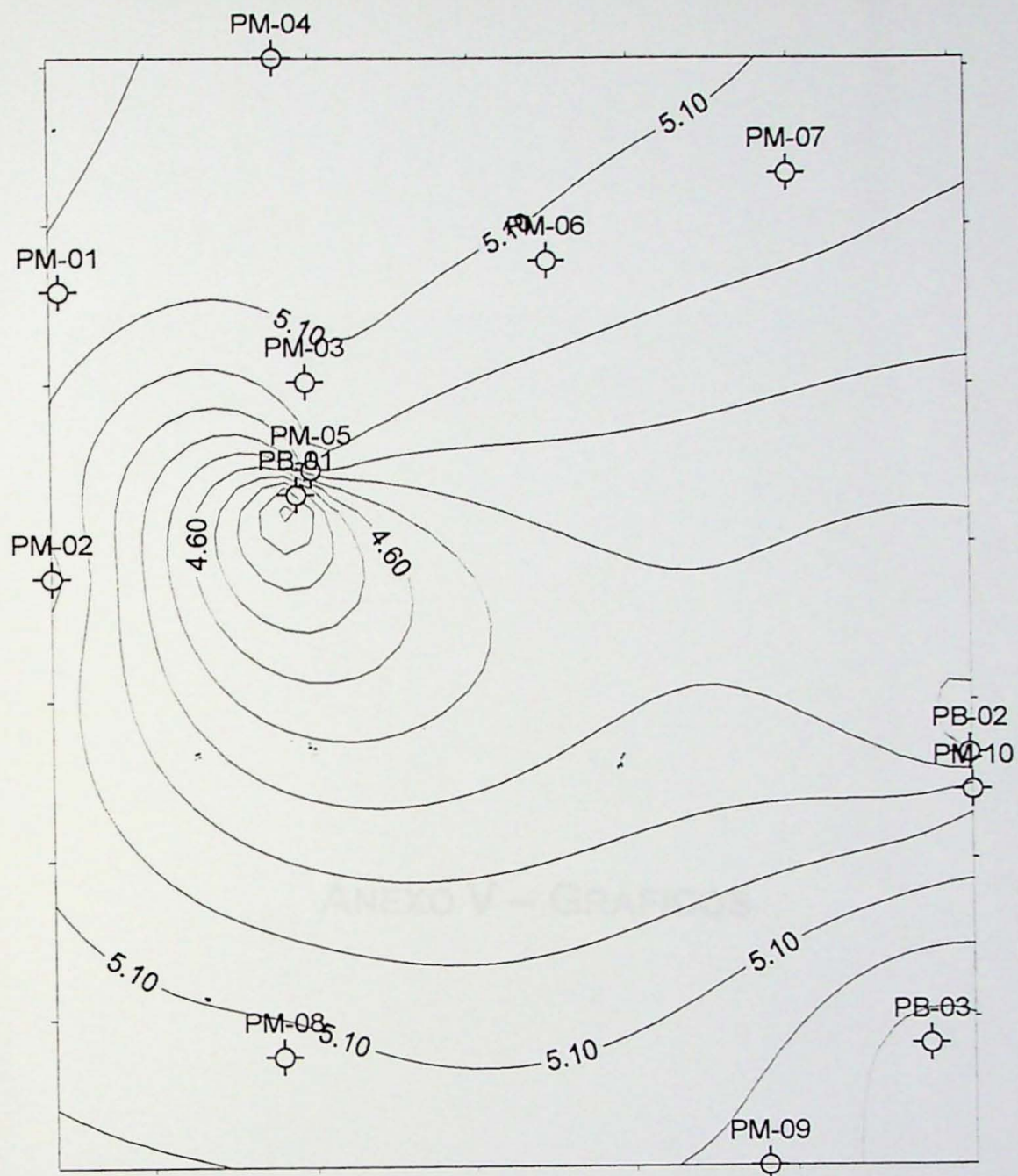


Poços

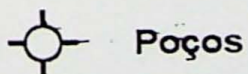


Linhas Equipotenciais

Mapa Potenciométrico Bidimensional de Junho de 2000



Legenda:



