

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA REMEDIAÇÃO PELO
MÉTODO "PUMP AND TREAT" ATRAVÉS DE UM
CASO BRASILEIRO**

Miguel Fiorda Singer

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata
Co-orientador: Dr. Reginaldo A. Bertolo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF - 2004/22)

SÃO PAULO
2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Estudo da Eficiência de Remediação pelo método
“Pump and Treat”, através de um caso Brasileiro**

Miguel Fiorda Singer

Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata _____

Profa. Dra. Mara Akie Iritani _____

Prof. Dr. José Roberto Canuto _____

São Paulo

2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
TRABALHO DE FORMATURA Nº 22

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA REMEDIAÇÃO PELO
MÉTODO “PUMP AND TREAT” ATRAVÉS DE UM
CASO BRASILEIRO



DEDALUS - Acervo - IGC



30900016372

MIGUEL FIORDA SINGER

ORIENTADOR: PROF. DR. RICARDO CÉSAR AOKI HIRATA

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. REGINALDO A. BERTOLO

São Paulo

2004

Monografia de Trabalho de Formatura

TF
SGJA
MF e

ESTUDO DA EFICÁCIA DA REMEDIÇÃO POR
MÉTODO DE PULVERIZAÇÃO DE UM
CASO BRASILEIRO



Coordenador Geral: Dr. Roberto de Almeida
Coordenador Técnico: Dr. João de Deus
Coordenador Administrativo: Dr. Carlos de Souza

Rio de Janeiro, 1980

Impressão: Editora Nacional

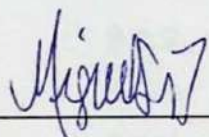
Projeto nº: 22

Título: **Estudos da Eficiência da Remediação pelo Método "Pump and Treat" Através de Casos Brasileiros.**

Aluno: Miguel Fiorda Singer

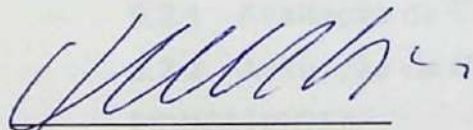
Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

Co-orientador: Prof. Dr. Reginaldo A. Bertolo

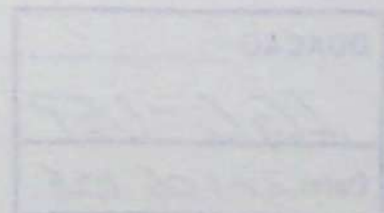


Miguel Fiorda Singer

De acordo:



Ricardo César Aoki Hirata



DOAÇÃO
IGL-USP
Data: *27/06/05*

INDICE

1. IDENTIFICAÇÃO	2
2. RESUMO	2
3. ABSTRACT	3
4. INTRODUÇÃO	4
5. METAS E OBJETIVOS	4
6. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	5
7. MATERIAIS E MÉTODOS	10
7.1 Pesquisa Bibliográfica	10
7.2 Descrição da área de estudo e do sistema de remediação	10
7.3 Monitoramento da hidráulica e bombeamento dos poços	11
7.4 Coleta e análise química das amostras de água subterrânea	11
7.5 Interpretação dos dados existentes	12
8. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	12
9. RESULTADOS	13
9.1. Descrição da Área e Informações Preliminares	13
9.1.1 Áreas de Potencial Contaminação (APCs)	13
9.1.2 Geologia e Hidrogeologia	14
9.1.3 Delimitação das Plumas Iniciais de Contaminação	17
9.1.4 Definição das Metas de Remediação	18
9.1.5 Ensaio de Vazão	19
9.1.6 Descrição do Sistema de Remediação	20
9.2. Avaliação do Sistema de "Pump and Treat"	22
9.2.1 Avaliação da Contenção Hidráulica	23
9.2.2 Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea	27
10. CONCLUSÕES	35
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família, Eugenio, Guacira, Ana Flora e André Singer, pela paciência, apoio e por tudo que sou e me tornei até os dias de hoje.

Aos meus orientadores Ricardo Hirata e Reginaldo Bertolo, pela atenção, recomendações e reuniões as quais ajudaram muito no desenvolvimento do projeto.

Ao Roberto Mariani pela autorização da realização do trabalho na área de estudo.

À empresa ERM Brasil Ltda. por todo o apoio dado para a realização do projeto. Aos seguintes colegas de trabalho:

Pedro Aronchi Neto, Susanne Loebmann e Juliana Camilo, pela busca de arquivos, ajuda e comentários quanto aos trabalhos realizados anteriormente e atualmente na área de estudo.

Sander Eskes, pelas aulas e bibliografia recomendada.

Ricardo Camargo, Paulo Lojkasek Lima, Fabíola Rossato e Carlos Ferlin, pela compreensão e companheirismo.

Pelo profissionalismo e amizade de Sasha, Alaine, Timon, Pedrinho, Lampião, Bergue, MoUx, Rodrigo, Fabiana, Aldérico, Sammy, Musgô, Laura, Luciana Rodrigues, Mauricinho, João, Geraldo, Jason, Felipe, Ademar, Guilherme, Luciana Bacaicoa, Ricardo Pereira, Renato Hashimoto, Vanessa, Sandra, Lembo e Kelli Lima.

Ao Enrico Gonzales, pela sua amizade e imensa atenção e ajuda na confecção e impressão das figuras deste projeto, com apoio de Casado, Amanda e Fernandinho.

Aos meus amigos, Lucas, Leandro e Eduardo Lavor, Alemão, Vitinho, Alessandro, Pandia, Jefferson, Michel, Fabinho e Christiano de Oliveira, Cabeza e Theo Lima pelos ótimos momentos e risadas.

A todos os meus colegas da Geo, da turma de 2000, por todos esses cinco anos de convivência e companheirismo.

À Paula da Cruz Lima, por seu amor, amizade, conselhos, compreensão, paciência e inúmeras outras características, e por todos os momentos nesses últimos seis anos de minha vida.

E a todos que eu deixei de mencionar e que fazem parte da minha vida, deixo aqui o meu muito obrigado.

1. IDENTIFICAÇÃO

USP – Universidade de São Paulo, IGc – Instituto de Geociências

Projeto nº: 22

Titulo: **Estudo da Eficiência da Remediação pelo Método “Pump and Treat” Através de um Caso Brasileiro.**

Aluno: Miguel Fiorda Singer

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata - GSA

Co-orientador: Prof. Dr. Reginaldo A. Bertolo – GSA

São Paulo, 2004

2. RESUMO

Em decorrência das mudanças da ocupação do solo, atualmente em curso nas grandes cidades brasileiras, a remediação e revitalização de áreas urbanas degradadas por contaminação, especialmente de antigas áreas industriais, estão se tornando um desafio cada vez maior para as políticas de meio ambiente e de desenvolvimento no país.

Uma área industrial localizada no interior do Estado de São Paulo tem sido objeto de investigação de suas características do meio físico (geometria das unidades geológicas e hidrogeológicas) e dos contaminantes (tipos, extensão de plumas, grau e formas de contaminação) desde 1995. A partir de 2001, testes piloto foram realizados para a implantação do sistema de remediação pelo método “Pump and Treat” que encontra-se em funcionamento desde fevereiro de 2003.

Este estudo objetiva avaliar a eficiência da remediação da água subterrânea por este método através do: (1) monitoramento da contenção hidráulica com medições periódicas dos níveis d'água dos poços de monitoramento existentes na área e; (2) monitoramento da qualidade da água subterrânea através de campanhas de amostragem de todos os poços de monitoramento e bombeamento, a fim de analisar o comportamento das concentrações dos contaminantes dissolvidos na água, ao longo do tempo.

Os resultados obtidos apresentam a variação que ocorre nos níveis d'água dos poços de monitoramento antes e após o início do bombeamento dos poços do sistema, uma comparação da vazão total do sistema com a vazão natural do aquífero, cálculos do tempo necessário para se renovar a água subterrânea do aquífero através das vazões médias dos poços de bombeamento e, os resultados de qualidade da água subterrânea.

As variações dos níveis d'água dos poços de monitoramento não indicam a ocorrência de contenção hidráulica, porém a comparação da vazão natural do aquífero, 3,39 m³/h, com a vazão total do sistema, 7,9 m³/h, e a redução significativa das concentrações de alguns contaminantes, indicam que a contenção hidráulica está ocorrendo. As estimativas do tempo necessário para a renovação de um volume de água do aquífero mostram que esta ainda não ocorreu (35% na Unidade I e 78% na Unidade II). Aproximadamente 42%

dos compostos orgânicos voláteis dissolvidos na água subterrânea foram removidos pelo sistema, porém grande parte da massa de contaminante encontra-se adsorvida no solo, e as metas de remediação estão longe de serem atingidas.

3. ABSTRACT

Due to changes in urban land use currently under way in Brazil's large cities, remediation and revitalization of contaminated urban areas, particularly former industrial sites, are becoming an ever-greater challenge for the country's environmental and urban development policies.

An industrial area located in the interior of São Paulo State, have been investigated since 1995, in order to obtain information regarding the characteristics of the physical media (geometry of the geologic and hydrogeologic units) and contaminants (types, plumes extention, contamination degree and causes). Since 2001, pilot tests were performed to introduce the remediation system by Pump and Treat method currently in use since February, 2003.

The main objective of this study is to evaluate the efficiency of the groundwater remediation by the Pump & Treat method, through the: (1) monitoring of the hydraulic containment with periodical water level measurements of the existing monitoring wells and; (2) groundwater quality monitoring through sampling events of all monitoring and pumping wells, in order to evaluate the behavior of the contaminants' concentrations dissolved in the groundwater throughout the time.

The obtained results present the variation that occurs in the water levels of the monitoring wells before and after the beginning of the pumping of the system's wells. A comparison between the system total flow and the natural aquifer flow is also developed. Calculations of the time necessary to renew the aquifer's groundwater through the average flow of the pumping wells and the groundwater quality results are also presented in this study.

The groundwater level variations of the monitoring wells do not indicate that the occurrence of a containment, otherwise the comparison between the aquifer natural flow, 3,39 m³/h, and the system flow, 7,9 m³/h, indicate that the hydraulic containment is occurring. The estimated time necessary to renew one volume of the aquifer's groundwater shows that a renewal did not occur yet (35% at Unit I and 78% at Unit II). Approximately 42% of the dissolved volatile organic compounds were removed from groundwater by the system, but most of the contaminant mass is sorbed in soil, and the target values for remediation are far to be achieved.

4. INTRODUÇÃO

A questão da contaminação do solo e das águas subterrâneas tem sido objeto de grande preocupação nas três últimas décadas em países industrializados, principalmente nos Estados Unidos e na Europa. Esse problema ambiental torna-se mais grave para centros urbanos industriais como a Região Metropolitana de São Paulo (CETESB, 1999).

Os diversos impactos ambientais causados pela atividade antrópica geraram inúmeros estudos hidrogeológicos nas últimas décadas, assim como o surgimento de diversas empresas de consultoria e gerenciamento ambiental, com o intuito de investigar detalhadamente as áreas contaminadas, principalmente nos centros industriais. Em decorrência destes estudos e das exigências legais, passou-se a remediar estas áreas, utilizando-se diferentes tecnologias de remediação de solo e águas subterrâneas, de acordo com as características intrínsecas de cada caso.

Nos últimos anos, a tecnologia mais utilizada para remediação de águas subterrâneas contaminadas é um método convencional de bombeamento e tratamento, denominado "Pump and Treat".

O sistema "Pump and Treat" é um método pouco complexo. Existe uma vasta literatura abordando este tema, encontrada em dissertações, revistas, livros e manuais. Entretanto, grande parte desta literatura não classifica este método como de remediação, pois comprovam que na maioria dos casos, não é possível atingir o padrão de remediação para águas subterrâneas contaminadas somente com o seu uso. A grande maioria desta literatura é estrangeira e baseia-se em casos sob condições hidrogeológicas e geoquímicas distintas da realidade do Estado de São Paulo. Este trabalho fundamenta-se em um caso brasileiro de remediação pelo método "Pump and Treat" a fim de verificar a eficiência do mesmo. Este estudo contempla:

- a revisão da bibliografia nacional e internacional,
- o estudo de um caso brasileiro aplicado a situações ambientais, diferentes de realidades estrangeiras, e
- avaliação da eficiência na área de estudo selecionada e a comparação com casos internacionais.

Este projeto foi desenvolvido em uma indústria localizada no interior do Estado de São Paulo, a qual utiliza esta tecnologia para a contenção de água subterrânea contaminada. Os trabalhos foram realizados com apoio da ERM Brasil Ltda., empresa de consultoria ambiental.

5. METAS E OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo foi a verificação da eficiência do método "Pump and Treat" de água subterrânea, através do monitoramento da contenção hidráulica e controle

do movimento da água subterrânea contaminada. Também foi avaliada a qualidade da água subterrânea através de monitoramentos, com a finalidade de analisar a redução das massas de contaminantes dissolvidos na água.

Vale ressaltar que foram realizadas anteriormente, investigações das áreas de estudo, a fim de identificar a fonte de contaminação, e que o projeto de implantação do sistema de remediação foi determinado a partir dessas investigações preliminares.

O estudo de viabilidade do método "Pump and Treat" foi realizado com o objetivo de manter o risco humano e ecológico a um nível aceitável, onde este risco é função do uso e ocupação do solo, e dos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação local.

6. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica consistiu na busca e leitura de trabalhos já realizados anteriormente pela ERM Brasil Ltda., relacionados à área de estudo, e de manuais que auxiliem no monitoramento do desempenho de Sistemas de "Pump and Treat", tais como USEPA (1994 e 1996).

"Pump and Treat" é uma das tecnologias de remediação mais utilizadas mundialmente. É um método convencional que envolve o bombeamento de águas subterrâneas contaminadas para tratamento em superfície.

O sistema "Pump and Treat" é basicamente utilizado com os seguintes propósitos:

- Contenção Hidráulica – controlar o movimento da água contaminada, prevenindo a expansão da pluma de contaminação;
- Recuperação do aquífero (tratamento) – redução suficiente das concentrações de contaminantes dissolvidos na água subterrânea, até que o aquífero esteja "limpo", ou não apresente risco à saúde pública e ao ambiente, de acordo com os padrões de qualidade ambientais locais, ou que a água extraída de um poço de bombeamento possa ser utilizada de acordo com os padrões de qualidade de água estabelecidos.

O monitoramento da contenção hidráulica e da recuperação do aquífero a ser realizado em um sistema de "Pump & Treat" é designado para avaliar a eficiência e eficácia do sistema de acordo com seus objetivos.

Para que uma contenção hidráulica seja realizada com sucesso é necessário que os contaminantes que se movem em conjunto com a água subterrânea na zona de contenção sigam caminhos por onde sejam capturados pelo sistema.

O monitoramento da contenção hidráulica envolve medições de cargas hidráulicas dos pontos de observação do sistema de remediação e monitoramento da qualidade da água subterrânea. Porém, anteriormente à essas duas atividades é necessária a caracterização das direções naturais de fluxo da água subterrânea e da distribuição espacial

do contaminante; determinação da área/volume a ser contido e especificação dos pontos e do critério de monitoramento.

Os dados de carga coletados e o gradiente hidráulico calculado são interpretados a fim de verificar se a água de tais pontos de monitoramento será potencialmente captada pelo sistema de bombeamento da área. Porém, vale ressaltar que a zona de captação de um sistema (área onde qualquer partícula é captada pelos poços de bombeamento) não é coincidente com a área de influência do bombeamento (área onde os poços de monitoramento apresentam algum rebaixamento no nível d'água), onde um rebaixamento do nível d'água de um poço não indica necessariamente que a água subterrânea deste ponto será contida/captada pela zona de captação do sistema. A Figura 1 abaixo, mostra claramente que além do limite da zona de captura há uma interferência no nível d'água, porém não há captação da água daquela área.

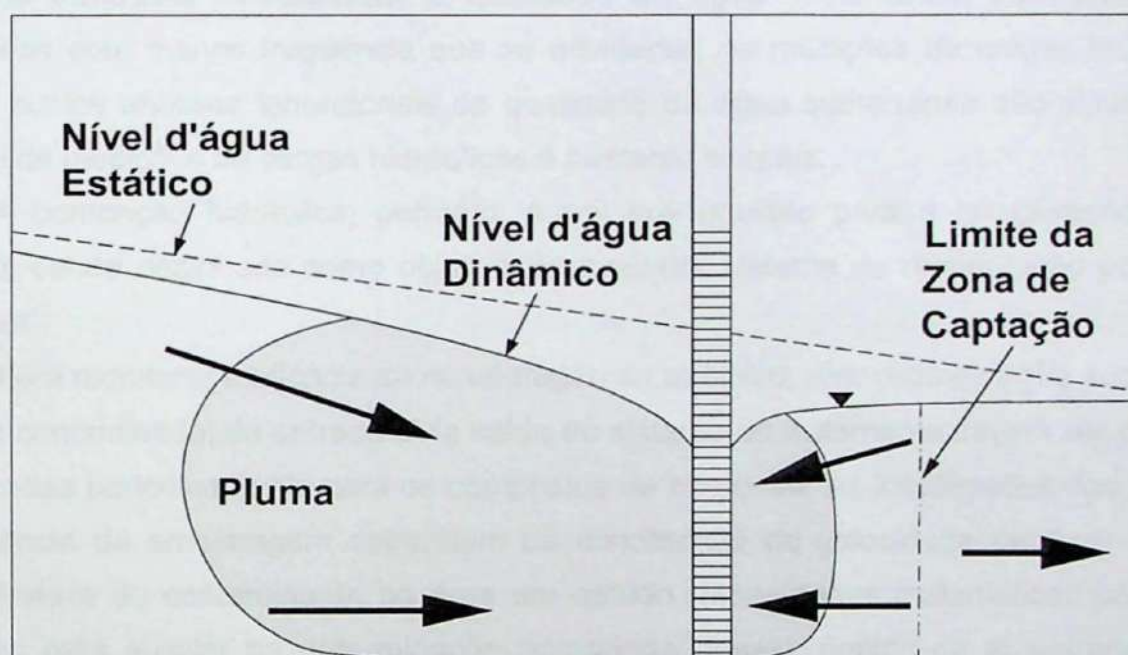


Figura 1. Zona de Captação vs. Área de Interferência (USEPA, 1994).

A interpretação dos gradientes hidráulicos também pode ser realizada através de mapas potenciométricos, onde teoricamente, as linhas de fluxo na área de contenção devem convergir para os poços de bombeamento do sistema. Entretanto, é importante que a comparação das cargas hidráulicas seja realizada nos mesmos intervalos estratigráficos evitando assim que interpretações erradas sejam feitas com relação aos gradientes hidráulicos.

Segundo USEPA (1994), o número de poços de monitoramento necessário para avaliar-se a contenção hidráulica aumenta de acordo com a complexidade da área em estudo, e em alguns casos é mais prático (e necessário) o auxílio de uma modelagem matemática para interpretar as medidas de carga hidráulica e avaliar a eficácia da

contenção. Em outros casos é mais apropriado em relação ao custo/benefício, o aumento no número de poços e da vazão de bombeamento do sistema.

O monitoramento da qualidade da água subterrânea também é realizado para determinar se as variações temporais ou espaciais na distribuição do contaminante são condizentes com uma contenção hidráulica eficaz. Assim, de acordo com a qualidade da água subterrânea, pode-se concluir que houve uma falha no sistema de contenção hidráulica se: (1) a massa total estimada de contaminante presente na água subterrânea aumentar ou se mantiver igual à massa inicial calculada ao longo da área de contenção; (2) as concentrações dos contaminantes aumentar no perímetro ou à jusante do poço de monitoramento; e/ou (3) contaminantes de degradação, que previamente foram interpretados como restritos a aparecerem naquela área, forem detectados no perímetro do poço de monitoramento (USEPA, 1994).

As atividades relacionadas à qualidade da água subterrânea, normalmente são conduzidas com menos frequência que as atividades de medições de cargas hidráulicas, pois os custos análises laboratoriais da qualidade da água subterrânea são elevados e o trabalho de medições de cargas hidráulicas é bastante simples.

A contenção hidráulica, portanto, é um pré-requisito para a recuperação de um aquífero, sendo designada como objetivo de qualquer sistema de recuperação por "Pump and Treat".

Para monitorar a eficácia da recuperação do aquífero, amostras de água subterrânea da zona contaminada, da entrada e da saída do sistema de tratamento devem ser coletadas e analisadas periodicamente para os compostos de interesse. As localizações dos pontos e a frequência da amostragem dependem da distribuição da velocidade de fluxo da água subterrânea e do contaminante na área em estudo. Modelagens matemáticas podem ser utilizadas para auxiliar na determinação apropriada desses pontos de amostragem e no cronograma de amostragem. Coleta e análise de amostras de água subterrânea proveniente da entrada e da saída do sistema de tratamento são realizadas mais frequentemente para garantir que o sistema de tratamento esteja dimensionado apropriadamente, verificar, na entrada do sistema, o comportamento das concentrações de contaminantes provenientes de toda a área (USEPA, 1994).

Essas amostragens, além de auxiliar na interpretação da contenção hidráulica, são realizadas também para monitorar modificações nas concentrações e distribuição dos contaminantes na água subterrânea durante a remediação. Em relação à recuperação por "Pump and Treat", também se deve coletar, além dos poços de monitoramento selecionados ao longo da pluma de contaminação, amostras de todos os poços de bombeamento, a fim de interpretar o processo de limpeza do aquífero.

Os parâmetros a serem analisados incluem: os compostos de interesse (ou indicadores químicos); parâmetros químicos que podem afetar o sistema de tratamento (tal

como o ferro, o qual pode precipitar e entupir as unidades de tratamento); e parâmetros químicos que podem indicar a ocorrência de processos de atenuação natural da contaminação (ex.: oxigênio dissolvido, dióxido de carbono, nutrientes e produtos de degradação).

Poços de monitoramento à montante e jusante da pluma de contaminação podem ser monitorados para indicar se os contaminantes migraram para além da barreira de poços de bombeamento. Esses pontos também devem ser monitorados com o intuito de detectar contaminações provindas de outras áreas externas, que poderiam confundir a interpretação do comportamento dos contaminantes.

Aumentos ou diminuições iniciais nas concentrações dos contaminantes em poços individuais não devem refletir diretamente na eficácia do sistema. Modificações nas direções de fluxo causadas pelo bombeamento podem resultar em uma rápida diminuição na concentração de contaminantes em pontos ao longo do perímetro da zona de captura, devido à entrada de água relativamente limpa de áreas adjacentes à pluma e, aumentos nas concentrações em pontos mais próximos dos poços de bombeamento.

O progresso de recuperação do aquífero pode ser avaliado também, comparando-se a taxa de remoção da massa de contaminante com a massa de contaminante total ou dissolvida *in situ*.

O tempo estimado para a recuperação ou para a “limpeza” do aquífero depende da área em estudo e varia de acordo com as condições hidrogeológicas e geoquímicas do aquífero, dos contaminantes e com as concentrações de meta de remediação. Por exemplo, o tempo de recuperação para aquíferos homogêneos contaminados por compostos químicos móveis e dissolvidos deve ser da ordem de alguns anos. Áreas com presença de produto em fase livre (NAPL) ou com contaminantes absorvidos em aquíferos heterogêneos requerem décadas ou até mesmo séculos de operação de “Pump and Treat” para que atinjam os níveis de remediação (USEPA, 1994). Além disso, a duração da recuperação é geralmente difícil de se estimar devido às complicações associadas com a caracterização dos processos limitantes da mesma, os quais são explicados mais adiante.

Para o tratamento da água subterrânea bombeada, algumas tecnologias de tratamento são implantadas de acordo com o tipo de contaminantes presentes no meio. Por exemplo, para compostos orgânicos voláteis, são comumente utilizadas as colunas de “air stripping” (lavador de gases), membranas, oxidação, lodo ativado entre outras; e para compostos inorgânicos, a precipitação alcalina, coagulação, trocas de íons, adsorção, filtração, redução, oxidação, entre outras (USEPA, 1994).

A seleção dos objetivos do sistema “Pump and Treat” depende das condições do meio e dos objetivos da remediação. No entanto, a contenção hidráulica e a recuperação (tratamento) do aquífero podem representar objetivos diferentes. De acordo com os princípios de remediação, é preferível que se alcance uma combinação dos dois objetivos.

Por exemplo, quando a recuperação de um aquífero é impraticável, seja devido às heterogeneidades ou outros fatores adversos, a contenção hidráulica é o primeiro passo a ser desenvolvido. Ademais, se a água de um aquífero contaminado é utilizada através da extração por um poço de bombeamento e a fonte de contaminação não foi identificada, o tratamento das águas do aquífero à montante do poço, ou seja, a uma carga hidráulica superior à do poço de bombeamento, deve permitir a utilização dessas águas, mesmo que o aquífero continue contaminado (USEPA, 1996).

Segundo USEPA (1996), o componente fundamental de qualquer ação de remediação de águas subterrâneas é a remoção ou controle do contaminante, pois a remoção da fonte de contaminantes é a maneira mais eficiente de prevenir futuras contaminações. No entanto, uma ação de remediação de águas subterrâneas requer profundo conhecimento das características dos contaminantes (tipos, extensão de plumas e formas de contaminação) e do meio físico, tais como: caracterização tri-dimensional dos solos superficiais e hidrogeologia, incluindo a distribuição dos tamanhos das partículas, características de absorção e condutividade hidráulica.

O enfoque da remediação através do método "Pump and Treat" é utilizado em aproximadamente 75% dos *sites* nos EUA onde a água subterrânea encontra-se contaminada, ou na maioria dos *sites* onde a limpeza total é requerida pelo *Resource Conservation and Recovery Act* (RCRA) e leis estaduais. No entanto, a eficiência dos sistemas "Pump and Treat" tem entrado em questão nos últimos anos. "A falha geral do enfoque do "Pump and Treat" foi identificada, de acordo com a incapacidade de se realizar através deste método, a recuperação do aquífero em um período de 5 a 10 anos, como previsto nas fases iniciais dos projetos de remediação. Embora uma variedade de fatores contribuíssem para a recuperação do aquífero neste intervalo de tempo, *tailing* e *rebound* representaram a maior barreira para se alcançar os objetivos da remediação" (USEPA, 1996).

Tailing refere-se a uma lenta e progressiva taxa de decréscimo das concentrações de contaminantes dissolvidos na água subterrânea, com uma operação contínua do sistema de bombeamento. Já o *rebound*, refere-se a um rápido aumento nas concentrações de contaminante dissolvidos na água subterrânea, que ocorre com o cessar da operação do sistema de bombeamento.

O grau de complicação do desenvolvimento de uma ação de remediação em um determinado *site*, em relação ao *tailing* e *rebound*, é função das características físico-químicas dos contaminantes a serem tratados, da matriz aquífera, e dos fatores químicos da água subterrânea. Os fatores e processos que contribuem com o *tailing* e *rebound*, são: as fases-líquidas-não-aquosas (NAPL), desorção dos contaminantes, precipitação por dissolução, difusão na matriz e variação da velocidade da água subterrânea.

O fenômeno de *tailing* apresenta duas principais dificuldades para a recuperação do aquífero: longo período de tratamento e concentrações residuais acima dos padrões de qualidade de águas subterrâneas. Já a grande dificuldade do fenômeno de *rebound* é quando o sistema "Pump and Treat" atende aos padrões de qualidade e, ao cessar, o sistema de bombeamento, as concentrações subseqüentemente aumentam para valores excedentes a esses padrões de qualidade (USEPA, 1996).

A Figura 2 mostra a relação entre as concentrações de certo contaminante e a duração do bombeamento, assim como os efeitos do *tailing* e *rebound*.

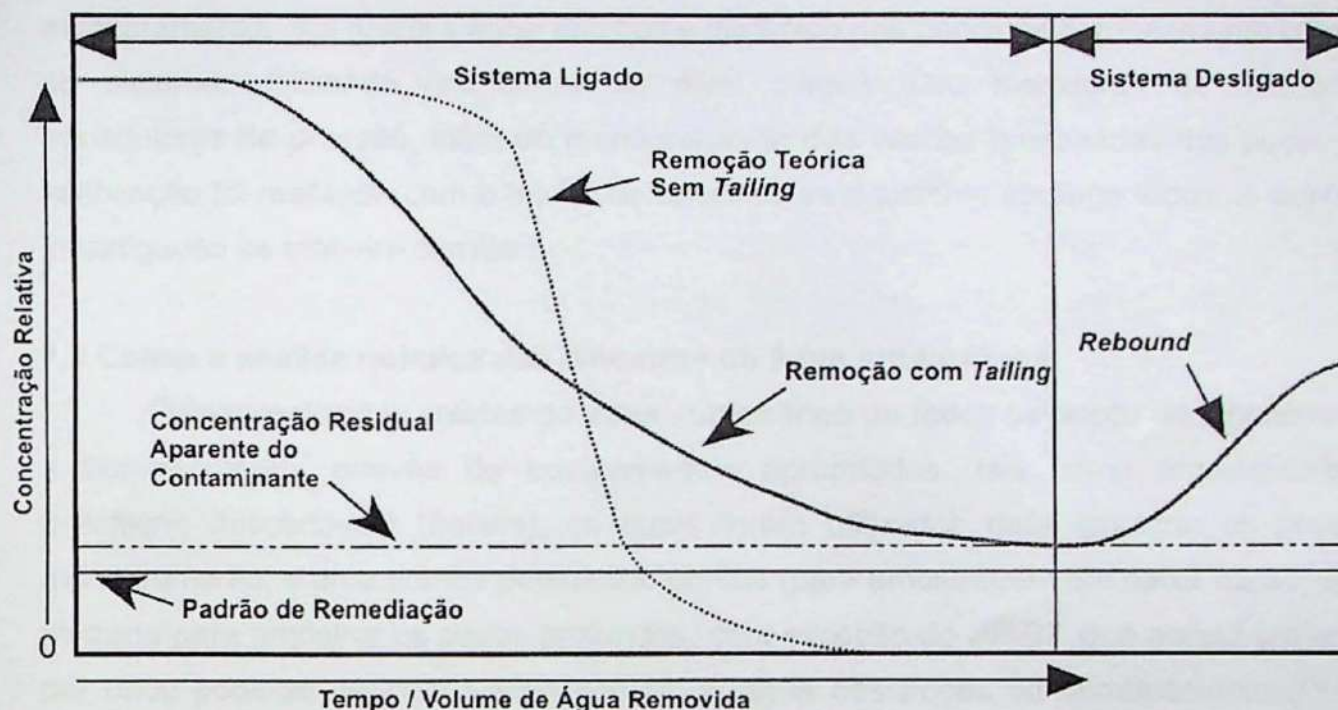


Figura 2. Concentração versus duração ou volume de bombeamento, mostrando os efeitos de *tailing* e *rebound* (USEPA, 1994).

7. MATERIAIS E MÉTODOS

7.1 Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica consistiu na consulta de dados e informações relacionadas ao tema em questão, disponíveis na literatura. A pesquisa foi realizada em bibliotecas, com ênfase em livros, manuais e nos trabalhos já desenvolvidos pela ERM Brasil Ltda (ERM, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003 e ERM, 2004).

7.2 Descrição da área de estudo, dos trabalhos já realizados e do sistema de remediação

Nesta seção são descritas as características geológicas (de acordo com as descrições das litologias obtidas nas perfurações para construção dos poços e das amostragens de solo), geomorfológicas e hidrogeológicas da área em estudo, e dos trabalhos realizados anteriormente, tais como a definição das metas de remediação e

ensaios de vazão. Estes trabalhos possibilitaram gerar conclusões e decisões importantes para a implantação do sistema, assim como o funcionamento desse sistema de remediação em operação. O número de poços de bombeamento e de monitoramento utilizados, a vazão de bombeamento dos poços, a tecnologia de tratamento da água subterrânea, os tipos de contaminantes e seus principais compostos também são aqui descritos.

7.3 Monitoramento da hidráulica e bombeamento dos poços

Esta etapa objetivou a verificação da eficiência hidráulica dos poços de bombeamento através de medições periódicas dos níveis d'água dos poços de monitoramento, dos níveis d'água estático e dinâmico dos poços de bombeamento utilizados no sistema, utilizando medidores de nível d'água e/ou medidores de interface, e transdutores de pressão, além do monitoramento das vazões bombeadas dos poços. Esta verificação foi realizada com o intuito de observar se o sistema abrange todos os pontos de investigação de maneira correta.

7.4 Coleta e análise química das amostras de água subterrânea

Foram realizadas coletas de água subterrânea de todos os poços de monitoramento e bombeamento, através de equipamentos apropriados, tais como amostradores de polietileno descartáveis (*bailers*), os quais foram utilizados para amostrar os poços de monitoramento, e uma bomba peristáltica portátil (para amostragem em baixa vazão) que foi utilizada para amostrar os poços profundos, com exceção do PP-02, que possui um registro por onde pode-se realizar a amostragem. A água dos poços de bombeamento (PBs) foi amostrada diretamente de seus registros.

Para as amostragens realizadas com *bailers*, cada poço foi purgado em três vezes seu volume de água ou até que se esgotasse, esperando-se uma recuperação de no mínimo 70% para que fosse realizada a amostragem. Já na amostragem em baixa vazão, purgou-se os poços a uma vazão máxima de 250 mL/min até que os parâmetros medidos com uma célula de fluxo (pH, temperatura, condutividade elétrica, Eh, oxigênio dissolvido e turbidez) se apresentassem estáveis em pelo menos três medições consecutivas.

Os equipamentos não descartáveis foram devidamente descontaminados entre as sucessivas coletas, com enxágüe em água potável, água deionizada/destilada e detergente neutro.

As análises químicas foram realizadas para os seguintes compostos de interesse: Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) incluindo, os compostos relacionados aos etenos clorados. As amostras foram transferidas dos amostradores para frascos apropriados de vidro com volume de 40 mL cada, identificadas e acondicionadas em caixas térmicas com gelo e enviadas para o laboratório. Os pontos de amostragem de água subterrânea foram os poços de monitoramento e de bombeamento do sistema de remediação.

7.5 Interpretação dos dados existentes

Aqui procurou-se interpretar os resultados de monitoramentos da hidráulica dos poços de bombeamento, e dos resultados das análises químicas da água provenientes de campanhas de amostragem realizadas anteriormente e durante o projeto em questão. A interpretação dos resultados analíticos foi baseada na comparação entre o comportamento das concentrações dos contaminantes dissolvidos na água subterrânea, anteriormente e posteriormente a implantação do sistema "Pump and Treat".

Em relação a todos esses dados foram geradas tabelas e gráficos de compilação de valores de nível d'água dos poços e concentrações detectadas em análises químicas da água subterrânea, tabelas com as vazões e volumes bombeados dos poços. Foram realizados também cálculos das vazões naturais do aquífero, cálculos do tempo necessário para se renovar a água subterrânea do aquífero e, cálculos de massa inicial e removida de contaminantes dissolvidos na água subterrânea e adsorvidos no solo, além de mapas potenciométricos e mapas de isoconcentração dos contaminantes ao longo do tempo.

A partir da interpretação dos dados coletados anteriormente e durante este projeto, foi possível caracterizar a eficiência do método de remediação em estudo em relação à contenção hidráulica e à qualidade da água subterrânea.

8. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A conclusão deste trabalho auxiliou na verificação da eficiência do método de remediação quanto à contenção hidráulica e à capacidade de remoção da massa contaminante do aquífero.

O projeto inicial deste trabalho contava com o estudo de duas áreas as quais utilizam o método "Pump and Treat" para remediação de águas subterrâneas contaminadas, portanto devido a um contrato de confidencialidade entre a ERM e seus clientes, um destes dois projetos que seriam estudados para a realização deste trabalho não pôde ser utilizado. Entretanto, ressalta-se que o projeto avaliado para o presente Trabalho de Formatura contém dados suficientes para a sua realização, permitindo, portanto, atingir os objetivos propostos.

Em trabalhos de campo anteriores a este projeto foram coletados dados de nível d'água dos poços de monitoramento e de bombeamento utilizados nos sistemas de remediação, coletas e análises químicas das amostras de água subterrânea para a área em estudo. Em relação ao cronograma proposto, todas as atividades descritas foram realizadas.

9. RESULTADOS

9.1. Descrição da Área e Informações Preliminares

Atualmente a propriedade apresenta uma área total de aproximadamente 144.000 m² e é composta de duas áreas contíguas, destinadas à fabricação de componentes automotivos, dos quais 12.000 m² correspondem à área construída da Unidade I e 13.500 m² corresponde à área construída da Unidade II.

As obras das instalações da Unidade I iniciaram-se em 1980 e no ano de 1981 as operações da mesma foram iniciadas. A Unidade II foi construída na porção leste do terreno no ano de 1985, e no mesmo ano iniciaram-se as operações.

A propriedade possui como vizinhos: ao norte, o rio Atibaia; ao sul, uma faixa de domínio do Departamento de Estradas de Rodagem (DER) e uma rodovia; a oeste, uma rodovia e a leste, uma propriedade rural.

A topografia da área da propriedade é relativamente plana, decorrente do trabalho de terraplanagem executado para implantação das unidades, com um declive de aproximadamente 0,5% em direção ao limite Norte da propriedade (rio Atibaia).

De acordo com o Decreto Estadual 8468 (09/08/76), o trecho do rio onde está inserida a indústria é classificado como pertencente à Classe 2, cujas águas destinam-se ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, à criação natural e/ou intensiva (agricultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

A área em estudo foi caracterizada de maneira a propiciar o entendimento das características hidrogeológicas e da situação da contaminação presente na área da indústria. As áreas consideradas foram a fábrica e o rio em seu trecho adjacente ao limite Norte da unidade da indústria. A Prancha 1 (Anexo 1) apresenta o *layout* da área.

9.1.1 Áreas de Potencial Contaminação (APCs)

Para a avaliação das áreas fontes potenciais de contaminação do solo e da água subterrânea na área ocupada pela indústria, levaram-se em consideração o histórico da fábrica e a situação atual das suas instalações.

Em junho de 1989, ocorreu um acidente com rompimento de uma coluna de destilação de solventes na Unidade I, e conseqüente vazamento para o solo. Esta coluna de destilação tinha um volume total de 6.000 litros, onde o solvente manipulado era o tricloroeteno (TCE). Após o acidente a unidade de destilação e recuperação de solventes foi desativada.

Em dezembro do mesmo ano, foi expedida uma nova licença de instalação na Unidade II, a qual utilizava os solventes, 1,1,1-tricloroetano (1,1,1-TCA) e tetracloroeteno (ou percloroetileno - PCE) para desengraxe, onde também o piso era lavado rotineiramente com

querosene até o ano de 1990, e a água de lavagem do piso era coletada em canaletas e destinada a um tanque onde se reunia os efluentes gerados.

Durante as obras para construção de um novo galpão na Unidade II, uma tubulação que interligava a área de produção a um tanque de recepção de efluentes foi danificada, provocando infiltração para o solo. Este tanque se localizava ao lado do pátio de sucatas e tinha capacidade para aproximadamente 4.000 litros. Esta linha foi imediatamente reparada e, em 1991, quando se iniciou a construção e a operação da E.T.E., interrompeu-se o encaminhamento dos efluentes para o tanque de recepção, o qual foi aterrado junto com a tubulação em 1993. Este tanque foi considerado uma fonte potencial de contaminação devido a possibilidade da existência de vazamentos.

O efluente caracterizava-se por conter basicamente água de lavagem e óleos lubrificantes, querosene emulsionado, cloretos, fluoretos, alumínio, ferro e manganês.

Baseado no que foi encontrado, um total de duas áreas de potencial contaminação (APCs) foram identificadas. A Tabela 9.1.1.1 abaixo, apresenta as APCs.

Tabela 9.1.1.1. Áreas de Potencial Contaminação

APC	Descrição	Potencial Contaminante
APC 1	Unidade I	TCE
APC 2	Unidade II	PCE

A Prancha 1 (Anexo 1) apresenta a localização das APCs e das potenciais áreas fontes da contaminação.

O termo APC é utilizado anteriormente a qualquer investigação da área. Uma vez confirmada a contaminação, a área deixa de ser uma APC e ganha *status* de AC (área contaminada), como é o caso das duas áreas identificadas.

9.1.2 Geologia e Hidrogeologia

9.1.2.1 Geologia Regional

Regionalmente, a propriedade em questão situa-se na borda oeste do Complexo Socorro. Este complexo corresponde essencialmente a um conjunto granítico-migmatítico, isto é, uma parte é composta por rochas essencialmente metamórficas (Complexo Metamórfico Socorro), que são migmatitos, gnaisses e granulitos, e outra parte é composta por um conjunto muito variado de rochas graníticas (Complexo Granítico Socorro) (ERM, 2002). Ver Prancha 2 (Anexo 1).

No extremo sudoeste inicia-se uma gradual descaracterização do maciço granítico porfiroblástico (inequigranular, com pórfiros), com o surgimento de termos gnaissicos finos e grosseiros, bandados e dobrados.

Estruturalmente, o maciço porfiroblástico de Socorro (Complexo Socorro) mostra-se bastante homogêneo, com a presença de pequenas estruturas, como a foliação gnáissica e os sistemas de juntas.

Os sistemas de juntas encontram-se distribuídos por todo o maciço, bem representados segundo as direções N30°E e N80°W, sendo que as primeiras apresentam nítida correspondência fotogeológica, com traçados de até 20 km, indo além do âmbito dos granitos porfiroblásticos. Há também um sistema de juntas de direção preferencial N45°W.

Os depósitos sedimentares terciários são relacionados às coberturas cenozóicas indiferenciadas correlatas à Formação São Paulo, as quais são sedimentos pouco consolidados incluindo argilas, siltes e arenitos finos argilosos com raros e pequenos níveis de cascalho. Já os sedimentos quaternários são predominantemente relacionados aos depósitos aluvionares, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraços, podendo ocorrer eventualmente sedimentos de depósitos continentais incluindo sedimentos elúvio-coluvionares de natureza areno-argilosa e depósitos de caráter variado associados a encostas.

9.1.2.2 Geologia Local

A área em estudo se localiza junto à planície de inundação de um rio, apresentando aproximadamente de 3 a 10 m de espessura de sedimentos aluvionares quaternários formados por depósitos de areias intercalados com camadas mais argilosas, sobre o manto de intemperismo de rochas graníticas-gnaissicas do Complexo Socorro.

A descrição abaixo é baseada nos perfis de sondagens realizados em trabalhos anteriores. De forma geral, a área da indústria é formada, do topo para a base pelas seguintes unidades:

- (A) Aterro silto-argiloso, localmente com areia fina, plástico, medianamente compacto, úmido, com matéria orgânica, cor bege/marrom avermelhado.
- (B) Areia, fina a média, micácea, friável, úmida, bege.
- (C) Argila silto-arenosa, plástica, compacta, úmida, bege/marrom.
- (D) Areia, média a grossa, com matriz argilosa, com grande presença de cristais milimétricos a centimétricos de quartzo, feldspato e muscovita, friável, úmida, coloração branca-acinzentada.
- (E) Alteração de rocha gnaissica (argilosa). Porções quartzo-feldspáticas (com o feldspato parcialmente alterado para argilo-minerais) intercaladas a horizontes foliados, com muscovita parcialmente alterada. Relativamente compacta, friável, argilosa, úmida, coloração branca/acinzentada/avermelhada/esverdeada.

(F) Alteração de rocha gnaissica (íntegra), com porções quartzo-feldspáticas, com cristais centimétricos, fraturados e pouco alterados, intercaladas a horizontes foliados, com muscovita, compacta, úmida, coloração branca/acinzentada/avermelhada/ esverdeada.

A unidade "A" quando ocorre, pode apresentar até 4 m de espessura, seguida por sedimentos cenozóicos quaternários, compostos pela alternância das unidades "B", "C" e "D". A unidade "B" ocorre somente em algumas porções da área, principalmente na área da Unidade II, podendo ser classificada como lentes arenosas por não ser uma unidade contínua. Já a "C" e a "D" ocorrem ao longo de toda a área com espessuras variando de 0,5 a 5,5 m e 0,5 a 4,0 m respectivamente. A unidade "E" também não ocorre ao longo de toda a área, quando ocorre apresenta espessuras de até 2,5 m, consiste de um saprólito mais argiloso devido à alteração de feldspatos para argilo-minerais. A unidade "F" ocorre em maiores profundidades podendo não ter sido atingida em algumas perfurações. Estas duas últimas unidades apresentam espessuras variando de 10 a 17 m diretamente dispostas sobre o embasamento cristalino granítico-migmatítico.

