

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EVOLUÇÃO DA PLUMA DE FASE LIVRE E  
DISSOLVIDA DE ÓLEO DIESEL EM UMA ÁREA  
REMEDIADA POR UM SISTEMA DE  
EXTRAÇÃO MULTIFÁSICA (MPE)**

Alexandre Koshiyama

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte  
Co-Orientadora: Angélica Souza Gutierrez

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2003/04)

SÃO PAULO  
2003



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
**Instituto de Geociências**



EVOLUÇÃO DA PLUMA DE FASE LIVRE E  
DISSOLVIDA DE ÓLEO DIESEL EM UMA ÁREA  
REMEDIADA POR UM SISTEMA DE EXTRAÇÃO  
MULTIFÁSICA (MPE).

ALEXANDRE KOSHIYAMA

Monografia de Trabalho de Formatura

Banco Examinador

Trabalho de Formatura nº 04/2003

Nome: Alexandre Koshiyama

Co-orientadora: Angélica Souza Gutierrez

Orientador: Uriel Duarte



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014576



**EVOLUÇÃO DA PLUMA DE FASE LIVRE E  
DISSOLVIDA DE ÓLEO DIESEL EM UMA ÁREA  
REMEDIADA POR UM SISTEMA DE EXTRAÇÃO  
MULTIFÁSICA (MPE)**

**ALEXANDRE KOSHIYAMA**

Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Uriel Duarte

Prof. Dr. Everton de Oliveira

Prof. Dr. Ian McReath

São Paulo

2003

TF  
K86  
A.e



DOAÇÃO	Seção
Circulação - 16a	
Data: 06/05/2004	



## Índice

1	Resumo .....	1
2	<i>Abstract</i> .....	2
3	Introdução .....	3
4	Metas e Objetivos .....	3
5	Materiais e Métodos.....	4
5.1	Sondagem de reconhecimento.....	4
5.2	Poços instalados .....	4
5.3	Coleta de amostra de solo.....	5
5.4	Coleta de amostra de água subterrânea. ....	5
5.5	Ensaio Piloto do Sistema de Remediação MPE .....	9
5.6	Monitoramento do Sistema MPE .....	10
5.7	Pesquisa Bibliográfica .....	10
6	Desenvolvimento do Trabalho.....	10
7	Resultados Obtidos.....	11
7.1	Geologia e hidrogeologia.....	11
7.2	Descrição da área do Posto de Abastecimento e arredores .....	19
7.3	Comportamento do contaminante em subsuperfície.....	19
7.4	Descrição da contaminação .....	25
7.5	Bombeamento emergencial.....	26
7.6	Ensaio Piloto do Sistema de Remediação MPE .....	26
7.7	Sistema de Remediação MPE.....	28
7.7.1	Caracterização do sistema instalado .....	28
7.8	Monitoramento do Sistema MPE .....	30
7.9	Amostragem de água subterrânea. ....	34
8	Interpretação/Discussão dos Resultados .....	43
9	Conclusões .....	44
10	Referências Bibliográficas.....	46



## Figuras

Figura 5.1. – Localização dos poços existentes na área .....	7
Figura 5.2. – <i>Lay out</i> dos poços construídos.....	8
Figura 7.1. – Perfil geológico .....	12
Figura 7.2. – Evolução do nível d' água nos poços de monitoramento durante o período de bombeamento emergencial e do sistema MPE (até setembro de 2003).....	14
Figura 7.3. . – Valores da condutividade hidráulica (K) .....	15
Figura 7.4. – Mapa potenciométrico.....	17
Figura 7.5. – Principais componentes da capilaridade .....	18
Figura 7.6. . – Mecanismo <i>by-passing</i> .....	21
Figura 7.7. - Mecanismo <i>snap-off</i> .....	22
Figura 7.8. - Diferença entre a espessura de fase livre real (no aquífero) e aparente (no poço).....	23
Figura 7.9. . - Rebaixamento do N.A. ao longo do ensaio de bombeamento.....	27
Figura 7.10. - Influência do vácuo no N.A. ....	27
Figura 7.11. . - Vácuo medido nos poços POR's e PM's.....	28
Figura 7.12. – Fluxograma do sistema de remediação .....	29
Figura 7.13-Evolução do N.A. nos poços de monitoramento (PM's) durante o período de funcionamento do sistema de remediação MPE .....	30
Figura 7.14- Evolução da fase livre nos poços PM-03 e PM-05 durante o período de funcionamento do sistema de remediação MPE .....	32
Figura 7.15. – Evolução da pluma de fase livre .....	33
Figura 7.16. – Área de abrangência do vácuo exercido pelo sistema .....	35
Figura 7.17. – Evolução da pluma de BTXE .....	37
Figura 7.18. – Evolução da pluma de PAH .....	38
Figura 7.19. – Evolução da pluma de TPH.....	40
Figura 7.20. - Variação das concentrações de ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, nas amostras coletadas no poço PM-01 .....	41
Figura 7.21. - Variação das concentrações de ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, nas amostras coletadas no poço PM-03 .....	42
Figura 7.22. - Variação das concentrações de ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, nas amostras coletadas no poço PM-07 .....	43