Linhas Equipotenciais

ANEXO V – GRÁFICOS

Gráfico 01 - Concentração de VOC dissolvido na água

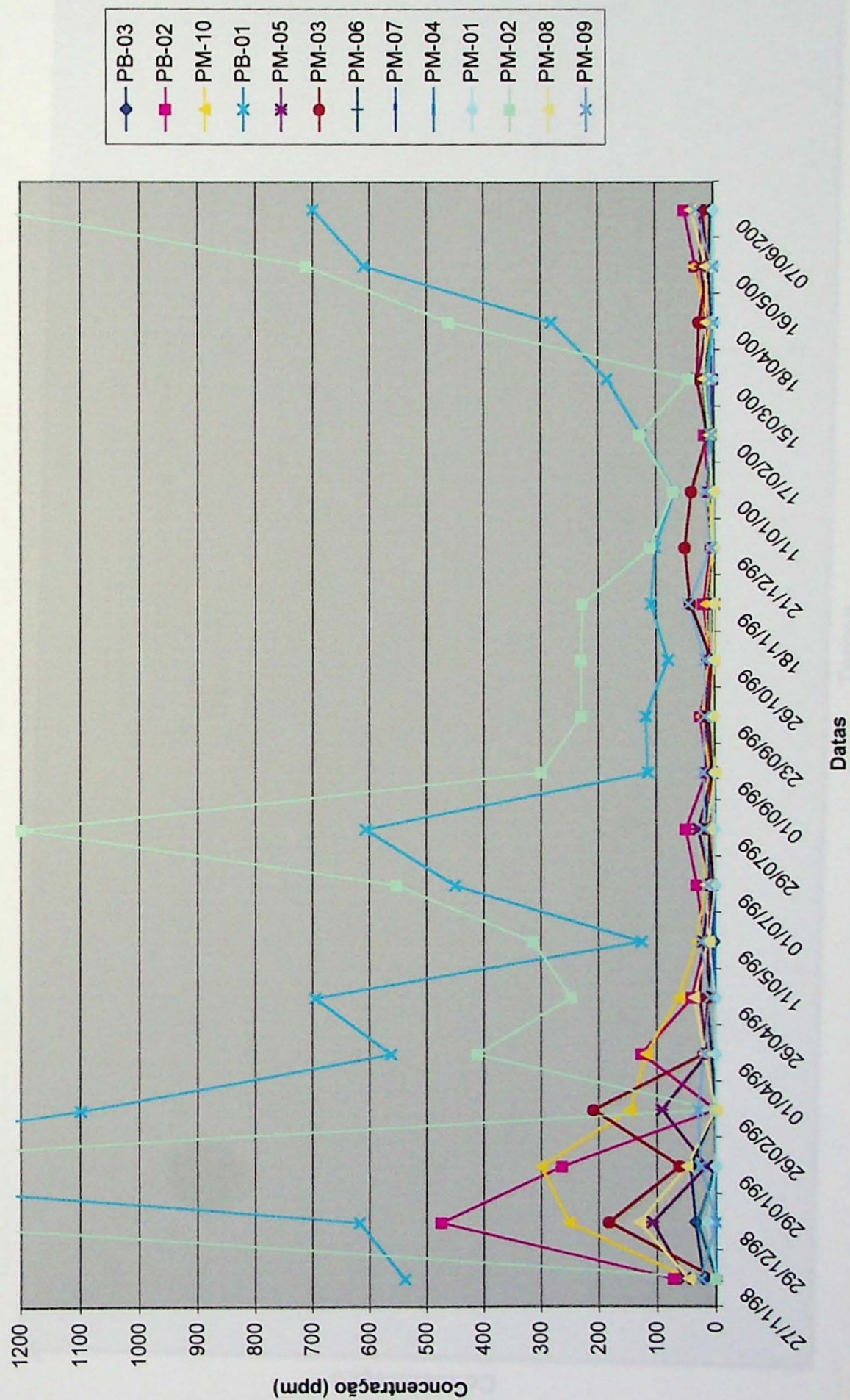


Gráfico 02 - Caminhamento da pluma de contaminação

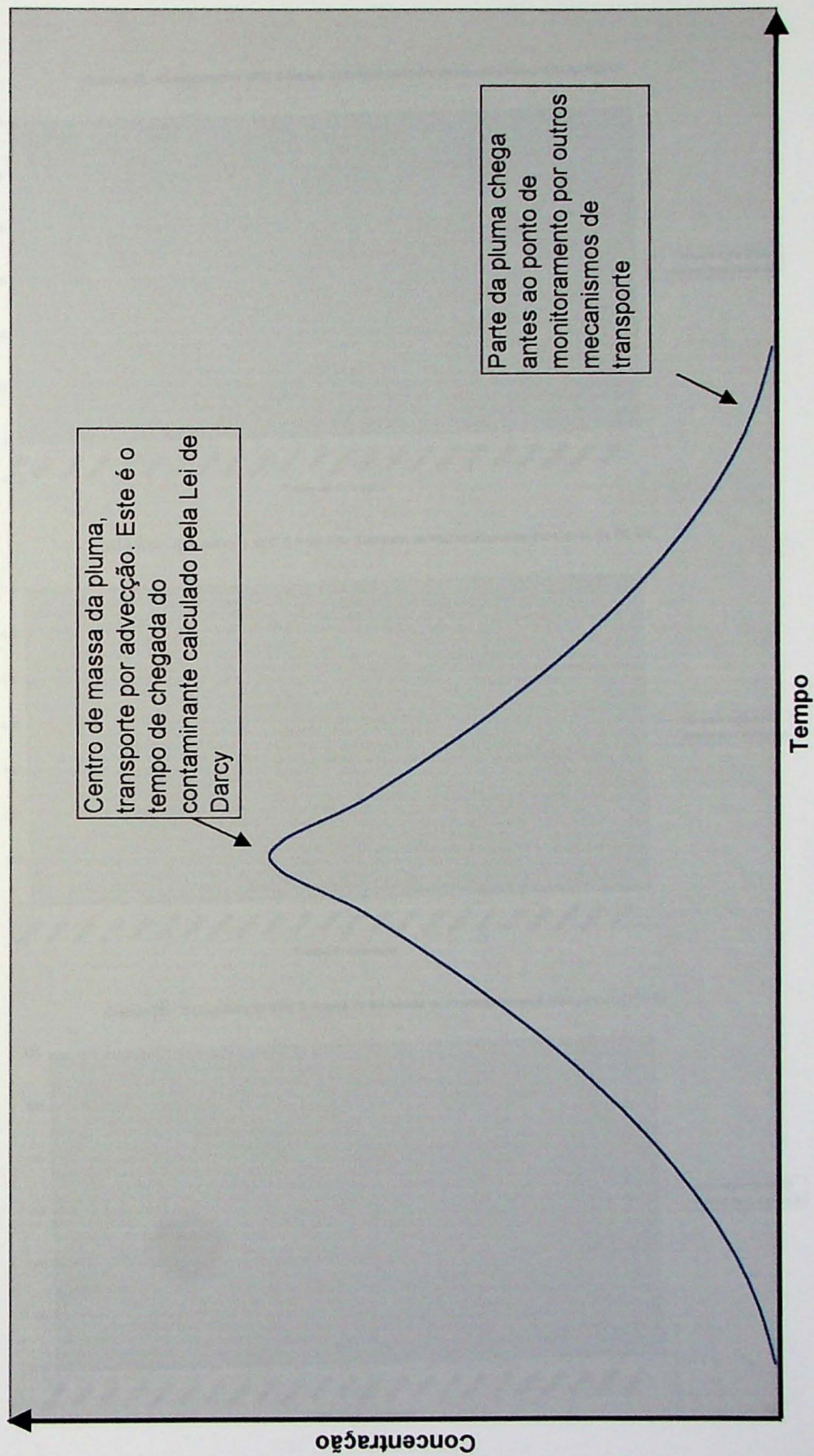


Gráfico 03 - Concentração VOC X Massa Estimada de Hidrocarbonetos Removida no PB-01