Seis cortes em seção mostrando a disposição das unidades descritas acima estão apresentados nas Pranchas 3 a 7 (Anexo 1). Destas seis seções, uma é aproximadamente paralela e outra perpendicular ao fluxo da água subterrânea, duas em um detalhe da Unidade I e duas na Unidade II. Estas seções também apresentam a localização dos filtros dos poços de monitoramento e bombeamento em relação às unidades litológicas.

9.1.2.3 Hidrogeologia

Na área de estudo existem dois aquíferos principais: um aquífero livre associado à cobertura de sedimentos e ao manto de alteração de rocha, onde a água subterrânea flui através dos interstícios do solo e da rocha alterada, e um aquífero fraturado, associado à rocha sã, onde o fluxo da água subterrânea ocorre, predominantemente, em fraturas da rocha cristalina e está associada a fluxos regionais. A espessura do aquífero poroso saturado chega a atingir aproximadamente 30 m. O nível estático local oscila entre 0,4 e 11,0 m de profundidade (aquífero livre).

As recargas locais ocorrem nas regiões que não foram afetadas na construção da planta da indústria, ou seja, nas áreas que não estão cobertas por concreto etc.

O rio é a principal zona de descarga do aquífero livre e teoricamente dos fluxos regionais associados ao aquífero fraturado profundo, e apresenta vazão mínima estimada de 3 m³/s, e leito localizado sobre os sedimentos aluvionares e o manto de alteração.

Os ensaios de permeabilidade (*slug tests*) executados na área permitiram calcular os valores de condutividade hidráulica (K) relacionadas as principais unidades lito-estratigráficas saturadas. Foram calculados também, de acordo com os valores dos níveis d'água dos poços de monitoramento e as estimativas de porosidade efetiva das unidades

(USEPA, 1998), os gradientes hidráulicos e estimativas das velocidades reais da água subterrânea. Estes valores estão apresentados abaixo:

- argila silto-arenosa: condutividade hidráulica em torno de $2,21 \times 10^{-6}$ cm/s, porosidade efetiva de 20%, gradientes hidráulicos de 1,4% na Unidade I e 4,7% na Unidade II, e velocidade da água subterrânea de $1,35 \times 10^{-4}$ m/dia;
- areia fina-média: condutividade hidráulica varia entre $1,18 \times 10^{-3}$ e $1,28 \times 10^{-4}$ cm/s; porosidade efetiva de 23%, e os demais parâmetros não foram calculados para esta unidade devido à ausência de poços suficientes, com suas seções filtrantes nesta camada, para calcular-se o gradiente hidráulico;
- areia média-grossa: condutividade hidráulica ao redor de $1,48 \times 10^{-4}$ cm/s ; porosidade efetiva de 25%, gradientes hidráulicos de 0,8% na Unidade I e 1,7% na Unidade II, e velocidade da água subterrânea de $4,25 \times 10^{-3}$ m/dia; e
- alteração: condutividade hidráulica entre $1,18 \times 10^{-3}$ à $3,64 \times 10^{-5}$ cm/s, porosidade efetiva de 30%, gradientes hidráulicos de 1,0% na Unidade I e 5,3% na Unidade II, e velocidade da água subterrânea de $3,53 \times 10^{-2}$ m/dia.

A partir de medições de níveis d'água realizadas em todos os poços de monitoramento existentes na área da indústria (simultaneamente ao funcionamento dos poços de bombeamento do sistema), utilizando-se um medidor de nível d'água, foi possível a confecção de um mapa potenciométrico, o qual mostra claramente o fluxo da água subterrânea do aquífero livre em direção ao rio, Prancha 8 (Anexo 1). A direção deste fluxo também pode ser observada nas seções geológicas A-A' e F-F' (Pranchas 3 e 7, Anexo 1). Pode ser observado também a ocorrência de um fluxo vertical descendente entre o aquífero poroso (livre) e o aquífero fraturado pois a profundidade dos níveis d'água dos poços profundos são maiores (Tabela 20, Anexo2), e também entre as unidades do aquífero poroso onde pode-se observar, por exemplo, os níveis d'água do poço multi-nível ML-04 na seção geológica E-E' (Prancha 6, Anexo 1).

9.1.3 Delimitação das Plumas Iniciais de Contaminação

Com o objetivo de avaliar a extensão das plumas de contaminação identificadas preliminarmente à locação e instalação dos poços de bombeamento do sistema de remediação, a ERM realizou (novembro de 2001) uma campanha de amostragem de água subterrânea abrangendo todos os poços de monitoramento instalados nas áreas investigadas e em mais 29 pontos especialmente selecionados para este fim, utilizando-se o sistema "direct push" da Geoprobe®, num total de 93 amostras, sendo 45 delas amostras de Geoprobe®, 26 de poços de monitoramento (MWs e PMs), 13 de poços multi-níveis (MLs), seis de poços de produção (PPs) e três de cisternas.

A coleta das amostras de água subterrânea dos poços foi feita com amostradores de polietileno descartáveis (*bailers*), com a realização de medidas em campo de parâmetros de

controle tais como pH, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido da água subterrânea, utilizando-se medidores portáteis. As amostras foram enviadas para o laboratório para análises químicas de VOCs. A Prancha 9 (Anexo 1) mostra a localização dos pontos de amostragem. As tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 (Anexo 2) apresentam o resumo dos resultados analíticos obtidos nesta campanha de amostragem.

Dentre todos os contaminantes identificados na água subterrânea, foram selecionados cinco compostos principais, levando-se em conta sua toxicidade e as concentrações observadas, que se encontram acima dos limites estabelecidos pelos principais padrões de qualidade de água subterrânea. São eles: tetracloroeteno (PCE), tricloroeteno (TCE), 1,1-dicloroeteno (1,1-DCE), cis-1,2-dicloroeteno (cis-1,2-DCE) e cloreto de vinila (CV).

Para cada um destes compostos foram confeccionados dois mapas de isoconcentração: um para a profundidade aproximada de 5m e outro para a profundidade aproximada de 10m.

Analisando-se os mapas de isoconcentração (Pranchas 10 a 14, Anexo 1), nota-se a existência de duas plumas de contaminação distintas. A primeira, localizada na área da Unidade I, tem sua origem ligada ao vazamento de tricloroeteno (TCE) da antiga coluna de destilação de solventes. A segunda, localizada na área da Unidade II, foi originada a partir de vazamentos de tetracloroeteno (PCE), cuja localização da fonte não foi precisamente identificada.

De maneira geral, a disposição espacial dos contaminantes é condizente com a direção de fluxo de água subterrânea (no sentido do rio) e com a ordem de degradação dos compostos químicos. Na pluma da Unidade I, a oxidação do tricloroeteno (TCE) dá origem ao dicloroeteno (1,1-DCE e cis-1,2-DCE), que por sua vez dá origem ao cloreto de vinila (CV); na pluma da Unidade II, a oxidação do tetracloroeteno (PCE) dá origem ao tricloroeteno (TCE), que gera o dicloroeteno (1,1-DCE e cis-1,2-DCE) e o cloreto de vinila (CV).

Os compostos tricloroeteno (TCE), cis-1,2-dicloroeteno (cis-1,2-DCE) e cloreto de vinila (CV) apresentam seus picos de concentração na pluma localizada na Unidade I, e o tetracloroeteno (PCE) e o 1,1-dicloroeteno (1,1-DCE), na pluma localizada na Unidade II.

9.1.4 Definição das Metas de Remediação

Os valores de meta de remediação foram propostos de acordo com a análise de risco realizada anteriormente, de forma que os riscos totais resultantes fossem reduzidos para a faixa de valores de *minimis*, ou seja, valores de risco menores que 10^{-6} para compostos carcinogênicos e menores que 1 para compostos não carcinogênicos.

Os seguintes limites de concentração foram propostos como meta de remediação do aquífero freático na Unidade I:

Tabela 9.1.4.1. Metas de Remediação para a Unidade I

	Conc. 2001 (µg/L)	Meta (µg/L)
Tricloroeteno	2837	240,9
Cloreto de Vinila	344	29,2
1,1-Dicloroeteno	39,3	10
Cis-1,2-Dicloroeteno	1645	1000

Destaca-se que as metas de remediação propostas para os compostos tricloroeteno e cloreto de vinila estão baseadas nos cálculos de risco carcinogênico. As metas dos compostos 1,1-dicloroeteno e 1,2-dicloroeteno correspondem, respectivamente, ao limite de intervenção do critério holandês (D.R.F – *Dutch Reference Framework*) e ao limite de descarga de efluentes em corpos d'água superficial estabelecido pela Resolução CONAMA 20.

Na Unidade II, é proposta como meta de remediação para o aquífero freático o limite de concentração de tetracloroeteno estabelecido pela Resolução CONAMA 20, já que não foram definidos riscos acima da faixa de gerenciamento de *minimis* para a área:

Tabela 9.1.4.2. Metas de Remediação para a Unidade II

	Conc. 2001 (µg/L)	Meta (µg/L)
Tetracloroeteno	365,5	50

Com relação à qualidade da água do rio, embora as análises de risco indiquem a não existência de impactos significativos provocados pela contaminação da água subterrânea e a não necessidade de ações especiais para a sua proteção, espera-se que as ações de remediação do aquífero freático impeçam que a massa de contaminantes possa atingir o rio.

9.1.5 Ensaios de Vazão

A instalação dos poços de bombeamento da área seguiu os seguintes critérios em relação às suas localizações: (1) barrar a migração dos contaminantes para o rio e (2) aumentar a capacidade de remoção das plumas de contaminação. Desta forma, alguns poços foram localizados no perímetro a jusante das plumas e próximos às maiores concentrações detectadas. Estes poços foram instalados até o topo do embasamento cristalino, com seção filtrante desde a base até a camada de areia fina a média, quando ocorrente.

Após a instalação dos poços de bombeamento foram realizados ensaios hidráulicos de vazão máxima para determinação das vazões de operação e dos raios de influência mínimos de cada poço.

Para a realização dos ensaios foi utilizada uma bomba pneumática automática modelo *Auto Pump*, AP-3, de captação superior, alimentada por um compressor de ar elétrico compacto. Esta bomba funciona através de um sistema automático, onde a água penetra em seu compartimento interno (de volume conhecido) por diferença de potencial hidráulico e é expelida por um pulso de ar comprimido, que é medido por um contador de ciclos instalado na saída do compressor. A vazão do sistema é então medida pelo número de ciclos corridos por intervalo de tempo.

Para cada poço de bombeamento foram selecionados os poços de entorno a serem usados para o monitoramento do ensaio. Preliminarmente ao teste, medidas do nível estático do aquífero livre foram levantadas em todos os poços de monitoramento e no poço de bombeamento. A bomba foi posicionada de maneira que sua captação estivesse a uma distância aproximada de 2 m do fundo do poço, para minimizar o carreamento de sedimentos. Os ensaios tiveram duração mínima de 5 e máxima de 6 horas e, durante sua realização, foram monitoradas as variações de níveis d'água dos poços vizinhos e o nível dinâmico no poço de bombeamento. As tabelas 6 a 18 (Anexo 2) apresentam o resumo das informações coletadas durante os testes hidráulicos, e a Prancha 15 (Anexo 1) mostra os gráficos os quais ilustram a variação da vazão ao longo do tempo de ensaio.

A vazão média de operação obtida para os poços (calculada a partir das vazões finais observadas em cada teste) foi de 760 L/h (mínimo de 667,91 L/h no poço PB-10 e máximo de 827,17 L/h no poço PB-13). Porém, a longo prazo, espera-se que este valor diminua durante a operação do sistema de remediação, em função da interferência entre os cones de rebaixamento originada pelo bombeamento simultâneo dos poços.

Com base apenas em medições de rebaixamento de níveis d'água em alguns poços de monitoramento vizinhos ao poço em bombeamento, observou-se a existência de raios de influência mínimos variando entre 40 e 74 m, sendo, portanto, elevado o grau de interferência entre os poços de bombeamento, o que garante uma boa eficiência hidráulica para a contenção das plumas de contaminação. E estes valores de raio de influência deverão ser maiores ainda quando os poços entrarem em regime estacionário de operação a longo prazo, ocasionando uma maior interferência entre os cones de rebaixamento.

Devido a este fato, dois dos treze poços instalados (PB-03 e PB-12) foram excluídos do sistema de remediação implementado na área, devido às interferências que foram observadas entre os poços de bombeamento PB-04 e PB-05 e entre os poços PB-11 e PB-13.

A Prancha 16 (Anexo 1) apresenta a localização dos poços de bombeamento.

9.1.6 Descrição do Sistema de Remediação

O sistema de remediação conta com 11 poços de bombeamento, nos quais bombas pneumáticas submersíveis estão instaladas, de maneira que a captação de água das

mesmas esteja localizada à menor distância possível do fundo dos poços. A água bruta é dirigida por um sistema de tubulações até uma unidade central de tratamento, composta basicamente por um tanque de equalização com capacidade para 30 m³, uma bomba hidráulica, um soprador de ar centrífugo radial e um sistema de *air stripper* do tipo *tray tracker* (sistema de bandejas), fabricado em polietileno de alta densidade.

As bombas são acionadas por uma unidade de geração de ar comprimido. Na saída da tubulação de ar comprimido do reservatório está instalada uma válvula solenóide que bloqueia o fornecimento de ar para todas as bombas submersíveis quando o tanque de equalização estiver cheio.

O tanque de equalização recebe a água bruta, a qual é transferida para o topo da coluna de *air stripper*, através da bomba hidráulica, e na base desta coluna, localiza-se a tubulação provinda do soprador, o qual gera um fluxo de ar que passa pelo sistema de bandejas do *air stripper*, com o intuito de tratar a água direcionada ao sistema. Localizam-se também na coluna de *air stripper*, duas torneiras para amostragem da água de entrada e saída do sistema.

Todo o sistema é monitorado na casa de controle, via sensores de vazão e de nível, por um computador com sistema de controle *online* e programa de gerenciamento, de forma a permitir a operação integrada e automática do sistema, ou seja, em perfeita sintonia entre o bombeamento, tratamento e descarte.

O sistema foi dimensionado para tratar a água até concentrações que atendam os padrões de potabilidade estabelecidos pela USEPA, que são mais restritivos que os padrões nacionais, podendo, portanto, a água tratada ser descartada diretamente para o rio. A exaustão de ar do sistema de *air stripper* conta com uma chaminé com ponto de emissão de gases situada a 8 m de altura, por onde a ERM já realizou uma amostragem das emissões gasosas, a qual revelou que os impactos na qualidade do ar são de baixa magnitude, não havendo necessidade de se realizar tratamentos adicionais. A Figura 3 apresenta um perfil do sistema de tratamento de água subterrânea.

Os critérios para o dimensionamento do sistema de tratamento por *air stripping* foram as concentrações médias baseadas nas amostras dos poços de monitoramento e a soma das vazões médias de cada poço de bombeamento, que totalizou 7,9 m³/h. Os compostos considerados para efeito de dimensionamento do sistema foram o tetracloroeteno (PCE), tricloroeteno (TCE), 1,2-dicloroeteno total (1,2-DCE), 1,1-Dicloroeteno (1,1-DCE) e cloreto de vinila (CV), conforme concentrações médias na água dos poços de bombeamento e de entrada no tanque de equalização.

A locação dos poços de bombeamento do sistema de remediação foi determinada a partir da disposição espacial das plumas de contaminação e dos raios de influência estimados para os poços. Foram locados de maneira que os raios de influência

apresentassem interferência entre si, dando cobertura à área das plumas de contaminação e garantindo a eficiência do sistema de bombeamento.

O sistema teve seu início em fevereiro de 2003, porém durante o ano de 2003 este funcionava de maneira intermitente, não ocorrendo um bombeamento contínuo dos poços, devido aos seguintes problemas ocorridos no sistema:

1. Mau funcionamento dos contadores de ciclos das bombas;
2. Problemas técnicos com o compressor de ar, o qual desarmava constantemente;
3. Pouca experiência com as primeiras manutenções, o que acarretava num longo tempo de manutenção;
4. Desgaste das bombas devido ao atrito de sedimentos em suspensão na água subterrânea;
5. Colapso de dois poços de bombeamento e rompimento da seção filtrante de um deles devido à remoção de sedimentos finos da formação por conta do bombeamento, acarretando em uma subsidência local.

Esses problemas foram solucionados e o sistema somente passou a funcionar de maneira ideal em janeiro de 2004.

Os dados de volume de água subterrânea bombeada dos poços, vazão média de cada poço e demais informações estão apresentados na Tabela 19 (Anexo 2).

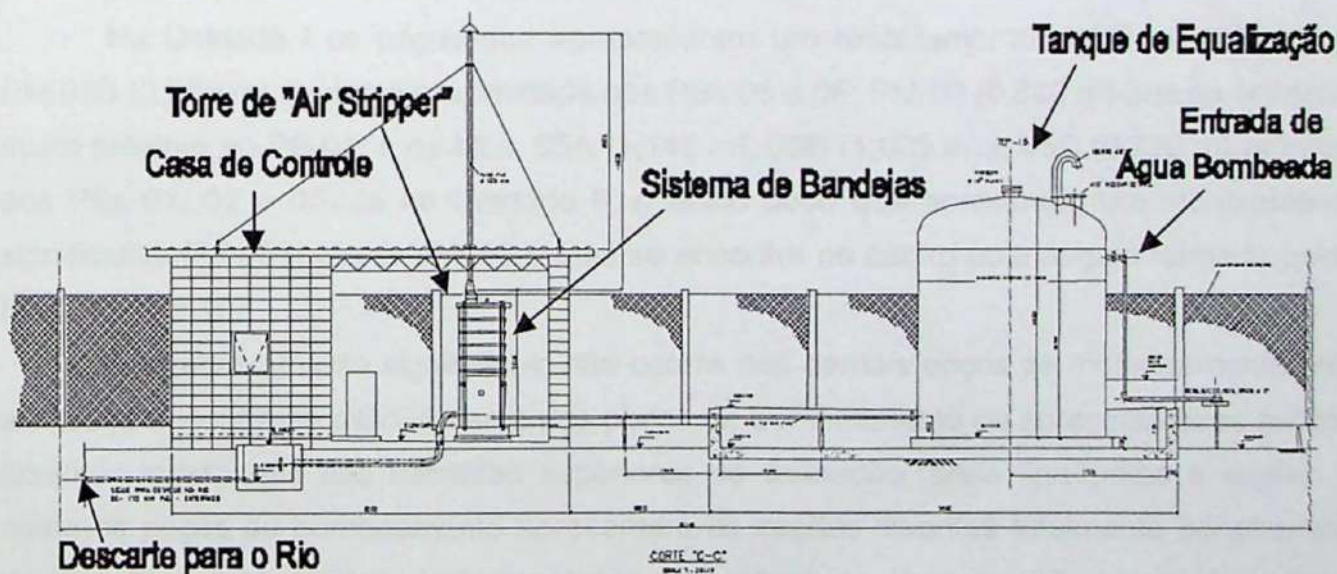


Figura 3. Sistema de Tratamento de Água Subterrânea.

9.2. Avaliação do Sistema de "Pump and Treat"

Para avaliar a eficiência do sistema de "Pump and Treat" foram realizadas atividades em relação à contenção hidráulica e à qualidade da água subterrânea em conjunto com a remoção de contaminantes.

9.2.1 Avaliação da Contenção Hidráulica

9.2.1.1 Monitoramento da Variação dos Níveis d'Água dos Poços

Ao longo dos anos, desde as primeiras atividades conduzidas na área em estudo, medidas das profundidades do nível d'água dos poços de monitoramento existentes foram realizadas com a utilização de um medidor de nível d'água e/ou medidor de interface. A partir dessas medidas e da topografia do terreno, foram calculadas as cargas hidráulicas de cada poço de monitoramento. Não foi possível realizar a medição do nível d'água dos poços de bombeamento do sistema, devido à dificuldade no alcance do medidor ao nível d'água por conta dos equipamentos de bombeamento existentes no poço.

A Tabela 20 (Anexo 2) apresenta a compilação de todos esses dados, onde comparando-se os valores das cargas hidráulicas, pode-se verificar a ocorrência ou não de um rebaixamento significativo do nível d'água dos poços de monitoramento devido ao bombeamento dos poços do sistema de "Pump and Treat". Para uma melhor visualização da variação dos níveis d'água, foram gerados gráficos de carga hidráulica (msnm) *vs.* tempo, dos poços de monitoramento, os quais estão apresentados na Prancha 17 (Anexo 1).

A partir da observação desses gráficos, nota-se que os únicos poços que apresentaram um rebaixamento significativo após o início do bombeamento dos poços do sistema foram alguns poços que se encontram próximos de um ou mais poços de bombeamento e apresentam seções filtrantes localizadas nas camadas inferiores (areia média-grossa (D) até a alteração de rocha (F)).

Na Unidade I os poços que apresentaram um rebaixamento significativo foram: o PM-08B (0,260 m) devido à proximidade dos PBs 05 e 06; PM-09 (0,830 m) que se encontra muito próximo ao PB-01; e os MLs: 05A (1,145 m), 05B (1,025 m) e 05C (0,730 m) próximo aos PBs 01, 02 e 05. Já na Unidade II, o único poço que apresentou um rebaixamento significativo (0,945 m) foi o MW-08 o qual se encontra no centro do triângulo formado pelos PBs 07, 09 e 10.

Um rebaixamento significativo não ocorre nos demais poços de monitoramento pois a maioria encontra-se mais distante dos poços de bombeamento ou apresenta suas seções filtrantes localizadas nas camadas superiores da formação (areia fina-média e argila). E como os poços de bombeamento apresentam as seções filtrantes totalmente penetrantes, de acordo com o Modelo Hidrogeológico Conceitual da Prancha 18, Anexo 1, a água bombeada é quase que em sua totalidade proveniente das camadas inferiores (areia média-grossa e alteração) devido a seus valores de condutividade hidráulica (K) serem bem maiores que os valores das camadas superiores. Outro fator importante é o da recarga natural, que como pode ser observado no mesmo modelo conceitual, onde o tamanho das setas indica a capacidade de fluxo da água subterrânea na vertical e na horizontal, a água proveniente da recarga natural fica armazenada nas camadas superiores, fluindo numa velocidade muito lenta para as camadas inferiores. A capacidade de fluxo horizontal da água

subterrânea nas camadas é maior que a vertical devido à disposição resultante dos grãos durante a deposição dos sedimentos, resultando numa maior comunicação dos poros na horizontal que na vertical. Quanto à contenção da água subterrânea do aquífero, deduz-se que a água que migra verticalmente acaba sendo captada pelos poços de bombeamento nas camadas inferiores.

Observando-se também as tabelas 6 a 18 (Anexo 2), as quais apresentam o resumo das informações coletadas durante os ensaios de vazão dos poços de bombeamento, rebaixamentos significativos devido ao bombeamento de cada poço individualmente ocorreram nos mesmos poços de monitoramento (com exceção do PM-08B), além do ML-01C e ML-04C, os quais apresentam suas seções filtrantes na camada de areia média a grossa, porém estes dois poços não apresentaram rebaixamentos após a estabilização do nível estático com o início do bombeamento do sistema.

Foram avaliados também, os dados obtidos durante aproximadamente quatro meses de bombeamento no ano de 2003. Esses dados foram obtidos a partir da instalação de transdutores de pressão em quatro poços de monitoramento, PM-04, PM-09, ML-5B E ML-5C. Os transdutores de pressão armazenam valores de pressão total ($P_{total} = P_{coluna\ d'água} + P_{ar}$) em um intervalo de tempo desejado (neste caso foi de duas em duas horas). A partir da aquisição destes dados e de uma compensação barométrica, obtém-se valores de carga hidráulica ou simplesmente de profundidade de nível d'água. Os gráficos abaixo apresentam a variação do nível estático do aquífero freático durante o monitoramento realizado entre maio e setembro de 2003, onde pode-se observar que o PM-04 obteve um rebaixamento de até aproximadamente 50 cm, o PM-09 e o ML-5B de até 125 cm e o ML-5C de até 150 cm aproximadamente. As elevações dos níveis d'água observados nos gráficos abaixo ocorreram devido ao funcionamento intermitente do sistema de bombeamento de acordo com os problemas citados no item 9.1.6.

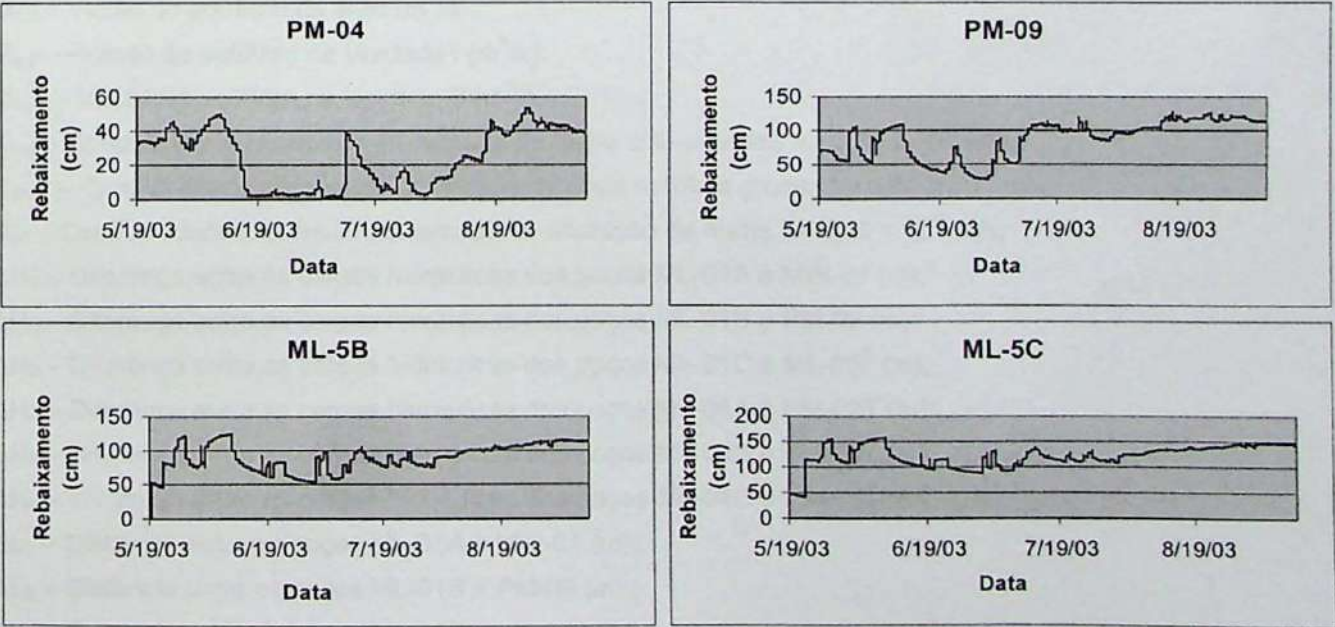


Figura 4. Gráficos do monitoramento dos níveis dos poços.

9.2.1.2 Vazão de Contenção x Vazão de Bombeamento

Para se comparar a vazão de bombeamento do sistema com a vazão necessária para se realizar a contenção do aquífero, os seguintes parâmetros foram calculados:

Vazão total do sistema:

$$Q_{\text{sist}} = \sum Q_{\text{PBs}}$$

onde:

Q_{sist} – Vazão total do sistema de “Pump and Treat”;

Q_{PBs} – Vazão média dos poços de bombeamento

Vazão do aquífero da área:

Para o cálculo da vazão do aquífero da área foi aplicada a lei de Darcy ($Q = K \times I \times A$) em relação à área das duas principais plumas de contaminação da área em estudo (PCE na Unidade II e TCE na Unidade I) para cada camada saturada (Pranchas 3 a 7, Anexo 1).

$$Q_{\text{aqf}} = Q_{\text{aqf I}} + Q_{\text{aqf II}}$$

$$Q_{\text{aqf I}} = \left(K_{\text{arg}} \times \frac{\Delta H_1}{\Delta L_1} \times L_{\text{I}} \times e_1 \right) + \left(K_{\text{areia}} \times \frac{\Delta H_2}{\Delta L_2} \times L_{\text{I}} \times e_2 \right) + \left(K_{\text{alt}} \times \frac{\Delta H_3}{\Delta L_3} \times L_{\text{I}} \times e_3 \right) \times 3600$$

$$Q_{\text{aqf II}} = \left(K_{\text{arg}} \times \frac{\Delta H_4}{\Delta L_4} \times L_{\text{II}} \times e_4 \right) + \left(K_{\text{areia}} \times \frac{\Delta H_5}{\Delta L_5} \times L_{\text{II}} \times e_5 \right) + \left(K_{\text{alt}} \times \frac{\Delta H_6}{\Delta L_6} \times L_{\text{II}} \times e_6 \right) \times 3600$$

onde:

Q_{aqf} – Vazão do aquífero da área (m^3/h);

$Q_{\text{aqf I}}$ – Vazão do aquífero na Unidade I (m^3/h);

$Q_{\text{aqf II}}$ – Vazão do aquífero na Unidade II (m^3/h);

K_{arg} – Condutividade Hidráulica da camada de argila silto-arenosa $\Rightarrow 2,20 \times 10^{-8} \text{ m/s}$;

K_{areia} – Condutividade Hidráulica da camada de areia média a grossa $\Rightarrow 1,50 \times 10^{-6} \text{ m/s}$;

K_{alt} – Condutividade Hidráulica da camada de alteração de rocha $\Rightarrow 1,20 \times 10^{-5} \text{ m/s}$;

ΔH_1 – Diferença entre as cargas hidráulicas dos poços ML-01A e MW-01 (m);

ΔH_2 – Diferença entre as cargas hidráulicas dos poços ML-01B e PM-09 (m);

ΔH_3 – Diferença entre as cargas hidráulicas dos poços ML-01C e ML-05^A (m);

ΔH_4 – Diferença entre as cargas hidráulicas dos poços ML-04A e PM-02T (m);

ΔH_5 – Diferença entre as cargas hidráulicas dos poços ML-04B e PM-04T (m);

ΔH_6 – Diferença entre as cargas hidráulicas dos poços ML-04C e PM-03T (m);

ΔL_1 – Distância entre os poços ML-01A e MW-01 (m);;

ΔL_2 – Distância entre os poços ML-01B e PM-09 (m);;

ΔL_3 – Distância entre os poços ML-01C e ML-05A (m);;

ΔL_4 – Distância entre os poços ML-04A e PM-02T (m);;

ΔL_5 – Distância entre os poços ML-04B e PM-04T (m);;
 ΔL_6 – Distância entre os poços ML-04C e PM-03T (m);;
 L_I – Largura da pluma de TCE => 175 m;
 L_{II} – Largura da pluma de PCE => 137,5 m;
 e_1 – Espessura da camada de argila silto-arenosa na Unidade I => 1,75 m;
 e_2 – Espessura da camada de areia média a grossa na Unidade I => 0,70 m;
 e_3 – Espessura da camada de alteração de rocha na Unidade I => 15,0 m;
 e_4 – Espessura da camada de argila silto-arenosa na Unidade II => 4,00 m;
 e_5 – Espessura da camada de areia média a grossa na Unidade II => 3,00 m;
 e_6 – Espessura da camada de alteração de rocha na Unidade II => 7,00 m.

Como pode-se observar na Tabela 19 (Anexo 2), o valor da vazão total do sistema é de aproximadamente 7,9 m³/h. O valor calculado para a vazão do aquífero na Unidade I e II são 1,16 e 2,23 m³/h respectivamente, sendo portanto 3,39 m³/h o valor de vazão do aquífero da área. Portanto, nota-se que a vazão de bombeamento do sistema é 2,33 vezes maior que a vazão necessária para que haja uma contenção do aquífero da área, podendo-se concluir que de acordo com estes parâmetros a contenção está ocorrendo.

9.2.1.3 Estimativa de Tempo de Renovação da Água Subterrânea

Para auxiliar a avaliação do processo de bombeamento, foi calculada a estimativa do tempo de renovação da água subterrânea do aquífero onde se encontram as duas plumas dos contaminantes de maior interesse, TCE e PCE. Para isso foi calculado o volume de água subterrânea das plumas iniciais (5 e 10m) de TCE na Unidade I e de PCE na Unidade II, de acordo com a seguinte equação:

$$V_{H_2O} = (A_s \times e_s \times n) + (A_i \times e_i \times n)$$

onde:

V_{H_2O} – Volume de água subterrânea das plumas (m³);
 A_s – Área da pluma superior-5 m (m²);
 e_s – Espessura das camadas superiores saturadas (m);
 A_i – Área da pluma inferior-10 m (m²);
 e_i – Espessura das camadas inferiores saturadas (m);
 n – Porosidade total => 48,5% (ERM, 2002).

Obs.: As áreas das plumas foram calculadas no programa AutoCad®

Onde o tempo de renovação da água subterrânea do aquífero:

$$T = \frac{V_{H_2O}}{\sum Q_{PBs}}$$

onde:

T – Tempo de renovação da água subterrânea do aquífero;

V_{H2O} – Volume de água subterrânea das plumas (m^3);

Q_{PBs} – Vazão dos poços de bombeamento localizados no campo das plumas.

Os dados necessários para esses cálculos, assim como os resultados estão apresentados nas Tabelas 21 e 22 (Anexo 2).

Na Unidade I, o tempo de renovação da água subterrânea do aquífero onde se encontram as plumas de TCE é de aproximadamente 56,5 meses de bombeamento, portanto, em 20 meses de bombeamento apenas 35% de água subterrânea do aquífero foi renovada. Já na Unidade II, o tempo de renovação calculado é de 25,7 meses, onde 78 % da água subterrânea do aquífero foi renovado. Porém, vale ressaltar que uma renovação de 100% de água subterrânea do aquífero não indica que a remediação seria finalizada pois existe ainda uma grande parte da massa do contaminante adsorvida na matriz sólida.

9.2.2 Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea

Em janeiro e julho de 2004 foram realizadas duas campanhas de amostragem, para análise de VOCs, da água subterrânea, abrangendo todos os poços de monitoramento, os poços profundos e os poços de bombeamento. Também foi realizado um monitoramento mensal da água subterrânea de entrada e de saída do sistema de “Pump and Treat”, e da água de montante e jusante do rio.

Dos compostos analisados, os de principal importância são aqueles utilizados para o cálculo da meta de remediação (item 9.1.5), os quais são: tetracloroetano (PCE), tricloroetano (TCE), 1,2-dicloroetano total (1,2-DCE), 1,1-Dicloroetano (1,1-DCE) e cloreto de vinila (CV). As tabelas 23 a 27 (Anexo 2) apresentam a compilação dos resultados analíticos obtidos nestas e em campanhas anteriores de amostragem de água subterrânea para cada um destes compostos.

Para cada composto, também foram gerados: gráficos ilustrando concentração *vs.* tempo (Pranchas 19A e 19B, Anexo 1) de alguns poços de monitoramento, poços profundos e poços de bombeamento que apresentaram mudanças significativas nas concentrações detectadas e; mapas de isoconcentração (Prancha 20 a 24, Anexo 1) das plumas dos compostos de interesse relacionados às concentrações detectadas nas campanhas de amostragem de janeiro e julho de 2004 para auxiliar na verificação do comportamento das concentrações dos contaminantes ao longo do tempo.

Analisando todos esses dados, observa-se que houve uma redução nas concentrações dos contaminantes com o bombeamento dos poços do sistema.

Nos mapas de isoconcentração de PCE (Prancha 20, Anexo 1), nota-se que a concentração máxima da pluma passou de 3000 ug/L para 1180 ug/L. Nos gráficos (Prancha 19A, Anexo 1) nota-se também uma redução significativa das concentrações detectadas, com exceção do poço PM-3T, onde o aumento na concentração se deve a um

bombeamento mais eficiente do poço PB-10 e a conseqüente movimentação da pluma, que pode ser observada nos mapas de isoconcentração.

Já os mapas de isoconcentração de TCE (Prancha 21, Anexo1), mostram uma redução muito mais drástica na concentração máxima da pluma, que de 30000 ug/L (Prancha 11, Anexo 1), passou a ser de 3830 ug/L. Os gráficos (Prancha 19A, Anexo 1) dos poços também apresentam essa redução, porém os poços PM-09, ML-5A, ML-5B e ML-5C, entre janeiro e julho de 2004, apresentaram um aumento significativo nas concentrações detectadas, o qual se explica pelo eficiente bombeamento do poço PB-01, conseqüentemente causando a migração do centro da pluma para o poço.

Para o composto cDCE, as concentrações observadas no mapa inicial de isoconcentração de 5 m são bem mais elevadas que no de 10 m (Prancha 12, Anexo 1), pois os contaminantes apresentam um maior tempo de residência nas camadas superiores devido às condutividades hidráulicas dessas serem significativamente menores que das camadas inferiores e, a capacidade de diluição das concentrações dos contaminantes pela água subterrânea ser maior nas camadas inferiores. Porém nos mapas de isoconcentração de cDCE (Prancha 22, Anexo 1) é possível observar a redução da concentração máxima da pluma, passando de 4000 ug/L para 1940 ug/L. Já nos gráficos, os únicos aumentos expressivos nas concentrações detectadas entre janeiro e julho de 2004 ocorrem nos poços ML-5A, ML-5B e ML-5C, devido à migração do centro da pluma na Unidade I em direção ao PB-01, e no poço PB-08, que provavelmente se deve a um bombeamento mais eficiente do PB-01.

O aumento da concentração máxima da pluma de 1,1DCE (Prancha 27, Anexo1), que passou de 37 ug/L no MW-08 (Novembro, 2001), para 313 ug/L no PB-09, provavelmente se deve a uma maior taxa de degradação (atenuação natural) de TCE para 1,1DCE. Porém nos poços de monitoramento essas concentrações mais altas não são detectadas, pois o centro da pluma migrou para as redondezas do PB-09.

O composto CV apresenta o mesmo caso do cDCE nos mapas iniciais de isoconcentração (Prancha 14, Anexo 1), onde as concentrações detectadas são mais elevadas nas camadas superiores, as quais se devem à degradação (atenuação natural) do cDCE. Porém é notável a redução nas concentrações das plumas de CV (Prancha 24, Anexo 1) para no máximo 83 ug/L. Analisando os gráficos, os únicos poços que apresentaram um aumento nas concentrações ente janeiro e julho de 2004 foram o ML-05A e ML-05B, devido à migração do centro da pluma, do PB-05 para o PB-01.

A Tabela 28 (Anexo 2) apresenta as concentrações detectadas da água subterrânea de entrada e saída do sistema de "Pump and Treat", e das águas de montante e jusante do rio. A partir desses dados pode-se observar que o sistema de tratamento é eficiente e que as concentrações detectadas na saída do sistema até março de 2004 estavam abaixo do

limite de intervenção e a partir de abril de 2004 nenhuma concentração é detectada, assim como nas águas do rio.

Apesar da contenção estar ocorrendo, foi calculada a concentração que a água do rio apresentaria caso o núcleo da pluma se localizasse no rio, para cada composto de interesse, de acordo com a seguinte equação:

$$C_{\text{rio}} \times Q_{\text{rio}} = C_{\text{pluma}} \times Q_{\text{aqf}}$$

onde:

C_{rio} – Concentração no rio (ug/L);

Q_{rio} – Vazão do rio (m³/dia);

C_{pluma} – Concentração média da porção central da pluma (ug/L);

Q_{aqf} – Vazão do aquífero (m³/dia).

O cálculo da concentração média da porção central das plumas que apresentam as maiores concentrações de cada composto é apresentado abaixo, e as porções centrais das plumas de PCE (10m), TCE (10m), cDCE (5m), 1,1DCE (10m) e CV (5m) estão apresentadas como um corte X-X' nas Pranchas 10 a 14 (Anexo 1).

$$C_{\text{pluma}} = \frac{\sum_{n=1}^1 C_m \times L}{\sum_{n=1}^1 L}$$

onde:

C_{pluma} – Concentração média da porção central da pluma (ug/L);

C_m – Concentração média entre as isolinhas (ug/L);

L – Distância entre as isolinhas (m);

1 – isolinha de maior concentração;

n - isolinha de menor concentração.

Apesar desta abordagem ser muito conservadora pois o centro da pluma não atingiu o rio, os valores calculados da concentração que o rio apresentaria são:

- Unidade II – PCE (10 m) 0,1677 ug/L;
- Unidade I – TCE (10 m) 0,6321 ug/L;
- Unidade I – cDCE (5 m) 0,2608 ug/L;
- Unidade II – 1,1DCE (10 m) 0,0073 ug/L;
- Unidade I – CV (5 m) 0,0234 ug/L.

Tais valores são muito menores que os limites de detecção dos laboratórios, confirmando, portanto, a altíssima capacidade de diluição das águas do rio, sendo assim desnecessária a amostragem da água do rio a fim de verificar os efeitos da poluição.

9.2.2.1 Remoção de Contaminantes

Para se realizar uma comparação aproximada entre a massa de contaminante inicial (calculada a partir das primeiras plumas modeladas – Pranchas 10 a 14, Anexo 1) e a massa removida durante o período de bombeamento dos poços ao longo de 2003 e 2004, foi calculada a concentração média de cada pluma de contaminação nas diferentes profundidades (5 e 10 m), seus respectivos volumes de água subterrânea e a massa de contaminante em cada pluma onde a soma dessas massas resulta na massa inicial total do contaminante dissolvido na água subterrânea.

Para a Unidade I foi utilizado um valor médio de profundidade de N.A. de 2,50 m, e profundidade do embasamento cristalino de 17,0 m. Já para a Unidade II, profundidade média de N.A. de 4,0 m e profundidade do embasamento cristalino de 16,0 m. Para ambas as unidades os horizontes superiores (plumas de 5 m) e inferiores (10 m) foram separados na profundidade de 7,0 m, e a porosidade total utilizada foi de 48,5% (ERM, 2002). As equações utilizadas foram as seguintes:

Concentração média da pluma

$$C_{\text{pluma}} = \frac{\sum_{n=1}^1 C_m \times A}{A_t}$$

onde:

C_{pluma} – Concentração média da pluma (ug/L);

C_m – Concentração média entre as isolinhas (ug/L);

A – Área da pluma entre as isolinhas (m²);

1 – isolinha de maior concentração;

n – isolinha de menor concentração;

A_t – Área total da pluma (m²).

Obs.: As áreas das plumas foram calculadas no programa AutoCad®

Volume de H₂O

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = (A_t \times e_s \times n)$$

onde:

$V_{\text{H}_2\text{O}}$ – Volume de água subterrânea da pluma (m³);

A_t – Área total da pluma (m²);

e_s – Espessura de camada saturada (m);

n – Porosidade total => 48,5% (ERM. 2002).

Obs.: As áreas das plumas foram calculadas no programa AutoCad®

Massa de contaminante dissolvida da pluma

$$m = V_{H_2O} \times C_{pluma}$$

onde:

m – Massa de contaminante dissolvido da pluma (kg)

V_{H_2O} – Volume de água subterrânea da pluma (m^3);

C_{pluma} – Concentração média da pluma (ug/L);

Os dados dos parâmetros utilizados e os resultados do cálculo de massa inicial estão apresentados nas Tabelas 29 a 33 (Anexo 2).

Já para o cálculo da massa removida, calcula-se a massa de contaminante dissolvido removida por mês, onde a somatória dessas massas resulta na massa removida total. As seguintes equações foram utilizadas:

Massa de contaminante dissolvida removida por mês

$$m = V \times C_{ent} \times 10^{-9}$$

onde:

m – Massa de contaminante removida por mês (kg);

V – Volume de água subterrânea bombeada (L);

C_{ent} – Concentração detectada na entrada do sistema de “Pump and Treat” (ug/L).