## **Tabelas**

Tabela 5.1– Parâmetros medidos e equipamento utilizado .....	4
Tabela 7.1. – Valores da condutividade hidráulica calculada nos poços de monitoramento (PM's) .....	14
Tabela 7.2 - Velocidade estimada da água subterrânea .....	16
Tabela 7.3. – Altura estimada da franja capilar em função do raio dos poros .....	18
Tabela 7.4. – Valores, na zona não saturada, das concentrações de hidrocarbonetos líquidos residuais. ....	20
Tabela 7.5. - Principais propriedades da gasolina e diesel .....	26
Tabela 7.6. – Dados das medições realizadas nos períodos de maior espessura de fase livre .....	32
Tabela 7.7. - Resultados analíticos das concentrações de ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, nas duas campanhas de amostragem realizadas (mg/L).....	39

## **Anexos**

### **Anexo 1 –Tabela**

Tabela 1 – Profundidade do nível d'água (N.A.) nos poços de monitoramento – metros
Tabela 2 – Espessura da fase livre medida nos poços – centímetros
Tabela 3 – Medição de vácuo nos poços de monitoramento (PM's) – cmH <sub>2</sub> O
Tabela 4 – Medição de vácuo nos poços de observação do sistema (POR's) – cmH <sub>2</sub> O
Tabela 5 – Medição de vácuo nos poços de extração multifásica (MPE's) – cmH <sub>2</sub> O
Tabela 6 – Resultados analíticos das amostras de água subterrânea.



## **1 Resumo**

Em 2001 foi realizada uma Investigação Ambiental na área do Posto de Abastecimento localizado no Vale do Paraíba, na cidade de Pindamonhangaba/SP, sendo detectado a presença de fase livre e dissolvida de óleo diesel na água subterrânea do aquífero local. Após um período de bombeamento emergencial, para a remoção de fase livre do aquífero, foi instalado um sistema de remediação do tipo Extração Multifásica (MPE).

O objetivo do sistema de Extração Multifásica (MPE) é proporcionar uma maior circulação de ar em subsuperfície através da aplicação de vácuo nos poço MPE. Essa circulação de ar direciona a fase vapor presente no solo, possibilitando a sua extração; aumenta a velocidade da evaporação da fase residual para a fase vapor; e proporciona um aumento de oxigênio em subsuperfície para propiciar a atividade metabólica dos microorganismos (biorremediação). O sistema também possibilita a extração da fase livre e dissolvida simultaneamente à extração de fase vapor; e cria uma barreira hidráulica, dificultando a dispersão do contaminante via água subterrânea.

Através dos resultados obtidos (variação do nível d'água, variação da fase livre, medição de vácuo e análises químicas das amostras de água subterrânea) nos poços existentes na área de estudo (PM's, PB's e PO's), foi possível acompanhar evolução da pluma de fase livre e dissolvida de óleo diesel em subsuperfície. Observou-se que as limitações do sistema de remediação MPE instalado estão intimamente ligadas com os fenômenos que agem no processo de migração das três fases (fase separada, fase dissolvida e fase vapor) que se formam após o vazamento de óleo diesel em subsuperfície.



## **2 Abstract**

In 2001, an environmental investigation was conducted in a gas station located in the city of Pindamonhangaba-SP, where the presence of free and dissolved phase of diesel oil was observed in the groundwater. After a period of free phase pumping and treatment, it was installed a Multi-Phase Extraction (MPE) remediation system.

The purpose of the Multi-Phase Extraction system is to provide a better air circulation in the subsurface, which is achieved by ways of vacuum application at the MPE wells. The air circulation, directs the vapor phase current in the soil, increasing the evaporation rate of the residual phase of contaminant to the vapor phase, and increases oxygen in subsurface, raising the metabolic activity of the microorganisms (bioremediation). The system also promotes the extraction of free and dissolved phase simultaneously and creates hydraulic containment of the contaminants in the groundwater.