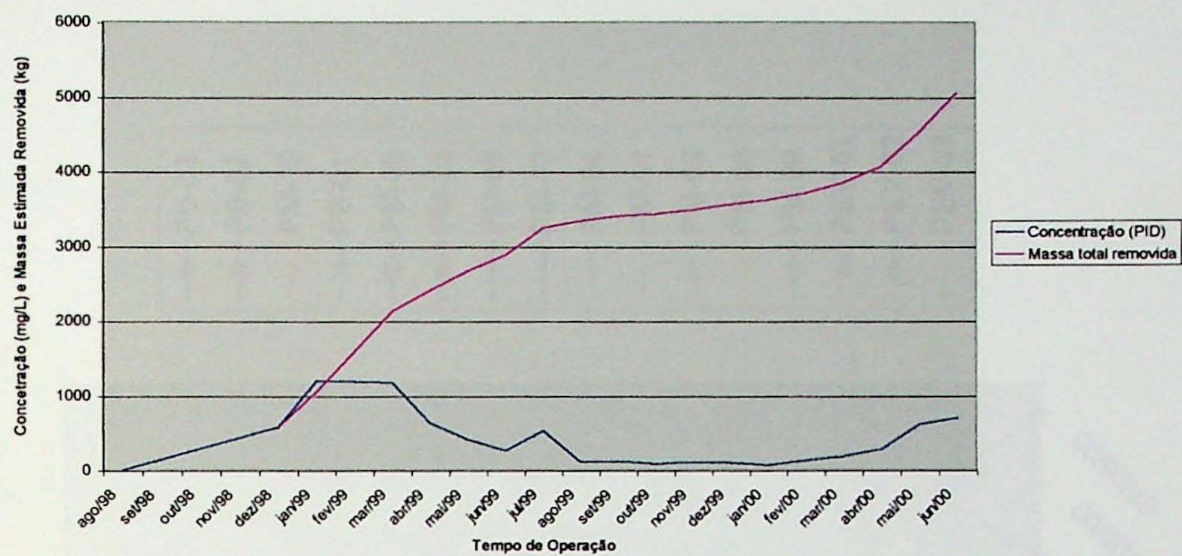


Gráfico 04 - Concentração VOC X Massa de Estimada de Hidrocarbonetos Removida no PB-02

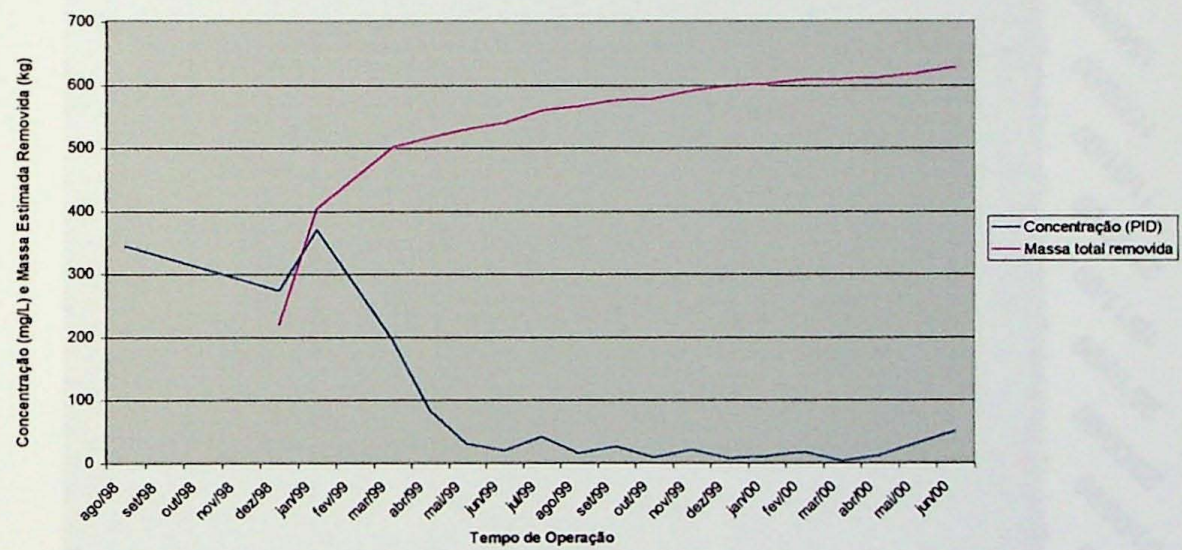


Gráfico 05 - Concentração VOC X Massa de Estimada de Hidrocarbonetos Removida no PB-03