Massa total de contaminante dissolvida removida:

$$M = \sum_{out-04}^{mar-03} V \times C_{ent} \times 10^{-9}$$

onde:

M – Massa total de contaminante dissolvido removida (ug/L);

V – Volume de água subterrânea bombeada (L);

C_{ent} – Concentração detectada na entrada do sistema de “Pump and Treat” (ug/L).

As Tabelas 34 e 35 (Anexo 2) apresentam os dados utilizados e os resultados dos cálculos de massa de contaminante removida. Os resultados estão apresentados na coluna de “Qtd. Removida medida (kg)”, os valores da coluna de “Qtd. Remov. Projeto (kg)” seriam as massas removidas se todos os poços do sistema operassem com uma vazão de 800 L/h a partir da concentração média do composto, a “Máx. Qtd. Remov. (kg)” é calculada com a vazão máxima dos poços de bombeamento, também com a concentração média, e a “Média Qtd. Remov. (kg)” é calculada com a concentração média do contaminante e com vazão medida total dos poços de bombeamento.

Foi calculado também, os coeficientes de distribuição (K_d) de cada contaminante, a concentração média adsorvida (c_s) no solo de cada pluma de contaminação para cada composto, os fatores de retardação (R) de cada composto e os valores de massa inicial e atual adsorvida na matriz sólida (m_s). Para o cálculo do coeficiente de distribuição dos contaminantes foram utilizados os seguintes valores de coeficiente de adsorção (K_{oc}), obtidos em USEPA (1998) para os seguintes compostos:

- PCE – 209 L/kg;
- TCE – 126 L/kg;
- CDCE – 49 L/kg;
- 1,1DCE – 150 L/kg;
- CV – 2,5 L/kg.

As seguintes equações utilizadas para o cálculo dos parâmetros descritos acima foram obtidas de Cherry *et al* (1996) e USEPA (1998).

Coeficiente de distribuição dos compostos de interesse

$$K_d = f_{oc} \times K_{oc}$$

onde:

K_d – Coeficiente de distribuição do composto (L/kg);

f_{oc} – Fator de carbono orgânico => 0,004 g_c/g_{solo} (ERM, 2002);

K_{oc} – Coeficiente de adsorção do composto (L/kg);

Fator de retardação dos compostos

$$R = 1 + \frac{p_b}{n} \times K_d$$

onde:

R – Fator de retardação (L/kg);

p_b – Densidade do solo => 1,5 g_{solo}/cm³_{solo} (ERM, 2002);

K_d – Coeficiente de distribuição do composto (L/kg);

n – Porosidade total => 48,5% (ERM. 2002).

Concentração média adsorvida na matriz sólida

$$C_s = K_d \times C_l \times 10^{-3}$$

onde:

C_s – Concentração média adsorvida na matriz sólida (mg/kg);

K_d – Coeficiente de distribuição do composto (L/kg);

C_l – Concentração média dissolvida na água subterrânea (ug/L).

Massa adsorvida na matriz sólida

$$M_s = V \times p_b \times C_s \times 10^{-3}$$

onde:

M_s – Massa de contaminante adsorvida na matriz sólida (kg);

V – Volume de solo saturado (m^3);

p_b – Densidade do solo $\Rightarrow 1,5 \text{ g}_{\text{solo}}/\text{cm}^3_{\text{solo}}$ (ERM,2002);

C_s – Concentração média adsorvida na matriz sólida (mg/kg).

Os valores obtidos de coeficiente de distribuição (K_d) e do fator de retardação (R) para cada composto de interesse estão apresentados na tabela abaixo:

Tabela 9.2.3.1. Valores de Coeficiente de Distribuição e Fator de Retardação.

Composto	K_d (L/kg)	R
PCE	0,836	3,58557
TCE	0,504	2,55876
cDCE	0,196	1,60619
1,1DCE	0,600	2,85567
CV	0,010	1,03093

Os resultados para a comparação entre, a massa inicial dissolvida na água subterrânea e a massa inicial adsorvida na matriz sólida estão apresentados na Tabela 9.2.3.2. A Tabela 9.2.3.3 apresenta a comparação entre, a massa inicial dissolvida na água subterrânea e a massa dissolvida removida calculada (Tabelas 34 e 35, Anexo 2).

Tabela 9.2.3.2. Comparação entre Massa Inicial Dissolvida e Adsorvida.

Composto	Massa de Contaminante Dissolvida Inicial (kg)	Massa de Contaminante Adsorvida Inicial (kg)	Massa de Contaminante Total Inicial (kg)	$M_{\text{diss}}/M_{\text{total}}$ (%)
PCE	18,58	48,05	66,63	27,89
TCE	222,45	346,75	569,21	39,08
cDCE	89,01	53,96	142,97	62,26
1,1DCE	0,38	0,71	1,10	35,02
CV	5,07	0,16	5,22	97,00

Tabela 9.2.3.3. Comparação entre Massa Inicial Dissolvida e Massa Dissolvida Removida.

Composto	Massa de Contaminante Dissolvida Inicial (kg)	Massa de Contaminante Dissolvida Removida (kg)	Porcentagem da Massa de Contaminante Dissolvida Removida (%)	Massa de Contaminante Dissolvida Removida / Massa de Contaminante Total Inicial (%)
PCE	18,58	29,18	157,02	43,79
TCE	222,45	80,51	36,19	14,14
cDCE	89,01	28,28	31,76	19,78
1,1DCE	0,38	1,38	358,68	125,60
CV	5,07	0,74	14,58	14,15
VOCs Totais	335,49	140,08	41,80	42,73

Primeiramente pode-se observar na Tabela 9.2.3.2, que a massa de PCE e TCE que fica dissolvida na água subterrânea é menor que a massa que permanece adsorvida na matriz sólida.

Já na Tabela 9.2.3.3 nota-se um dado estranho nos valores de massa de PCE, onde a massa removida equivale a 157% da massa inicial calculada. Para justificar esses valores, algumas hipóteses podem ser levantadas: (1) a pluma real de PCE pode ser maior que a pluma avaliada inicialmente; (2) o bombeamento dos poços pode mobilizar alguma pluma, com maiores concentrações, que estaria presa ou adsorvida em “armadilhas” (*traps*); (3) erros nos resultados analíticos podem modificar bastante a concentração média das plumas; (4) os 77% de renovação da água subterrânea do aquífero da Unidade II causou a diminuição da concentração de PCE dissolvida e liberado parte da porcentagem de PCE que estava adsorvida no solo.

Para o composto TCE, nota-se que a porcentagem de massa removida é equivalente à porcentagem de renovação do aquífero, assim como para o cDCE.

Já o 1,1DCE, também apresenta o mesmo caso do PCE, onde mais uma hipótese pode ser levantada: a degradação de TCE pode ter ajudado a aumentar a quantidade de 1,1DCE dissolvida na água subterrânea.

O composto CV apresenta uma porcentagem muito baixa de massa removida em relação à sua massa inicial calculada, que talvez possa ser explicada pois as maiores concentrações se encontram nas camadas mais superiores que apresentam menores valores de condutividade hidráulica, e a captação da água subterrânea bombeada é muito mais eficiente nas camadas inferiores.

No total, considerando todos estes valores, 41,8% dos compostos orgânicos voláteis dissolvidos na água subterrânea foram removidos pelo sistema de “Pump and Treat”, em relação ao total de VOCs dissolvidos calculados na situação de $t = 0$.

Analisando os valores obtidos para o TCE, composto de maior interesse (relativo às maiores concentrações, maiores massas calculadas e plumas de maiores extensões), pode-se observar que em 20 meses de operação do sistema, foi removido 36% da massa de

contaminante inicial dissolvida na água subterrânea, onde levando-se em consideração que a remoção e os processos fossem uniformes e/ou homogêneos, uma estimativa de tempo para a remoção apenas dos 100% da massa dissolvida na água subterrânea indica uma duração de aproximadamente 5 anos de bombeamento, já em relação à massa inicial total de TCE, duraria aproximadamente 12 anos. Entretanto vale ressaltar que o processo de desorção de massa de contaminante presente na matriz sólida não é uniforme, além de ser um processo muito mais lento com o sistema de bombeamento em funcionamento, sendo portanto, essa estimativa muito conservadora, indicando apenas um espaço de tempo mínimo para operação do sistema.

10. CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho permitiu chegar à conclusão de que é possível notar uma leve convergência das linhas de fluxo em direção a alguns poços de bombeamento do sistema no mapa potenciométrico (Prancha 8, Anexo 1), apesar da interferência esperada no nível d'água da maioria dos poços de monitoramento (com o bombeamento dos poços do sistema) não ter sido observada, devido à localização de suas seções filtrantes. Esta convergência seria melhor observada se fossem obtidos dados de nível d'água dos poços de bombeamento. Comparando a vazão total do sistema de "Pump and Treat" com a vazão natural do aquífero nota-se que esta é aproximadamente duas vezes menor que a do sistema, podendo-se concluir que a contenção hidráulica está realmente ocorrendo.

Outros dois fatores que contribuem para a avaliação da contenção hidráulica são: a redução da concentração dos compostos de interesse após o início do funcionamento do sistema, e a migração do centro das plumas de contaminação para alguns poços de bombeamento.

Quanto à recuperação do aquífero (qualidade da água subterrânea) foi observado uma redução expressiva nas concentrações de alguns dos compostos dissolvidos na água subterrânea, conforme mencionado no item 6. Este comportamento é esperado no início de um projeto de remediação, entretanto, as concentrações dos compostos detectadas na entrada do sistema apresentaram uma redução significativa apenas para o composto TCE, já para os demais compostos as reduções não são significativas. Este fato pode ser explicado pelo pequeno espaço de tempo de funcionamento do sistema, de acordo com o item 6, onde é mencionado que o tempo mínimo para a notar uma expressiva diminuição das concentrações em relação à situação original por "Pump and Treat" seria de 5 a 10 anos.

Portanto, não foi possível realizar a verificação completa do fenômeno de *tailing* que ocorre com as concentrações dos contaminantes ao longo do tempo, o que dificulta calcular

uma estimativa do tempo de duração da recuperação para se atingir as metas de remediação da área impactada.

Ao se comparar a massa inicial de contaminante calculada com a massa total removida, levando em consideração as hipóteses levantadas em relação às massas removidas de PCE e 1,1DCE terem sido maior que a massa inicial calculada, pode-se dizer que boa parte da massa de contaminante foi removida, porém vale ressaltar que a fração de contaminante que fica dissolvida na água subterrânea é menor que a fração adsorvida no solo, sedimento ou rocha. Este fato certamente causará o fenômeno de *tailing*, porém vale ressaltar que à medida que as concentrações dissolvidas são reduzidas com o bombeamento da água subterrânea, uma pequena fração do que está adsorvido vai sendo liberada para a água subterrânea por difusão. Além disso, com o cessar do bombeamento dos poços esta fração adsorvida que é liberada passa a ser bem maior, aumentando significativamente as concentrações (*rebound*).

Quanto ao tratamento da água subterrânea bombeada, pode-se concluir que o sistema está dimensionado apropriadamente, pois nenhuma concentração foi detectada nas campanhas de amostragem da saída do sistema.

Conclui-se, portanto, que o sistema em questão é eficiente quando se trata de contenção hidráulica, entretanto como remediação não, pois foi observado que as concentrações metas dos compostos de interesse estão longe de serem atingidas, de acordo com a figura 1 do item 6, que ilustra o comportamento das concentrações (*tailing*) durante o bombeamento dos poços do sistema de "Pump and Treat".

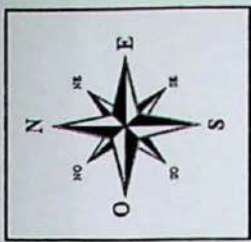
No momento, para auxiliar no processo de remediação da área, a implementabilidade de um sistema complementar de biorremediação está sendo avaliada através de testes piloto, para ser implantado juntamente com o atual sistema de "Pump and Treat" com o intuito de acelerar o processo de redução das concentrações dos contaminantes e conseqüente remediação do aquífero.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CETESB 1999. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. Projeto CETESB – GTZ. São Paulo, SP.
- Cherry, J.A., Pankow, J.F., 1996. Dense Chlorinated Solvents and other DNAPLs in Groundwater: History, Behavior and Remediation. Waterloo Press. Portland, Oregon, USA. 522p.
- ERM 1998. Supplemental Site Characterization and Recomendations. Ref. WO299/97.01. São Paulo, SP. 40p.
- ERM 1999. Avaliação e Diagnóstico Ambiental, Estudo de Análise de Risco e Projeto de Remediação. Ref. WO299/98.02. São Paulo, SP. 68p.
- ERM 2000. Plano de Recuperação da Área Impactada. Ref. WOA044/00.01. São Paulo, SP. Vol. I e II, 122p.
- ERM 2002. Revisão do projeto de remediação e da análise de risco à saúde humana. Ref. WOA292/02. São Paulo, SP. 71p.
- ERM 2003. Campanha de Monitoramento de Água Subterrânea. Ref. WOA5025/03.01. São Paulo, SP. 30p.
- ERM 2003. Delineamento das Áreas-Fonte de Contaminação e Estudo de Alternativas de Remediação Complementares. Ref. WOA5025/03.01. São Paulo, SP. 28p.
- ERM 2004. Monitoramento de Água Subterrânea, Sistema de Air Stripping e Água Superficial, Janeiro de 2004. Ref. WOA5110/03.01. São Paulo, SP. 25p.
- ERM 2004. Monitoramento de Água Subterrânea, Sistema de Air Stripping e Água Superficial, Julho de 2004. Ref. WOA5110/04.01. São Paulo, SP. 30p.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) 1994. Methods for monitoring pump-and-Treat performance. EPA/600/r-94/123. Office of Research and Development, Washington, DC. 102p.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) 1996. Pump-and-Treat ground water remediation. A guide for decision makers and practitioners. EPA/625/R-95/005. Office of Research and Development, Washington, DC. 71p.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) 1998. Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground Water. EPA 600-R-98-128. Office of Research and Development, Washington, DC. 248p.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) 2001. A citizen's guide to Pump and Treat. EPA 542-F-01-025. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC.

ANEXO 1

PRANCHAS



FONTE: MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981), ESCALA 1:500000.

LEGENDA:



SEDIMENTOS CONTINENTAIS INDIFERENCIADOS



COBERTURA INDIFERENCIADA CORRELATA À FM. SÃO PAULO, ARENITOS ARGILOSOS, COM NÍVEIS DE ARGILITOS E ARENITOS CONGLOMERÁTICOS



QUARTZITOS FEDSPÁTICOS, MICÁCEOS E GRANATÍFEROS



CHARNOOQUITOS EM CORPOS INDIVIDUALIZADOS



GRANULITOS LOCALMENTE MIGMATIZADOS



SUITES GRANÍTICAS SINTECTÔNICAS (FÁCIES CANTAREIRA)



SUITES GRANÍTICAS INDIFERENCIADAS



MUNICÍPIOS



RODOVIAS



FALHAS



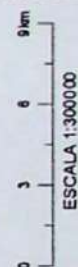
DRENAGEM

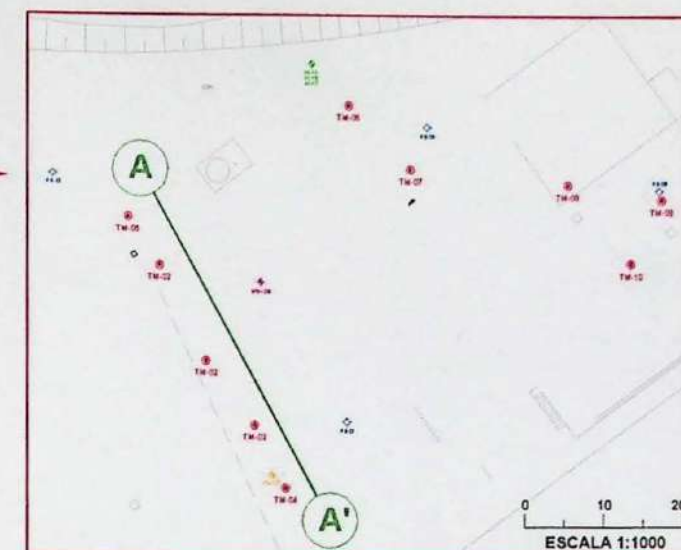
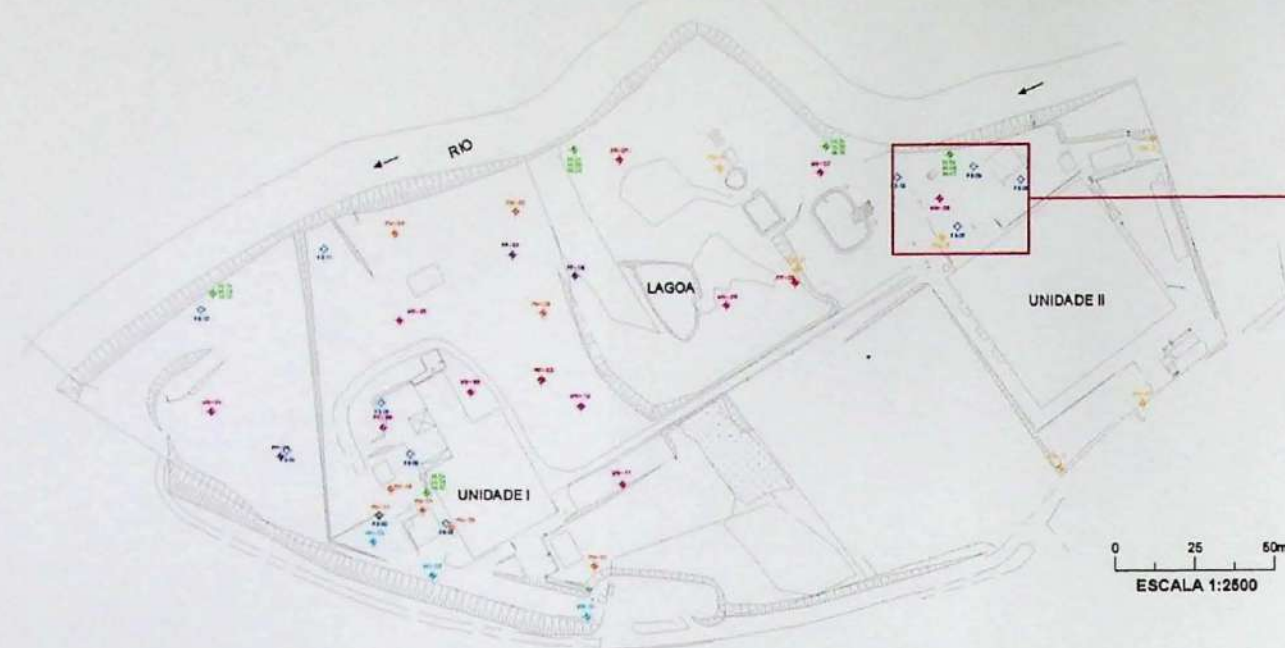
Mapa Geológico

Prancha
02

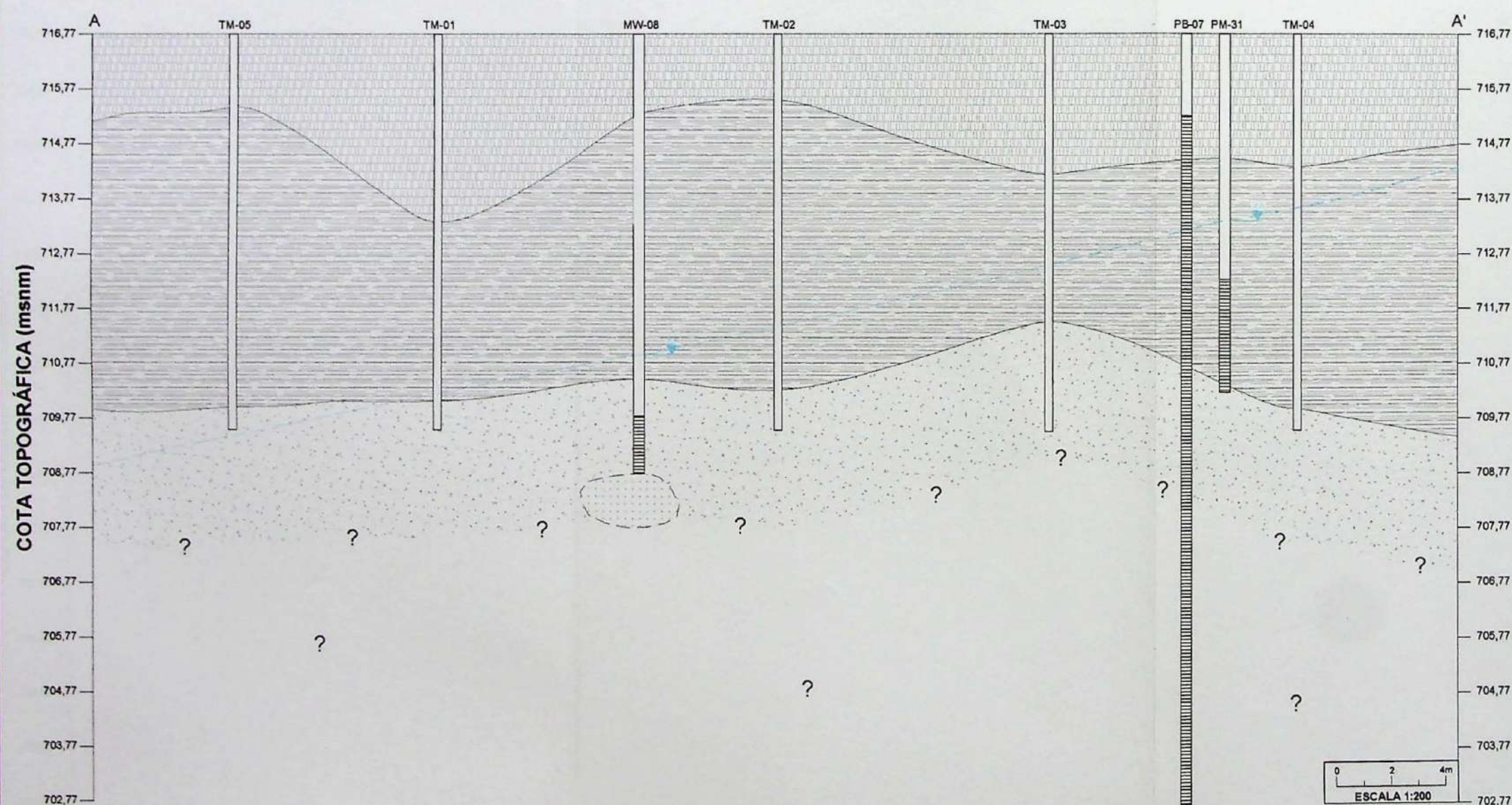
TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

USP





SEÇÃO A - A'



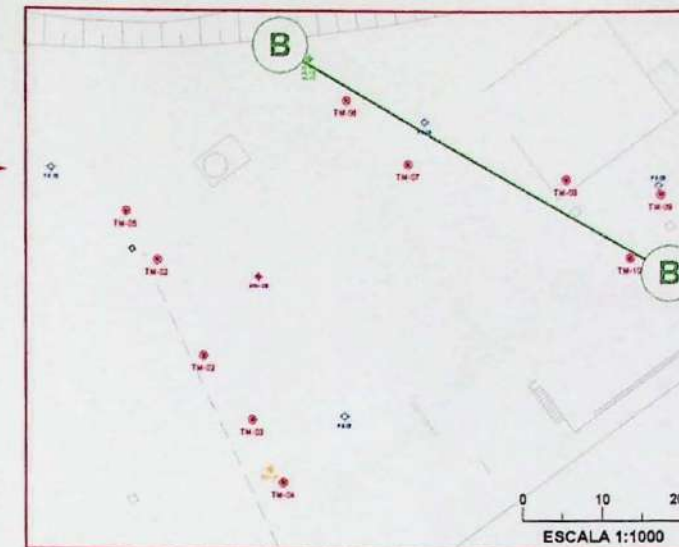
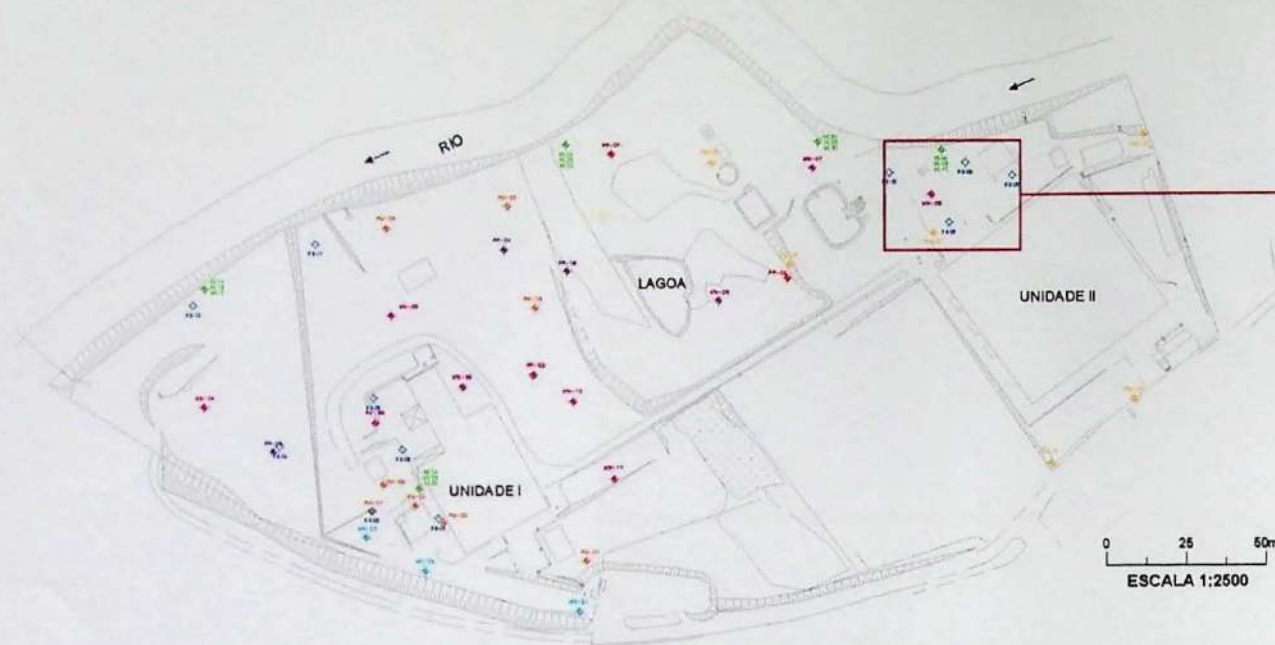
LEGENDA:

- (A) Aterro silto-argiloso, localmente com areia fina, plástico, medianamente compacto, úmido, com matéria orgânica, cor bege/marrom avermelhado
- (C) Argila silto-arenosa, plástica, compacta, úmida, bege/marrom
- (D) Areia, média a grossa, matriz argilosa, com grande presença de cristais milimétricos a centimétricos de quartzo, feldspato e muscovita, friável, úmido, coloração branca-acinzentada
- Granito-Gnaiss
- Contato
- Contato inferido

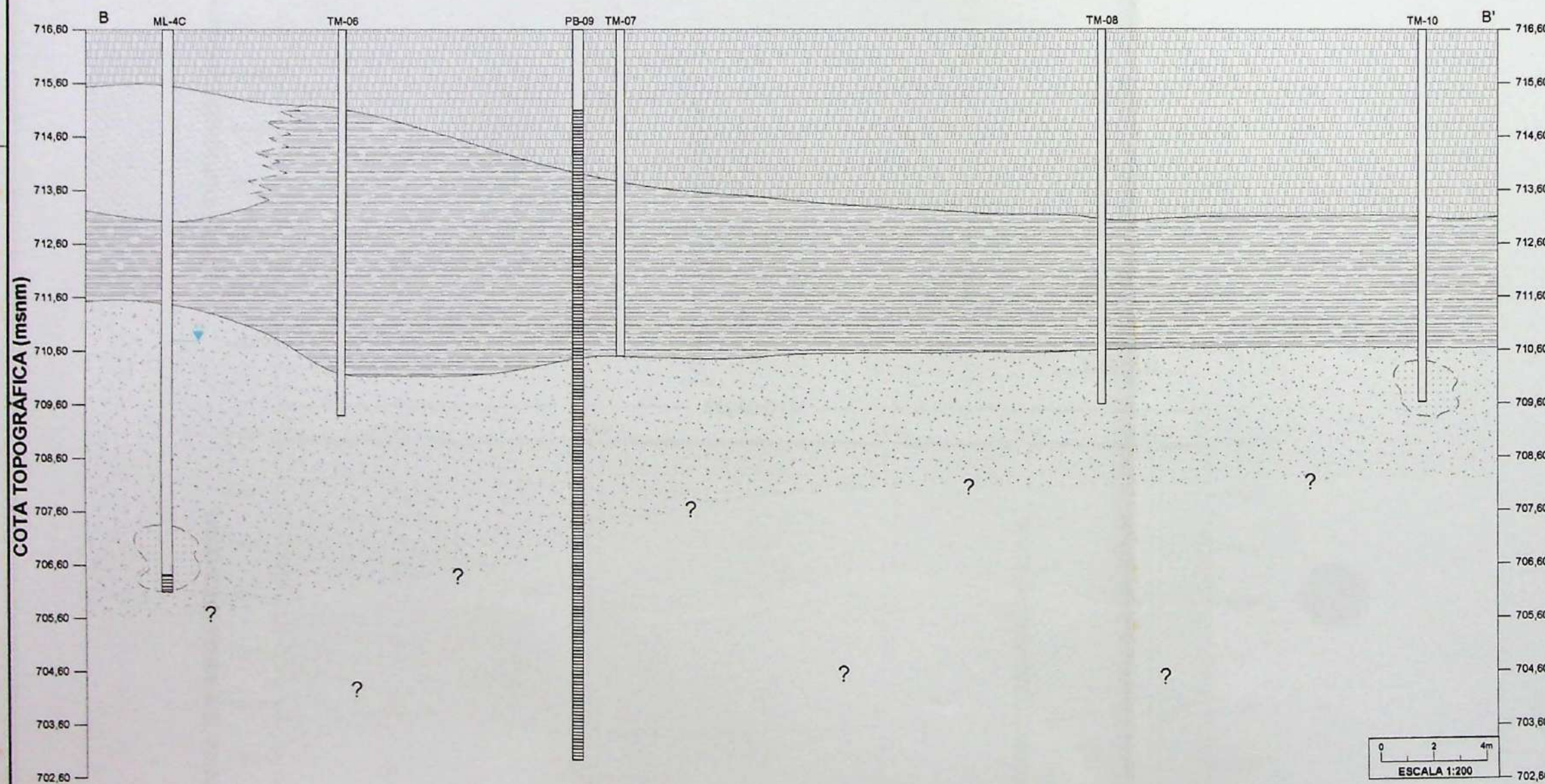
Seção Geológica A - A'

Prancha
03TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

USP



SEÇÃO B - B'



LEGENDA:

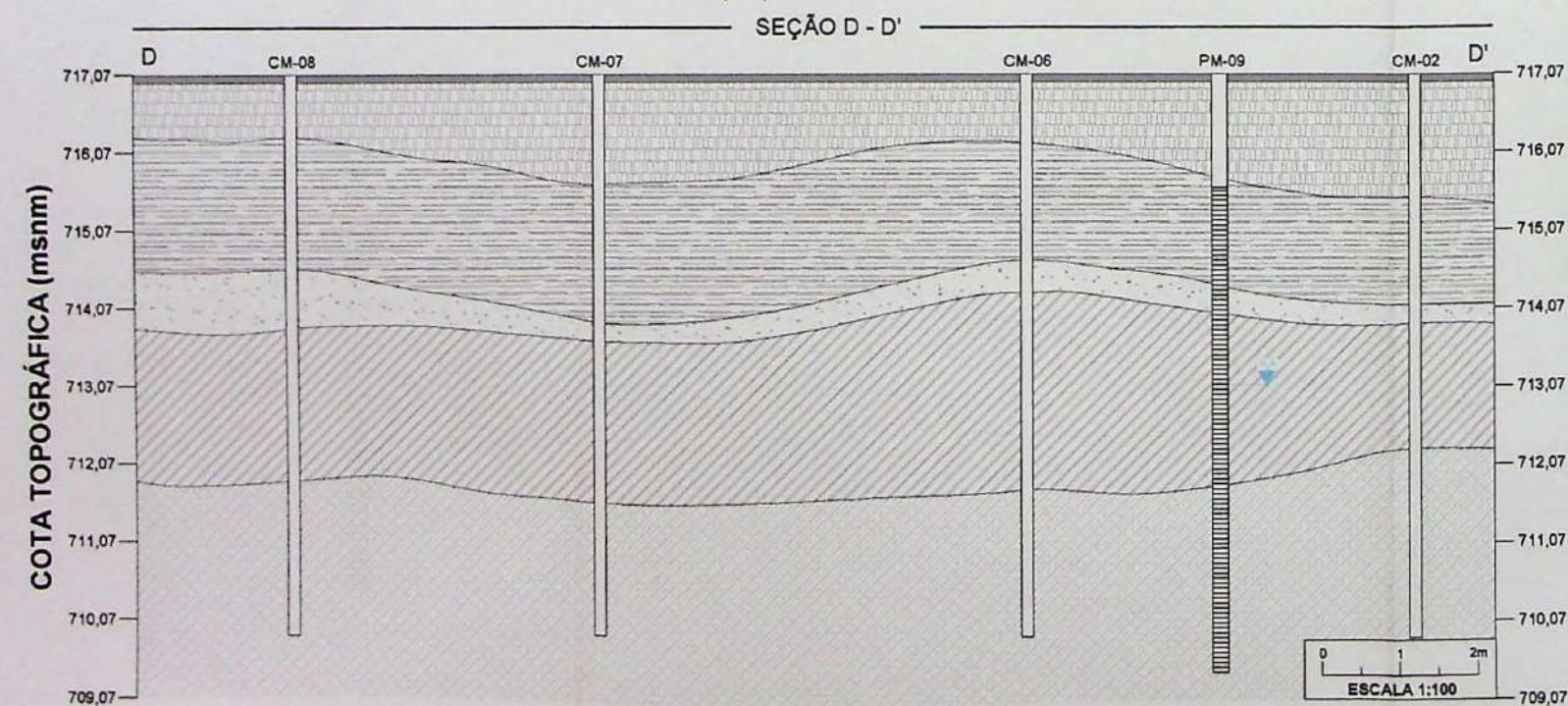
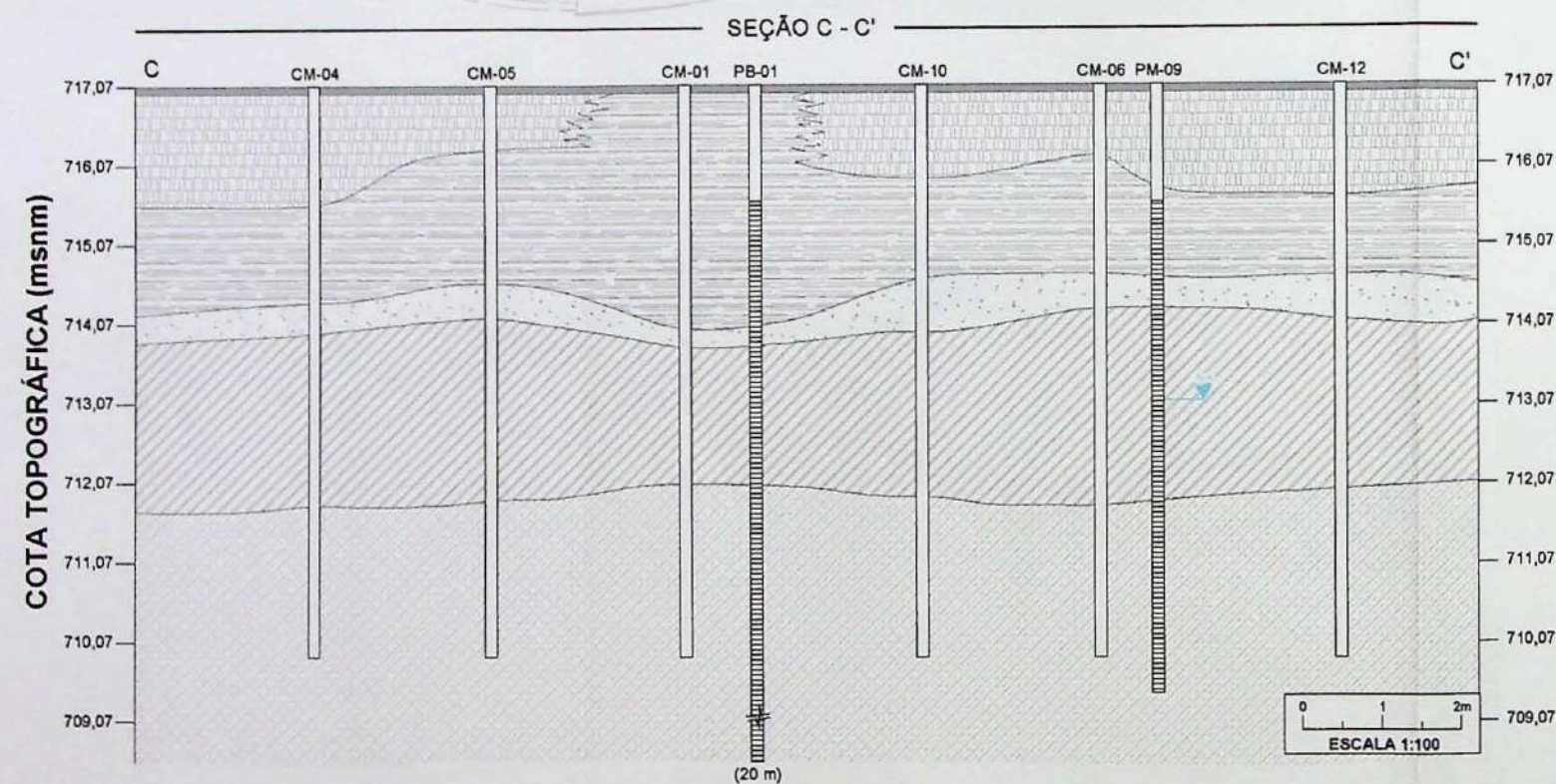
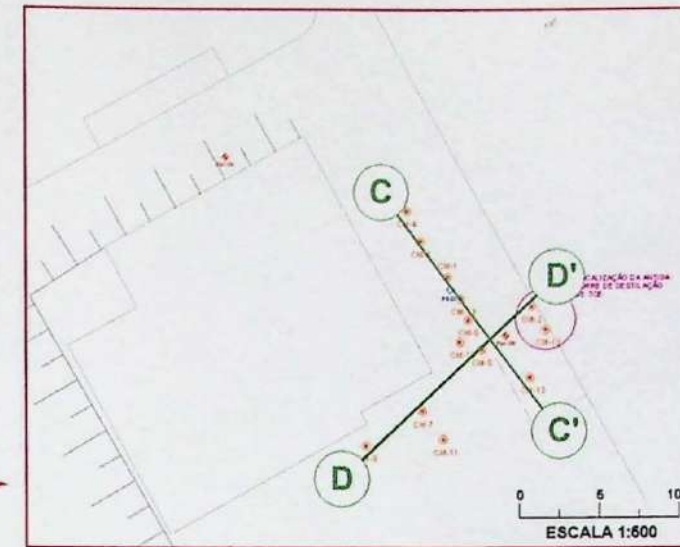
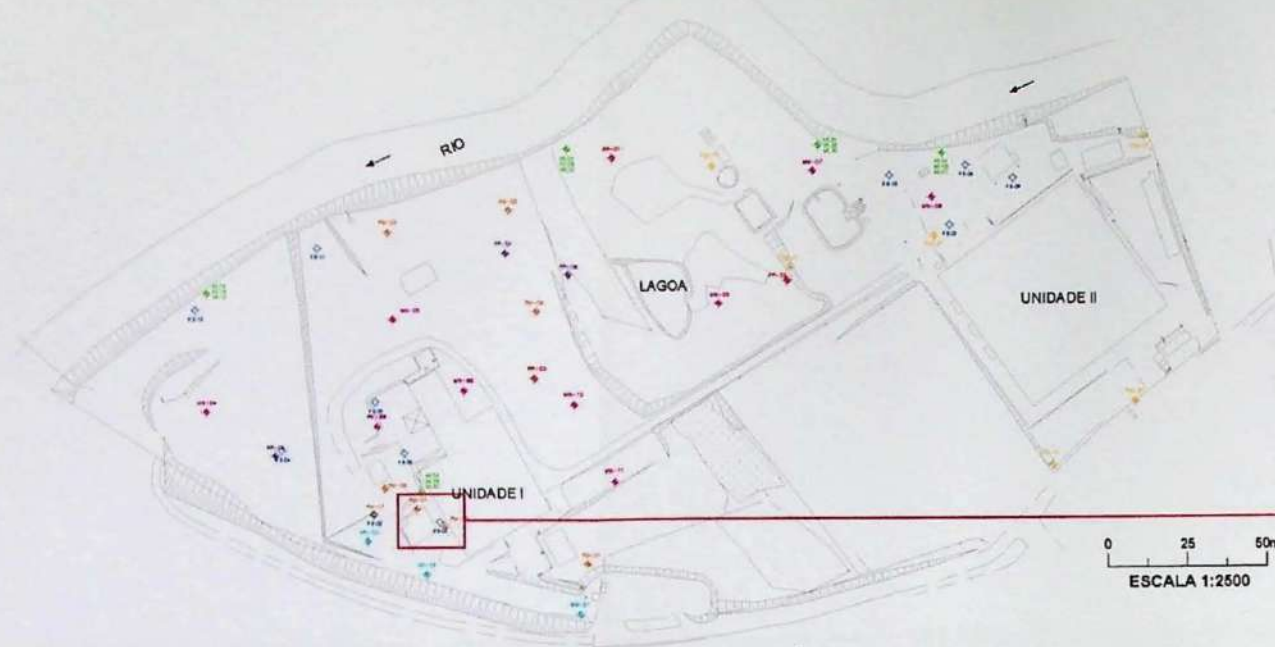
- (A) Aterro silto-argiloso, localmente com areia fina, plástico, medianamente compacto, úmido, com matéria orgânica, cor bege/marrom avermelhado
- (B) Areia, fina a média, micácea, friável, úmida, bege
- (C) Argila silto-arenosa, plástica, compacta, úmida, bege/marrom
- (D) Areia, média a grossa, matriz argilosa, com grande presença de cristais milimétricos a centimétricos de quartzo, feldspato e muscovita, friável, úmido, coloração branca-acinzentada/muscovita. Compacta, úmida. Coloração branca / acinzentada / avermelhada / esverdeada
- Granito-Gneisse
- Contato
- Contato inferido

Seção Geológica B - B'

Prancha
04

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

USP



LEGENDA:

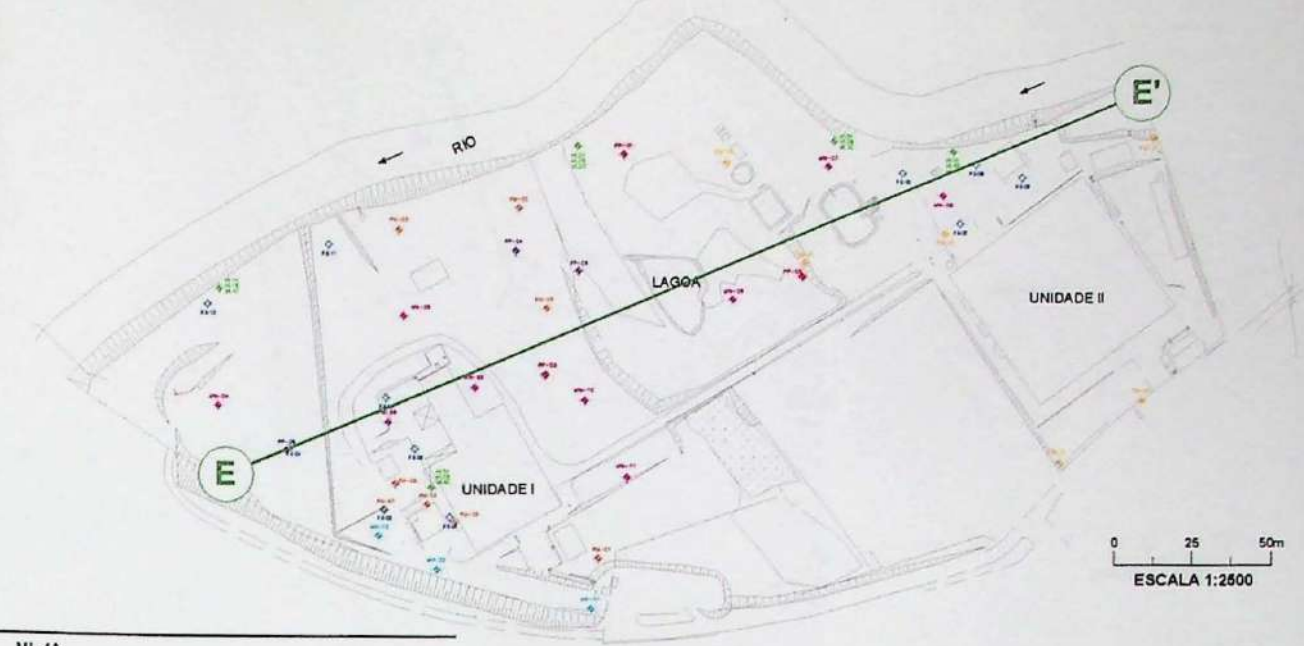
- Pavimento de concreto
- (A) Aterro silto-argiloso, localmente com areia fina, plástico, medianamente compacto, úmido, com matéria orgânica, cor bege/marrom avermelhado
- (C) Argila silto-arenosa, plástica, compacta, úmida, bege/marrom
- (D) Areia, média a grossa, matriz argilosa, com grande presença de cristais milimétricos e centimétricos de quartzo, feldspato e muscovita, friável, úmido, coloração branca-acinzentada
- (E) Alteração de rocha gnaissica (argilosa). Porções quartzo-feldspáticas (com o feldspato parcialmente alterado para argilo-minerais) intercaladas a horizontes foliados, com muscovita parcialmente alterada. Relativamente compacto, friável, argiloso, úmido. Coloração branca / acinzentada / avermelhada / esverdeada
- (F) Alteração de rocha gnaissica (Integra) Porções quartzo-feldspáticas, com cristais centimétricos, fraturados e pouco alterados, intercaladas a horizontes foliados, com muscovita. Compacta, úmida. Coloração branca / acinzentada / avermelhada / esverdeada
- Contato

Seções Geológicas C - C' e D - D'

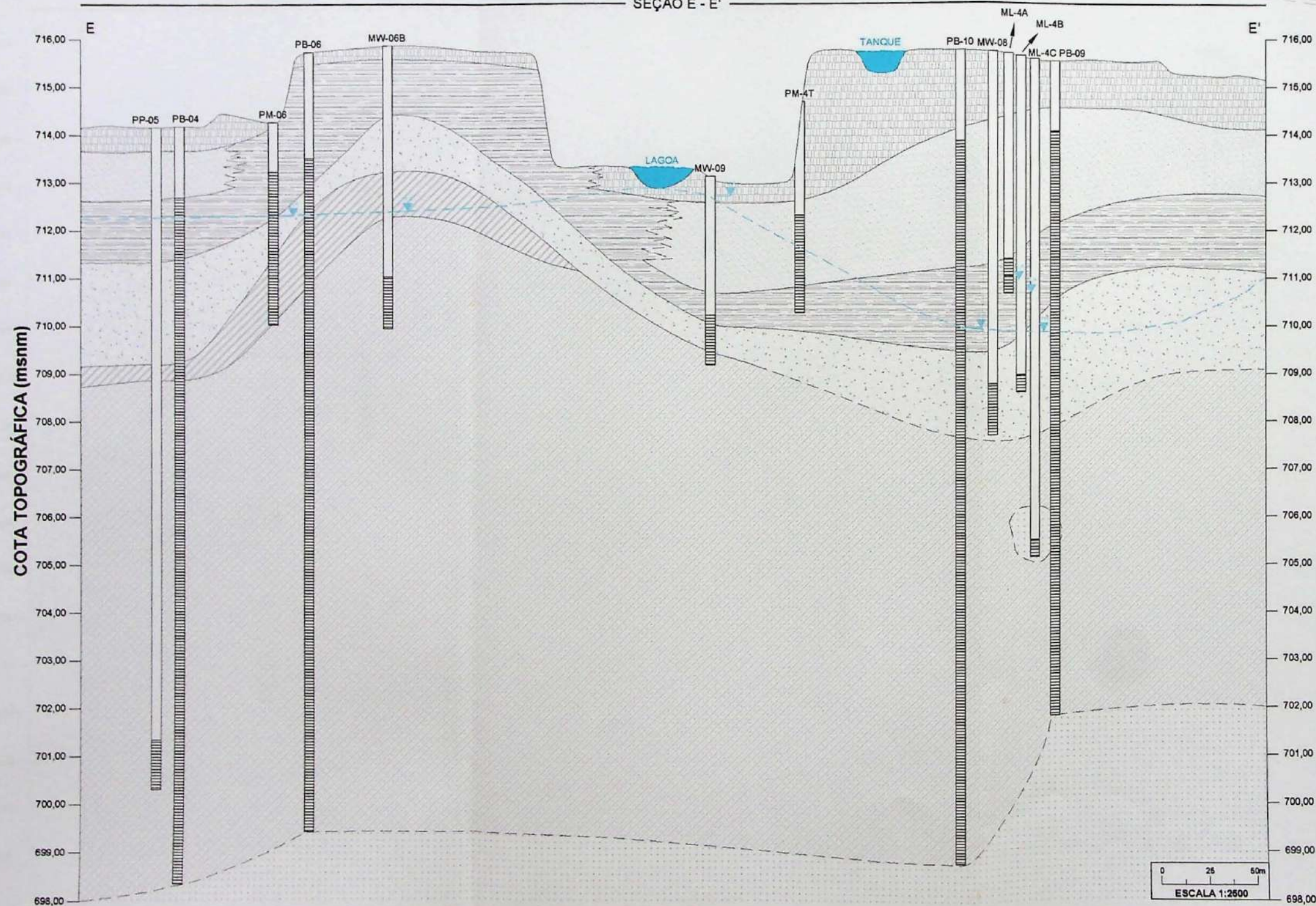
Prancha
05TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

USP

LOCALIZAÇÃO DA SEÇÃO



SEÇÃO E - E'



LEGENDA:

- (A) Aterro silto-argiloso, localmente com areia fina, plástico, medianamente compacto, úmido, com matéria orgânica, cor bege/marrom avermelhado
- (B) Areia, fina a média, micácea, frível, úmida, bege
- (C) Argila silto-arenosa, plástica, compacta, úmida, bege/marrom
- (D) Areia, média a grossa, matriz argilosa, com grande presença de cristais milimétricos a centimétricos de quartzo, feldspato e muscovita, frível, úmido, coloração branca-acinzentada
- (E) Alteração de rocha gnaissica (argilosa). Porções quartzo-feldspáticas (com o feldspato parcialmente alterado para argilo-minerais) intercaladas a horizontes foliados, com muscovita parcialmente alterada. Relativamente compacto, frível, argiloso, úmido. Coloração branca / acinzentada / avermelhada / esverdeada
- (F) Alteração de rocha gnaissica (Íntegra) Porções quartzo-feldspáticas, com cristais centimétricos, fraturados e pouco alterados, intercaladas a horizontes foliados, com muscovita. Compacta, úmida. Coloração branca / acinzentada / avermelhada / esverdeada
- Granito-Gnaíse
- Contato
- Contato Inferido

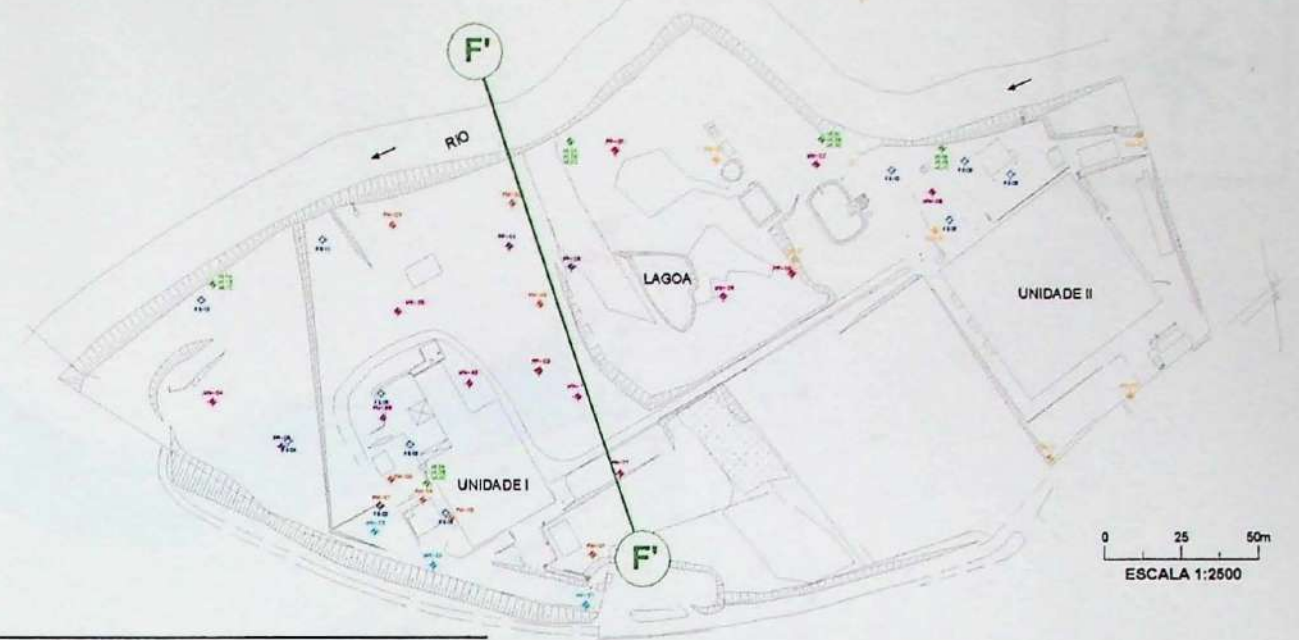
Seção Geológica E - E'

Prancha
06

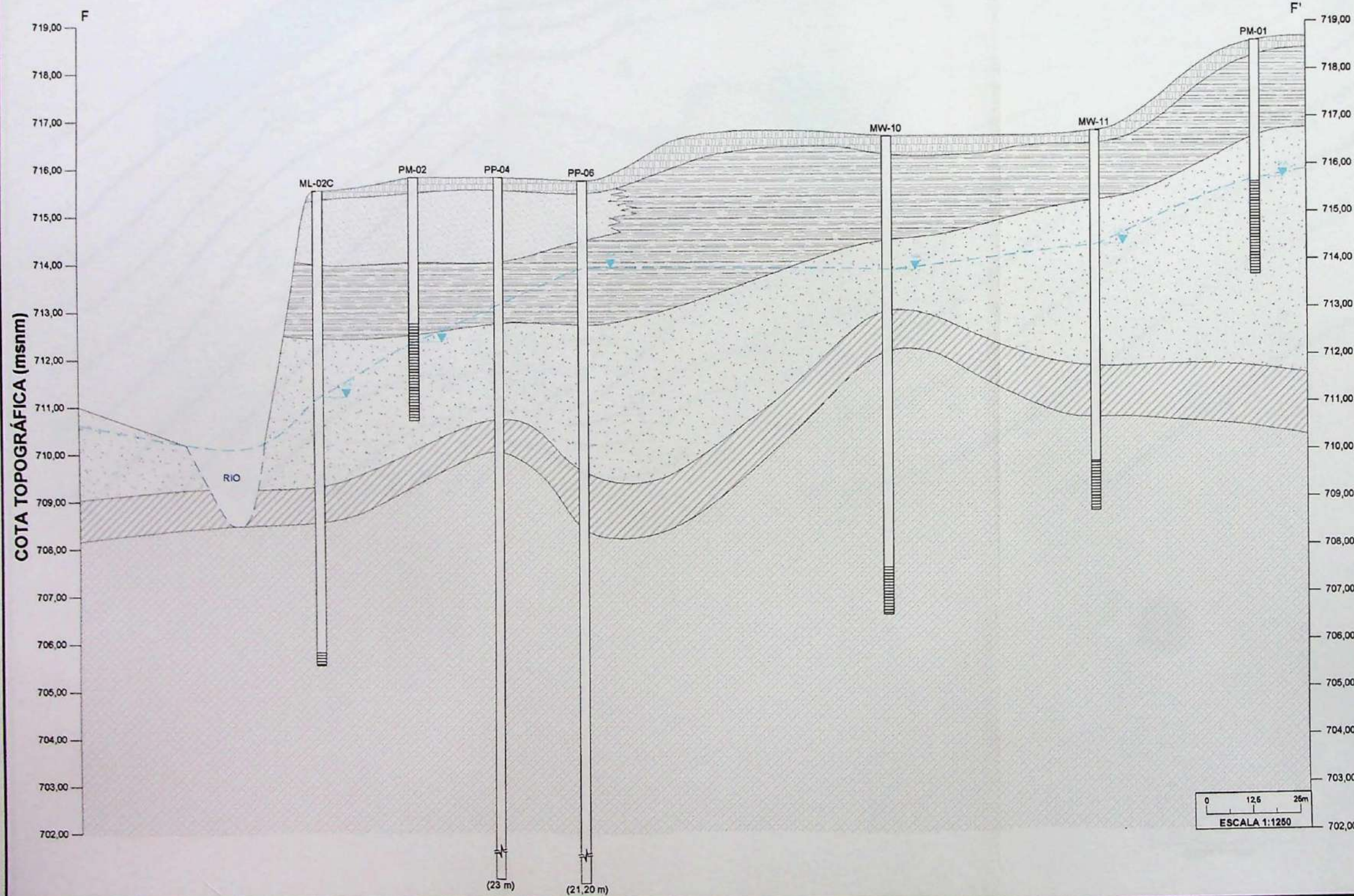
TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

USP

LOCALIZAÇÃO DA SEÇÃO



SEÇÃO F - F'



LEGENDA:

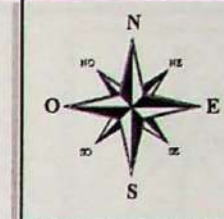
- (A) Aterro silto-argiloso, localmente com areia fina, plástico, medianamente compacto, úmido, com matéria orgânica, cor bege/marrom avermelhado
- (B) Areia, fina a média, micácea, frável, úmida, bege
- (C) Argila silto-arenosa, plástica, compacta, úmida, bege/marrom
- (D) Areia, média a grossa, matriz argilosa, com grande presença de cristais milimétricos a centimétricos de quartzo, feldspato e muscovita, frável, úmida, coloração branca-acinzentada
- (E) Alteração de rocha gnaissica (argilosa). Porções quartzo-feldspáticas (com o feldspato parcialmente alterado para argilo-minerais) intercaladas a horizontes foliados, com muscovita parcialmente alterada. Relativamente compacto, frável, argiloso, úmido. Coloração branca / acinzentada / avermelhada / esverdeada
- (F) Alteração de rocha gnaissica (Íntegra) Porções quartzo-feldspáticas, com cristais centimétricos, fraturados e pouco alterados, intercaladas a horizontes foliados, com muscovita. Compacta, úmida. Coloração branca / acinzentada / avermelhada / esverdeada
- Contato

Seção Geológica F - F'

Prancha
07

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

USP



LEGENDA:

- ML-05 POÇO MULTINÍVEL
- MW-05 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- PM-02 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- PP-03 POÇO DE PRODUÇÃO
- PP-05 POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
- PB-01 POÇO DE BOMBEAMENTO
- 714,0 LINHA EQUIPOTENCIAL
- DIREÇÃO PREFERENCIAL DO FLUXO
- (716.350) CARGA HIDRÁULICA (MÉTROS)

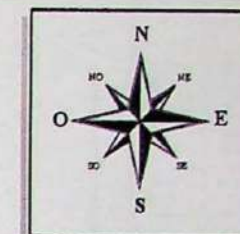
0 12,5 25 37,5 50 62,5 75m
ESCALA 1:2500

Mapa Potenciométrico - Julho de 2004

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

Prancha
08

USP



LEGENDA:

- ML-05 POÇO MULTINÍVEL
- MV-05 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- PM-02 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- PP-03 POÇO DE PRODUÇÃO
- PP-05 POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
- PB-01 POÇO DE BOMBEAMENTO

0 12,5 25 37,5 50 62,5 75m
ESCALA 1:2500

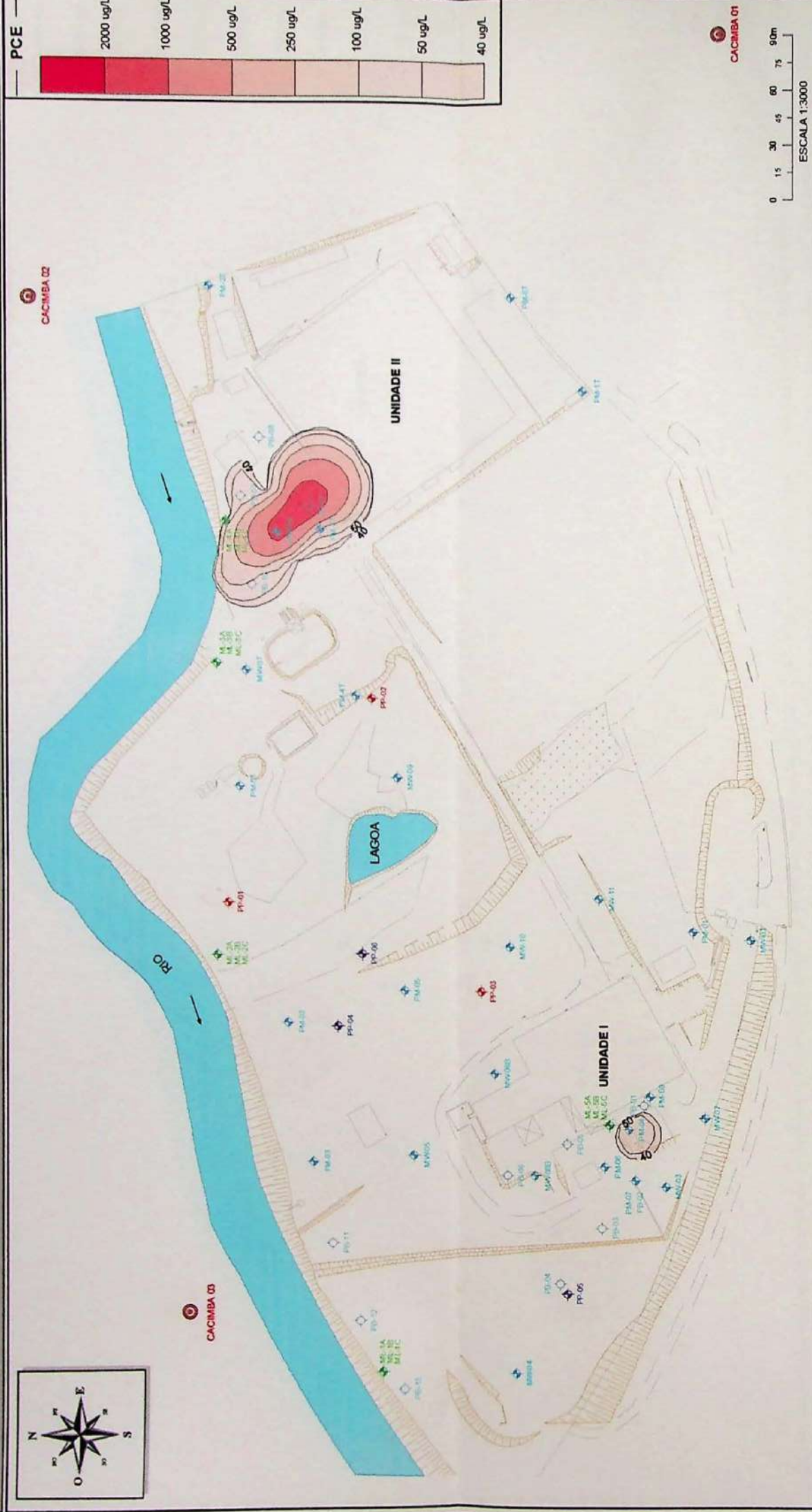
Mapa de Localização dos Pontos de Amostragem

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

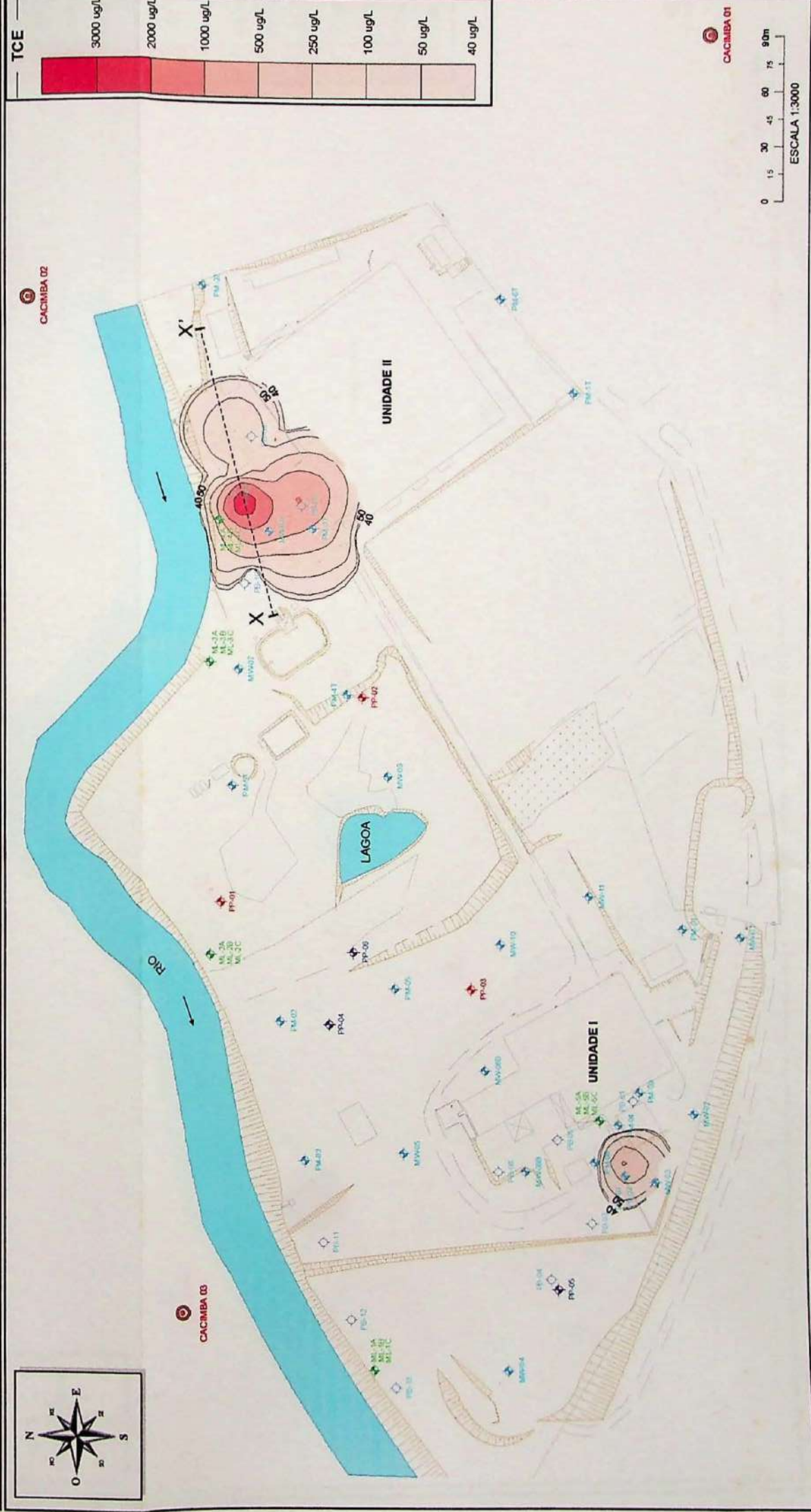
Prancha
09

USP

NOVEMBRO DE 2001 (5 m)



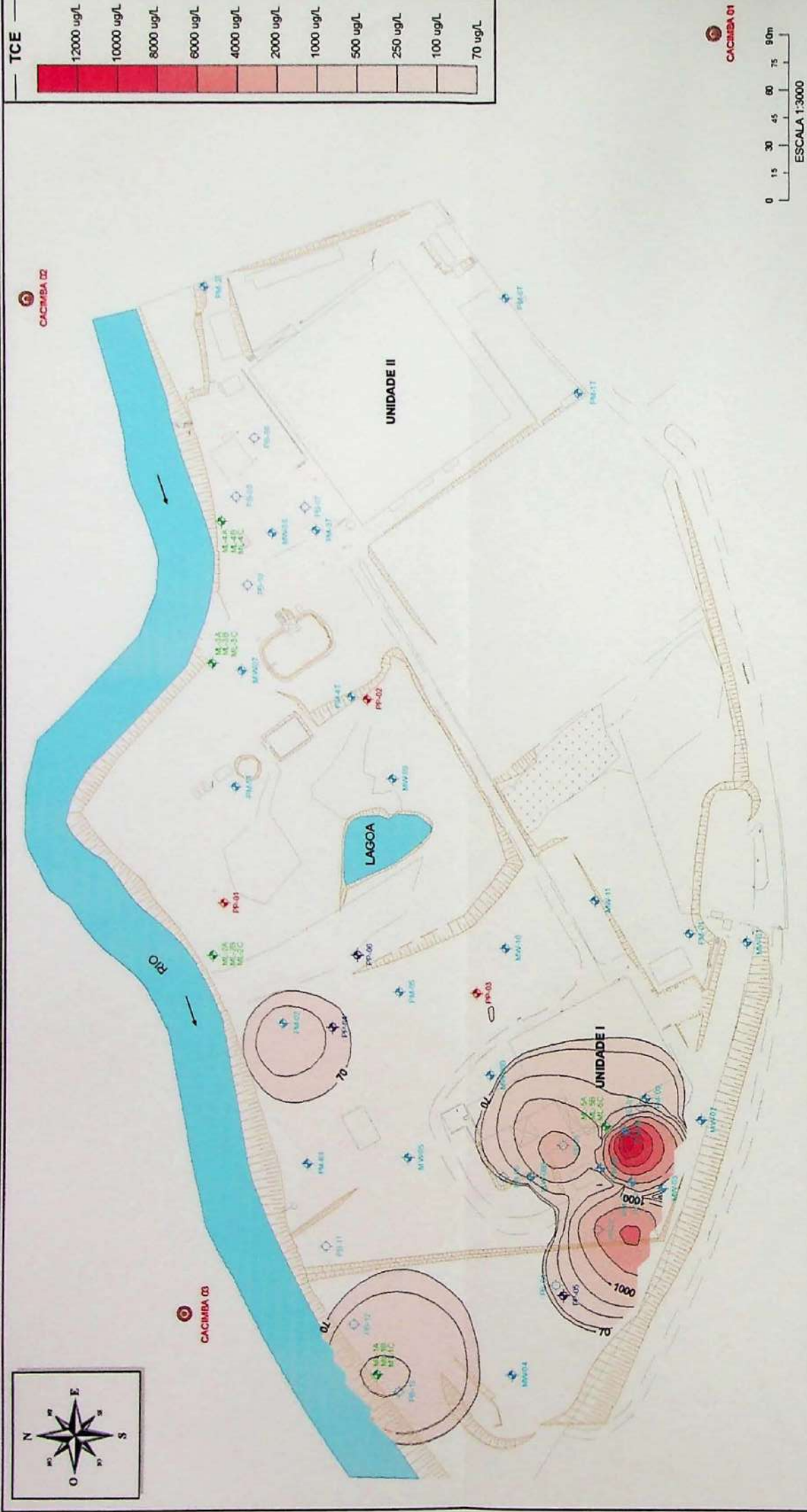
NOVEMBRO DE 2001 (10 m)



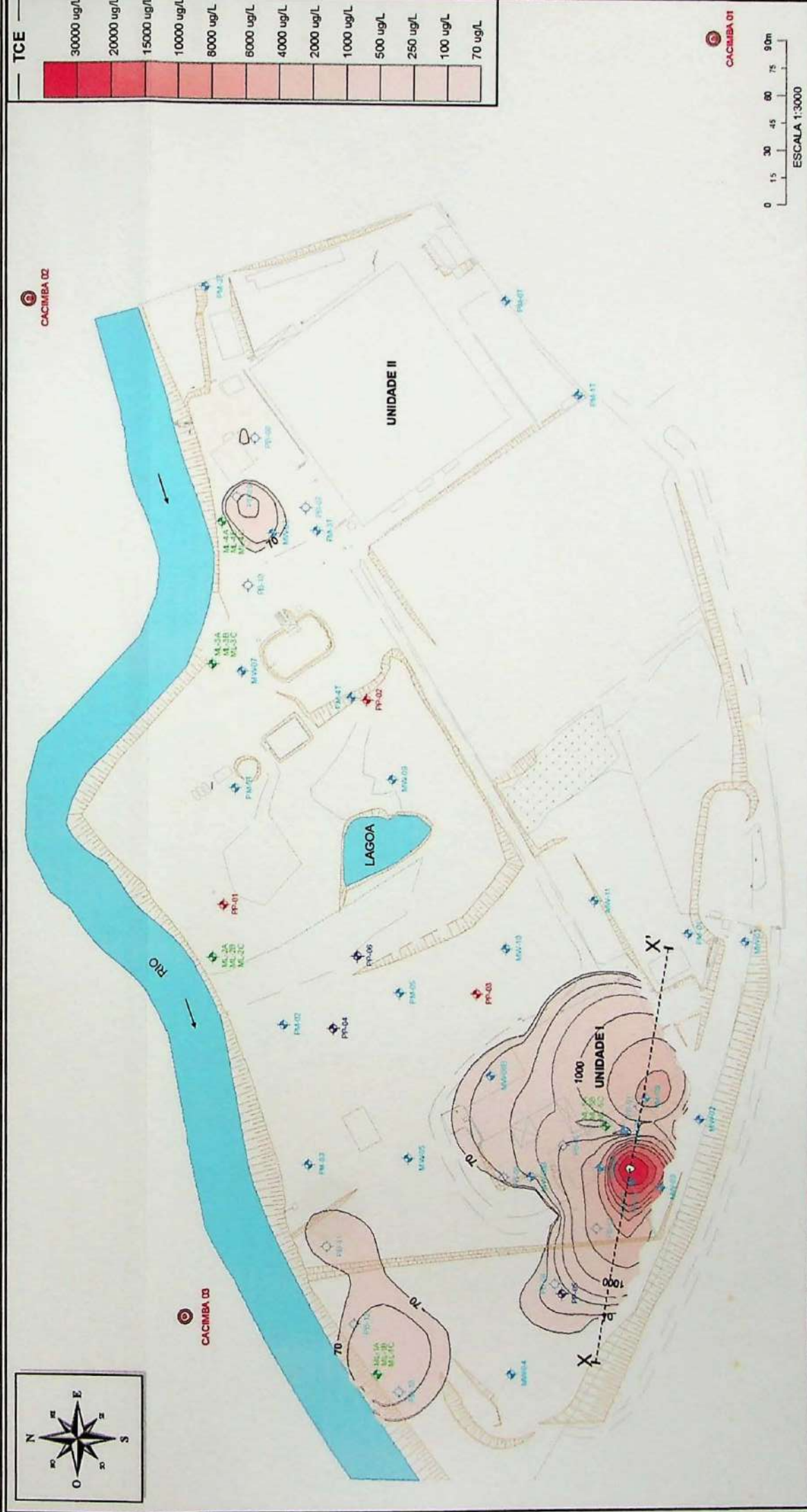
LEGENDA:

- POÇO MULTINÍVEL (ML-05)
- POÇO DE MONITORAMENTO RASO (PP-03)
- POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO (PP-05)
- POÇO DE BOMBAMENTO (PB-01)
- POÇO DE PRODUÇÃO (PP-03)

NOVEMBRO DE 2001 (5 m)



NOVEMBRO DE 2001 (10 m)

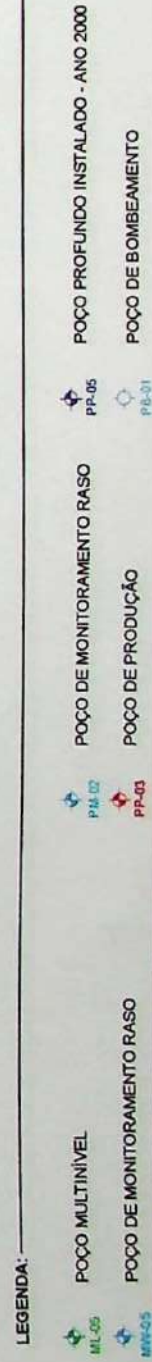


LEGENDA:

- PM-02 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- PP-03 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- PM-05 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- PP-01 POÇO DE BOMBAMENTO

- PM-02 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- PP-03 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- PM-05 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- PP-01 POÇO DE BOMBAMENTO

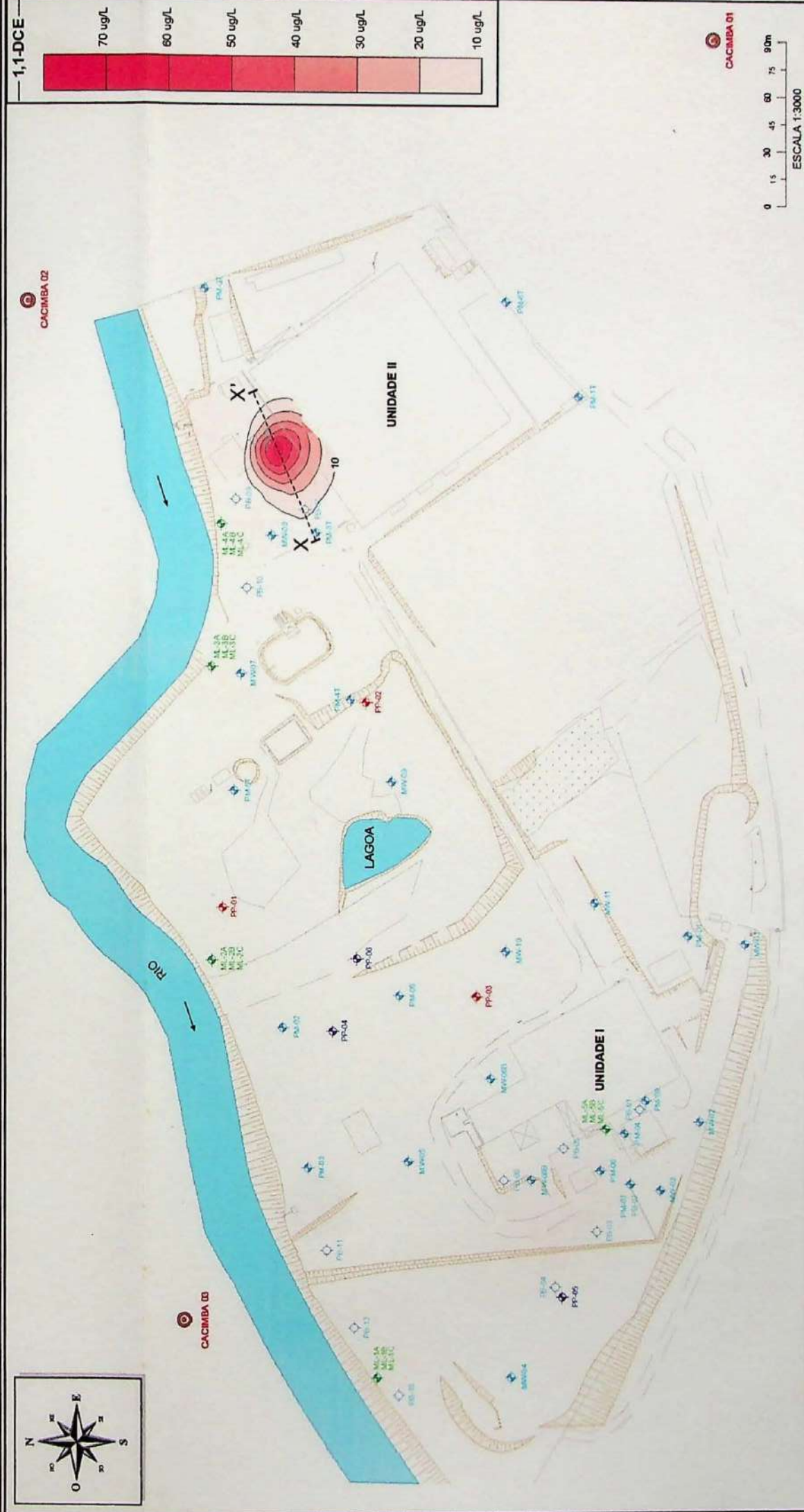
FORMATO A3 - MOLDAJA 366 x 273 mm



NOVEMBRO DE 2001 (5 m)



NOVEMBRO DE 2001 (10 m)



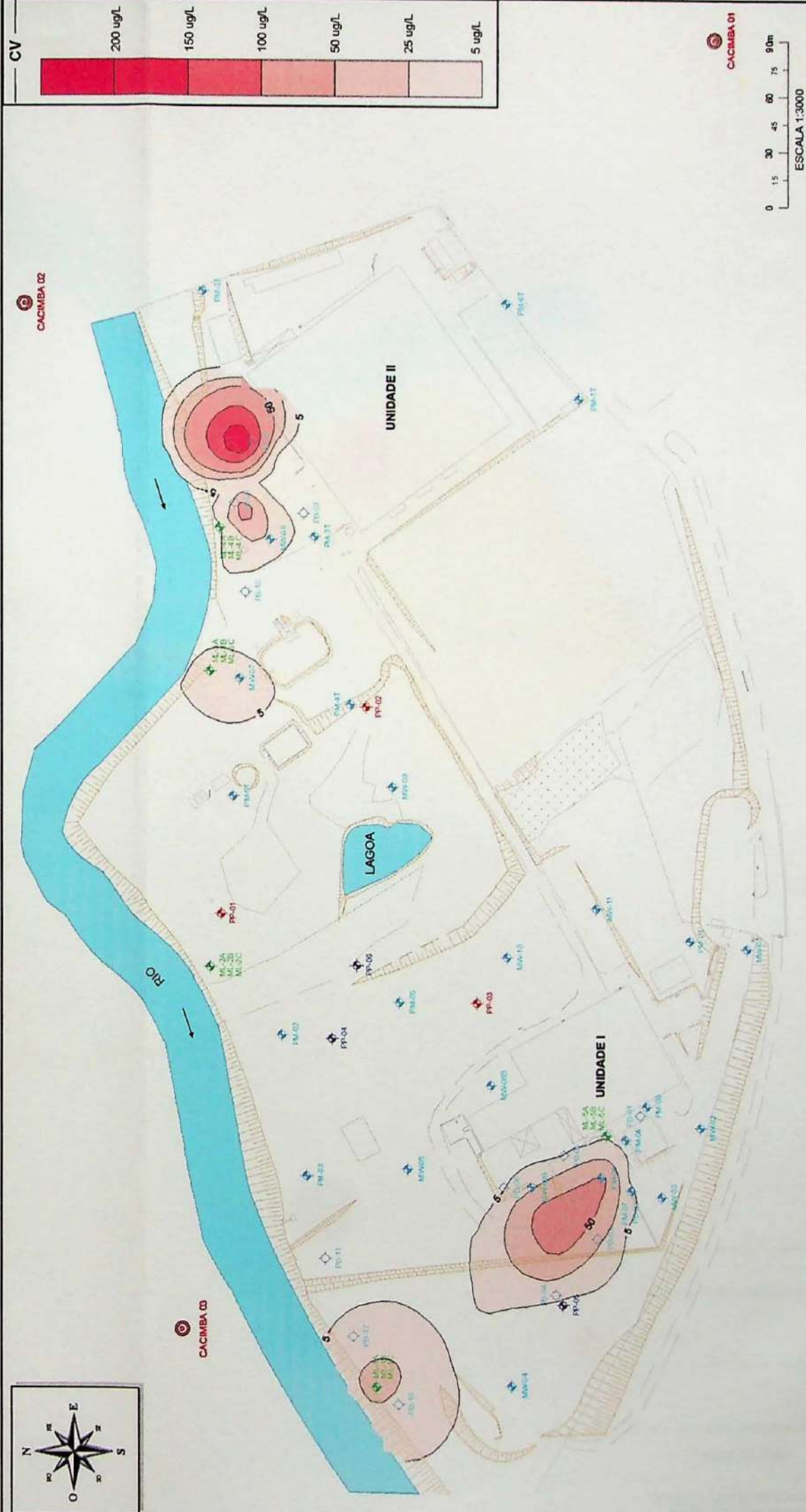
LEGENDA:

- PM-01 PM-02 PM-03 PM-04 PM-05 PM-06 PM-07 PM-08 PM-09 PM-10 PM-11 PM-12
- PP-01 PP-02 PP-03 PP-04 PP-05
- POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- POÇO PROFUNDO INSTALADO - ANO 2000
- POÇO DE BOMBAMENTO

NOVEMBRO DE 2001 (5 m)

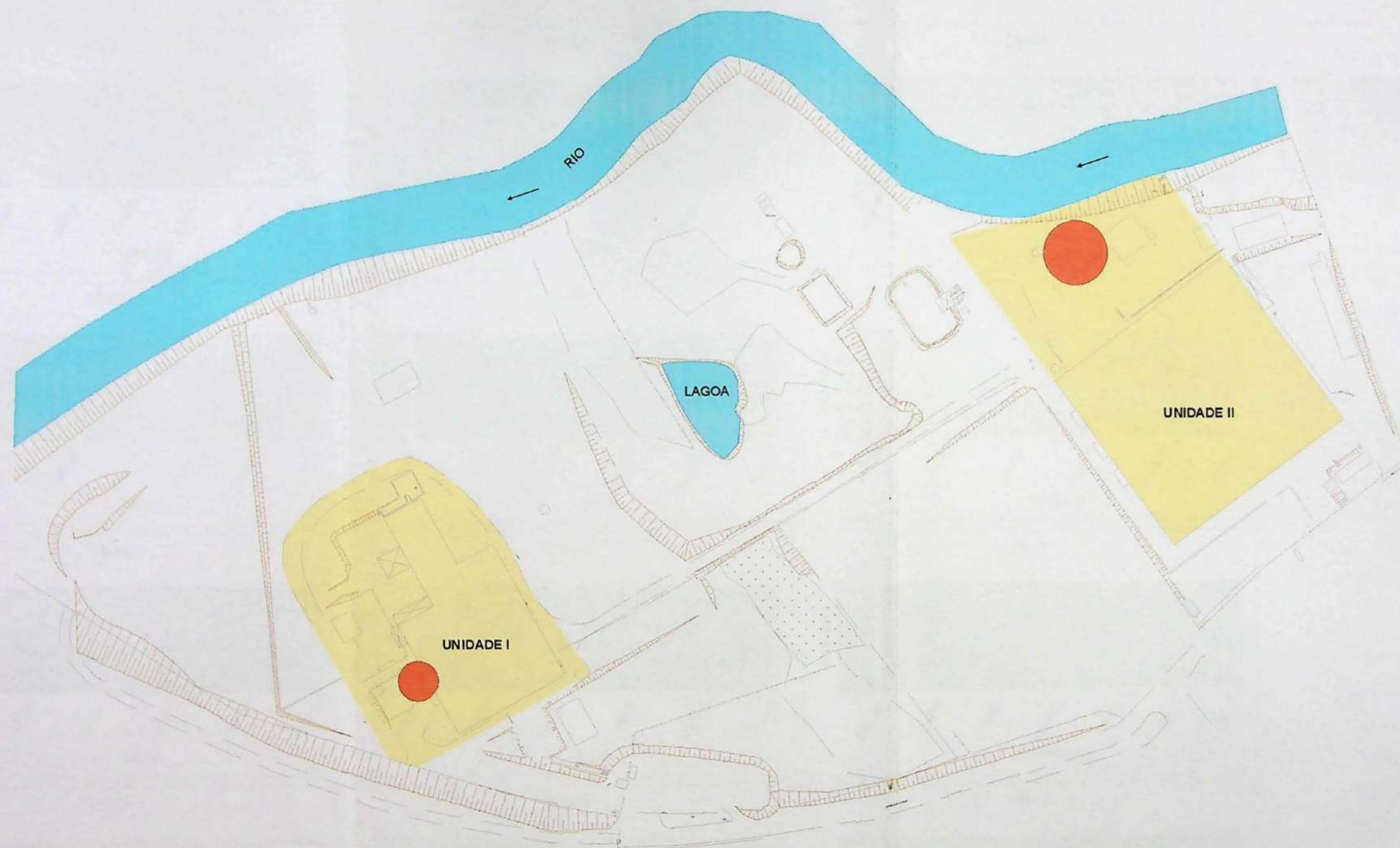
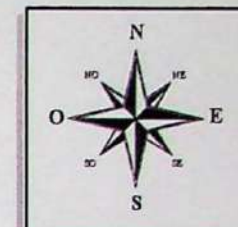