Based on the results (water table variation, free phase thickness variation, measurement of vacuum and chemical analysis of the groundwater samples) obtained at the wells in the studied area (PM's, PB's and PO's), it was possible to follow the evolution of the free and dissolved phase plumes of oil diesel in the subsurface. It was noticed that the limitations of the MPE system, is closely related to the containment of the contaminants (free phase, dissolved phase and vapour phase) after the leakage of the diesel oil in the subsurface.



### 3 Introdução

Em 2001, foi realizado pela empresa ARQUIPÉLAGO ENGENHARIA AMBIENTAL, uma Investigação Ambiental na área do Posto de Abastecimento localizado no Vale do Paraíba, na cidade de Pindamonhangaba/SP, sendo detectado a presença de fase livre e dissolvida de óleo diesel na água subterrânea do aquífero local. Com a possibilidade dessa fase livre e dissolvida atingir poços cacimba residenciais, foi instalado, inicialmente, um sistema de bombeamento da fase livre, para posterior implantação de um sistema de remediação.

O sistema escolhido para a remediação foi o de Extração Multifásica (MPE – *Multi-Phase Extraction*), desenvolvido para retirar a água subterrânea contaminada e vapores presentes em solo de baixa à moderada permeabilidade (EPA, 1997).

Nos últimos anos é crescente a importância da utilização de água subterrânea como fonte natural de água para suprir as necessidades humanas. Essa situação é facilmente comprovada em comunidades afastadas das grandes metrópoles onde o sistema de abastecimento público é insuficiente para suprir a sua demanda.

Atualmente uma das fontes contaminantes das águas subterrâneas mais impactantes e com crescente problema são os sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC), presentes principalmente em postos de abastecimento. No Município de São Paulo, Oliveira (1992) estima que 80% estão vazando ou na iminência de vazar.

O vazamento de combustível pode causar danos gravíssimos à saúde humana e riscos de incêndio e explosão.

Em vista desse cenário, a cada dia, novas técnicas são desenvolvidas para as ações de controle, prevenção e tecnologias de remediação implantadas para descontaminação de áreas impactadas por compostos orgânicos, como é o caso de vazamento do combustível.

Uma das técnicas de remediação existente é a Extração Multifásica (MPE), já utilizada nos Estados Unidos com resultados satisfatórios. O sistema de remediação MPE consiste basicamente em captar as fases livre e dissolvida da água subterrânea, assim como a fase vapor presente em subsuperfície.

### 4 Metas e Objetivos

O objetivo do presente trabalho é acompanhar a evolução da pluma de fase livre e dissolvida de óleo diesel em subsuperfície, em uma área (posto de abastecimento) em processo de remedição por um Sistema de Extração Multifásica (MPE - *Multi-Phase Extraction*).

Com base nos resultados obtidos, pretende-se avaliar a eficiência desse sistema e observar suas limitações.



## 5 Materiais e Métodos

Os equipamentos utilizados para a medição dos parâmetros necessários estão expressos na **Tabela 5.1**.

<b>Tabela 5.1– Parâmetros medidos e equipamento utilizado</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>Equipamento</b>
Compostos Orgânico Voláteis (VOC)	Ionizador de chamas – <i>GASTECH</i>
Nível d'água (N.A.)	Medidor de nível d'água
Espessura da fase livre	Amostrador Bailer e medidor de fase livre e nível d'água ( <i>Interface</i> )
Vácuo nos poços existentes	Vacuômetro (cmH <sub>2</sub> O)
Vácuo produzido pelo sistema	Vacuômetro (kgf/cm <sup>2</sup> )
Coleta de água subterrânea	Amostrador Bailer
Coleta de solo e sondagem de reconhecimento	Trado manual de 4" e 8" de diâmetro
Análise química da água	Laboratório INNOLAB do Brasil e ALFA

### 5.1 Sondagem de reconhecimento

Nas sondagens de reconhecimento foram utilizados trados manuais de 4" e 8" de diâmetro. As profundidades atingidas nas sondagens variaram de acordo com o nível d'água observado na época (profundidade de até três metros abaixo do nível d'água). Este serviço tem como objetivo coletar amostras de solo para a descrição das suas características (cor, granulometria, plasticidade, presença de indício de contaminação, etc.), descrevendo assim um perfil de sondagem, além de possibilitar a instalação de poços.