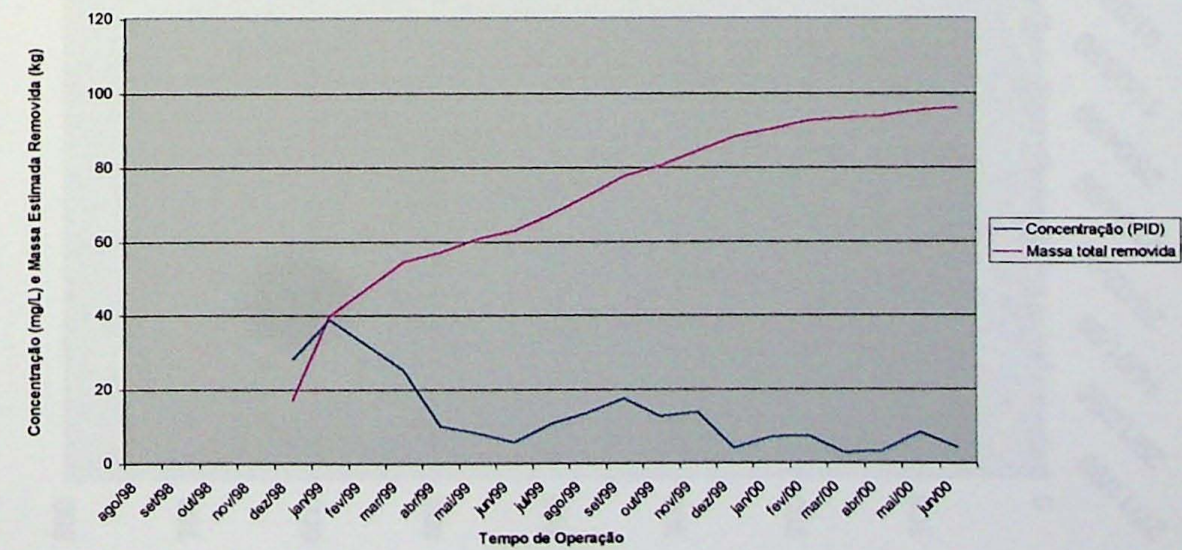
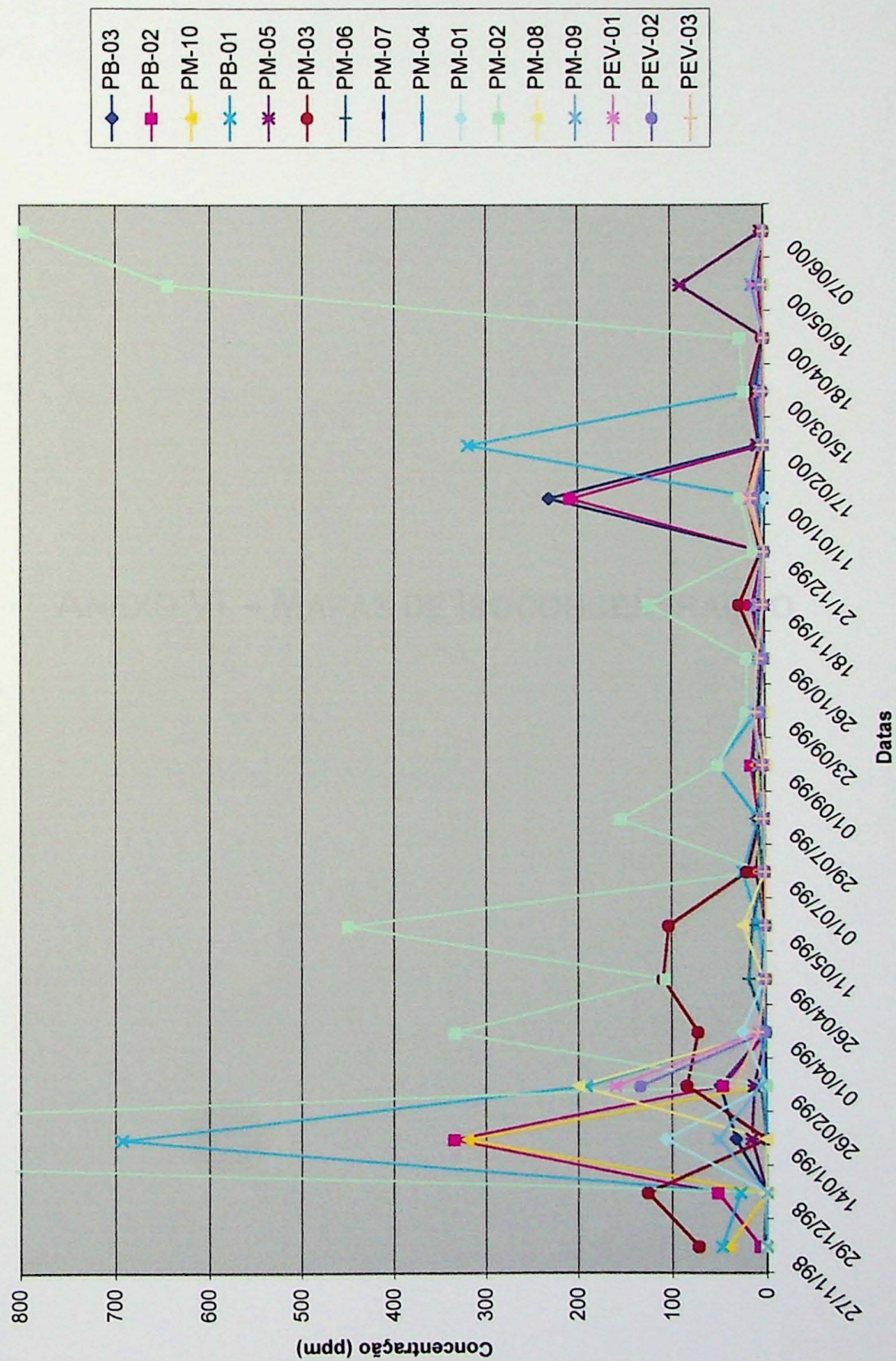


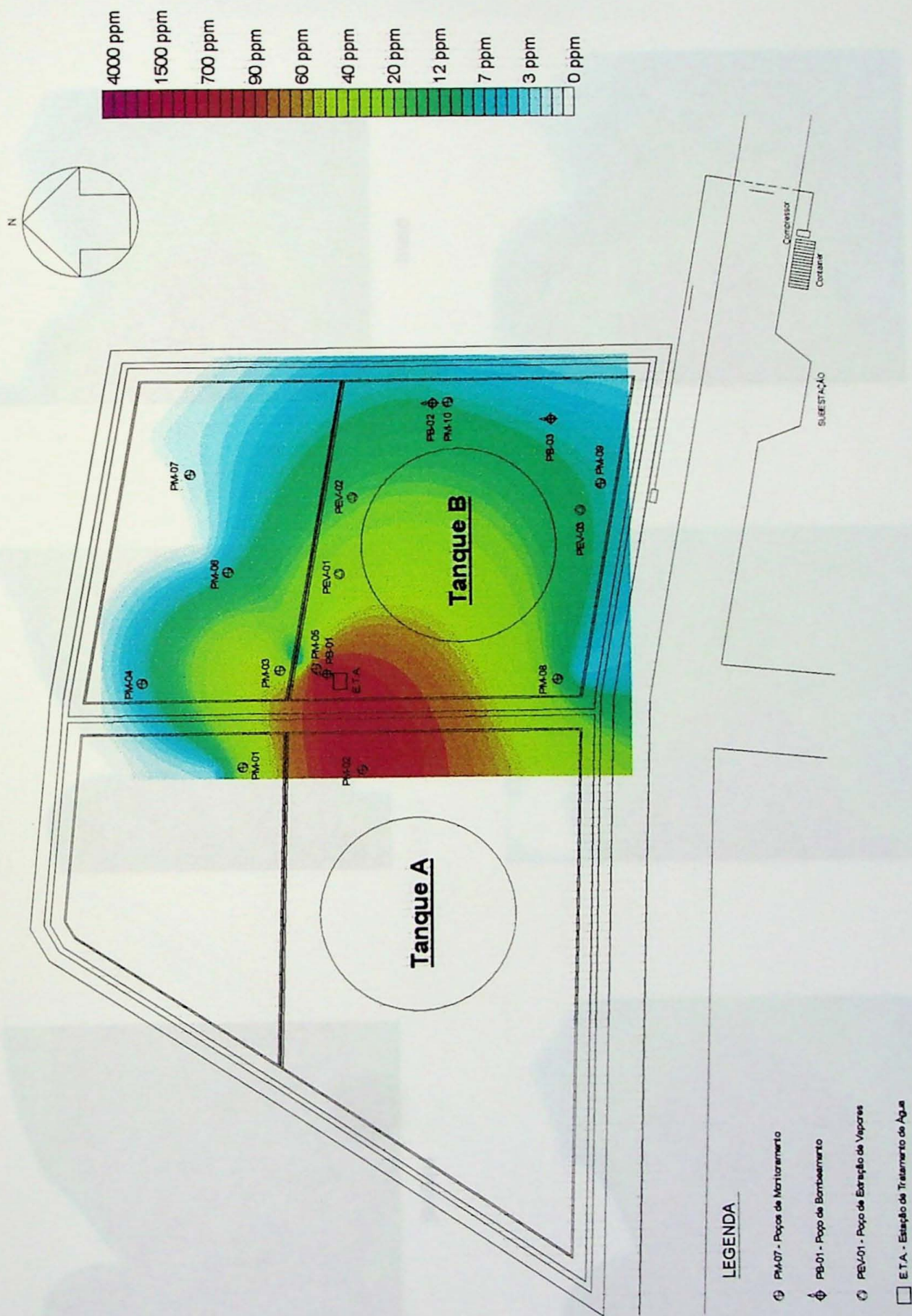
Gráfico 06 - Concentração de VOC adsorvido no solo