NOVEMBRO DE 2001 (10 m)



LEGENDA:

- | | | |
|--------|--------|--|
| PM-01 | PP-01 | PM-02 | PP-02 | PM-03 | PP-03 | PM-04 | PP-04 | PM-05 | PP-05 | PM-06 | PP-06 | PM-07 | PP-07 | PM-08 | PP-08 | PM-09 | PP-09 | PM-10 | PP-10 | PM-11 | PP-11 | PM-12 | PP-12 | PM-13 | PP-13 | PM-14 | PP-14 | PM-15 | PP-15 | PM-16 | PP-16 | PM-17 | PP-17 | PM-18 | PP-18 | PM-19 | PP-19 | PM-20 | PP-20 | PM-21 | PP-21 | PM-22 | PP-22 | PM-23 | PP-23 | PM-24 | PP-24 | PM-25 | PP-25 | PM-26 | PP-26 | PM-27 | PP-27 | PM-28 | PP-28 | PM-29 | PP-29 | PM-30 | PP-30 | PM-31 | PP-31 | PM-32 | PP-32 | PM-33 | PP-33 | PM-34 | PP-34 | PM-35 | PP-35 | PM-36 | PP-36 | PM-37 | PP-37 | PM-38 | PP-38 | PM-39 | PP-39 | PM-40 | PP-40 | PM-41 | PP-41 | PM-42 | PP-42 | PM-43 | PP-43 | PM-44 | PP-44 | PM-45 | PP-45 | PM-46 | PP-46 | PM-47 | PP-47 | PM-48 | PP-48 | PM-49 | PP-49 | PM-50 | PP-50 | PM-51 | PP-51 | PM-52 | PP-52 | PM-53 | PP-53 | PM-54 | PP-54 | PM-55 | PP-55 | PM-56 | PP-56 | PM-57 | PP-57 | PM-58 | PP-58 | PM-59 | PP-59 | PM-60 | PP-60 | PM-61 | PP-61 | PM-62 | PP-62 | PM-63 | PP-63 | PM-64 | PP-64 | PM-65 | PP-65 | PM-66 | PP-66 | PM-67 | PP-67 | PM-68 | PP-68 | PM-69 | PP-69 | PM-70 | PP-70 | PM-71 | PP-71 | PM-72 | PP-72 | PM-73 | PP-73 | PM-74 | PP-74 | PM-75 | PP-75 | PM-76 | PP-76 | PM-77 | PP-77 | PM-78 | PP-78 | PM-79 | PP-79 | PM-80 | PP-80 | PM-81 | PP-81 | PM-82 | PP-82 | PM-83 | PP-83 | PM-84 | PP-84 | PM-85 | PP-85 | PM-86 | PP-86 | PM-87 | PP-87 | PM-88 | PP-88 | PM-89 | PP-89 | PM-90 | PP-90 | PM-91 | PP-91 | PM-92 | PP-92 | PM-93 | PP-93 | PM-94 | PP-94 | PM-95 | PP-95 | PM-96 | PP-96 | PM-97 | PP-97 | PM-98 | PP-98 | PM-99 | PP-99 | PM-100 | PP-100 | PM-101 | PP-101 | PM-102 | PP-102 | PM-103 | PP-103 | PM-104 | PP-104 | PM-105 | PP-105 | PM-106 | PP-106 | PM-107 | PP-107 | PM-108 | PP-108 | PM-109 | PP-109 | PM-110 | PP-110 | PM-111 | PP-111 | PM-112 | PP-112 | PM-113 | PP-113 | PM-114 | PP-114 | PM-115 | PP-115 | PM-116 | PP-116 | PM-117 | PP-117 | PM-118 | PP-118 | PM-119 | PP-119 | PM-120 | PP-120 | PM-121 | PP-121 | PM-122 | PP-122 | PM-123 | PP-123 | PM-124 | PP-124 | PM-125 | PP-125 | PM-126 | PP-126 | PM-127 | PP-127 | PM-128 | PP-128 | PM-129 | PP-129 | PM-130 | PP-130 | PM-131 | PP-131 | PM-132 | PP-132 | PM-133 | PP-133 | PM-134 | PP-134 | PM-135 | PP-135 | PM-136 | PP-136 | PM-137 | PP-137 | PM-138 | PP-138 | PM-139 | PP-139 | PM-140 | PP-140 | PM-141 | PP-141 | PM-142 | PP-142 | PM-143 | PP-143 | PM-144 | PP-144 | PM-145 | PP-145 | PM-146 | PP-146 | PM-147 | PP-147 | PM-148 | PP-148 | PM-149 | PP-149 | PM-150 | PP-150 | PM-151 | PP-151 | PM-152 | PP-152 | PM-153 | PP-153 | PM-154 | PP-154 | PM-155 | PP-155 | PM-156 | PP-156 | PM-157 | PP-157 | PM-158 | PP-158 | PM-159 | PP-159 | PM-160 | PP-160 | PM-161 | PP-161 | PM-162 | PP-162 | PM-163 | PP-163 | PM-164 | PP-164 | PM-165 | PP-165 | PM-166 | PP-166 | PM-167 | PP-167 | PM-168 | PP-168 | PM-169 | PP-169 | PM-170 | PP-170 | PM-171 | PP-171 | PM-172 | PP-172 | PM-173 | PP-173 | PM-174 | PP-174 | PM-175 | PP-175 | PM-176 | PP-176 | PM-177 | PP-177 | PM-178 | PP-178 | PM-179 | PP-179 | PM-180 | PP-180 | PM-181 | PP-181 | PM-182 | PP-182 | PM-183 | PP-183 | PM-184 | PP-184 | PM-185 | PP-185 | PM-186 | PP-186 | PM-187 | PP-187 | PM-188 | PP-188 | PM-189 | PP-189 | PM-190 | PP-190 | PM-191 | PP-191 | PM-192 | PP-192 | PM-193 | PP-193 | PM-194 | PP-194 | PM-195 | PP-195 | PM-196 | PP-196 | PM-197 | PP-197 | PM-198 | PP-198 | PM-199 | PP-199 | PM-200 | PP-200 | PM-201 | PP-201 | PM-202 | PP-202 | PM-203 | PP-203 | PM-204 | PP-204 | PM-205 | PP-205 | PM-206 | PP-206 | PM-207 | PP-207 | PM-208 | PP-208 | PM-209 | PP-209 | PM-210 | PP-210 | PM-211 | PP-211 | PM-212 | PP-212 | PM-213 | PP-213 | PM-214 | PP-214 | PM-215 | PP-215 | PM-216 | PP-216 | PM-217 | PP-217 | PM-218 | PP-218 | PM-219 | PP-219 | PM-220 | PP-220 | PM-221 | PP-221 | PM-222 | PP-222 | PM-223 | PP-223 | PM-224 | PP-224 | PM-225 | PP-225 | PM-226 | PP-226 | PM-227 | PP-227 | PM-228 | PP-228 | PM-229 | PP-229 | PM-230 | PP-230 | PM-231 | PP-231 | PM-232 | PP-232 | PM-233 | PP-233 | PM-234 | PP-234 | PM-235 | PP-235 | PM-236 | PP-236 | PM-237 | PP-237 | PM-238 | PP-238 | PM-239 | PP-239 | PM-240 | PP-240 | PM-241 | PP-241 | PM-242 | PP-242 | PM-243 | PP-243 | PM-244 | PP-244 | PM-245 | PP-245 | PM-246 | PP-246 | PM-247 | PP-247 | PM-248 | PP-248 | PM-249 | PP-249 | PM-250 | PP-250 | PM-251 | PP-251 | PM-252 | PP-252 | PM-253 | PP-253 | PM-254 | PP-254 | PM-255 | PP-255 | PM-256 | PP-256 | PM-257 | PP-257 | PM-258 | PP-258 | PM-259 | PP-259 | PM-260 | PP-260 | PM-261 | PP-261 | PM-262 | PP-262 | PM-263 | PP-263 | PM-264 | PP-264 | PM-265 | PP-265 | PM-266 | PP-266 | PM-267 | PP-267 | PM-268 | PP-268 | PM-269 | PP-269 | PM-270 | PP-270 | PM-271 | PP-271 | PM-272 | PP-272 | PM-273 | PP-273 | PM-274 | PP-274 | PM-275 | PP-275 | PM-276 | PP-276 | PM-277 | PP-277 | PM-278 | PP-278 | PM-279 | PP-279 | PM-280 | PP-280 | PM-281 | PP-281 | PM-282 | PP-282 | PM-283 | PP-283 | PM-284 | PP-284 | PM-285 | PP-285 | PM-286 | PP-286 | PM-287 | PP-287 | PM-288 | PP-288 | PM-289 | PP-289 | PM-290 | PP-290 | PM-291 | PP-291 | PM-292 | PP-292 | PM-293 | PP-293 | PM-294 | PP-294 | PM-295 | PP-295 | PM-296 | PP-296 | PM-297 | PP-297 | PM-298 | PP-298 | PM-299 | PP-299 | PM-300 | PP-300 | PM-301 | PP-301 | PM-302 | |
|--------|--------|--|

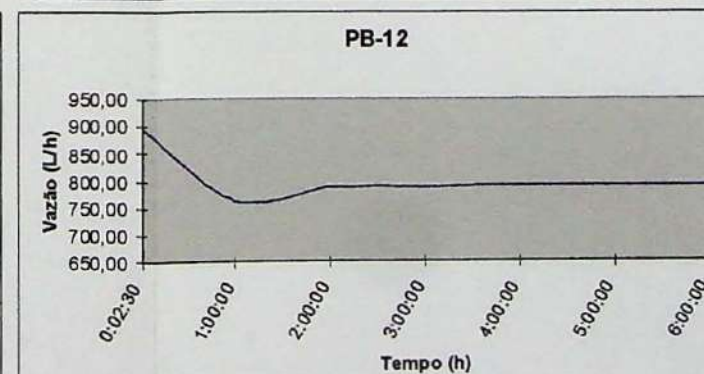
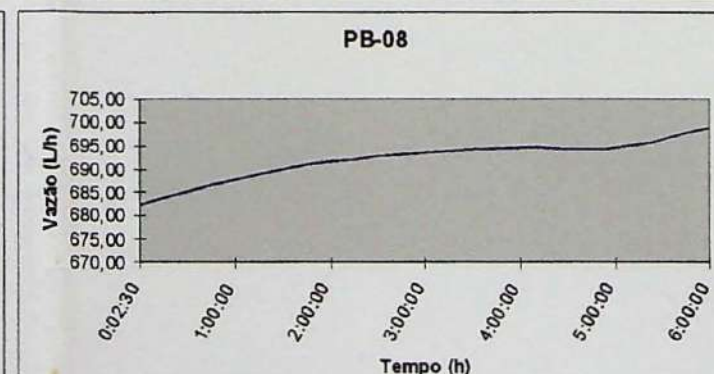
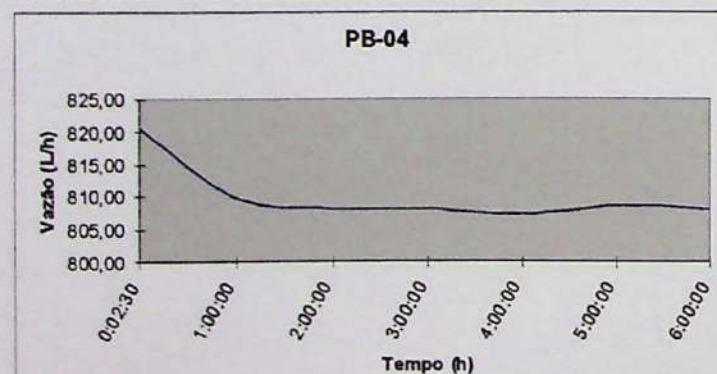
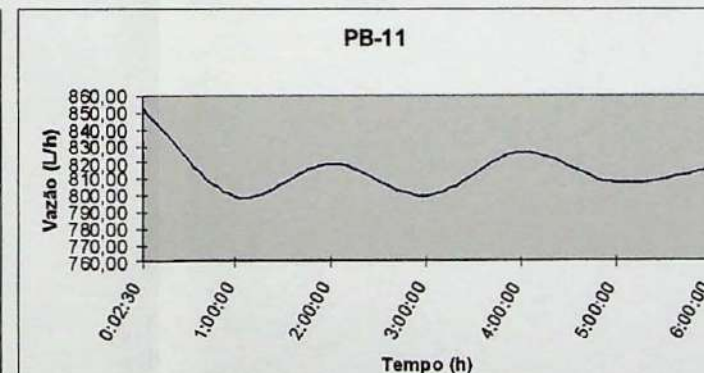
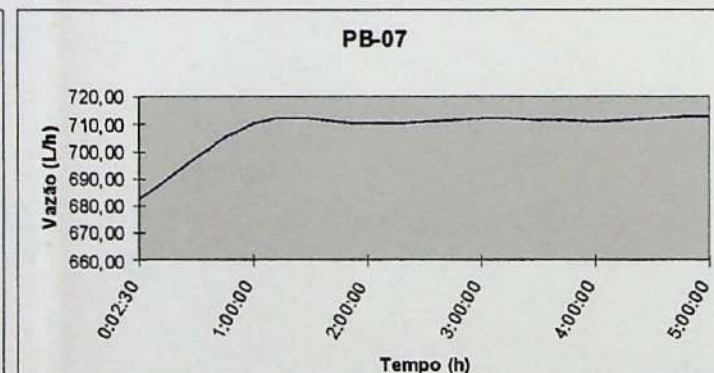
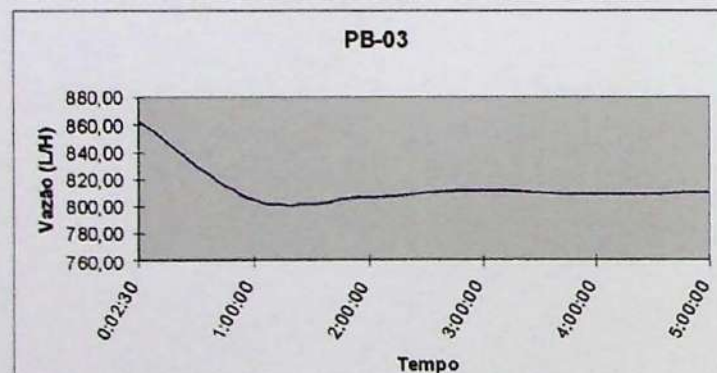
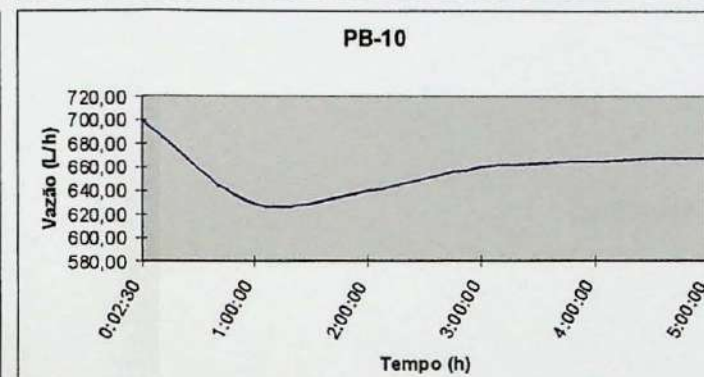
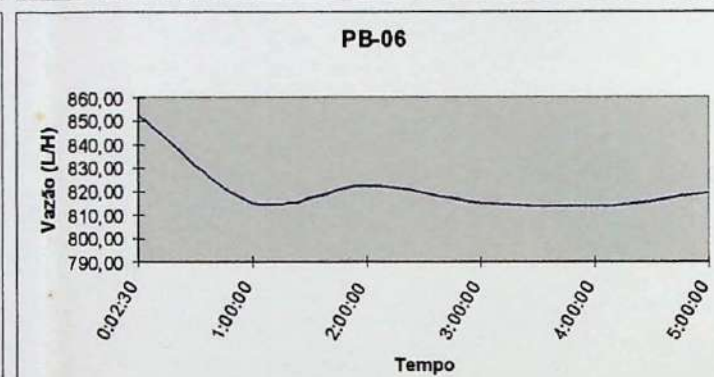
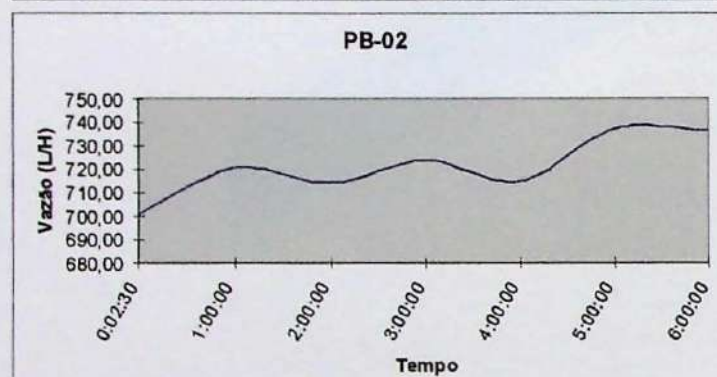
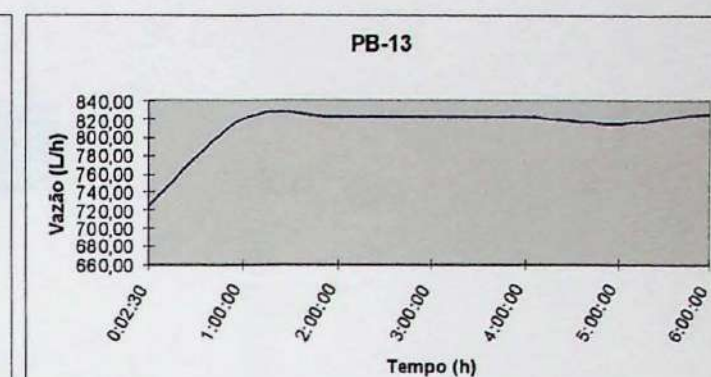
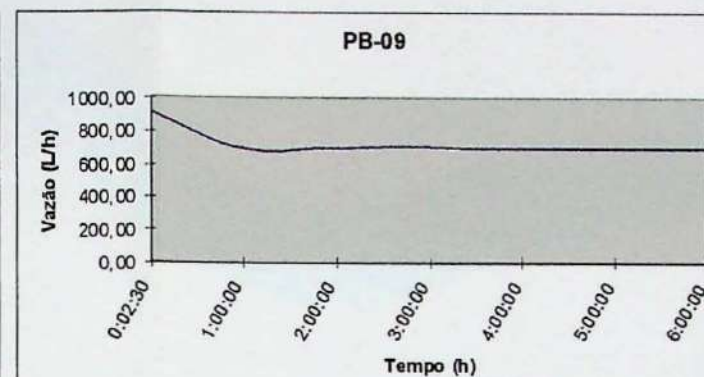
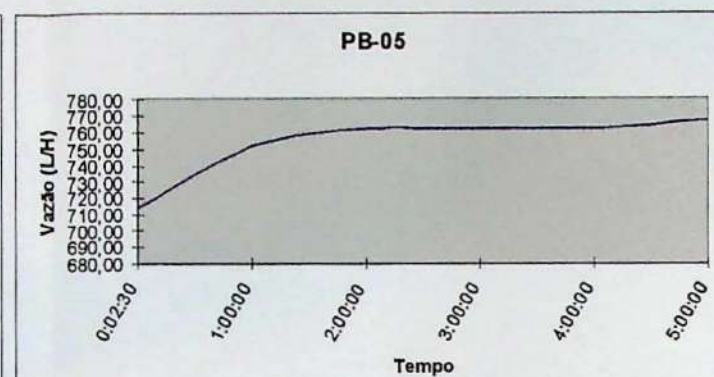
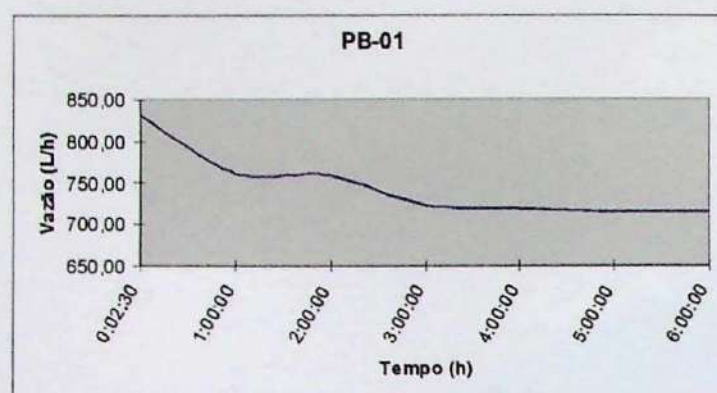


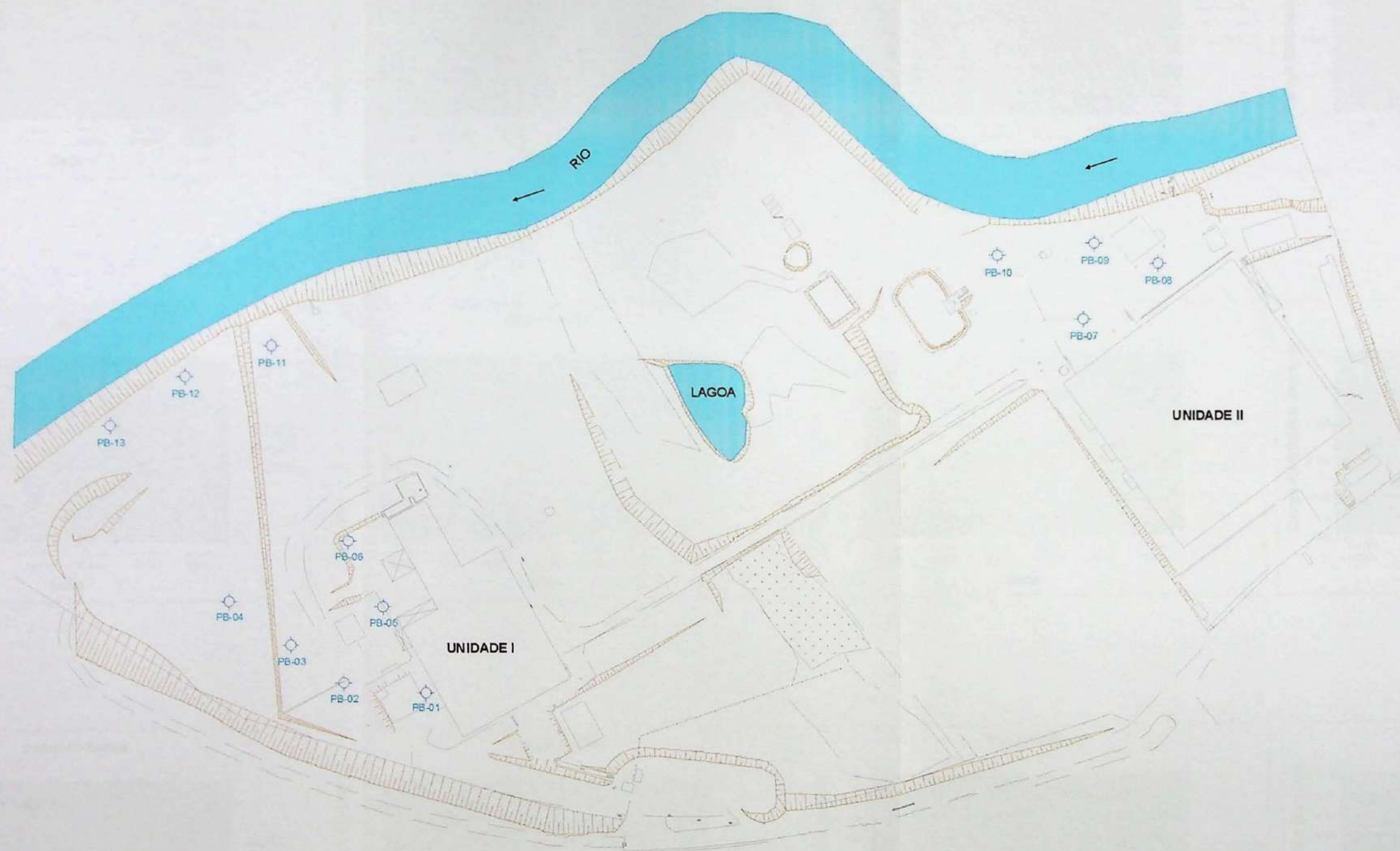
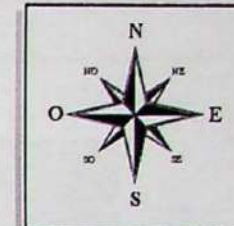
LEGENDA:

- ÁREA DE POTENCIAL CONTAMINAÇÃO (APC)
- ÁREA FONTE

0 12,5 25 37,5 50 62,5 75m
ESCALA 1:2500

Layout da Área	Prancha 01
TRABALHO DE FORMATURA Instituto de Geociências	USP





LEGENDA:

 POÇO DE BOMBEAMENTO

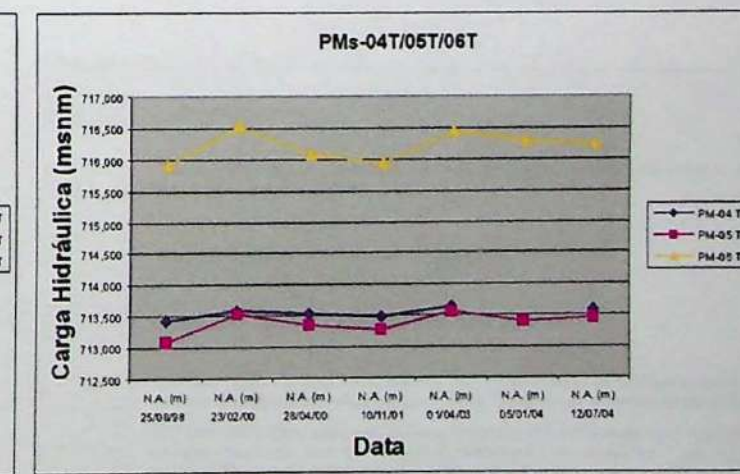
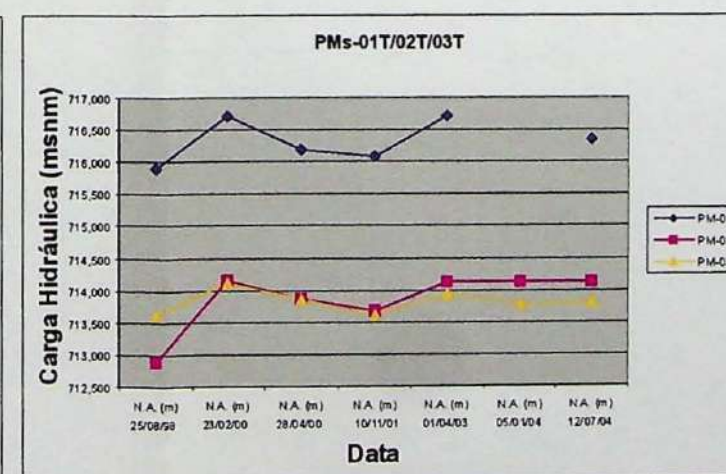
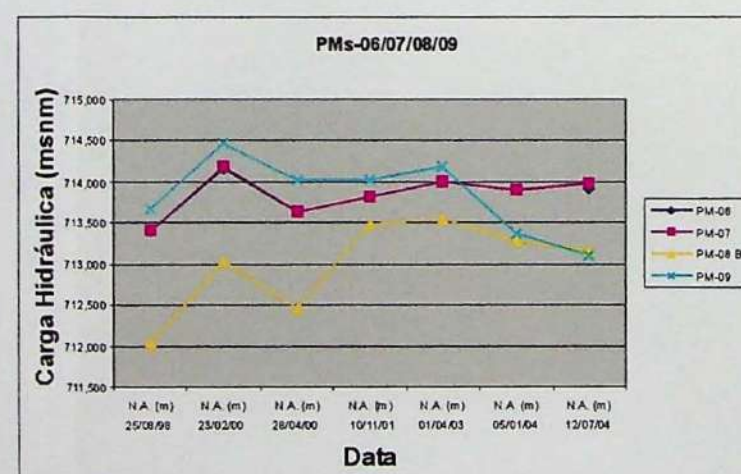
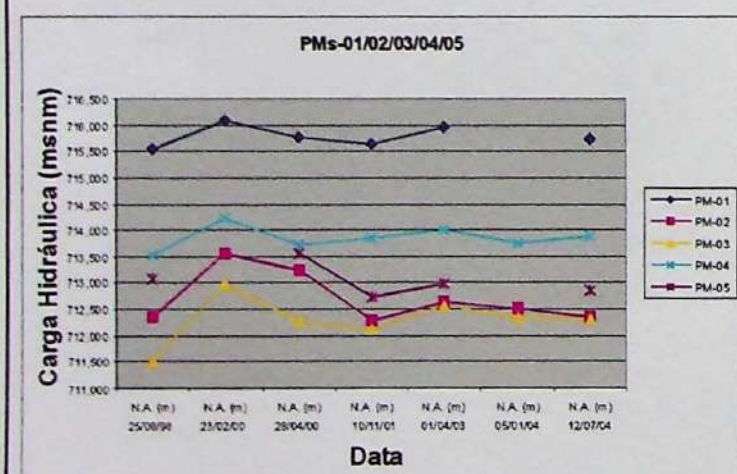
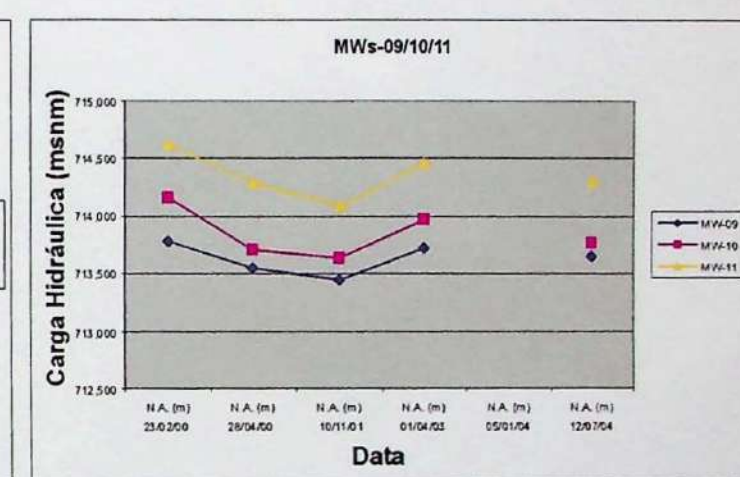
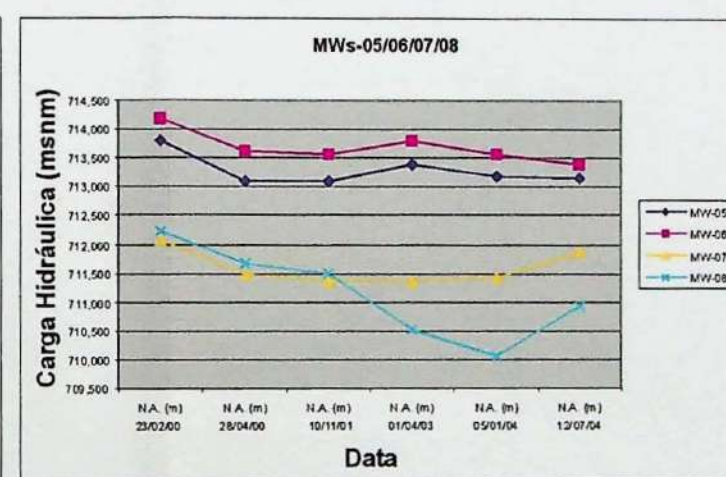
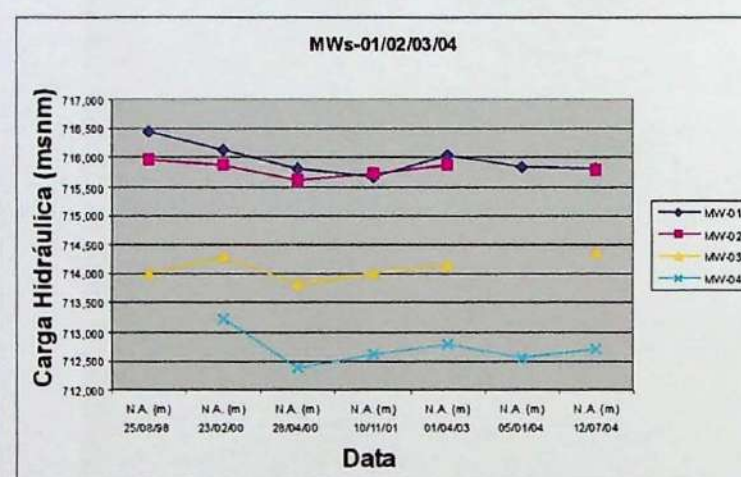
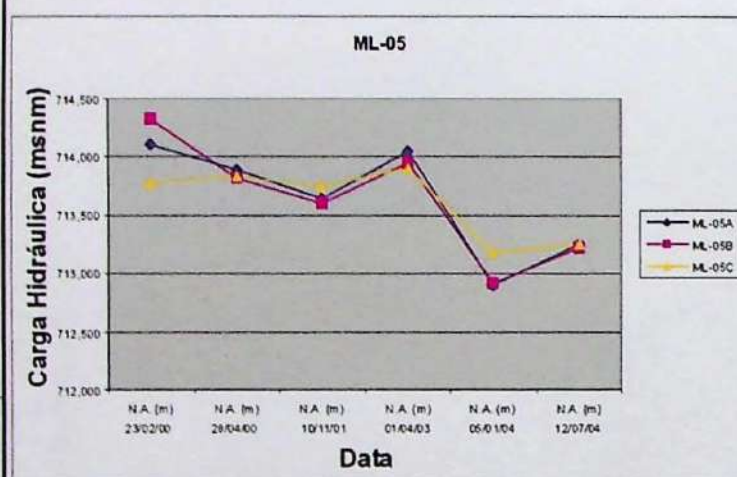
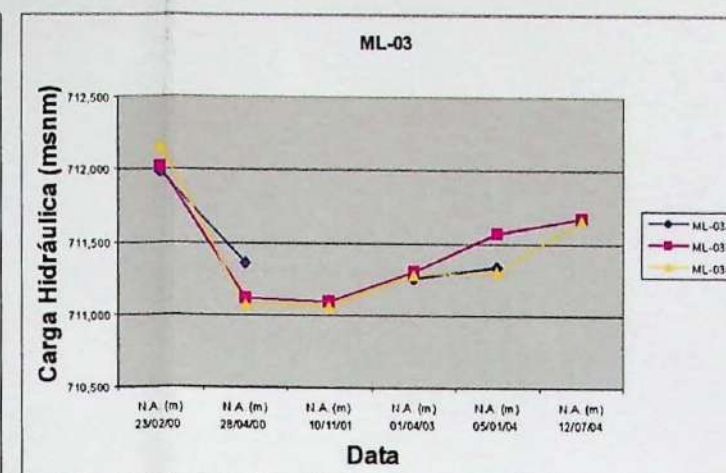
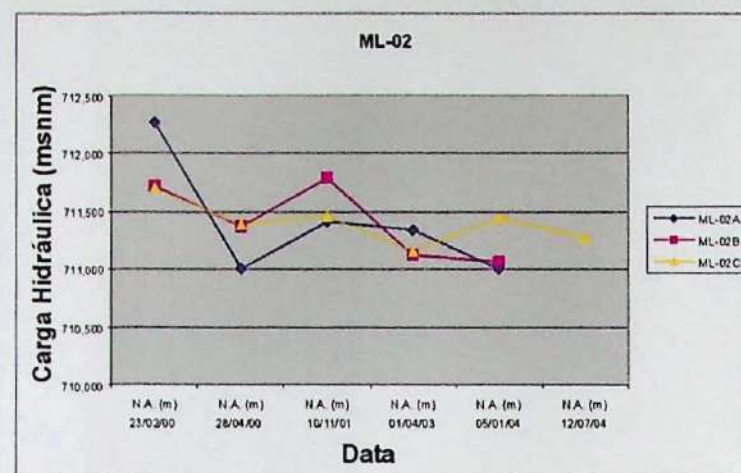
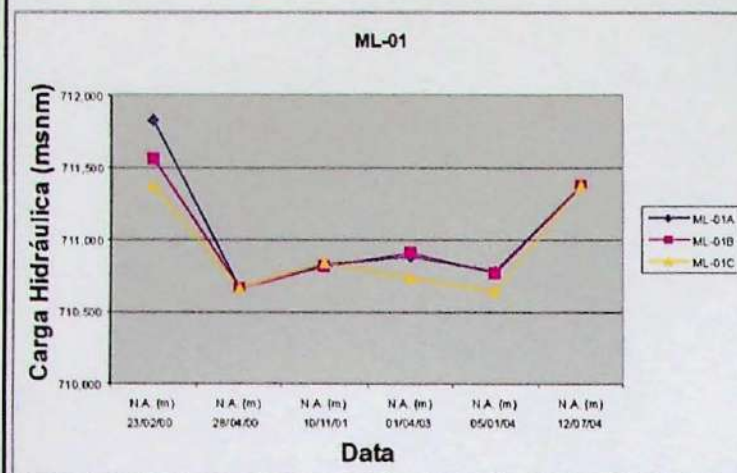
0 12,5 25 37,5 50 62,5 75m
ESCALA 1:2500

Mapa de Localização dos Poços de Bombeamento

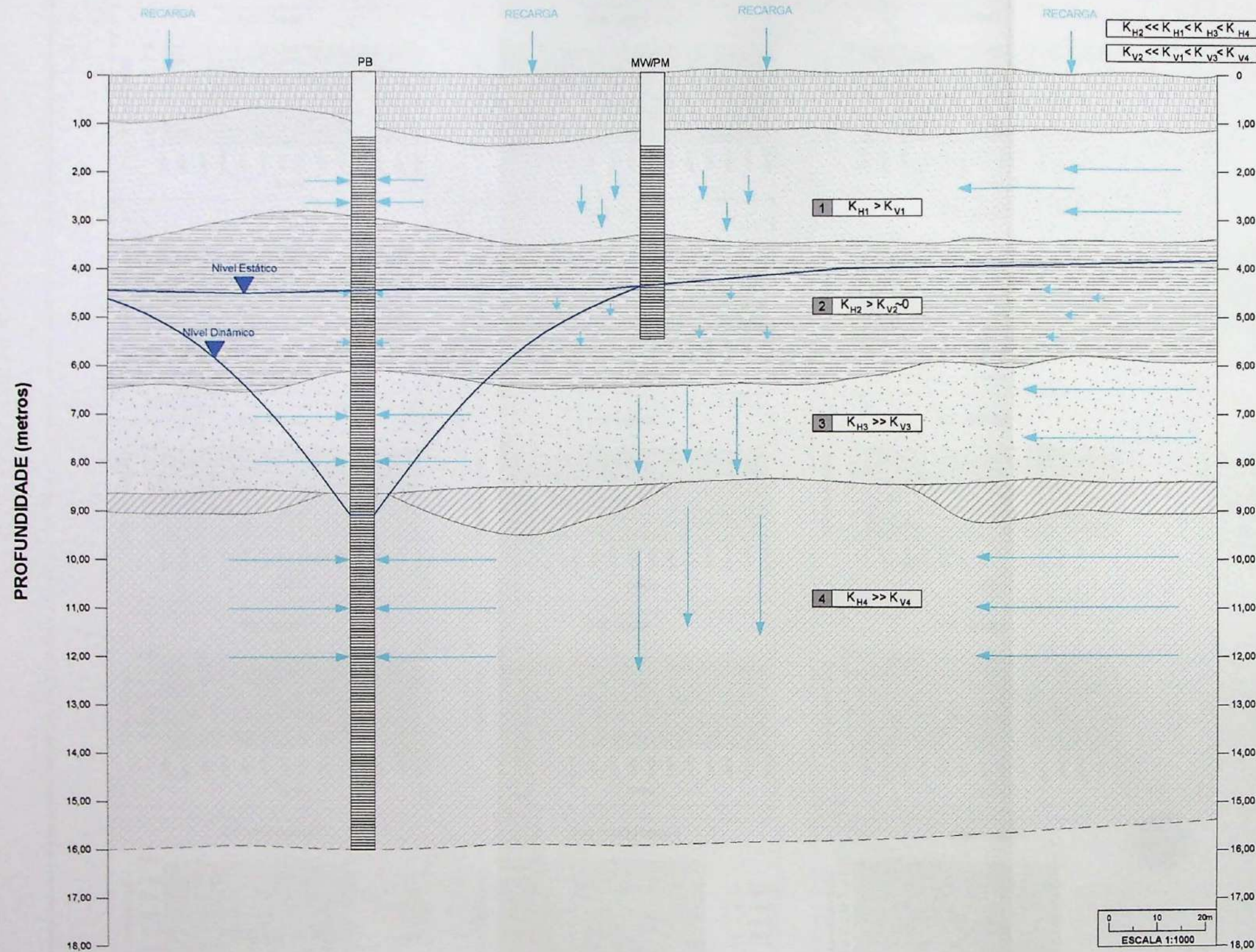
Prancha
16

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

USP



MODELO CONCEITUAL



LEGENDA:

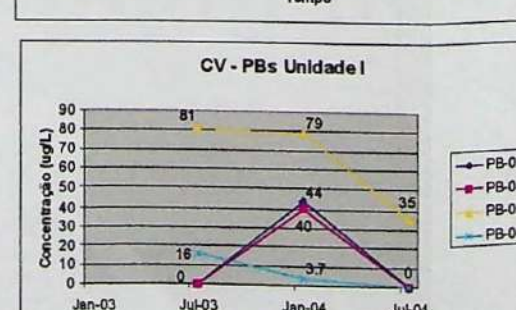
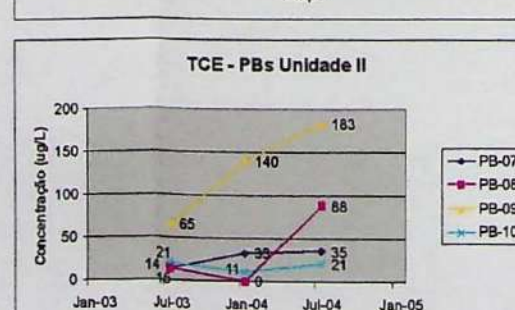
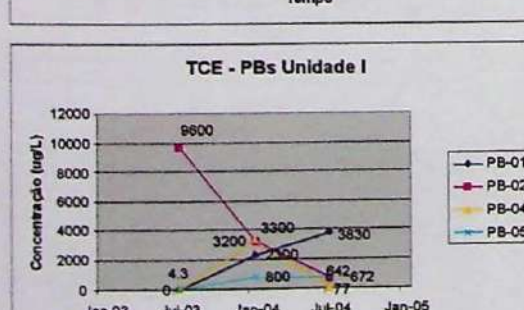
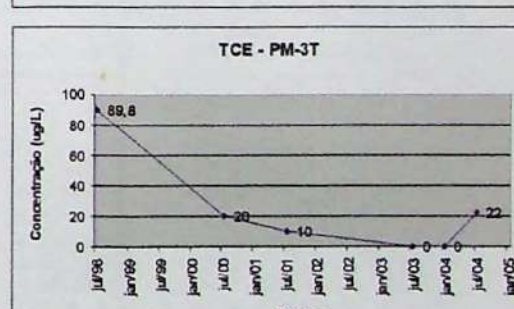
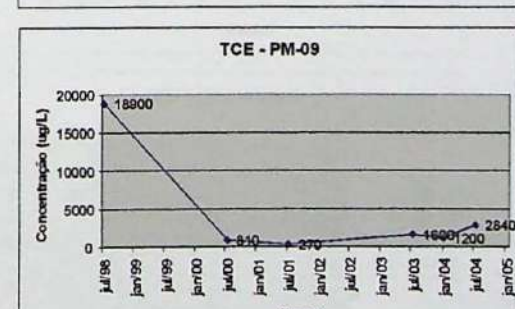
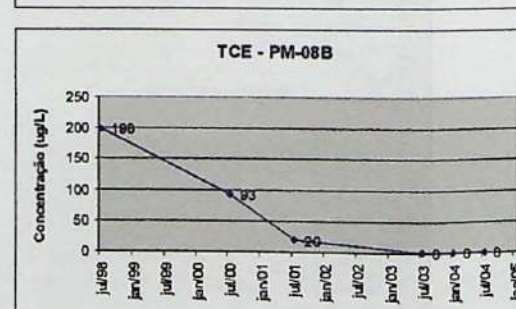
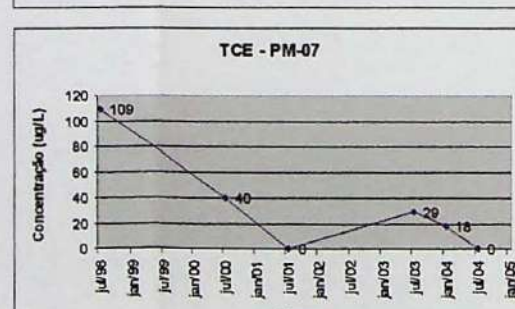
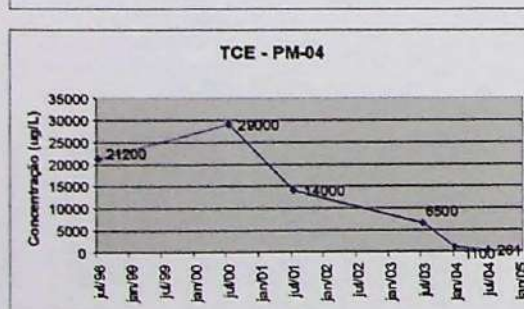
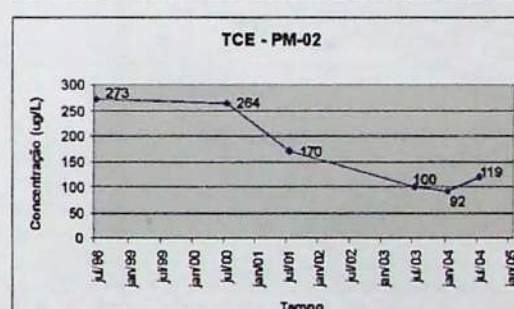
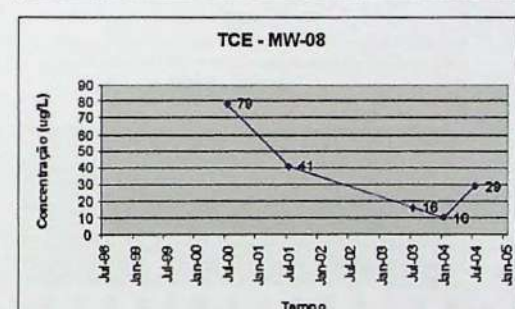
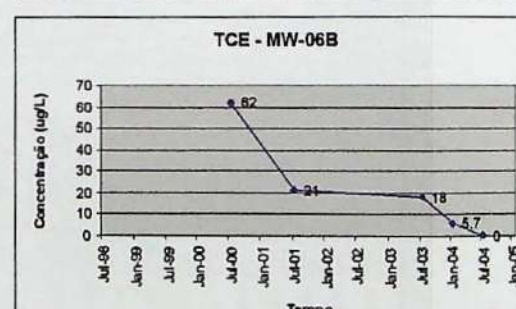
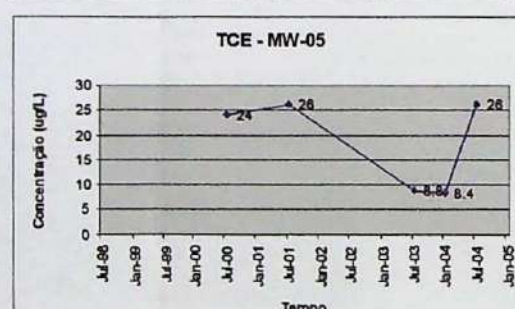
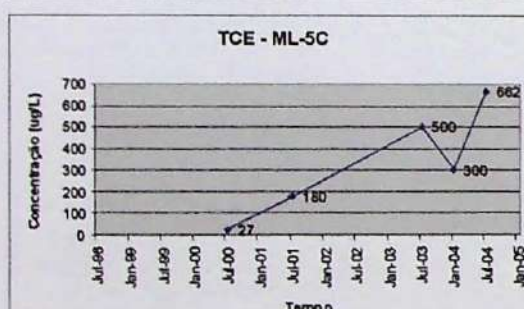
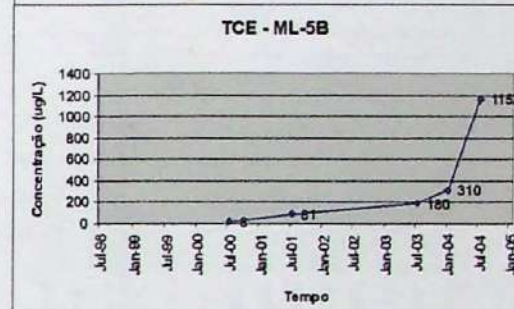
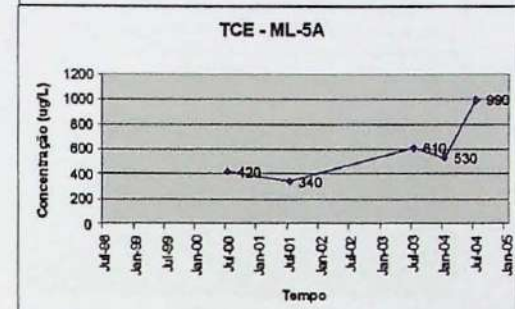
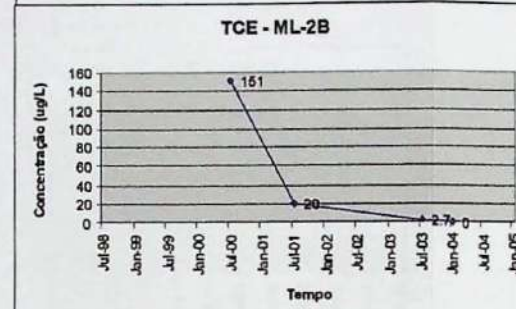
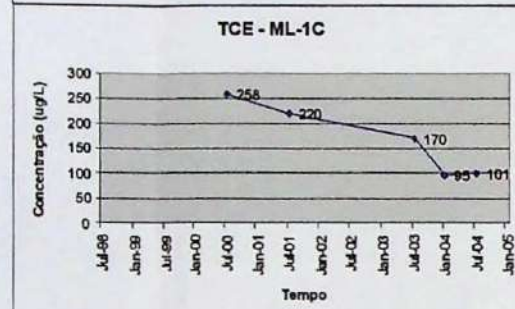
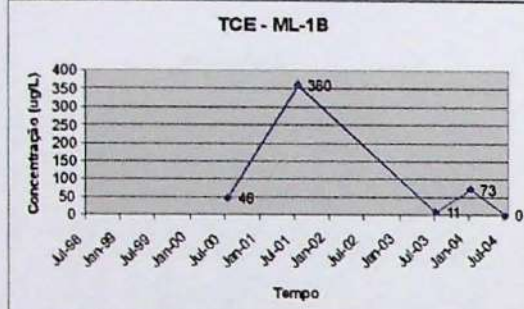
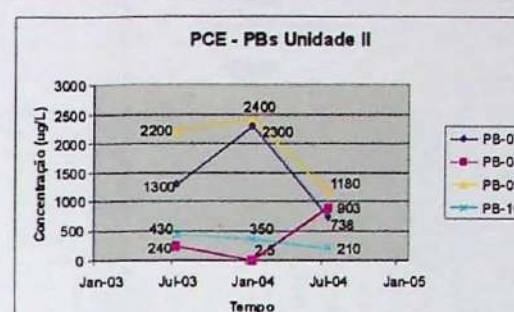
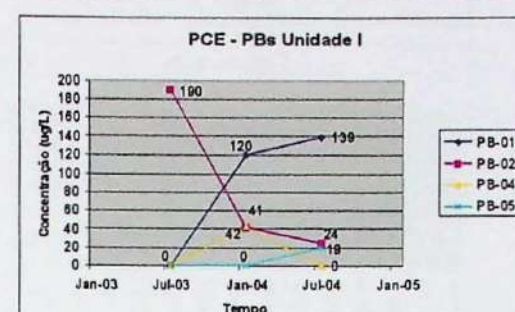
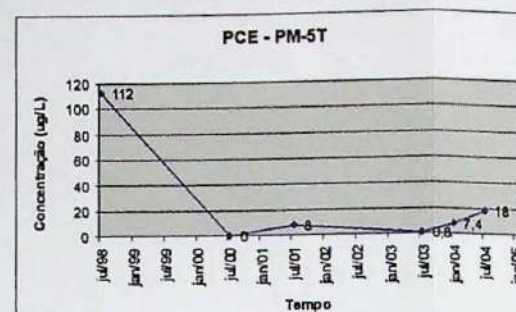
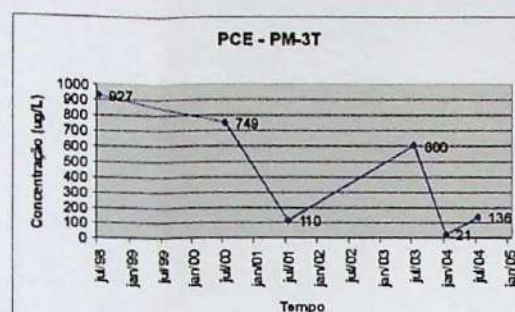
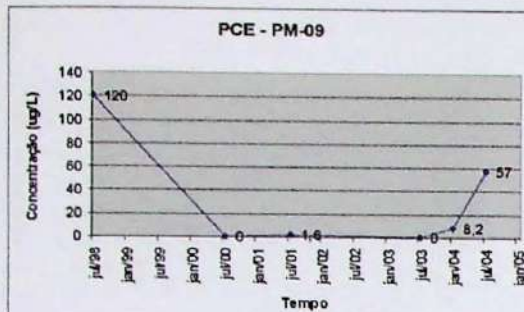
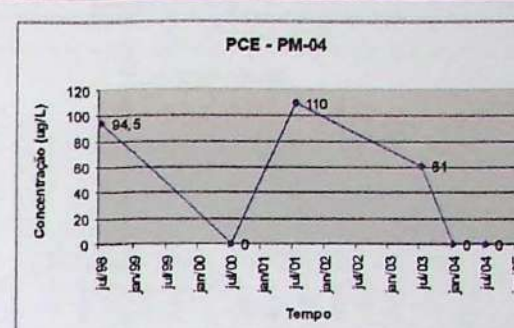
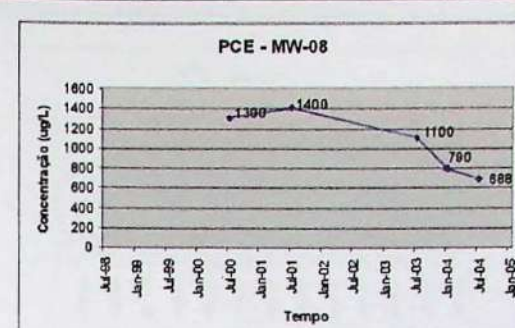
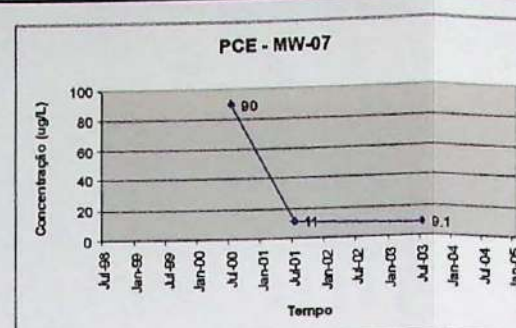
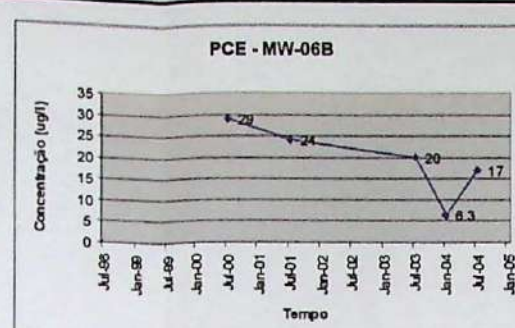
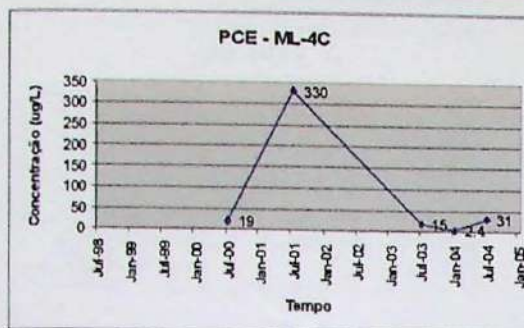
- Pavimento de concreto
- (A) Aterro silto-argiloso, localmente com areia fina, plástico, medianamente compacto, úmido, com matéria orgânica, cor bege/marrom avermelhado
- (B) Areia, fina e média, micácea, frável, úmida, bege
- (C) Argila silto-arenosa, plástica, compacta, úmida, bege/marrom
- (D) Areia, média e grossa, matriz argilosa, com grande presença de cristais milimétricos a centimétricos de quartzo, feldspato e muscovita, frável, úmido, coloração branca-acinzentada
- (E) Alteração de rocha gnaissica (argilosa). Porções quartzo-feldspáticas (com o feldspato parcialmente alterado para argilo-minerais) intercaladas a horizontes foliados, com muscovita parcialmente alterada. Relativamente compacto, frável, argiloso, úmido. Coloração branca / acinzentada / avermelhada / esverdeada
- (F) Alteração de rocha gnaissica (Integra) Porções quartzo-feldspáticas, com cristais centimétricos, fraturados e pouco alterados, intercaladas a horizontes foliados, com muscovita. Compacta, úmida. Coloração branca / acinzentada / avermelhada / esverdeada
- Contato

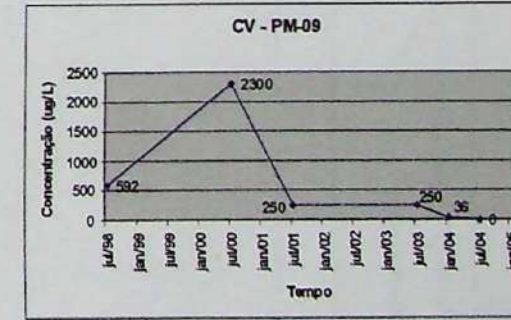
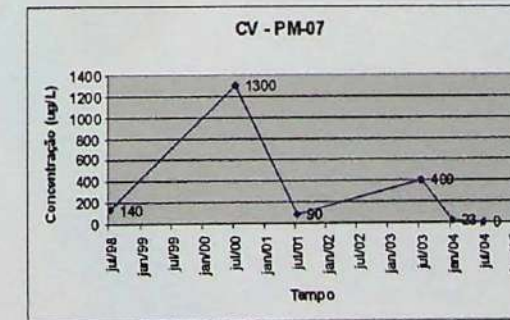
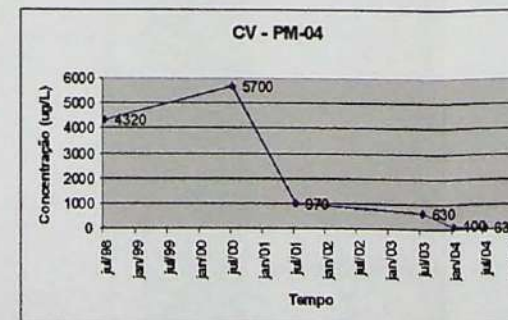
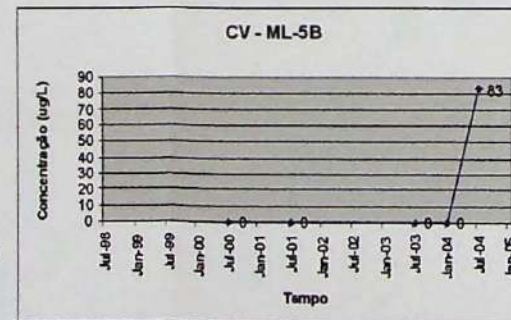
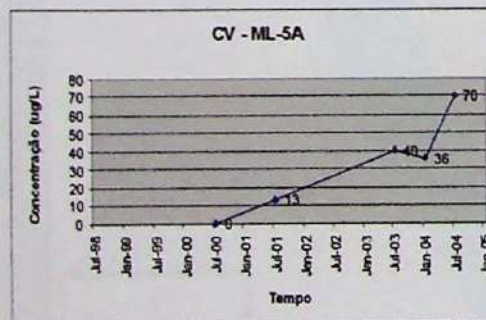
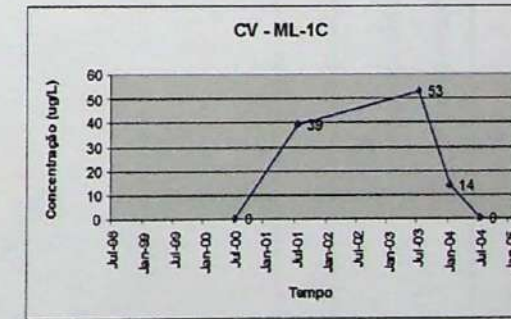
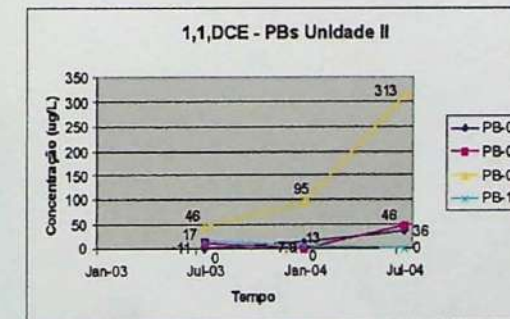
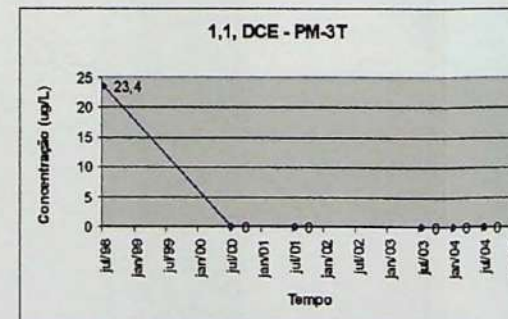
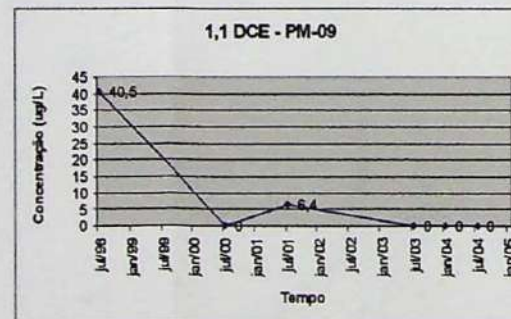
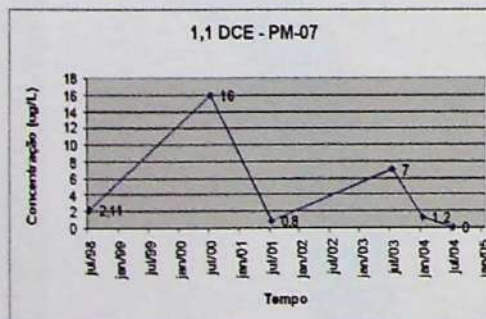
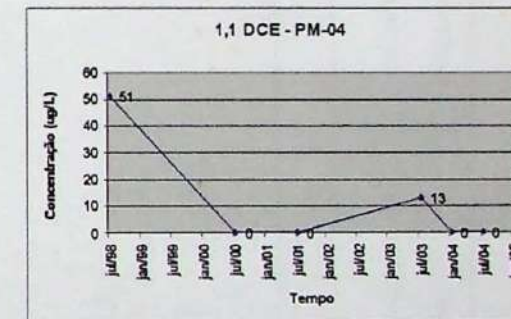
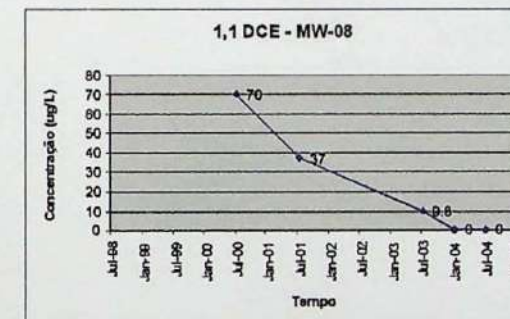
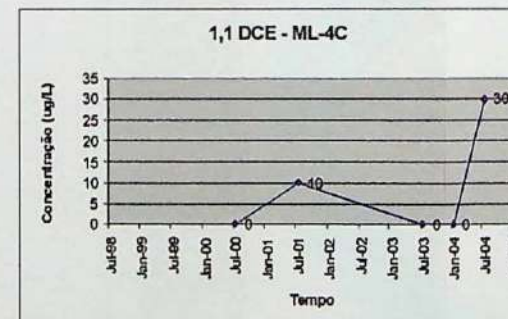
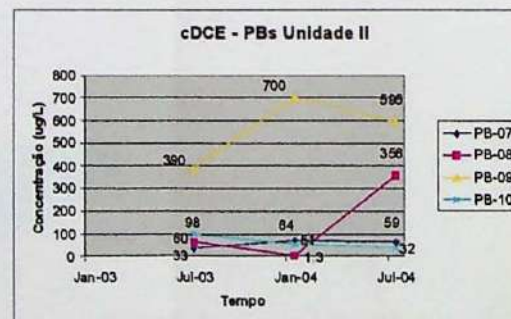
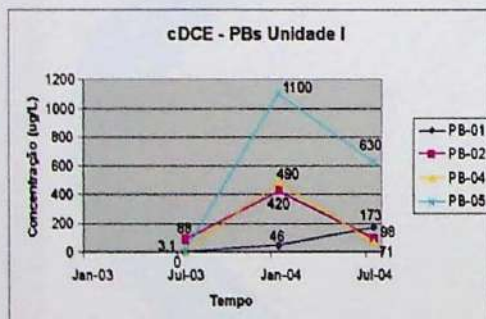
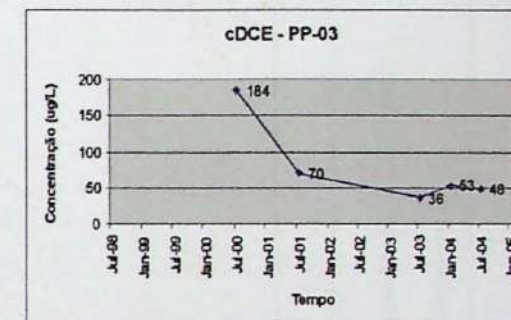
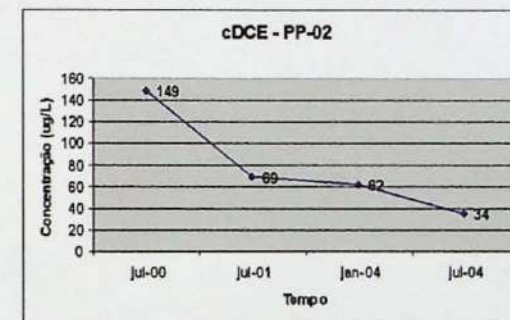
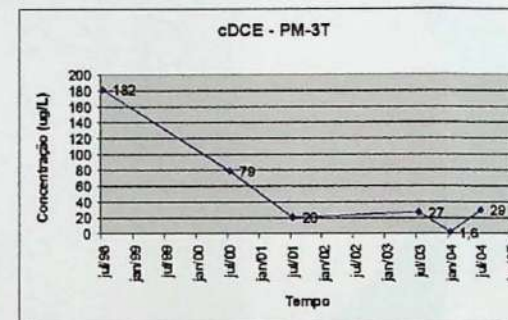
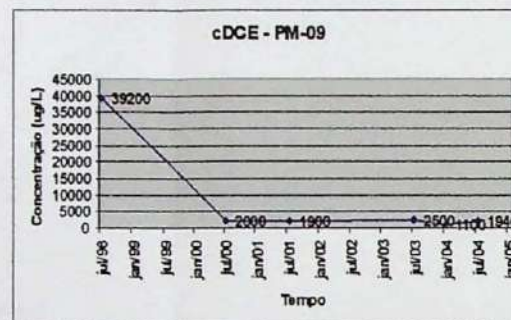
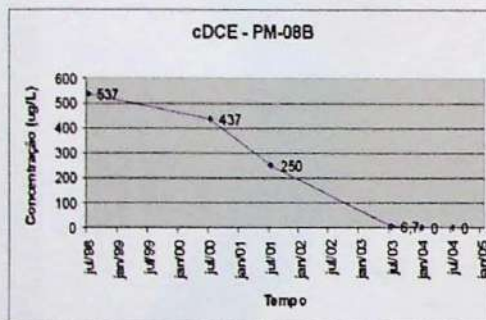
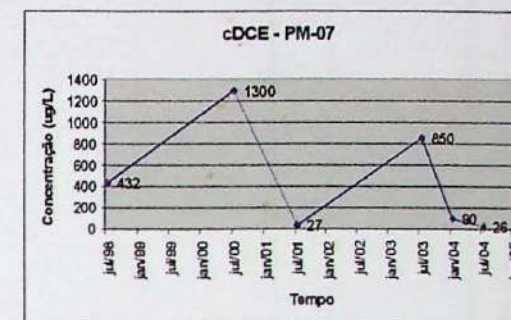
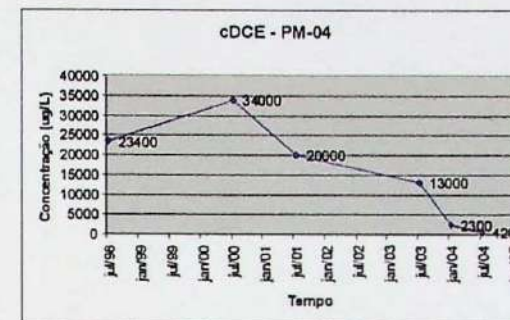
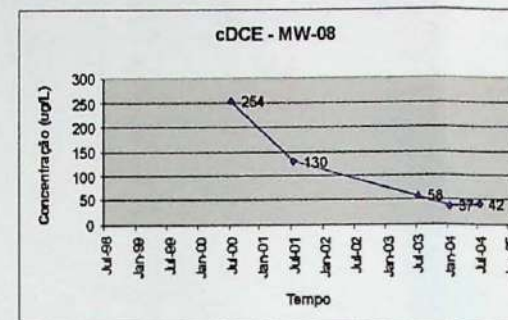
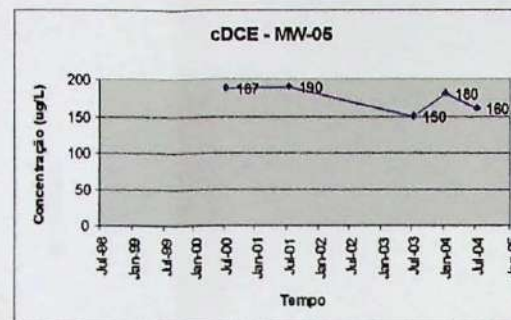
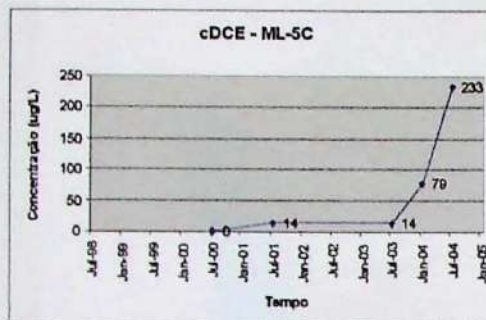
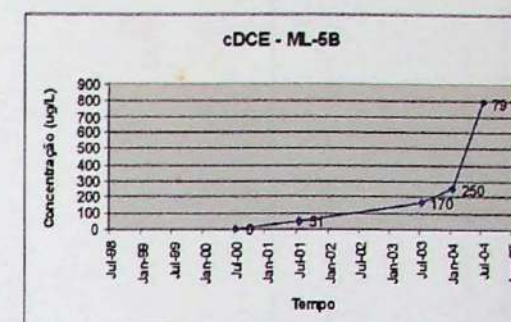
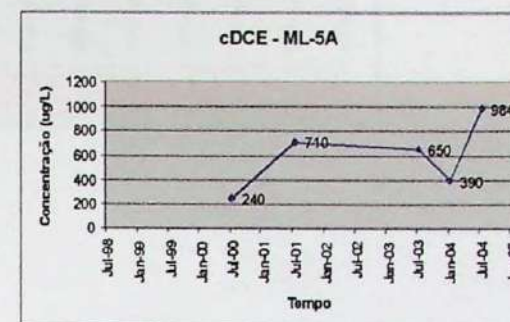
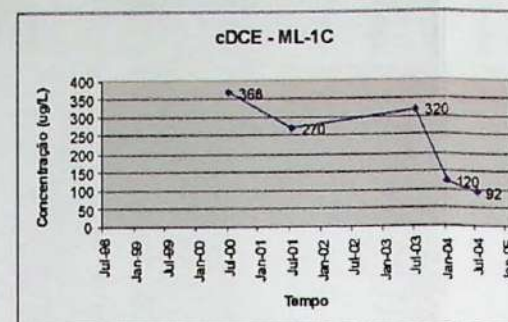
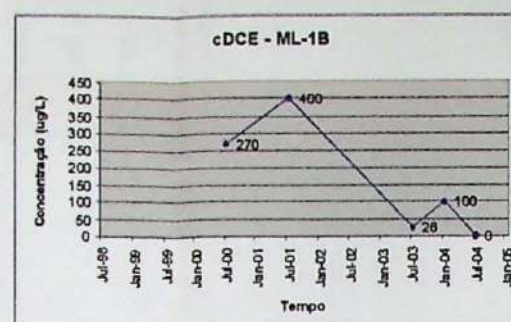
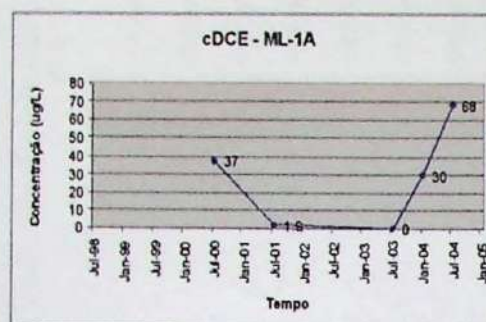
Modelo Conceitual Hidrogeológico

Prancha
18

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

USP





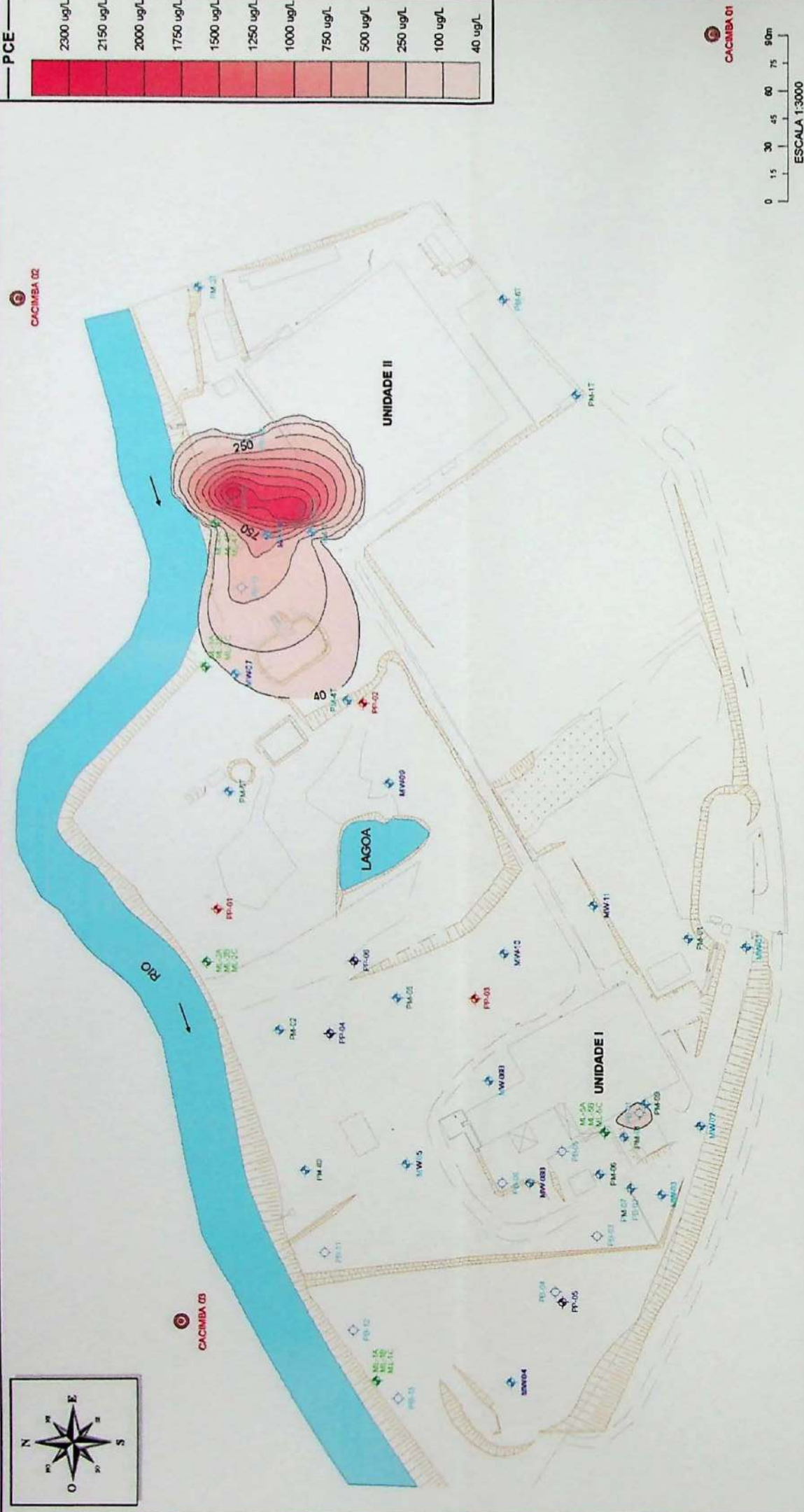
Gráficos das Concentrações Detectadas nas Diversas Campanhas de Amostragem de Água Subterrânea

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências

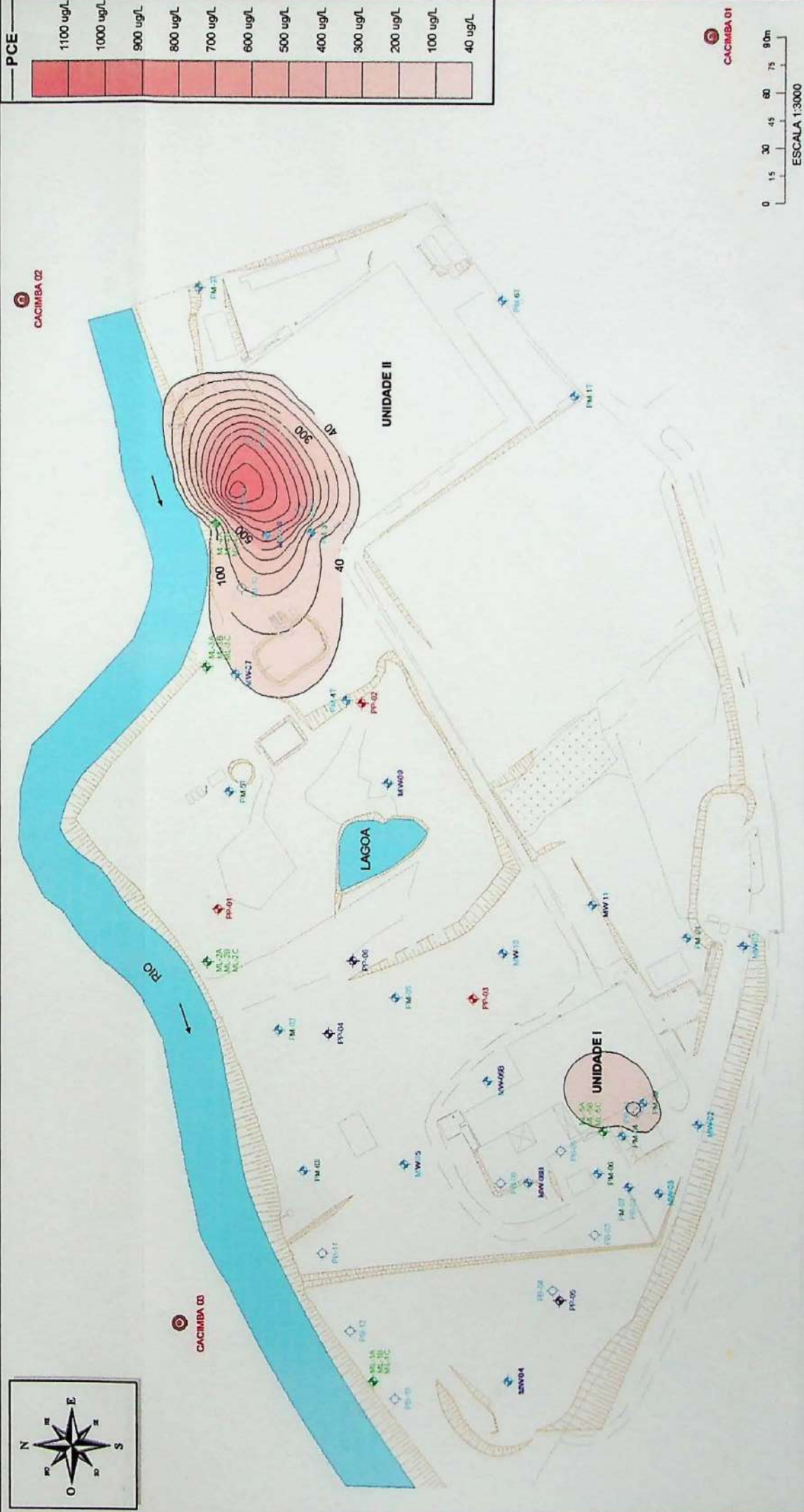
Prancha
19B

USP

JANEIRO DE 2004



JULHO DE 2004

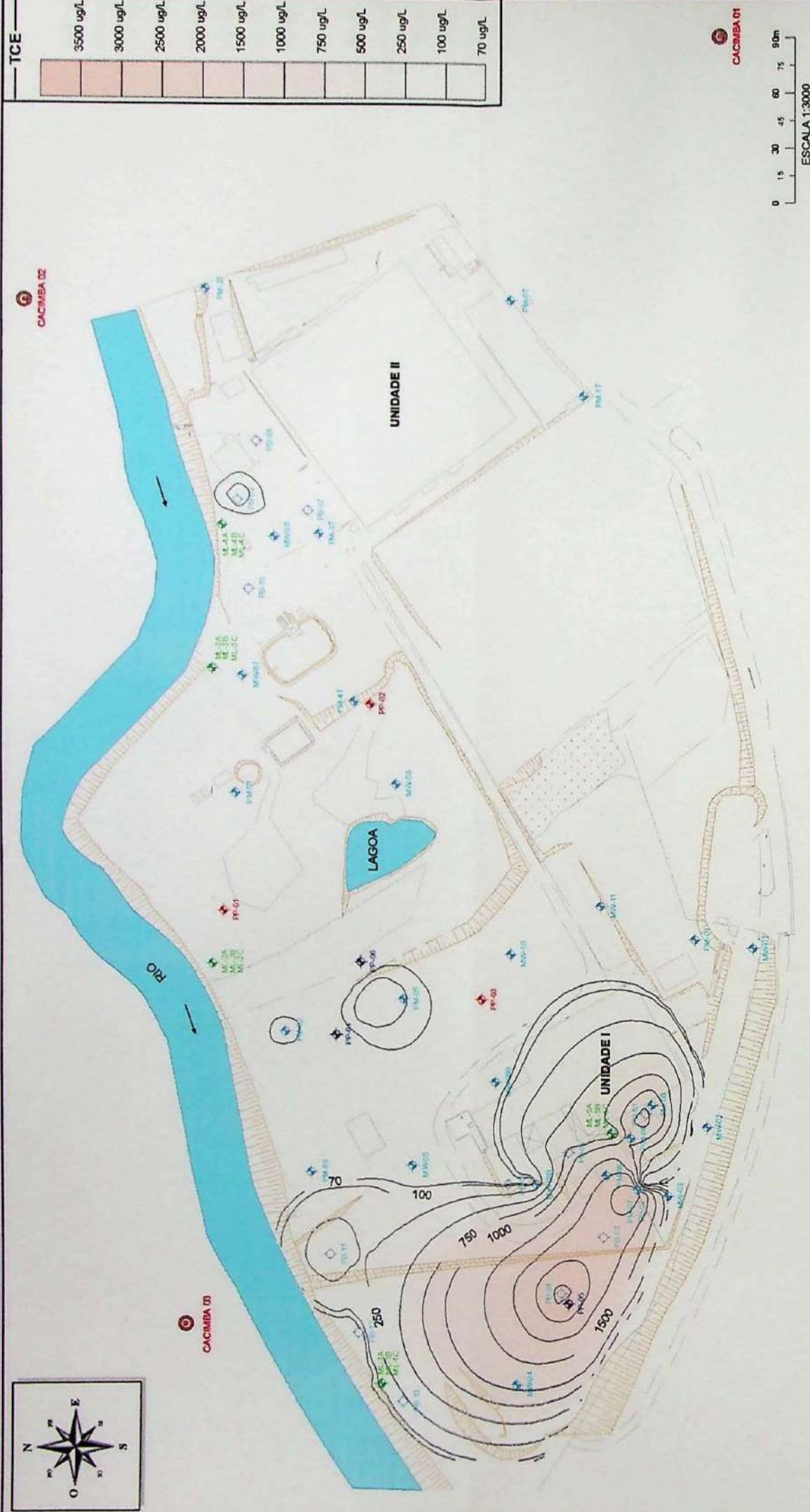


LEGENDA:

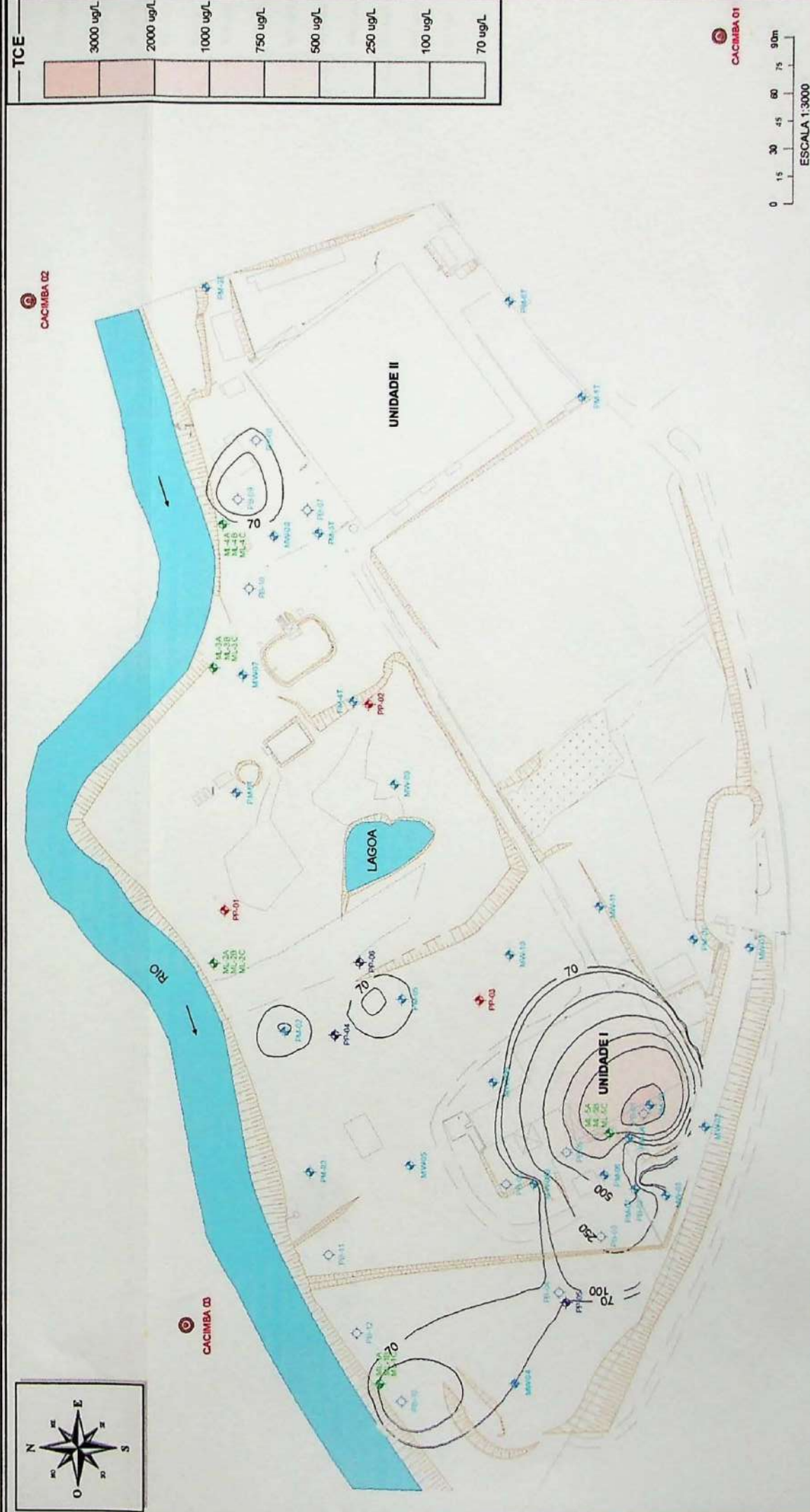
PM-05 POÇO MULTINÍVEL
PM-02 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
PP-03 POÇO DE PRODUÇÃO

PP-05 POÇO PROFUNDO INSTALADO - ANO 2000
PP-01 POÇO DE BOMBAMENTO

JANEIRO DE 2004



JULHO DE 2004



LEGENDA:

PM-01 POÇO MULTINÍVEL
PM-02 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
PM-03 POÇO DE MONITORAMENTO RASO

PM-04 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
PM-05 POÇO DE MONITORAMENTO RASO
PM-06 POÇO DE MONITORAMENTO RASO

PM-07 POÇO PROFUNDO INSTALADO - ANO 2000
PM-08 POÇO PROFUNDO INSTALADO - ANO 2000
PM-09 POÇO DE BOMBAMENTO
PM-10 POÇO DE BOMBAMENTO
PM-11 POÇO DE BOMBAMENTO

JANEIRO DE 2004



JULHO DE 2004



LEGENDA:

POÇO MULTINÍVEL

POÇO DE MONITORAMENTO RASO

POÇO DE MONITORAMENTO RASO

POÇO DE PRODUÇÃO

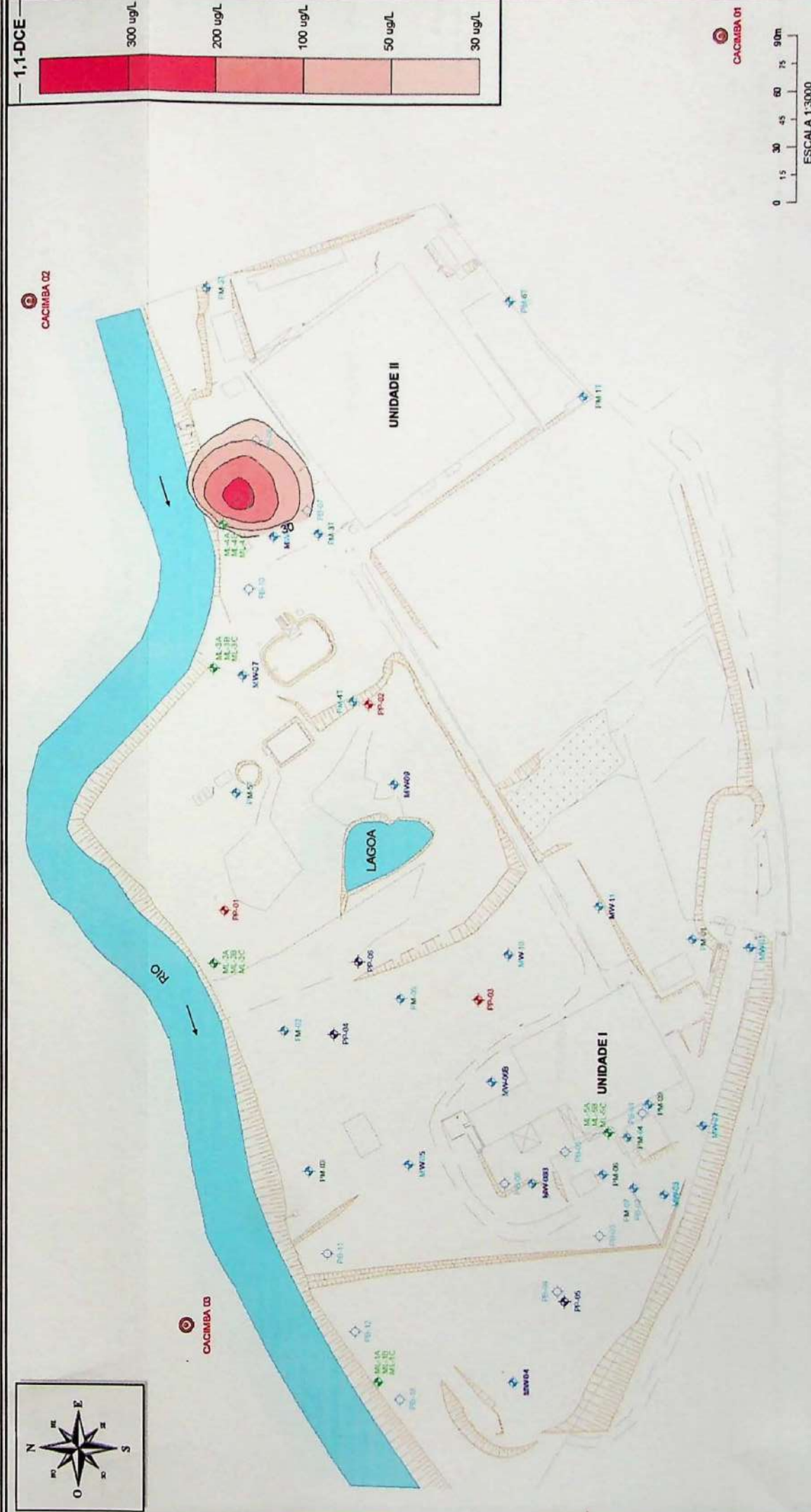
POÇO PROFUNDO INSTALADO - ANO 2000

POÇO DE BOMBAMENTO

JANEIRO DE 2004



JULHO DE 2004



LEGENDA:

POÇO MULTINÍVEL

POÇO DE MONITORAMENTO RASO

POÇO DE MONITORAMENTO RASO

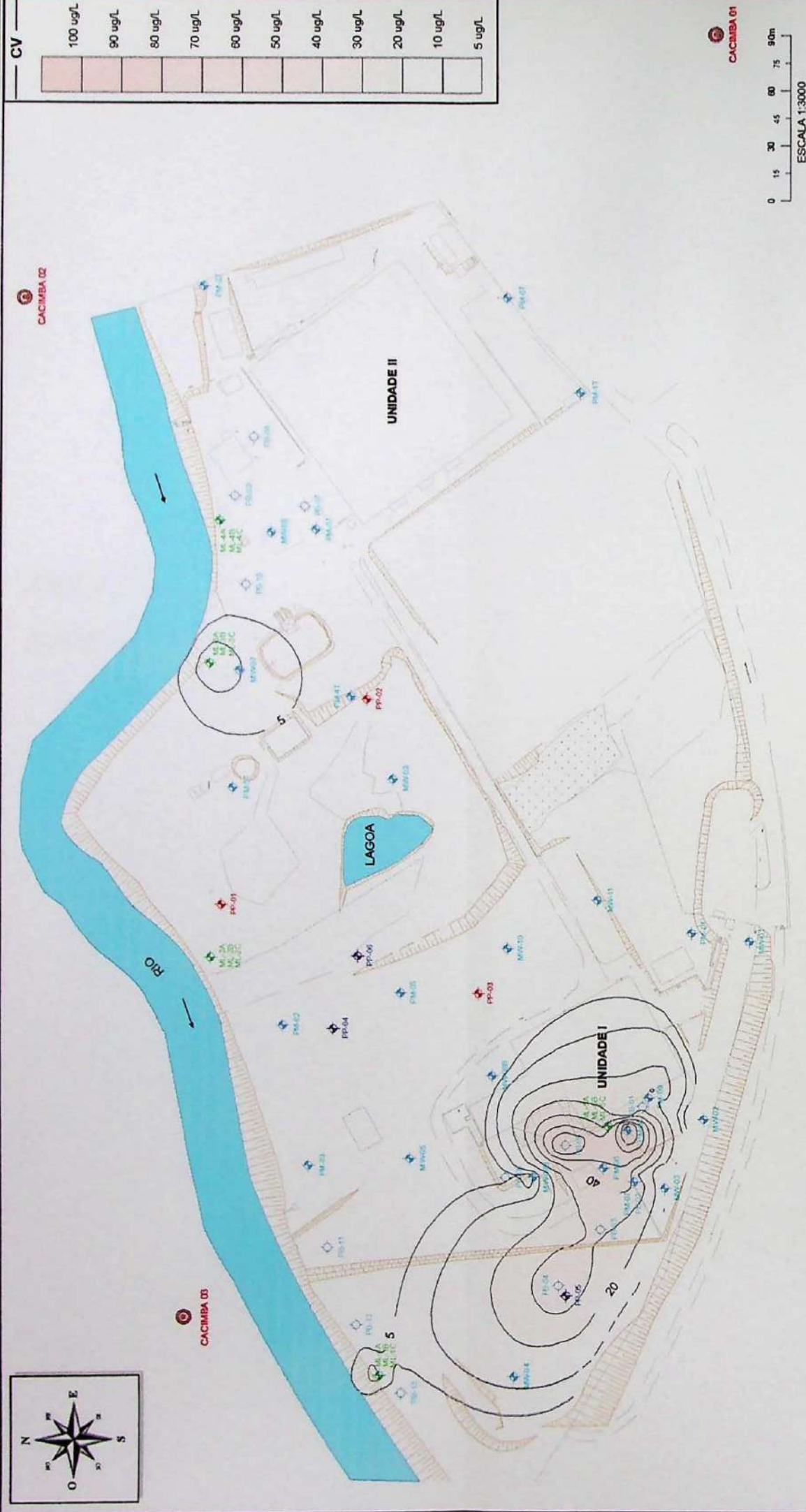
POÇO PROFUNDO INSTALADO - ANO 2000

POÇO DE MONITORAMENTO RASO

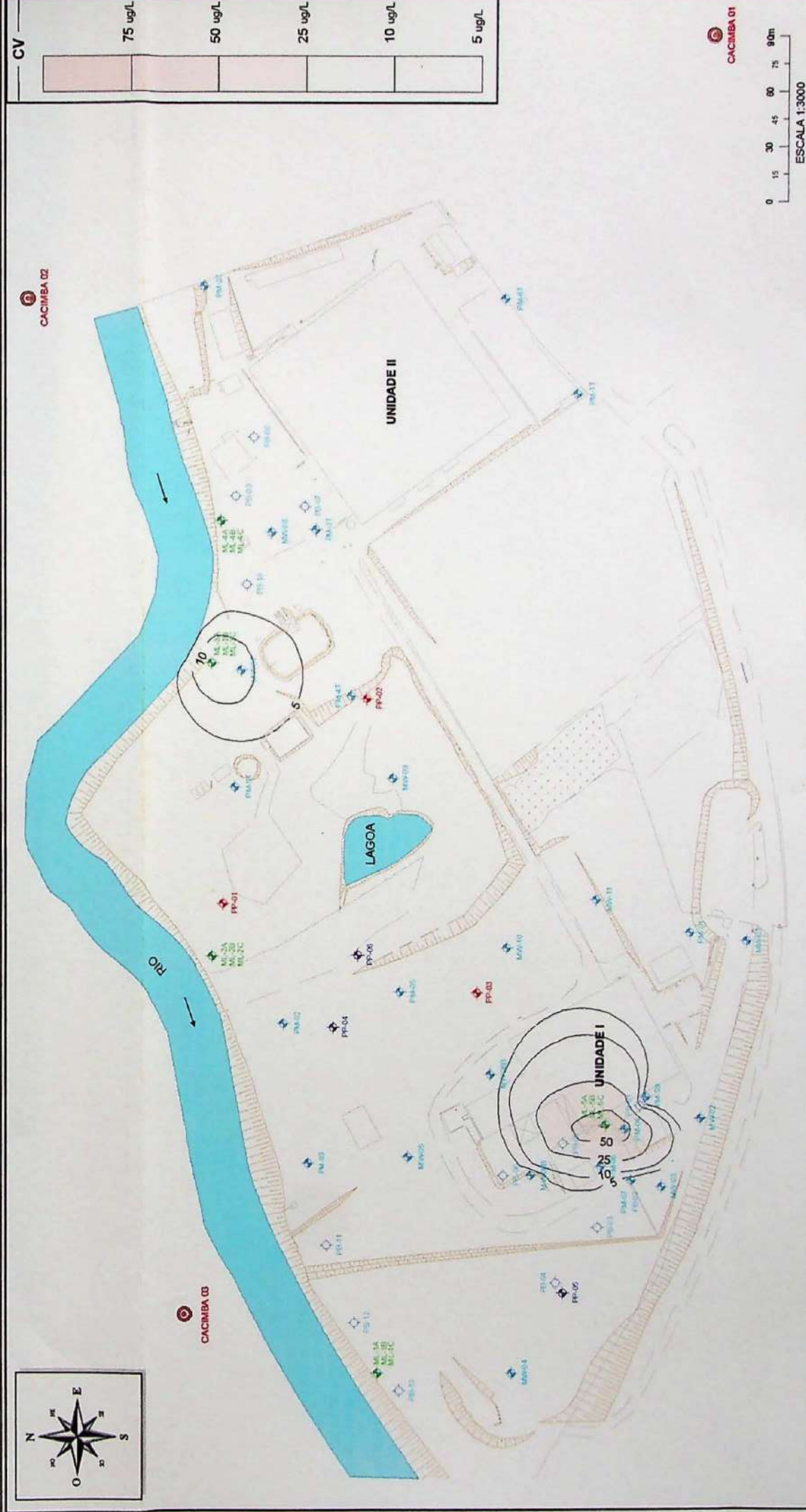
POÇO DE PRODUÇÃO

POÇO DE BOMBAMENTO

JANEIRO DE 2004



JULHO DE 2004



ANEXO 2

TABELAS

Tabela 1 - Resumo das concentrações de compostos Orgânicos voláteis obtidas para as amostras coletadas com Geoprobe (µg/L) (Novembro de 2001)

COMPOSTO	AM.P1/B	AM.P2/B	AM.P3/B	AM.P4/A	AM.P4/B	AM.P5/B	AM.P6/A	AM.P6/B	AM.P9/A	AM.P9/B	AM.P10/A	AM.P10/B	AM.P11/A	AM.P11/B	AM.P12/A	AM.P12/B	AM.P13/A	AM.P13/B	AM.P14/B	AM.P15/A	CETESB	DUTCH	PORT. 1469
1,1-Dicloroetano	1,4	ND	ND	1,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14	75	6,9	13		10	30
cis-1,2-Dicloroetano	280	ND	ND	190	ND	1200	ND	72	46	ND	22	ND	59	20	2,7	ND	53	170	33	81		20	
Tetracloroetano	2,4	ND	570	2,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17	30	ND	ND	9,2	42	560	1900		40	40
Tricloroetano	6500	5,4	37000	5400	5300	3200	ND	5,8	3,6	ND	5	ND	13	2,6	82	ND	8,7	47	12	37		70	70
Cloro de Vinila	5,7	ND	ND	38	ND	60	ND	84	40	ND	2,7	ND	3,2	ND	ND	ND	2,1	3,8	ND	ND		5	5

COMPOSTO	AM.P15/B	AM.P16/A	AM.P16/B	AM.P17/B	AM.P18/A	AM.P18/B	AM.P20A	AM.P20B	AM.P21/A	AM.P22/A	AM.P22/B	AM.P23/A	AM.P23/B	AM.P24/A	AM.P24/B	P-25	P-26	P-27	P-28	P-29	CETESB	DUTCH	PORT. 1469
1,1-Dicloroetano	1,4	ND	16	160	13	220	27	1,8	45	ND	6,2	7,2	3,1	55	44	ND	ND	ND	ND	ND		10	30
cis-1,2-Dicloroetano	39	1,7	160	1100	59	4200	100	170	94	2800	120	13	11	200	280	1	ND	230	128	303		20	
Tetracloroetano	1100	ND	410	760	110	3700	61	64	21	230	28	110	24	240	160	3	7,4	ND	ND	ND		40	40
Tricloroetano	17	ND	27	140	15	450	20	12	25	83	23	3,9	2,3	48	35	ND	ND	100	80	54		70	70
Cloro de Vinila	ND	ND	ND	28	6,9	80	15	ND	5,4	220	7,2	ND	ND	9,5	6,1	3	ND	ND	ND	8		5	5

27 = Concentração acima dos padrões adotados
 1100 = Concentração acima dos padrões adotados
 ND = Composto não analisado, porém não detectado
 NA = Composto não analisado
 CETESB = Padrão de intervenção estabelecido pela CETESB
 DUTCH = Padrão de intervenção estabelecido pela Dutch Reference (Francia)
 PORT. 1469 = Padrão estabelecido pelo Portaria 1.469 do Ministério da Saúde

Tabela 2 - Resumo das concentrações de compostos orgânicos voláteis obtidas para as amostras coletadas nos poços multi-níveis (ug/L) (Novembro de 2001)

COMPOSTO	ML-1A	ML-1B	ML-1C	ML-2A	ML-2B	ML-2C	ML-3B	ML-03C	ML-04B	ML-4C	ML-05A	ML-05B	ML-05C	CETESB	DUTCH	PORT.1469
1,1-Dicloroetano	ND	ND	ND	ND	1,1	1	ND	ND	ND	10	1,5	ND	ND		10	30
cis-1,2-Dicloroetano	1,9	400	270	3,9	53	ND	ND	35	11	68	710	51	14		20	
Tetracloroetano	ND	ND	3,2	2,6	ND	ND	ND	ND	14	330	1,4	3,2	5,1	40	40	40
Tricloroetano	ND	360	220	2,1	20	ND	ND	ND	6,1	15	340	81	180	70	500	70
Cloreto de Vinila	1,6	ND	39	ND	ND	ND	ND	11	ND	ND	13	ND	ND	5	5	

27 = Concentração abaixo dos padrões adotados

1100 = Concentração acima dos padrões adotados

ND = Composto analisado, porém não detectado

NA = Composto não analisado

CETESB = Padrão de intervenção estabelecido pela CETESB

DUTCH = Padrão de intervenção estabelecido pela Lista Holandesa (Dutch Reference Framework)

PORT. 1469 = Padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 1.469 do Ministério da Saúde

Tabela 3 - Resumo das concentrações de compostos orgânicos voláteis obtidas para as amostras coletadas nos poços de monitoramento, cisternas e amostras de brancos (ug/L) (Novembro de 2001)

COMPOSTO	MW-01	MW-02	MW-03	MW-04	MW-05	MW-06B	MW-07	MW-08	MW-09	MW-10	MW-11	APARECIDA	S. ROQUE	STA. RITA	Equip.Blank	Trip Blank	Blank Equip.2	BRANCO CAMPO	CETESB	DUTCH	PORT.1469
1,1-Dicloroetano	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	37	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		10	30
cis-1,2-Dicloroetano	ND	ND	ND	14	190	8,4	1,2	130	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		20	
Tetracloroetano	ND	ND	ND	ND	ND	24	11	1400	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		40	40
Tricloroetano	ND	ND	ND	ND	26	21	ND	41	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	70	500	70
Cloreto de Vinila	ND	ND	ND	2,9	ND	ND	ND	5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5	5	

27 = Concentração abaixo dos padrões adotados
1100 = Concentração acima dos padrões adotados
ND = Composto analisado, porém não detectado
NA = Composto não analisado
CETESB = Padrão de intervenção estabelecido pela CETESB
DUTCH = Padrão de intervenção estabelecido pela Lista Holandesa (Dutch Reference Framework)
PORT. 1469 = Padrão de polubilidade estabelecido pela Portaria 1 469 do Ministério da Saúde

Tabela 4 - Resumo das concentrações de compostos orgânicos voláteis obtidas para as amostras coletadas nos poços de monitoramento e poços de produção (ug/L) (Novembro de 2001)

COMPOSTO	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-07	PM-08/B	PM-09	PM-1T	PM-02T	PM-03T	PM-04T	PM-05T	PM-06T	PP-01	PP-02	PP-03	PP-04	PP-05	PP-06	CETESB	DUTCH	PORT.1469
1,1-Dicloroetano	ND	ND	ND	ND	ND	7.8	0.8	ND	6.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.6	ND	ND	ND	ND		10	30
cis-1,2-Dicloroetano	ND	56	7.9	20000	2.5	1700	27	250	1900	ND	ND	20	ND	2.9	ND	4.6	69	70	6.2	150	ND		20	
Tetracloroetano	ND	ND	ND	110	ND	ND	ND	ND	1.6	ND	ND	110	ND	8	ND	ND	48	0.6	ND	ND	ND	40	40	40
Tricloroetano	ND	170	2.7	14000	7.9	32	ND	20	270	ND	ND	10	ND	1.6	ND	5.5	91	65	45	150	3.0	70	500	70
Cloro de Vinila	ND	ND	ND	970	ND	170	90	22	250	ND	ND	1.3	ND	ND	ND	ND	1.7	ND	ND	ND	ND	5	5	5

27 = Concentração abaixo dos padrões adotados
1190 = Concentração acima dos padrões adotados
ND = Composto analisado, porém não detectado
NA = Composto não analisado
CETESB = Padrão de intervenção estabelecido pela CETESB
DUTCH = Padrão de intervenção estabelecido pela Lista Holandesa (Dutch Reference Framework)
PORT. 1469 = Padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 1.469 do Ministério da Saúde

Tabela 5 - Resumo das concentrações de compostos orgânicos voláteis obtidas para as amostras coletadas nos poços de bombeamento (ug/L)

COMPOSTO	PB-01	PB-02	PB-03	PB-04	PB-05	PB-06	PB-07	PB-08	PB-09	PB-10	PB-11	PB-12	PB-13	CETESB	DUTCH	PORT.36
1,1-Dicloroetano	1,8	3,8	ND	ND	ND	ND	5,2	ND	ND	3,4	0,8	1,8	1,7		10	30
cis-1,2-Dicloroetano	600	810	ND	ND	67	40	53	10	8,1	21	370	770	810		20	
Tetracloroetano	34	1,6	ND	ND	1,8	ND	930	ND	36	15	2,9	9,5	9,0	40	40	40
Tricloroetano	6,500	300	ND	ND	100	3,8	8,1	ND	1,9	8,4	410	880	730	70	500	70
Cloro de Vinila	18	580	ND	ND	ND	2,7	19	9,7	4,3	5,4	2,8	17	5,2	5	5	

27 = Concentração abaixo dos padrões adotados
1100 = Concentração acima dos padrões adotados
ND = Composto analisado, porém não detectado
NA = Composto não analisado
CETESB = Padrão de intervenção estabelecido pela CETESB

Tabela 6
Ensaios Hidráulicos nos Poços do Sistema de Remediação
Ensaios de Vazão

Poço núm.:	PB-01
Data e hora:	14/02/02, 12:30
Profundidade do poço (tubo):	19.75m
Profundidade da captação da bomba (tubo):	17.75m
Tipo de Bomba:	AP3/TLC
Nível estático (tubo):	2.640m
Ciclo Inicial:	104817

PB-01					
Tempo (min)	Leitura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)	N.A. (m)
0:02:30	104895	78	34,63	831,17	
0:05:00	104968	151	67,04	777,89	
0:10:00	105110	293	130,09	756,58	15,50
0:15:00	105253	436	193,58	761,90	
0:20:00	105397	580	257,52	767,23	
0:25:00	105540	723	321,01	761,90	
0:30:00	105688	871	386,72	788,54	15,50
0:35:00	105835	1018	451,99	783,22	
0:40:00	105979	1162	515,93	767,23	
0:45:00	106125	1308	580,75	777,89	
0:50:00	106271	1454	645,58	777,89	
0:55:00	106415	1598	709,51	767,23	
1:00:00	106558	1741	773,00	761,90	15,50
1:15:00	106988	2171	963,92	763,68	
1:30:00	107418	2601	1154,84	763,68	15,50
1:45:00	107844	3027	1343,99	756,58	
2:00:00	108271	3454	1533,58	758,35	15,50
2:15:00	108683	3866	1716,50	731,71	
2:30:00	109090	4273	1897,21	722,83	
2:45:00	109505	4688	2081,47	737,04	
3:00:00	109912	5095	2262,18	722,83	15,50
3:30:00	110728	5911	2624,48	724,61	
4:00:00	111536	6719	2983,24	717,50	
5:00:00	113147	8330	3698,52	715,28	
6:00:00	114756	9939	4412,92	714,40	

Profundidade (m) do N.A. dos poços de observação							
PM-09	PM-04	ML-5A	ML-5B	ML-5C	PM-06	PB-05	PB-02
2.475	2.700	1.355	1.325	1.395	1.235	1.615	1.295
2.500	2.690	1.310	1.345	1.345	1.240	1.608	1.280
2.530	2.680	1.370	1.405	1.395	1.225	1.600	1.290
2.570	2.690	1.410	1.445	1.445	1.225	1.600	1.300
2.610	2.680	1.430	1.460	1.470	1.220	1.590	1.310
2.680	2.670	1.470	1.500	1.505	1.220	1.590	1.320
2.740	2.670	1.490	1.520	1.520	1.230	1.590	1.330
2.780	2.670	1.510	1.545	1.530	1.230	1.590	1.335
2.805	2.670	1.520	1.545	1.540	1.230	1.580	1.340

PB-01 Poços que apresentaram rebaixamento significativo

Tabela 7
Ensaio Hidráulicos nos Poços do Sistema de Remediação
Ensaio de Vazão

Poço núm.:	PB-02
Data e hora:	07/02/02; 09:20
Profundidade do poço (tubo):	16,00m
Profundidade da captação da bomba (tubo):	14,00m
Tipo de Bomba:	AP3/TLC
Nível estático (tubo):	1,44m
Ciclo Inicial:	85058

PB-02				
Tempo (min)	Lectura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)
0:02:30	85128	70	29,19	700,56
0:05:00	85199	141	58,80	710,57
0:10:00	85345	287	119,68	730,58
0:15:00	85487	429	178,89	710,57
0:20:00	85629	571	238,11	710,57
0:25:00	85773	715	298,16	720,58
0:30:00	85916	858	357,79	715,57
0:35:00	86059	1001	417,42	715,57
0:40:00	86203	1145	477,47	720,58
0:45:00	86346	1288	537,10	715,57
0:50:00	86491	1433	597,56	725,58
0:55:00	86635	1577	657,61	720,58
1:00:00	86779	1721	717,66	720,58
1:15:00	87211	2153	897,80	720,58
1:30:00	87640	2582	1076,69	715,57
1:45:00	88070	3012	1256,00	717,24
2:00:00	88498	3440	1434,48	713,90
2:15:00	88926	3868	1612,96	713,90
2:30:00	89355	4297	1791,85	715,57
2:45:00	89789	4731	1972,83	723,91
3:00:00	90223	5165	2153,81	723,91
3:30:00	91093	6035	2516,60	725,58
4:00:00	91950	6892	2873,96	714,74
5:00:00	93718	8660	3611,22	737,26
6:00:00	95484	10426	4347,64	736,42

Profundidade (m) do N.A. dos poços de observação									
PB-01	PB-03	PB-05	PM-06	PM-07	ML-05A	ML-05B	ML-05C		
2,690	1,355	1,380	1,410	1,050	1,360	1,415	1,370		
2,734	1,730	1,382	1,410	1,050	1,400	1,417	1,380		
2,745	1,380	1,390	1,410	1,055	1,405	1,423	1,425		
2,755	1,390	1,398	1,413	1,055	1,425	1,455	1,450		
2,770	1,395	1,402	1,415	1,060	1,445	1,470	1,470		
2,783	1,385	1,405	1,410	1,055	1,450	1,475	1,475		
2,795	1,355	1,405	1,390	1,035	1,470	1,485	1,485		
2,810	1,325	1,400	1,375	1,030	1,480	1,490	1,495		
2,810	1,320	1,395	1,360	1	1,485	1,500	1,500		

PB-01 Poços que apresentaram rebaixamento significativo

Ensaio de Vazão

PB-03					
Tempo (min)	Letura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)	N.A. (m)
0:02:30	75867	81	35,96	863,14	
0:05:00	75942	156	69,26	799,20	8,50
0:10:00	76091	305	135,42	793,87	
0:15:00	76242	456	202,46	804,53	
0:20:00	76393	607	269,51	804,53	8,40
0:25:00	76543	757	336,11	799,20	
0:30:00	76695	909	403,60	809,86	
0:35:00	76846	1060	470,64	804,53	
0:40:00	76997	1211	537,68	804,53	
0:45:00	77148	1362	604,73	804,53	
0:50:00	77300	1514	672,22	809,86	
0:55:00	77452	1666	739,70	809,86	
1:00:00	77603	1817	806,75	804,53	8,10
1:15:00	78057	2271	1008,32	806,30	
1:30:00	78515	2729	1211,68	813,41	
1:45:00	78969	3183	1413,25	806,30	
2:00:00	79423	3637	1614,83	806,30	
2:15:00	79875	4089	1815,52	802,75	
2:30:00	80329	4543	2017,09	806,30	8,10
2:45:00	80784	4998	2219,11	808,08	
3:00:00	81241	5455	2422,02	811,63	
3:30:00	82155	6369	2827,84	811,63	8,20
4:00:00	83065	7279	3231,88	808,08	
5:00:00	84890	9104	4042,18	810,30	

Poços que apresentaram rebaixamento significativo

Ensaio de Vazão

PB-04					
Tempo (min)	Leltura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)	N.A. (m)
0:02:30	64906	77	34,19	820,51	12,00
0:05:00	64986	157	69,71	852,48	
0:10:00	65137	308	136,75	804,53	
0:15:00	65286	457	202,91	793,87	
0:20:00	65435	606	269,06	793,87	12,00
0:25:00	65583	754	334,78	788,54	
0:30:00	65732	903	400,93	793,87	
0:35:00	65881	1052	467,09	793,87	
0:40:00	66028	1199	532,36	783,22	
0:45:00	66176	1347	598,07	788,54	
0:50:00	66327	1498	665,11	804,53	
0:55:00	66478	1649	732,16	804,53	
1:00:00	66630	1801	799,64	809,86	12,00
1:15:00	67084	2255	1001,22	806,30	
1:30:00	67535	2706	1201,46	800,98	
1:45:00	67989	3160	1403,04	806,30	
2:00:00	68444	3615	1605,06	808,08	
2:15:00	68900	4071	1807,52	809,86	
2:30:00	69356	4527	2009,99	809,86	
2:45:00	69811	4982	2212,01	808,08	
3:00:00	70266	5437	2414,03	808,08	
3:30:00	71176	6347	2818,07	808,08	
4:00:00	72085	7256	3221,66	807,19	
5:00:00	73906	9077	4030,19	808,52	12,00
6:00:00	75726	10897	4838,27	808,08	12,00

PB-01 Poços que apresentaram rebaixamento significativo

Ensaios Hidráulicos nos Poços do Sistema de Remediação Ensalo de Vazão

Poço núm.:	PB-05		
Data e hora:	15/02/02, 9:25		
Profundidade do poço (tubo):	16.50m		
Profundidade da captação da bomba (tubo):			
Tipo de Bomba:	AP3/TLC		
Nível estático (tubo):	1.575m		
Ciclo Inicial:	114846		

PB-06					
Tempo (min)	Leitura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)	N.A. (m)
0:02:30	114913	67	29,75	713,95	
0:05:00	114986	140	62,16	777,89	12,00
0:10:00	115127	281	124,76	751,25	
0:15:00	115272	426	189,14	772,56	
0:20:00	115414	568	252,19	756,58	
0:25:00	115558	712	316,13	767,23	
0:30:00	115701	855	379,62	761,90	12,00
0:35:00	115844	998	443,11	761,90	
0:40:00	115987	1141	506,60	761,90	
0:45:00	116130	1284	570,10	761,90	
0:50:00	116272	1426	633,14	756,58	
0:55:00	116415	1569	696,64	761,90	
1:00:00	116556	1710	759,24	751,25	
1:15:00	116984	2138	949,27	760,13	12,00
1:30:00	117413	2567	1139,75	761,90	
1:45:00	117842	2996	1330,22	761,90	
2:00:00	118271	3425	1520,70	761,90	12,00
2:15:00	118704	3858	1712,95	769,01	
2:30:00	119135	4289	1904,32	765,46	
2:45:00	119577	4731	2100,56	784,99	
3:00:00	120006	5160	2291,04	761,90	
3:30:00	120875	6029	2676,88	771,67	
4:00:00	121733	6887	3057,83	761,90	
5:00:00	123461	8615	3825,06	767,23	

Profundidade (m) do N.A. dos poços de observação								
PB-01	PB-02	PB-03	PB-06	ML-05A	ML-05B	ML-06C	PM-06	PM-08
2.640	1.300	1.190	2.250	1.360	1.410	1.340	1.260	1.290
2.630	1.280	1.190	2.250	1.290	1.300	1.285	1.260	1.295
2.630	1.290	1.195	2.260	1.295	1.310	1.295	1.260	1.295
2.630	1.300	1.200	2.260	1.290	1.310	1.300	1.262	1.300
2.635	1.315	1.200	2.260	1.310	1.330	1.315	1.265	1.300
2.640	1.330	1.210	2.265	1.310	1.320	1.320	1.268	1.305
2.655	1.340	1.215	2.270	1.340	1.365	1.350	1.270	1.308
2.660	1.350	1.220	2.270	1.320	1.340	1.350	1.270	1.310

Ensaios Hidráulicos nos Poços do Sistema de Remediação Ensalo de Vazão

Poço núm.:	PB-06		
Data e hora:	08/02/2002; 07:30		
Profundidade do poço (tubo):	15.20m		
Profundidade da captação da bomba (tubo):	13.20m		
Tipo de Bomba:	AP3/TLC		
Nível estático (tubo):	2,23		
Ciclo Inicial:	95499		

PB-06					
Tempo (min)	Leitura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)	N.A. (m)
0:02:30	95579	80	35,52	852,48	2,23
0:05:00	95656	157	69,71	820,51	11,20
0:10:00	95810	311	138,08	820,51	
0:15:00	95963	464	206,02	815,18	
0:20:00	96115	616	273,50	809,86	
0:25:00	96268	769	341,44	815,18	
0:30:00	96420	921	408,92	809,86	11,20
0:35:00	96574	1075	477,30	820,51	
0:40:00	96728	1229	545,68	820,51	
0:45:00	96879	1380	612,72	804,53	
0:50:00	97032	1533	680,65	815,18	
0:55:00	97185	1686	748,58	815,18	
1:00:00	97338	1839	816,52	815,18	11,10
1:15:00	97798	2299	1020,76	816,96	
1:30:00	98263	2764	1227,22	825,84	11,10
1:45:00	98730	3231	1434,56	829,39	
2:00:00	99193	3694	1640,14	822,29	
2:15:00	99659	4160	1847,04	827,62	
2:30:00	100117	4618	2050,39	813,41	11,10
2:45:00	100578	5079	2255,08	818,74	
3:00:00	101037	5538	2458,87	815,18	11,10
3:30:00	101949	6450	2863,80	809,86	
4:00:00	102865	7366	3270,50	813,41	11,10
5:00:00	104710	9211	4089,68	819,18	

Profundidade (m) do N.A. dos poços de observação				
PB-02	PB-03	PB-05	PM-8b	MW-5
1.285	1.150	1.240	1.250	
1.295	1.155	1.240	1.250	2.120
1.295	1.160	1.245	1.258	2.070
1.300	1.165	1.250	1.260	2.050
1.300	1.165	1.250	1.265	2.040
1.300	1.170	1.255	1.270	2.030
1.305	1.175	1.255	1.270	2.030
1.310	1.180	1.255	1.275	2.020
1.310	1.180	1.255	1.278	2.020

Ensaio de Vazão

Tempo (min)	Leitura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)	N.A. (m)
0:02:30	142340	61	28,43	682,22	
0:05:00	142405	126	58,72	726,96	
0:10:00	142530	251	116,97	699,00	8,95
0:15:00	142654	375	174,75	693,41	
0:20:00	142778	499	232,53	693,41	
0:25:00	142903	624	290,78	699,00	
0:30:00	143027	748	348,57	693,41	
0:35:00	143154	875	407,75	710,18	
0:40:00	143282	1003	467,40	715,78	
0:45:00	143408	1129	526,11	704,59	
0:50:00	143534	1255	584,83	704,59	
0:55:00	143661	1382	644,01	710,18	
1:00:00	143788	1509	703,19	710,18	
1:15:00	144170	1891	881,21	712,05	
1:30:00	144551	2272	1058,75	710,18	
1:45:00	144933	2654	1236,76	712,05	
2:00:00	145314	3035	1414,31	710,18	
2:15:00	145695	3416	1591,86	710,18	
2:30:00	146078	3799	1770,33	713,91	
2:45:00	146460	4181	1948,35	712,05	
3:00:00	146842	4563	2126,36	712,05	
3:30:00	147609	5330	2483,78	714,84	
4:00:00	148372	6093	2839,34	711,12	
5:00:00	149902	7623	3552,32	712,98	

[illegible]

Ensaio de Vazão

PB-08					
Tempo (min)	Leitura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)	N.A. (m)
0:02:30	133133	61	28,43	682,22	
0:05:00	133195	123	57,32	693,41	15,20
0:10:00	133318	246	114,64	687,82	
0:15:00	133440	368	171,49	682,22	
0:20:00	133563	491	228,81	687,82	
0:25:00	133686	614	286,12	687,82	
0:30:00	133810	738	343,91	693,41	15,20
0:35:00	133934	862	401,69	693,41	
0:40:00	134059	987	459,94	699,00	
0:45:00	134182	1110	517,26	687,82	
0:50:00	134305	1233	574,58	687,82	
0:55:00	134428	1356	631,90	687,82	
1:00:00	134551	1479	689,21	687,82	15,20
1:15:00	134920	1848	861,17	687,82	
1:30:00	135291	2219	1034,05	691,54	15,20
1:45:00	135664	2592	1207,87	695,27	
2:00:00	136035	2963	1380,76	691,54	15,20
2:15:00	136406	3334	1553,64	691,54	
2:30:00	136776	3704	1726,06	689,68	15,20
2:45:00	137149	4077	1899,88	695,27	
3:00:00	137521	4449	2073,23	693,41	15,20
3:30:00	138260	5188	2417,61	688,75	15,20
4:00:00	139005	5933	2764,78	694,34	15,20
5:00:00	140495	7423	3459,12	694,34	15,20
6:00:00	141995	8923	4158,12	699,00	15,20

Profundidade (m) do N.A. dos poços de observação							
MW-08	PB-10	PM-3T	PB-07	PB-09	ML-4B	ML-4C	
4.390	4.870	3.160	3.300	5.230	4.760	4.750	
4.388	4.865	3.160	3.300	5.230	4.765	4.745	
4.395	4.872	3.165	3.302	5.240	4.770	4.750	
4.395	4.875	3.165	3.302	5.245	4.772	4.755	
4.395	4.872	3.165	3.302	5.247	4.772	4.759	
4.395	4.872	3.165	3.302	5.255	4.772	4.763	
4.395	4.875	3.165	3.305	5.260	4.775	4.766	
4.395	4.870	3.165	3.308	5.255	4.780	4.770	
4.395	4.870	3.165	3.310	5.265	4.780	4.773	

Ensaio de Vazão

PB-09					
Tempo (min)	Leitura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)	N.A. (m)
0:02:30	123985	83	37,81	907,56	5,32
0:05:00	124056	154	70,16	776,34	10,30
0:10:00	124190	288	131,21	732,60	
0:15:00	124315	413	188,16	683,40	10,25
0:20:00	124441	539	245,57	688,87	
0:25:00	124567	665	302,97	688,87	
0:30:00	124693	791	360,38	688,87	10,25
0:35:00	124820	918	418,24	694,33	
0:40:00	124947	1045	476,10	694,33	
0:45:00	125074	1172	533,96	694,33	
0:50:00	125201	1299	591,82	694,33	
0:55:00	125329	1427	650,14	699,80	
1:00:00	125456	1554	708,00	694,33	10,25
1:15:00	125839	1937	882,50	697,98	
1:30:00	126224	2322	1057,90	701,62	10,25
1:45:00	126607	2705	1232,40	697,98	
2:00:00	126990	3088	1406,89	697,98	10,25
2:15:00	127373	3471	1581,39	697,98	
2:30:00	127756	3854	1755,88	697,98	10,25
2:45:00	128140	4238	1930,83	699,80	
3:00:00	128525	4623	2106,24	701,62	10,25
3:30:00	129292	5390	2455,68	698,89	
4:00:00	130056	6154	2803,76	696,16	10,25
5:00:00	131576	7674	3496,27	692,51	10,25
6:00:00	133096	9194	4188,79	692,51	

PB-01 Poços que apresentaram rebaixamento significativo

Tabela 15

Ensaios Hidráulicos nos Poços do Sistema de Remediação
Ensalo de Vazão

Poço núm.:	PB-10
Data e hora:	22/02/02, 08:38H
Profundidade do poço (tubo):	16.70m
Profundidade da captação da bomba (tubo):	14.70m
Tipo de Bomba:	AP3/TLC
Nível estático (tubo):	4.632m
Ciclo inicial:	151412