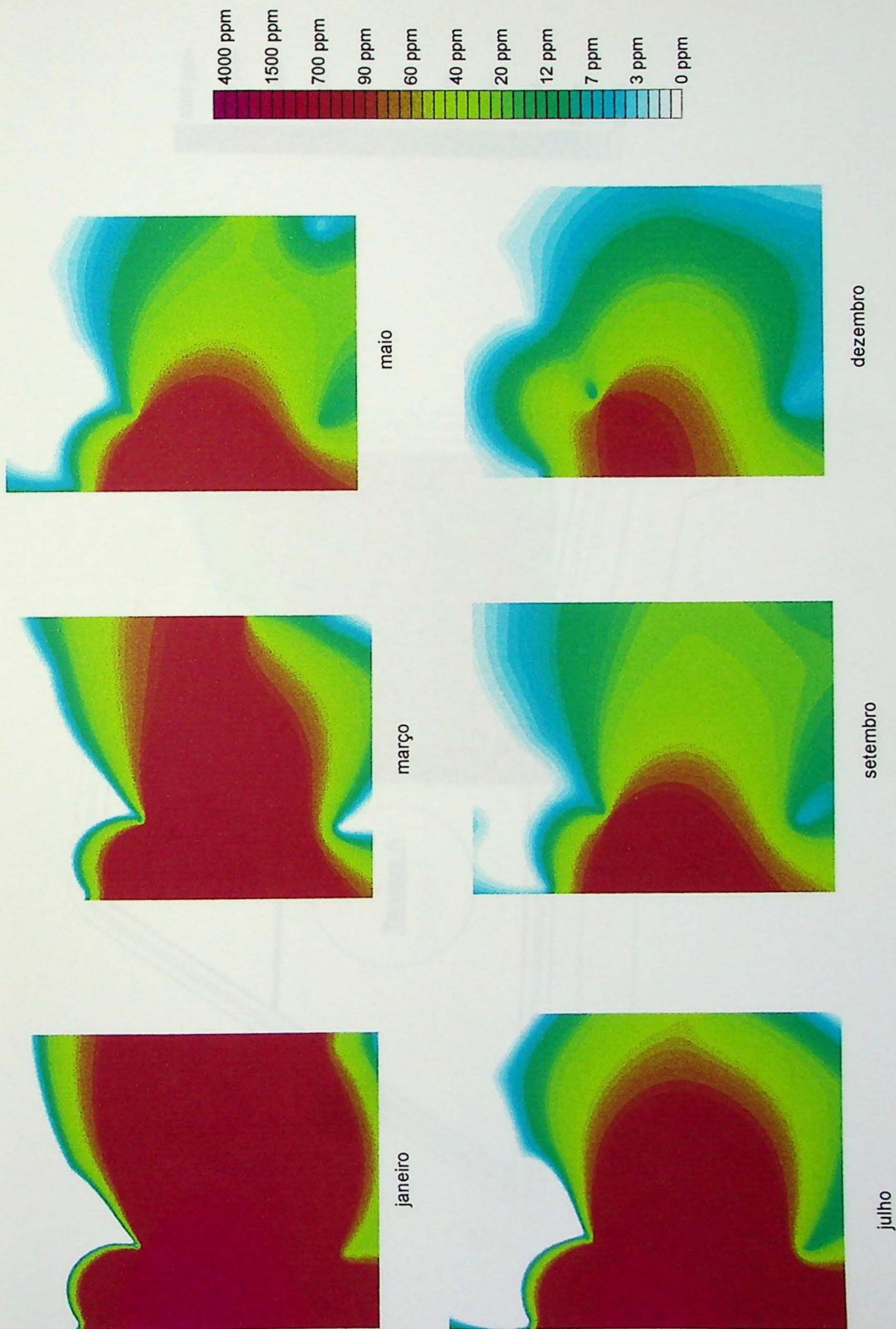
ANEXO VI – MAPAS DE ISOCONCENTRAÇÃO



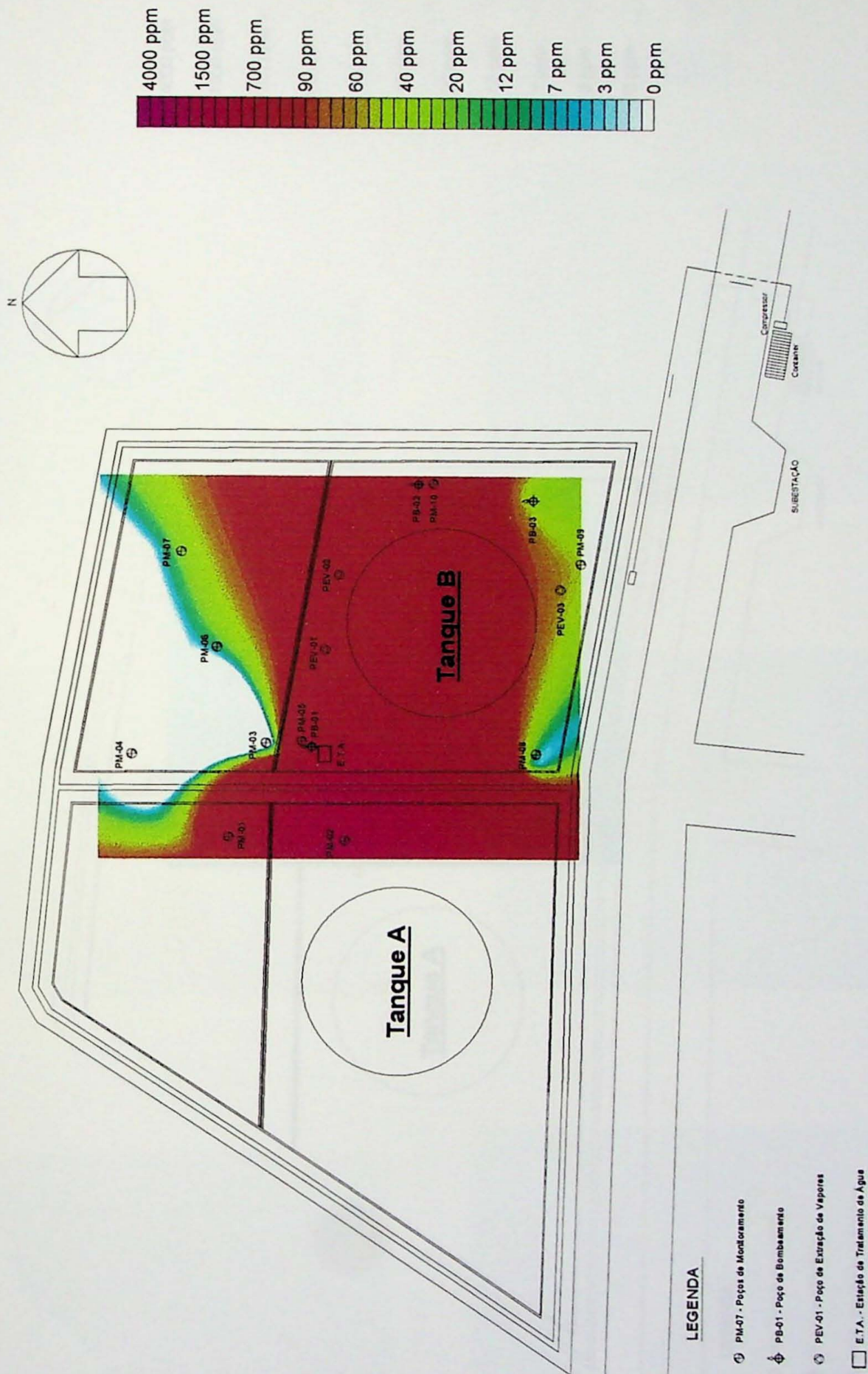
Mapa 01 - Concentração de VOC na água subterrânea - Mês de Janeiro de 1999.

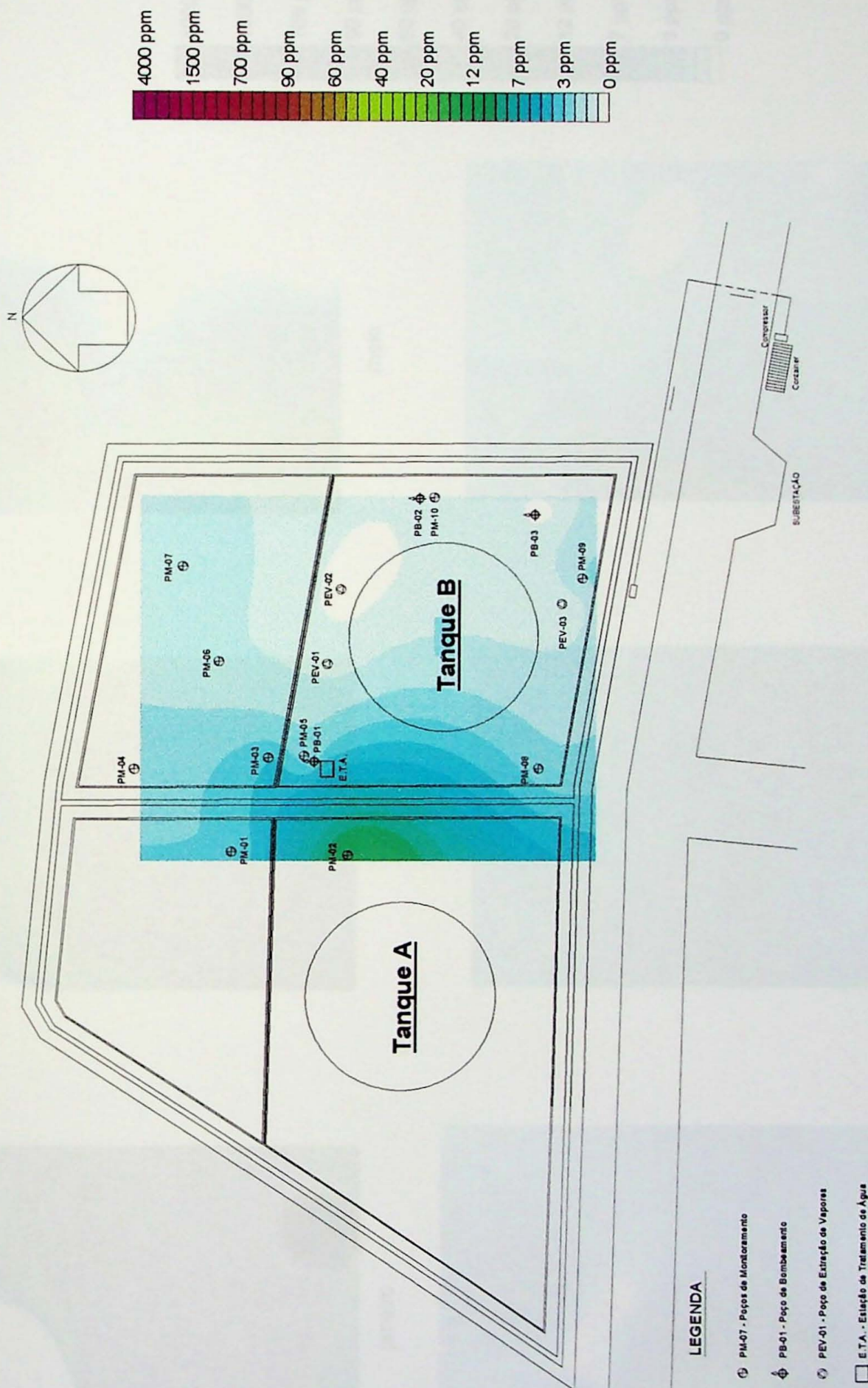


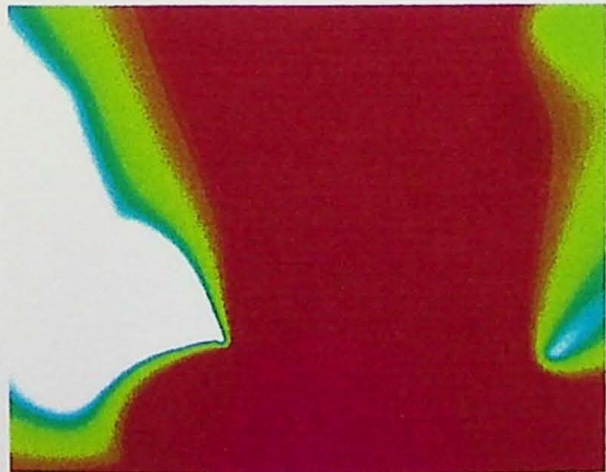
Mapa 02 - Concentração de VOC na água subterrânea - Mês de Dezembro de 1999.



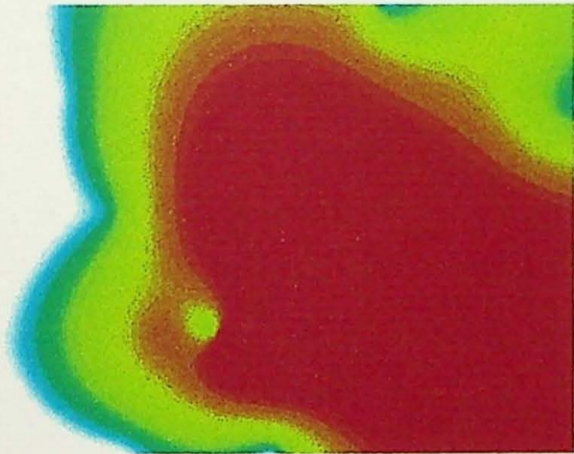
Mapa 03 - Concentração de VOC na água subterrânea - Série Histórica - Ano de 1999.



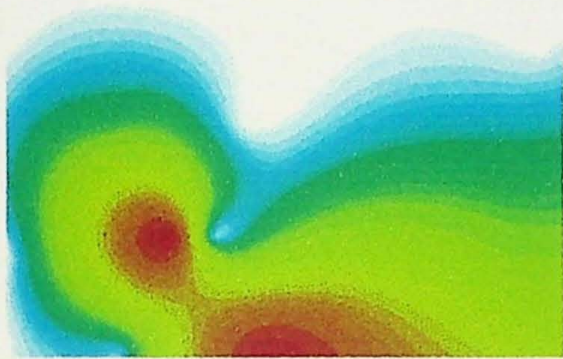




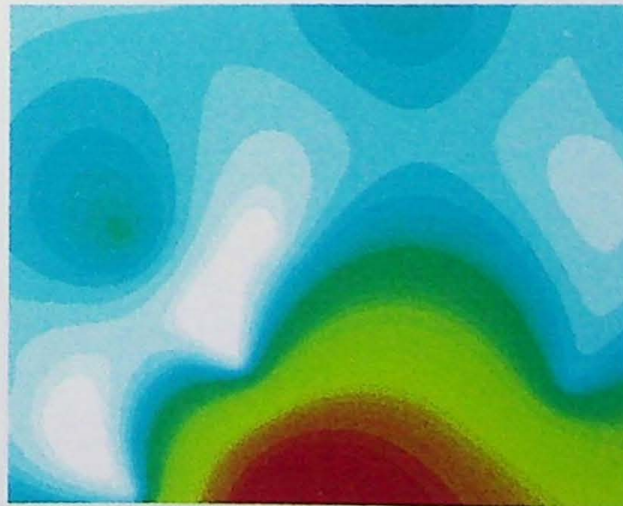
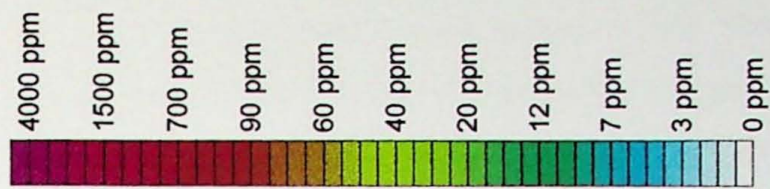
janeiro



março



maio



julho



setembro



dezembro

Mapa 06 - Concentração de VOC no solo - Série Histórica - Ano de 1999.

ANEXO VII – LAUDOS DE ANÁLISES

GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROSCOPY RESULTS

Test : EPA METHOD 8260 (VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS BY GC/MS)
 Client : ENGENHARIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
 Project # :
 Project name :
 Ceimic I.D. : 20620
 Matrix : Aqueous
 Concentration units : ug/L