PB-10				
Tempo (min)	Leitura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)
0:02:30	151476	64	29,16	699,80
0:05:00	151534	122	55,58	634,20
0:10:00	151656	244	111,17	667,00
0:15:00	151774	362	164,93	645,13
0:20:00	151888	476	216,87	623,26
0:25:00	152002	590	268,80	623,26
0:30:00	152118	706	321,65	634,20
0:35:00	152233	821	374,05	628,73
0:40:00	152349	937	426,90	634,20
0:45:00	152465	1053	479,75	634,20
0:50:00	152580	1168	532,14	628,73
0:55:00	152696	1284	584,99	634,20
1:00:00	152811	1399	637,38	628,73
1:15:00	153159	1747	795,93	634,20
1:30:00	153507	2095	954,48	634,20
1:45:00	153856	2444	1113,49	636,02
2:00:00	154207	2795	1273,40	639,66
2:15:00	154558	3146	1433,32	639,66
2:30:00	154910	3498	1593,69	641,48
2:45:00	155262	3850	1754,06	641,48
3:00:00	155624	4212	1918,99	659,71
3:30:00	156336	4924	2243,37	648,77
4:00:00	157066	5654	2575,96	665,18
5:00:00	158532	7120	3243,87	667,91

Profundidade (m) do N.A. dos poços de observação
Não houve monitoramento em função da interferência da chuva

Tabela 16

Ensaios Hidráulicos nos Poços do Sistema de Remediação Ensalo de Vazão

Poço núm.:	PB-11		
Data e hora:	30/01/02, 10:30		
Profundidade do poço (tubo):	16,70m		
Profundidade da captação da bomba (tubo):	15,00m		
Tipo de Bomba:	AP3/TLC		
Nível estático (tubo):	3,70m		
Ciclo Inicial:	31639		

PB-11					
Tempo (min)	Leitura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)	N.A. (m)
0:02:30	31719	80	35,52	852,48	
0:05:00	31783	144	63,94	681,98	
0:10:00	31932	293	130,09	793,87	
0:15:00	32080	441	195,80	788,54	
0:20:00	32230	591	262,40	799,20	
0:25:00	32378	739	328,12	788,54	
0:30:00	32525	886	393,38	783,22	
0:35:00	32676	1037	460,43	804,53	
0:40:00	32825	1186	526,58	793,87	
0:45:00	32975	1336	593,18	799,20	
0:50:00	33125	1486	659,78	799,20	12,44
0:55:00	33275	1636	726,38	799,20	
1:00:00	33425	1786	792,98	799,20	12,70
1:15:00	33882	2243	995,89	811,63	12,70
1:30:00	34342	2703	1200,13	816,96	12,70
1:45:00	34802	3163	1404,37	816,96	12,70
2:00:00	35263	3624	1609,06	818,74	12,70
2:15:00	35721	4082	1812,41	813,41	12,70
2:30:00	36180	4541	2016,20	815,18	12,70
2:45:00	36635	4996	2218,22	808,08	12,70
3:00:00	37085	5446	2418,02	799,20	12,70
3:30:00	38005	6366	2826,50	816,96	12,70
4:00:00	38935	7296	3239,42	825,84	12,70
5:00:00	40753	9114	4046,62	807,19	12,70
6:00:00	42590	10951	4862,24	815,63	12,70

[illegible]

Ensaio de Vazão

PB-13					
Tempo (min)	Leitura	Ciclo	Volume (L)	Vazão (L/h)	N.A. (m)
0:02:30	53811	68	30,19	724,61	
0:05:00	53888	145	64,38	820,51	
0:10:00	54043	300	133,20	825,84	
0:15:00	54188	445	197,58	772,56	12,70
0:20:00	54350	607	269,51	863,14	
0:25:00	54504	761	337,88	820,51	
0:30:00	54657	914	405,82	815,18	12,70
0:35:00	54810	1067	473,75	815,18	
0:40:00	54963	1220	541,68	815,18	
0:45:00	55116	1373	609,61	815,18	
0:50:00	55269	1526	677,54	815,18	
0:55:00	55421	1678	745,03	809,86	
1:00:00	55575	1832	813,41	820,51	12,70
1:15:00	56037	2294	1018,54	820,51	
1:30:00	56494	2751	1221,44	811,63	
1:45:00	56955	3212	1426,13	818,74	
2:00:00	57418	3675	1631,70	822,29	12,70
2:15:00	57878	4135	1835,94	816,96	
2:30:00	58350	4607	2045,51	838,27	
2:45:00	58804	5061	2247,08	806,30	
3:00:00	59267	5524	2452,66	822,29	
3:30:00	60187	6444	2861,14	816,96	
4:00:00	61113	7370	3272,28	822,29	
5:00:00	62950	9207	4087,91	815,63	
6:00:00	64813	11070	4915,08	827,17	

PB-01 Poços que apresentaram rebaixamento significativo

Tabela 19 - Volume (m^3) de água subterrânea bombeada dos poços de bombeamento, vazão média dos poços e vazão total do sistema

[illegible]

Tabela 20 - Monitoramento periódico de N.A. Dos poços existentes na área

Poço	Cota altimétrica	Sistema de bombeamento desligado						Sistema de bombeamento ligado							
		N.A. (m) 25/08/98	Carga Hidráulica (msnm)	N.A. (m) 23/02/00	Carga Hidráulica (msnm)	N.A. (m) 28/04/00	Carga Hidráulica (msnm)	N.A. (m) 10/11/01	Carga Hidráulica a (msnm)	N.A. (m) 01/04/03	Carga Hidráulica (msnm)	N.A. (m) 05/01/04	Carga Hidráulica (msnm)	N.A. (m) 12/07/04	Carga Hidráulica (msnm)
ML-01A	715,158	-		3,330	711,828	4,495	710,663	4,335	710,823	4,280	710,878	4,375	710,783	3,786	711,372
ML-01B	715,159	-		3,600	711,559	4,500	710,659	4,340	710,819	4,250	710,909	4,390	710,769	3,785	711,374
ML-01C	715,135	-		3,760	711,375	4,470	710,665	4,300	710,835	4,400	710,735	4,500	710,635	3,765	711,370
ML-02A	715,564	-		3,300	712,264	4,560	711,004	4,160	711,404	4,220	711,344	4,560	711,004	-	-
ML-02B	715,531	-		3,820	711,711	4,160	711,371	3,750	711,781	4,410	711,121	4,470	711,061	-	-
ML-02C	715,545	-		3,840	711,705	4,170	711,375	4,085	711,460	4,400	711,145	4,100	711,445	4,282	711,263
ML-03A	716,461	-		4,480	711,981	5,110	711,351	seco		5,210	711,251	5,130	711,331	seco	
ML-03B	716,405	-		4,390	712,015	5,295	711,110	5,320	711,085	5,110	711,295	4,840	711,565	4,742	711,663
ML-03C	716,404	-		4,250	712,154	5,335	711,069	5,350	711,054	5,130	711,274	5,110	711,294	4,752	711,652
ML-04A	716,601	-		4,770	711,831	4,915	711,686	seco		seco		seco		4,965	711,636
ML-04B	716,620	-		4,900	711,720	5,530	711,090	5,725	710,895	5,540	711,080	5,580	711,040	5,063	711,557
ML-04C	716,616	-		4,980	711,636	5,525	711,091	5,910	710,706	6,540	710,076	6,485	710,131	5,790	710,826
ML-05A	715,677	-		1,565	714,112	1,790	713,887	2,040	713,637	1,625	714,052	2,770	712,907	2,43	713,247
ML-05B	715,692	-		1,360	714,332	1,870	713,822	2,090	713,602	1,745	713,947	2,770	712,922	2,468	713,224
ML-05C	715,675	-		1,900	713,775	1,840	713,835	1,930	713,745	1,770	713,905	2,500	713,175	2,432	713,243
MW-01	722,246	5,800	716,446	6,110	716,136	6,430	715,816	6,570	715,676	6,210	716,036	6,400	715,846	6,450	715,796
MW-02	717,316	1,350	715,966	1,450	715,866	1,725	715,591	1,585	715,731	1,455	715,861	-	-	1,533	715,783
MW-03	715,207	1,210	713,997	0,920	714,287	1,370	713,837	1,200	714,007	1,050	714,157	-	-	0,855	714,352
MW-04	715,661	-		2,430	713,231	3,290	712,371	3,065	712,596	2,870	712,791	3,110	712,551	2,975	712,686
MW-05	715,691	-		1,890	713,801	2,580	713,111	2,600	713,091	2,300	713,391	2,520	713,171	2,540	713,151
MW-06 B	716,906	-		2,740	714,166	3,280	713,626	3,345	713,561	3,115	713,791	3,340	713,566	3,511	713,395
MW-07	716,351	-		4,290	712,061	4,850	711,501	4,993	711,358	4,980	711,371	4,930	711,421	4,495	711,856
MW-08	716,769	-		4,555	712,214	5,100	711,669	5,295	711,474	6,240	710,529	6,700	710,069	5,845	710,924
MW-09	713,976	-		0,200	713,776	0,425	713,551	0,255	713,451	0,250	713,726	-	-	0,334	713,642
MW-10	716,579	-		2,415	714,164	2,875	713,704	2,950	713,629	2,615	713,964	-	-	2,814	713,765
MW-11	716,682	-		2,055	714,627	2,390	714,292	2,595	714,087	2,225	714,457	-	-	2,385	714,297
MW-01	715,587	6,100	709,487	6,060	709,527	7,045	708,542	6,930	708,657	4,290	711,297	5,630	709,957	-	-
PP-02	714,996	2,000	712,996	-		-		-	-	-	-	-	-	-	-
PP-03	717,560	4,500	713,060	10,660	706,900	11,085	706,475	10,780	706,780	4,350	713,210	5,650	711,910	-	-
PP-04	717,016	-		3,850	713,166	4,300	712,716	5,210	711,806	4,750	712,266	4,630	712,386	-	-
PP-05	715,130	-		1,350	713,780	2,075	713,055	1,840	713,290	1,580	713,550	-	-	-	-
PP-06	715,212	-		-		2,140	713,072	2,150	713,062	1,830	713,382	2,040	713,172	1,846	713,366
PM-01	718,671	3,120	715,551	2,600	716,071	2,920	715,751	3,020	715,651	2,710	715,961	-	-	2,941	715,730
PM-02	715,768	3,410	712,358	2,215	713,553	2,545	713,223	3,490	712,278	3,130	712,638	3,250	712,518	3,418	712,350
PM-03	715,422	3,910	711,512	2,440	712,982	3,155	712,267	3,300	712,122	2,840	712,582	3,075	712,347	3,101	712,321
PM-04	717,067	3,550	713,517	2,840	714,227	3,340	713,727	3,210	713,857	3,060	714,007	3,320	713,747	3,178	713,889
PM-05	716,395	3,320	713,075	-		2,825	713,570	3,665	712,730	3,400	712,995	-	-	3,536	712,859
PM-06	715,598	2,200	713,398	1,440	714,158	1,970	713,628	-	-	-	-	-	-	1,688	713,910
PM-07	715,225	1,820	713,405	1,050	714,175	1,590	713,635	1,405	713,820	1,220	714,005	1,340	713,885	1,246	713,979
PM-08 B	715,158	3,120	712,038	2,120	713,038	2,690	712,468	1,665	713,493	1,610	713,548	1,870	713,288	1,996	713,162
PM-09	717,123	3,450	713,673	2,650	714,473	3,110	714,013	3,110	714,013	2,940	714,183	3,770	713,353	4,028	713,095
PM-01 T	720,274	4,380	715,894	3,550	716,724	4,080	716,194	4,200	716,074	3,550	716,724	-	-	3,924	716,350
PM-02 T	716,500	3,610	712,890	2,340	714,160	2,635	713,865	2,810	713,690	2,390	714,110	2,380	714,120	2,385	714,115
PM-03 T	717,244	3,630	713,614	3,110	714,134	3,380	713,864	3,631	713,613	3,310	713,934	3,475	713,769	3,438	713,806
PM-04 T	714,747	1,320	713,427	1,150	713,597	1,215	713,532	1,270	713,477	1,100	713,647	-	-	1,161	713,586
PM-05 T	716,067	2,990	713,077	2,530	713,537	2,730	713,337	2,810	713,257	2,510	713,557	2,655	713,412	2,627	713,440
PM-06 T	719,877	3,970	715,907	3,350	716,527	3,815	716,062	3,945	715,932	3,430	716,447	3,590	716,287	3,647	716,230

Tabela 21 - Tempo de renovação da água subterrânea do aquífero na Unidade I

Unidade I (TCE)	
Porosidade efetiva=	0,485
Espessura saturada superior=	4,50 m
Espessura saturada inferior=	10,00 m
Área da pluma superior=	23339,49 m ²
Área da pluma inferior=	25119,18 m ²
Volume de H ₂ O das plumas=	172766,46 m ³

Poço	Vazão média (m ³ /h)	Volume de H ₂ O bombeado (m ³)
PB-01	0,348	5017,45
PB-02	0,761	10963,62
PB-04	1,281	18439,91
PB-05	0,855	12316,41
PB-06	0,943	13580,95
Total	4,188	60318,35

Tempo de renovação=	56,51 meses
Tempo em bombeamento=	20,00 meses
Porcentagem de tempo de bombeamento p/ renovação=	35,39 %
Porcentagem de H ₂ O bombeada p/ renovação=	34,91 %

Tabela 22 - Tempo de renovação da água subterrânea do aquífero na Unidade II

Unidade II (PCE)	
Porosidade efetiva=	0,485
Espessura saturada superior=	3,00 m
Espessura saturada inferior=	9,00 m
Área da pluma superior=	5426,90 m ²
Área da pluma inferior=	9438,07 m ²
Volume de H ₂ O das plumas=	49093,31 m ³

Poço	Vazão média (m ³ /h)	Volume de H ₂ O bombeado (m ³)
PB-07	0,341	4917,10
PB-08	0,368	5294,96
PB-09	0,590	8497,56
PB-10	1,317	18961,16
Total	2,616	37670,78

Tempo de renovação=	25,71 meses
Tempo em bombeamento=	20,00 meses
Porcentagem de tempo de bombeamento p/ renovação=	77,80 %
Porcentagem de H ₂ O bombeada p/ renovação=	76,73 %

Tabela 23 - Compilação dos Resultados Analíticos de PCE, Obtidos em Diferentes Campanhas de Amostragem Realizadas Área Estudada (ug/L)

PCE						
PONTO	Jul-98	Jul-00	Jul-01	Jul-03	Jan-04	Jul-04
PM-02	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-03	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-04	94,5	ND	110	61	ND	ND
PM-06	1,6	ND	ND			
PM-07	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-08B	1,7	ND	ND	ND	ND	ND
PM-09	120	ND	1,6	ND	8,2	57
PM-2T	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-3T	927	749	110	600	21	136
PM-5T	112	ND	8	0,8	7,4	18
PM-6T	1,2	ND	ND	ND	ND	ND
MW-01		ND	ND	ND	ND	ND
MW-04		11	ND	ND		
MW-05		ND	ND	ND	ND	ND
MW-06B		29	24	20	6,3	17
MW-07		90	11	9,1		
MW-08		1300	1400	1100	790	688
ML-1A		ND	ND	ND	ND	ND
ML-1B		ND	ND	ND	0,5	ND
ML-1C		ND	3,2	ND	ND	ND
ML-2A		16	2,6	ND	3,1	
ML-2B		ND	ND	ND	ND	
ML-2C		ND	ND	ND	ND	ND
ML-3A		ND	ND	ND	ND	17
ML-3B		32	ND	3,8	8,5	
ML-3C		ND	ND	2,4	5,9	ND
ML-4A		10	ND			29
ML-4B		12	14	1	ND	34
ML-4C		19	330	15	2,4	31
ML-5A		ND	1,4	ND	7,6	30
ML-5B		ND	3,2	6,1	7	36
ML-5C		10	5,1	14	14	34
PP-01		ND	ND	ND	3,1	ND
PP-02		33	48		36	20
PP-03		ND	0,6	ND	5,5	14
PP-04		ND	ND	ND	ND	ND
PP-06		ND	ND	ND	ND	ND
PB-01				ND	120	139
PB-02				190	41	24
PB-04				ND	42	ND
PB-05				ND	ND	19
PB-06				ND	ND	ND
PB-07				1300	2300	738
PB-08				240	2,5	903
PB-09				2200	2400	1180
PB-10				430	350	210
PB-11				2	4	
PB-12					ND	ND
PB-13						14

ND = COMPOSTO ANALISADO, PORÉM NÃO DETECTADO

NA = COMPOSTO NÃO ANALISADO

Valor de Intervenção (CETESB) = 40 ug/L

Meta = 50 ug/L

Tabela 24 - Compilação dos Resultados Analíticos de TCE, Obtidos em Diferentes Campanhas de Amostragem Realizadas Área Estudada (ug/L)

TCE						
PONTO	Jul-98	Jul-00	Jul-01	Jul-03	Jan-04	Jul-04
PM-02	273	264	170	100	92	119
PM-03	4,66	ND	2,7	3,5	1,5	ND
PM-04	21200	29000	14000	6500	1100	261
PM-06	454	17	32			
PM-07	109	40	ND	29	18	ND
PM-08B	198	93	20	ND	ND	ND
PM-09	18900	810	270	1600	1200	2840
PM-2T	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-3T	89,8	20	10	ND	ND	22
PM-5T	6,55	ND	1,6	ND	ND	ND
PM-6T	6,24	ND	ND	ND	ND	ND
MW-01		ND	ND	ND	ND	ND
MW-04		ND	ND	ND		
MW-05		24	26	8,8	8,4	26
MW-06B		62	21	18	5,7	ND
MW-07		ND	ND	ND		
MW-08		79	41	16	10	29
ML-1A		ND	ND	ND	5,6	57
ML-1B		46	360	11	73	ND
ML-1C		258	220	170	95	101
ML-2A		ND	2,1	ND	2,6	
ML-2B		151	20	2,7	ND	
ML-2C		187	ND	ND	ND	ND
ML-3A		ND	ND	ND	ND	ND
ML-3B		ND	ND	ND	ND	
ML-3C		ND	ND	2,1	2,4	ND
ML-4A		ND	ND			40
ML-4B		ND	6,1	ND	ND	38
ML-4C		ND	15	3,3	ND	41
ML-5A		420	340	610	530	990
ML-5B		8	81	180	310	1152
ML-5C		27	180	500	300	662
PP-01		14	5,5	1,6	2,6	ND
PP-02		152	91		73	42
PP-03		161	65	23	170	133
PP-04		16	45	45	32	33
PP-06		ND	3	ND	1,6	ND
PB-01				ND	2300	3830
PB-02				9600	3200	642
PB-04				4,3	3300	77
PB-05				ND	800	672
PB-06				ND	28	20
PB-07				14	33	35
PB-08				15	ND	88
PB-09				65	140	183
PB-10				21	11	21
PB-11				230	430	
PB-12					1,1	ND
PB-13						176

ND = COMPOSTO ANALISADO, PORÉM NÃO DETECTADO

NA = COMPOSTO NÃO ANALISADO

Valor de Intervenção (CETESB) = 70 ug/L

Meta = 240,9 ug/L

Tabela 25 - Compilação dos Resultados Analíticos de cDCE, Obtidos em Diferentes Campanhas de Amostragem Realizadas Área Estudada (ug/L)

cDCE						
PONTO	Jul-98	Jul-00	Jul-01	Jul-03	Jan-04	Jul-04
PM-02	24,3	13	56	47	40	63
PM-03	6,71	ND	7,9	5,7	1,9	ND
PM-04	23400	34000	20000	13000	2300	426
PM-06	824	306	1700			
PM-07	432	1300	27	850	90	26
PM-08B	537	437	250	6,7	ND	ND
PM-09	39200	2000	1900	2500	1100	1940
PM-2T	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-3T	182	79	20	27	1,6	29
PM-5T	9,1	ND	2,9	ND	0,8	ND
PM-6T	4,07	ND	ND	ND	ND	ND
MW-01		ND	ND	ND	ND	ND
MW-04		21	14	1,7		
MW-05		187	190	150	180	160
MW-06B		18	8,4	13	2,1	ND
MW-07		ND	1,2	ND		
MW-08		254	130	58	37	42
ML-1A		37	1,9	ND	30	68
ML-1B		270	400	26	100	ND
ML-1C		368	270	320	120	92
ML-2A		ND	3,9	7,2	4,1	
ML-2B		35	53	12	ND	
ML-2C		17	ND	ND	ND	ND
ML-3A		13	ND	30	25	ND
ML-3B		ND	ND	2,7	3,3	
ML-3C		ND	35	7	5,6	15
ML-4A		ND	ND			69
ML-4B		18	11	2,1	0,7	63
ML-4C		35	68	7,7	1	70
ML-5A		240	710	650	390	984
ML-5B		ND	51	170	250	791
ML-5C		ND	14	14	79	233
PP-01		ND	4,6	1,6	4,1	ND
PP-02		149	69		62	34
PP-03		184	70	36	53	48
PP-04		ND	6,2	19	13	ND
PP-06		ND	ND	20	2,3	ND
PB-01				ND	46	173
PB-02				88	420	98
PB-04				3,1	490	71
PB-05				ND	1100	630
PB-06				ND	58	ND
PB-07				33	64	59
PB-08				60	1,3	356
PB-09				390	700	595
PB-10				98	51	32
PB-11				170	270	
PB-12					0,7	ND
PB-13						176

ND = COMPOSTO ANALISADO, PORÉM NÃO DETECTADO

NA = COMPOSTO NÃO ANALISADO

Valor de Intervenção (D.R.F.) = 20 ug/L

Meta = 1000 ug/L

Tabela 26 - Compilação dos Resultados Analíticos de 1,1-DCE, Obtidos em Diferentes Campanhas de Amostragem Realizadas Área Estudada (ug/L)

1,1-DCE						
PONTO	Jul-98	Jul-00	Jul-01	Jul-03	Jan-04	Jul-04
PM-02	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-03	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-04	51	ND	ND	13	ND	ND
PM-06	1,47	ND	7,8			
PM-07	2,11	16	0,8	7	1,2	ND
PM-08B	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-09	40,5	ND	6,4	ND	ND	ND
PM-2T	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-3T	23,4	ND	ND	ND	ND	ND
PM-5T	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-6T	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MW-01		ND	ND	ND	ND	ND
MW-04		ND	ND	ND		
MW-05		ND	ND	ND	ND	ND
MW-06B		ND	ND	ND	ND	ND
MW-07		ND	ND	ND		
MW-08		70	37	9,8	ND	ND
ML-1A		ND	ND	ND	ND	ND
ML-1B		ND	ND	ND	ND	ND
ML-1C		ND	ND	ND	ND	ND
ML-2A		ND	ND	ND	ND	
ML-2B		ND	1,1	2,7	ND	
ML-2C		ND	1	ND	ND	ND
ML-3A		ND	ND	ND	ND	ND
ML-3B		ND	ND	ND	ND	
ML-3C		ND	ND	3,2	2,7	ND
ML-4A		ND	ND			ND
ML-4B		ND	ND	ND	ND	ND
ML-4C		ND	10	ND	ND	30
ML-5A		ND	1,5	ND	ND	ND
ML-5B		ND	ND	ND	ND	ND
ML-5C		ND	ND	ND	ND	ND
PP-01		ND	ND	ND	ND	ND
PP-02		ND	1,6		1,3	ND
PP-03		ND	ND	ND	ND	ND
PP-04		ND	ND	ND	ND	ND
PP-06		ND	ND	ND	ND	ND
PB-01				ND	ND	ND
PB-02				ND	1,2	ND
PB-04				ND	1,4	ND
PB-05				ND	ND	ND
PB-06				ND	ND	ND
PB-07				ND	13	36
PB-08				11	ND	46
PB-09				46	95	313
PB-10				17	7,9	ND
PB-11				ND	ND	
PB-12					ND	ND
PB-13						ND

ND = COMPOSTO ANALISADO, PORÉM NÃO DETECTADO

NA = COMPOSTO NÃO ANALISADO

Valor de Intervenção (D.R.F.) = 10 ug/L

Meta = 10 ug/L

Tabela 27 - Compilação dos Resultados Analíticos de VC, Obtidos em Diferentes Campanhas de Amostragem Realizadas Área Estudada (ug/L)

VC						
PONTO	Jul-98	Jul-00	Jul-01	Jul-03	Jan-04	Jul-04
PM-02	ND	ND	ND	2,2	0.9	ND
PM-03	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-04	4320	5700	970	630	100	63
PM-06	172	58	170			
PM-07	140	1300	90	400	23	ND
PM-08B	33,8	ND	22	ND	ND	ND
PM-09	592	2300	250	250	36	ND
PM-2T	ND	ND	ND	1,5	ND	ND
PM-3T	8,09	ND	1,3	ND	ND	ND
PM-5T	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PM-6T	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MW-01		ND	ND	ND	ND	ND
MW-04		ND	2,9	ND		
MW-05		ND	ND	ND	ND	ND
MW-06B		ND	ND	ND	ND	ND
MW-07		ND	ND	ND		
MW-08		ND	5	ND	ND	ND
ML-1A		ND	ND	ND	ND	ND
ML-1B		ND	ND	11	ND	ND
ML-1C		ND	39	53	14	ND
ML-2A		ND	ND	ND	ND	
ML-2B		ND	ND	ND	ND	
ML-2C		ND	ND	ND	ND	ND
ML-3A		ND	ND	16	15	ND
ML-3B		ND	ND	ND	ND	
ML-3C		ND	11	ND	ND	18
ML-4A		ND	ND			ND
ML-4B		ND	ND	ND	ND	ND
ML-4C		ND	ND	ND	ND	ND
ML-5A		ND	13	40	36	70
ML-5B		ND	ND	ND	ND	83
ML-5C		ND	ND	ND	ND	ND
PP-01		ND	ND	ND	ND	ND
PP-02		ND	1,7		2	ND
PP-03		ND	ND	ND	ND	ND
PP-04		ND	ND	ND	ND	ND
PP-06		ND	ND	ND	ND	ND
PB-01				1,1	ND	ND
PB-02				ND	44	ND
PB-04				ND	40	ND
PB-05				81	79	35
PB-06				16	3,7	ND
PB-07				ND	ND	ND
PB-08				ND	ND	ND
PB-09				ND	ND	ND
PB-10				ND	ND	ND
PB-11				ND	ND	
PB-12					ND	ND
PB-13						ND

ND = COMPOSTO ANALISADO, PORÉM NÃO DETECTADO

NA = COMPOSTO NÃO ANALISADO

Valor de Intervenção (CETESB) = 5 ug/L

Meta = 29.2 ug/L

Tabela 28 - Sumário das Análises de VOC's No Sistema de Remediação e Amostras de Água Superficial (ug/L)

COMPOSTO	21/01/03			03/2003			04/2003			01/2004			03/2004			04/2004		
	Stripper (entrada)	Stripper (saida)	Vertedouro	Stripper (saida)	Stripper (entrada)	Stripper (saida)	Stripper (entrada)	Rio (montante)	Rio (jusante)	Stripper (entrada)	Stripper (saida)	Rio (montante)	Stripper (entrada)	Stripper (saida)	Rio (montante)	Stripper (entrada)	Stripper (saida)	Rio (jusante)
1,1-Dicloroeteno	15	ND	ND	ND	6,8	ND	12	ND	ND	62	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
cis-1,2-Dicloroeteno	360	ND	ND	6,5	300	ND	280	4,8	ND	292	48	ND	153	ND	ND	ND	ND	ND
Tetracloroeteno	330	ND	ND	0,9	250	3,4	350	0,6	ND	436	19	ND	190	ND	ND	ND	ND	ND
Tricloroeteno	1000	ND	ND	6,3	1100	4,7	500	2	ND	430	13	ND	372	ND	ND	ND	ND	ND
Cloreto de Vinila	12	ND	ND	ND	7,8	ND	7,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

COMPOSTO	05/2004			06/2004			07/2004			08/2004			09/2004		
	Stripper (entrada)	Stripper (saida)	Rio (montante)	Rio (jusante)	Stripper (entrada)	Stripper (saida)	Stripper (entrada)	Stripper (saida)	Rio (montante)	Stripper (entrada)	Stripper (saida)	Rio (montante)	Stripper (entrada)	Stripper (saida)	Rio (montante)
1,1-Dicloroeteno	ND	ND	ND	ND	24	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	51	NA	NA
cis-1,2-Dicloroeteno	290	ND	ND	ND	190	ND	170	ND	ND	187	ND	ND	233	ND	ND
Tetracloroeteno	300	ND	ND	ND	166	ND	123	ND	ND	284	ND	ND	361	ND	ND
Tricloroeteno	639	ND	ND	ND	284	ND	603	ND	ND	430	ND	ND	563	ND	ND
Cloreto de Vinila	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND = COMPOSTO ANALISADO, PORÉM NÃO DETECTADO
NA = COMPOSTO NÃO ANALISADO

Tabela 29 - Cálculo da massa inicial de PCE

PCE

Unidade I - 5m

Média do N.A.=
Espessura saturada topo=
Porosidade total (n) =

2,50 m
4,50 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m ²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m ² *ug/L)
170,79	45	7685,75
307,07	75	23030,08

Área total da pluma=

Área * concentração de toda a pluma= 477,86 m²
Concentração média da pluma= 30715,83 m²*ug/L
Volume de H₂O= 64,28 ug/L
Massa de PCE= 1042934,25 L
0,07 kg

Unidade II - 5m

Média do N.A.=
Espessura saturada topo=
Porosidade total (n) =

4,00 m
3,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m ²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m ² *ug/L)
494,05	45	22232,37
1084,71	75	81352,88
1164,08	175	203714,16
1022,31	375	383365,69
1109,71	750	832279,88
552,05	1500	828070,20

Área total da pluma=

Área * concentração de toda a pluma= 5426,90 m²
Concentração média da pluma= 2351015,17 m²*ug/L
Volume de H₂O= 433,22 ug/L
Massa de PCE= 7896140,08 L
3,42 kg

Massa Total de PCE= 18,58 kg

Unidade I - 10m

Espessura saturada base=
Porosidade total (n) =

10,00 m
0,485 m

Área das linhas de isoconcentração (m ²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m ² *ug/L)
117,14	45	5271,19
377,97	75	28347,62
603,89	175	105680,51
297,25	375	111467,96

Área total da pluma=

Área * concentração de toda a pluma= 1396,24 m²
Concentração média da pluma= 250767,28 m²*ug/L
Volume de H₂O= 179,60 ug/L
Massa de PCE= 6771775,64 L
1,22 kg

Unidade II - 10m

Espessura saturada base=
Porosidade total (n) =

9,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m ²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m ² *ug/L)
630,26	45	28361,67
2620,50	75	196537,72
2828,85	175	495048,19
1505,66	375	564622,84
1338,97	750	1004229,75
393,80	1500	590698,20
120,03	2500	300065,75

Área total da pluma=

Área * concentração de toda a pluma= 9438,07 m²
Concentração média da pluma= 3179564,12 m²*ug/L
Volume de H₂O= 336,89 ug/L
Massa de PCE= 41197167,26 L
13,88 kg

Tabela 30 - Cálculo da massa inicial de TCE

TCE

Unidade I - 5m

Média do N.A.=
Espessura saturada topo=
Porosidade total (n) =

2,50 m
4,50 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
4780,24	85	406320,08
8680,38	175	1519066,40
3187,04	375	1195140,04
2767,63	750	2075724,60
1832,32	1500	2748478,50
1345,67	3000	4037018,10
400,07	5000	2000339,50
192,26	7000	1345792,00
114,24	9000	1028199,60
39,64	11000	436009,20

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de TCE=

23339,49 m²
16792088,01 m²*ug/L
719,47 ug/L
50938427,54 L
36,65 kg

Unidade II - 5m

Média do N.A.=
Espessura saturada topo=
Porosidade total (n) =

4,00 m
3,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
0	0	0,00

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de TCE=

Massa Total de TCE=

0,00 m²
0,00 m²*ug/L
0,00 ug/L
0,00 L
0,00 kg

222,45 kg

Unidade I - 10m

Essessura saturada base=
Porosidade total (n) =

10,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
4954,09	85	421097,51
5111,42	175	894498,41
2563,84	375	961438,28
4424,74	750	3318556,88
3441,81	1500	5162717,85
2704,80	3000	8114411,70
772,53	5000	3862665,50
259,63	7000	1817438,00
182,52	9000	1642679,10
305,84	11000	3364212,50
200,91	17500	3515898,75
180,95	25000	4523680,00
16,10	35000	563517,50

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de TCE=

25119,18 m²
38162811,98 m²*ug/L
1519,27 ug/L
121828034,16 L
185,09 kg

Unidade II - 10m

Essessura saturada base=
Porosidade total (n) =

9,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
283,78	85	24121,23
555,82	175	97268,26
113,99	375	42747,60

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de TCE=

953,59 m²
164137,09 m²*ug/L
172,13 ug/L
4162426,46 L
0,72 kg

Tabela 31 - Cálculo da massa inicial de cDCE

cDCE

Unidade I - 5m

Média do N.A.=
Espessura saturada topo=
Porosidade total (n) =

2,50 m
4,50 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
16887,91	60	1013274,86
5751,86	175	100574,94
2881,56	375	1080586,61
2812,25	750	2109190,80
1179,59	1500	1769383,50
523,68	3000	1571034,90
329,15	5000	1645748,50
286,63	7000	2006431,70
177,51	9000	1597624,20
118,98	11000	1308732,70
84,39	13000	1097006,30
55,26	15000	828934,50

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de cDCE=

31088,78 m²
17034523,52 m²*ug/L
547,93 ug/L
67851255,58 L
37,18 kg

Unidade II - 5m

Média do N.A.=
Espessura saturada topo=
Porosidade total (n) =

4,00 m
3,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
9027,03	60	541621,57
365,23	175	63914,41

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de cDCE=

9392,25 m²
605535,98 m²*ug/L
64,47 ug/L
13665725,64 L
0,88 kg

Massa Total de cDCE=

89,01 kg

Unidade I - 10m

Essessura saturada base=
Porosidade total (n) =

10,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
24728,91	60	1483734,74
15242,88	175	2667503,60
3117,67	375	1169125,50
819,35	750	614513,78

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de cDCE=

43908,81 m²
5934877,62 m²*ug/L
135,16 ug/L
212957727,53 L
28,78 kg

Unidade II - 10m

Essessura saturada base=
Porosidade total (n) =

9,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
4209,20	60	252551,93
1663,43	175	291100,90
1432,52	375	537195,23
1597,38	750	1198037,25
1358,22	1500	2037324,00
290,93	2500	727335,75
10,24	3500	35823,55

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de cDCE=

10561,92 m²
5079368,61 m²*ug/L
480,91 ug/L
46102788,66 L
22,17 kg

Tabela 32 - Cálculo da massa inicial de 1,1DCE

1,1DCE

Unidade I - 5m

Média do N.A.=
Espessura saturada topo=
Porosidade total (n) =

2,50 m
4,50 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
0	0	0,00

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de 1,1DCE=

0,00 m²
0,00 m²*ug/L
0,00 ug/L
0,00 L
0,00 kg

Unidade II - 5m

Média do N.A.=
Espessura saturada topo=
Porosidade total (n) =

4,00 m
3,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
2124,18	15	31862,64
893,60	25	22339,88
398,24	35	13938,53
119,93	45	5396,77

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de 1,1DCE=

3535,94 m²
73537,82 m²*ug/L
20,80 ug/L
5144797,21 L
0,11 kg

Massa Total de 1,1DCE=

0,38 kg

Unidade I - 10m

Essessura saturada base=
Porosidade total (n) =

10,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
0	0	0,00

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de 1,1DCE=

0,00 m²
0,00 m²*ug/L
0,00 ug/L
0,00 L
0,00 kg

Unidade II - 10m

Essessura saturada base=
Porosidade total (n) =

9,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
1084,64	15	16269,54
575,53	25	14388,13
363,28	35	12714,75
228,98	45	10303,91
143,71	55	7904,18
31,55	65	2050,53

Área total da pluma=
Área * concentração de toda a pluma=
Concentração média da pluma=
Volume de H₂O=
Massa de 1,1DCE=

2427,67 m²
63631,04 m²*ug/L
26,21 ug/L
10596800,94 L
0,28 kg

Tabela 33 - Cálculo da massa inicial de CV

CV

Unidade I - 5m

Média do N.A.=
Espessura saturada topo=
Porosidade total (n) =

2,50 m
4,50 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
4802,40	15	72036,01
2435,69	37,5	91338,49
2465,08	75	184881,16
1830,30	175	320302,17
685,26	375	256973,66
286,71	750	215034,15

Área total da pluma=

Área * concentração de toda a pluma= 12505,45 m²
Concentração média da pluma= 1140565,64 m²*ug/L
Volume de H₂O= 91,21 ug/L
Massa de CV= 27293143,10 L
2,49 kg

Unidade II - 5m

Média do N.A.=
Espessura saturada topo=
Porosidade total (n) =

4,00 m
3,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
1267,75	15	19016,21

Área total da pluma=

Área * concentração de toda a pluma= 1267,75 m²
Concentração média da pluma= 19016,21 m²*ug/L
Volume de H₂O= 15,00 ug/L
Massa de CV= 1844571,89 L
0,03 kg
5,07 kg

Unidade I - 10m

Espessura saturada base=
Porosidade total (n) =

10,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
6973,51	15	104602,65
2324,02	37,5	87150,62
1002,49	75	75186,70

Área total da pluma=

Área * concentração de toda a pluma= 10300,02 m²
Concentração média da pluma= 266939,96 m²*ug/L
Volume de H₂O= 25,92 ug/L
Massa de CV= 49955075,18 L
1,29 kg

Unidade II - 10m

Espessura saturada base=
Porosidade total (n) =

9,00 m
0,485

Área das linhas de isoconcentração (m²)	Concentração (ug/L)	Área * conc. (m²*ug/L)
3988,63	15	59829,43
1240,34	37,5	46512,61
1142,91	75	85717,97
528,86	125	66107,30
169,02	175	29578,75

Área total da pluma=

Área * concentração de toda a pluma= 7069,75 m²
Concentração média da pluma= 287746,05 m²*ug/L
Volume de H₂O= 40,70 ug/L
Massa de CV= 30859461,81 L
1,26 kg

Tabela 34 - Cálculo da massa de contaminante removida em 2003

Mês	Geração (L)	1,1-Dicloroeteno		cis-1,2-Dicloroeteno		Tetracloroeteno		Tricloroeteno		Cloro de Vinila	
		Concentração (ug/L)	Massa Removida (kg)	Concentração (ug/L)	Massa Removida (kg)	Concentração (ug/L)	Massa Removida (kg)	Concentração (ug/L)	Massa Removida (kg)	Concentração (ug/L)	Massa Removida (kg)
Janeiro											
Fevereiro											
Março	2362254	15,0	0,0354	360	0,8504	330	0,7795	1000	2,3623	12	0,0283
Abril	4465275	6,8	0,0304	300	1,3396	250	1,1163	1100	4,9118	7,8	0,0348
Mai	5844549	6,8	0,0397	300	1,7534	250	1,4611	1100	6,4290	7,8	0,0456
Junho	6832467	6,8	0,0465	300	2,0497	250	1,7081	1100	7,5157	7,8	0,0533
Julho	6967642	6,8	0,0474	300	2,0903	250	1,7419	1100	7,6644	7,8	0,0543
Agosto	4426339	6,8	0,0301	300	1,3279	250	1,1066	1100	4,8690	7,8	0,0345
Setembro											
Outubro	4592200	6,8	0,0312	300	1,3777	250	1,1481	1100	5,0514	7,8	0,0358
Novembro	3526031	6,8	0,0240	300	1,0578	250	0,8815	1100	3,8786	7,8	0,0275
Dezembro	6005092	6,8	0,0408	300	1,8015	250	1,5013	1100	6,6056	7,8	0,0468
Total	45021849,0	69,4	0,326	2760,0	13,648	2330,0	11,444	9800,0	49,288	74,4	0,361
Percentagens											
			0,43%				15,25%				55,65%
							18,18%				0,45%
											100,00%

Dados operacionais (2003):

Vazão Máxima/poço	1,5	m³/h	396000	L/dia
Vazão Projeto/poço	0,8	m³/h	211200	L/dia
Vazão Medida (total)	7,9	m³/h	189600	L/dia
Operação	30	dias/mês		
Qtd de poços	11	poços		
Meses em op.	9	meses		

Cálculos:

Composto	Conc. Média (ug/L)	Qtd Remov. medida (kg)	Qtd. Remov. Projeto (kg)	Max. Qtd Remov. (kg)	Média Qtd Remov. (kg)
1,1-Dicloroeteno	7,711	0,326	0,440	0,824	0,395
cis-1,2-Dicloroeteno	306,667	13,648	17,487	32,789	15,699
Tetracloroeteno	258,889	11,444	14,763	27,680	13,253
Tricloroeteno	1088,889	49,288	62,093	116,424	55,742
Cloro de Vinila	8,267	0,361	0,471	0,884	0,423
Total		75,067	95,254	176,602	85,512

Tabela 35 - Cálculo da massa de contaminante removida em 2004

Mês	Geração (L)	1,1-Dicloroeteno		cis-1,2-Dicloroeteno		Tetracloroeteno		Tricloroeteno		Cloro de Vinila		Total de Massa Removida
		Concentração (ug/L)	Massa Removida (kg)	Concentração (ug/L)	Massa Removida (kg)	Concentração (ug/L)	Massa Removida (kg)	Concentração (ug/L)	Massa Removida (kg)	Concentração (ug/L)	Massa Removida (kg)	
Janeiro	11859787	12	0,1423	280	3,3207	350	4,1509	500	5,9299	7,7	0,0913	13,6352
Fevereiro	9,736,364	12	0,1168	280	2,7262	350	3,4077	500	4,8682	7,7	0,0750	11,1939
Março	4736744	62	0,2937	292	1,3831	436	2,0652	430	2,0368	5	0,0237	5,8025
Abril	6899773	5	0,0345	153	1,0557	190	1,3110	372	2,5667	5	0,0345	5,0023
Maió	6453962	5	0,0323	290	1,8716	300	1,9362	639	4,1241	5	0,0323	7,9965
Junho	2589577	24	0,0617	190	0,4882	166	0,4265	284	0,7298	5	0,0128	1,7190
Julho	9957450	5	0,0498	170	1,6928	123	1,2248	603	6,0043	5	0,0498	9,0214
Agosto	4023710	5	0,0201	187	0,7524	284	1,1427	430	1,7302	5	0,0201	3,6656
Setembro	5734094	51	0,2924	233	1,3360	361	2,0700	563	3,2283	5	0,0287	6,9555
Outubro	6425160	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0,0000
Novembro	0	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0,0000
Dezembro	0	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0,0000
Total	68396621	181	1,044	2075,0000	14,627	2560,0000	17,735	4321,0000	31,218	50,4000	0,368	64,9920

Percentagens

22,51%

27,29%

48,03%

0,57%

100,00%

Dados operacionais (2004):

Vazão Máxima/poço	1,5	m³/h	396000	L/dia
Vazão Projeto/poço	0,8	m³/h	211200	L/dia
Vazão Média (total)	7,9	m³/h	189600	L/dia
Operação	30	dias/mês		
Qtd de poços	11	poços		
Meses em op.	9	meses		

Cálculos:

Composto	Conc. Média (ug/L)	Qtd Remov. medida (kg)	Qtd. Remov. Projeto (kg)	Max. Qtd Remov. (kg)	Média Qtd Remov. (kg)
1,1-Dicloroeteno	20,111	1,044	1,147	2,150	1,030
cis-1,2-Dicloroeteno	230,556	14,627	13,147	24,651	11,803
Tetracloroeteno	284,444	17,735	16,220	30,413	14,561
Tricloroeteno	480,111	31,218	27,378	51,333	24,578
Cloro de Vinila	5,600	0,368	0,319	0,599	0,287
Total		64,992	58,211	109,146	52,258