#	Sample I.D.	Date Sampled	Date Received	Date Analysed	Dilution Factor	Associated Blank
01	EPA/146/00-PB-01	06/07/00	06/07/00	06/26/00	10	V0626-B1

Compound	Results
----------	---------

Chloromethane	<100
Bromomethane	<100
Vinyl chloride	<100
Chloroethane	<100
Methylene chloride	<250
Acetone	<500
Carbon disulfide	<100
1,1-Dichloroethene	<100
1,1-Dichloroethane	<100
1,2-Dichloroethene (TOTAL)	<100
Chloroform	<100
1,2-Dichloroethane	<100
2-Butanone	<500
1,1,1-Trichloroethane	<100
Carbon tetrachloride	<100
Bromodichloromethane	<100
1,2-Dichloropropane	<100
Trans-1,3-Dichloropropene	<100
Trichloroethene	<100
Dibromochloromethane	<100
1,1,2-Trichloroethane	<100
Benzene	544
Cis-1,3-Dichloropropene	<100
Bromoform	<100
2-Hexanone	<500
4-Methyl-2-pentanone	<500
Tetrachloroethene	<100
1,1,2,2-Tetrachloroethane	<100
Toluene	320
Chlorobenzene	<100
Ethylbenzene	127
Xylenes (TOTAL)	992
Styrene	<100

SURROGATE SPIKE RECOVERY (%)

Surrogate compound	QC limits	
1,2-Dichloroethane-d4	62-139	101
Toluene-d8	75-125	96
Bromofluorobenzene	75-125	98

GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROSCOPY - QUALITY CONTROL

METHOD BLANK

Test : EPA METHOD 8260 (VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS BY GC/MS)
Client : ENGENHARIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
Project # :
Project name :
Ceimic I.D. : 20620
Blank I.D. : V0626-B1
Date analysed : 06/26/00
Dil. Factor : 1
Matrix : Aqueous
Concentration units : ug/L

Compound	Results
Chloromethane	<10
Bromomethane	<10
Vinyl chloride	<10
Chloroethane	<10
Methylene chloride	<25
Acetone	<50
Carbon disulfide	<10
1,1-Dichloroethene	<10
1,1-Dichloroethane	<10
1,2-Dichloroethene (TOTAL)	<10
Chloroform	<10
1,2-Dichloroethane	<10
2-Butanone	<50
1,1,1-Trichloroethane	<10
Carbon tetrachloride	<10
Bromodichloromethane	<10
1,2-Dichloropropane	<10
Trans-1,3-Dichloropropene	<10
Trichloroethene	<10
Dibromochloromethane	<10
1,1,2-Trichloroethane	<10
Benzene	<10
Cis-1,3-Dichloropropene	<10
Bromoform	<10
2-Hexanone	<50
4-Methyl-2-pentanone	<50
Tetrachloroethene	<10
1,1,2,2-Tetrachloroethane	<10
Toluene	<10
Chlorobenzene	<10
Ethylbenzene	<10
Xylenes (TOTAL)	<10
Styrene	<10

SURROGATE SPIKE RECOVERY (%)

Surrogate compound	QC limits	
1,2-Dichloroethane-d4	62-139	98
Toluene-d8	75-125	89
Bromofluorobenzene	75-125	101

GAS CHROMATOGRAPHY/MASS SPECTROSCOPY - QUALITY CONTROL

LABORATORY CONTROL SUMMARY

Test : EPA METHOD 8260 (VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS BY GC/MS)
Client : ENGENHARIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
Project # :
Project name :
Ceimic I.D. : 20620
Blank spike ID : V0626-LCS1
Date analysed : 06/26/00
Dil. Factor : 1
Matrix : Aqueous
Concentration units : ug/L

Compound	Spike Added	Blank Spike Result	Blank Spike Recovery(%)	QC Limits (%)
1,1-Dichloroethene	50	40	80	76-136
Trichloroethene	50	42	84	74-115
Benzene	50	41	82	77-121
Toluene	50	40	80	79-120
Chlorobenzene	50	41	82	76-123

SURROGATE SPIKE RECOVERY (%)

Surrogate compound	QC limits
--------------------	-----------

1,2-Dichloroethane-d4	62-139	97
Toluene-d8	75-125	100
Bromofluorobenzene	75-125	99

Test : TOTAL PETROLEUM HYDROCARBONS (TPH) - by Modified Method 8015B
Client : ENGENHARIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
Project # :
Project name :
Ceimic I.D. : 20620
Matrix : Aqueous
Concentration units : mg/L (ppm)

#	Sample I.D.	Date Sampled	Date Received	Date Analysed	Dilution Factor	Associated Blank
01	EPA/146/00-PB-01	06/07/00	06/07/00	06/27/00	5	F0627-B1

Target Analyte	Results
----------------	---------

Diesel Range Organics (C8 - C30)	6.3
----------------------------------	-----

The TPH detected in the sample matches: GASOLINE

The sample was screened for the following products:

Gasoline	Jet Fuel A	Diesel Fuel	Bunker Oil
Kerosene	Motor Oil	Fuel Oil # 2	Naphtha
JP-4 Jet Fuel	Hydraulic Jack Oil	Fuel Oil # 4	Creosote
JP-5 Jet Fuel	Transmission Fluid	Fuel Oil # 5	Mineral Spirits
JP-8 Jet Fuel	Lubrificating Oil	Fuel Oil # 6	Mineral Oil

SURROGATE SPIKE RECOVERY (%)

Surrogate compound

n-eicosane	90
------------	----

Test : TOTAL PETROLEUM HYDROCARBONS (TPH) - by Modified Method 8015B
Client : ENGENHARIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
Project # :
Project name :
Ceimic I.D. : 20620
Matrix : Aqueous
Concentration units : mg/L (ppm)

#	Sample I.D.	Date Sampled	Date Received	Date Analysed	Dilution Factor	Associated Blank
02	EPA/147/00-PB-02	06/07/00	06/07/00	06/27/00	1	F0627-B1

Target Analyte	Results
Diesel Range Organics (C8 - C30)	1.3

The TPH detected in the sample matches: GASOLINE

The sample was screened for the following products:

Gasoline	Jet Fuel A	Diesel Fuel	Bunker Oil
Kerosene	Motor Oil	Fuel Oil # 2	Naphtha
JP-4 Jet Fuel	Hydraulic Jack Oil	Fuel Oil # 4	Creosote
JP-5 Jet Fuel	Transmission Fluid	Fuel Oil # 5	Mineral Spirits
JP-8 Jet Fuel	Lubrificating Oil	Fuel Oil # 6	Mineral Oil

SURROGATE SPIKE RECOVERY (%)

Surrogate compound

n-eicosane	36
------------	----

Test : TOTAL PETROLEUM HYDROCARBONS (TPH) - by Modified Method 8015B
Client : ENGENHARIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
Project # :
Project name :
Ceimic I.D. : 20620
Matrix : Aqueous
Concentration units : mg/L (ppm)

#	Sample I.D.	Date Sampled	Date Received	Date Analysed	Dilution Factor	Associated Blank
03	EPA/148/00-PB-03	06/07/00	06/07/00	06/27/00	1	F0627-B1

Target Analyte Results

Diesel Range Organics (C8 - C30) 0.80

The TPH detected in the sample matches: NO MATCH

The sample was screened for the following products:

Gasoline	Jet Fuel A	Diesel Fuel	Bunker Oil
Kerosene	Motor Oil	Fuel Oil # 2	Naphtha
JP-4 Jet Fuel	Hydraulic Jack Oil	Fuel Oil # 4	Creosote
JP-5 Jet Fuel	Transmission Fluid	Fuel Oil # 5	Mineral Spirits
JP-8 Jet Fuel	Lubrificating Oil	Fuel Oil # 6	Mineral Oil

SURROGATE SPIKE RECOVERY (%)

Surrogate compound

n-eicosane 93