### 5.2 Poços instalados

De acordo com o indício de contaminação verificado na sondagem de reconhecimento, sua posição geográfica, e após atingir a profundidade necessária, inicia-se o trabalho para a construção dos poços.

As características dos materiais necessários para a instalação dos poços e o seu *layout* baseiam-se no tipo de função que o poço iria exercer (monitoramento, bombeamento, observação e extração do sistema MPE).

Os poços de monitoramento (PM's) foram instalados com tubo geomecânico de 2" de diâmetro. Foram instalados um total de 8 poços de monitoramento (PM's) denominados de PM-01 a PM-08. Esses poços tem como função monitorar a variação do nível d'água e espessura de fase livre; delimitar a pluma de fase livre; coleta de amostra de água subterrânea; e medição de vácuo. Podem ser realizados também, teste de permeabilidade do tipo recuperação com o objetivo de calcular a condutividade hidráulica (K), além de servir como base para a confecção do mapa potenciométrico, através da carga hidráulica de cada poço (diferença entre a cota superficial do poço e o nível d'água do mesmo).

Com as condutividades hidráulicas calculadas e o mapa potenciométrico, foram estimados o fluxo preferencial e a velocidade da água subterrânea baseada na Lei de Darcy.



Suas localizações foram escolhidas de modo a adquirir medições representativas do aquífero da área de estudo.

Os poços de bombeamento (PB's) foram instalados com tubo geomecânico de 4" ou 6" de diâmetro. Foram instalados um total de 03 poços de bombeamento (PB's), denominados de PB-01 a PB-03. Esses poços têm como função bombear água e produto em fase livre e dissolvida, sendo locados nas áreas de maior espessura de fase livre e de acordo com o fluxo da água subterrânea (observado através dos poços de monitoramento). Após o término do bombeamento podem ser usados como poço de monitoramento.

Os poços de observação (PO's e POR's) foram instalados com tubo PVC marrom de 1" a 2" de diâmetro. Foram instalados um total de 02 poços de observação (PO's) denominados de PO-01 e PO-02, e 05 poços de observação do sistema de remediação (POR's) denominados de POR- 01 a POR-05. Esses poços foram utilizados para a realização de teste de bombeamento ou teste piloto do sistema MPE. Após o término do teste podem ser usados como poço de monitoramento.

Os poços de extração do sistema MPE (MPE's) foram instalados com tubo geomecânico de 4" de diâmetro. Foram instalados 07 poços de extração multifásica (MPE's) denominados de MPE-01 a MPE-07. É através desses poços que o sistema MPE extrai compostos orgânicos voláteis (VOC), água, fase livre e fase dissolvida do subsolo. Foram locados nas áreas mais impactadas e de acordo com o raio de influência que o poço oferece (observado no ensaio piloto do sistema).

As **Figuras 5.1** e **5.2** apresentam, respectivamente, a localização dos poços existentes na área do posto e o *layout* construtivo dos poços instalados.

### **5.3 Coleta de amostra de solo**

Em paralelo ao serviço de sondagem de reconhecimento, foram realizadas as coletas de amostra de solo de metro em metro, com o objetivo de descrever as características físicas (descrição tátil-visual) e os indícios de contaminação (presença, odor, medição de compostos orgânicos voláteis, etc).

### **5.4 Coleta de amostra de água subterrânea.**

As amostras de água subterrânea foram coletadas nos poços existentes (preferencialmente os PM's). A seleção dos poços para a coleta de água esta baseado nos indícios de contaminação identificados e na sua localização geográfica.

Antes da coleta das amostras de água, é necessário retirar três vezes o volume de água presente ou até esgotá-lo. Isso garante a sua representatividade.

As amostras de água subterrânea são devidamente conservadas, conforme especificação do "Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas" (CETESB, 1999) e especificação do Laboratório.



Os parâmetros químicos analisados nas amostras de água subterrânea foram BTXE (benzeno, tolueno, xileno e etilbenzeno), PAH (Hidrocarbonetos aromáticos de petróleo) e TPH (hidrocarbonetos totais de petróleo). Esses parâmetros foram escolhidos em função da comercialização de óleo diesel e gasolina. São analisados também os parâmetros ferro total, ferro bivalente, nitrogênio nitrato, sulfato e oxigênio dissolvido, para a avaliação da biorremediação.

Para este projeto o laboratório utilizado para a análise dos parâmetros BTXE, PAH e TPH é a INNOLAB do Brasil, e para os parâmetros ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato é a ALFA.







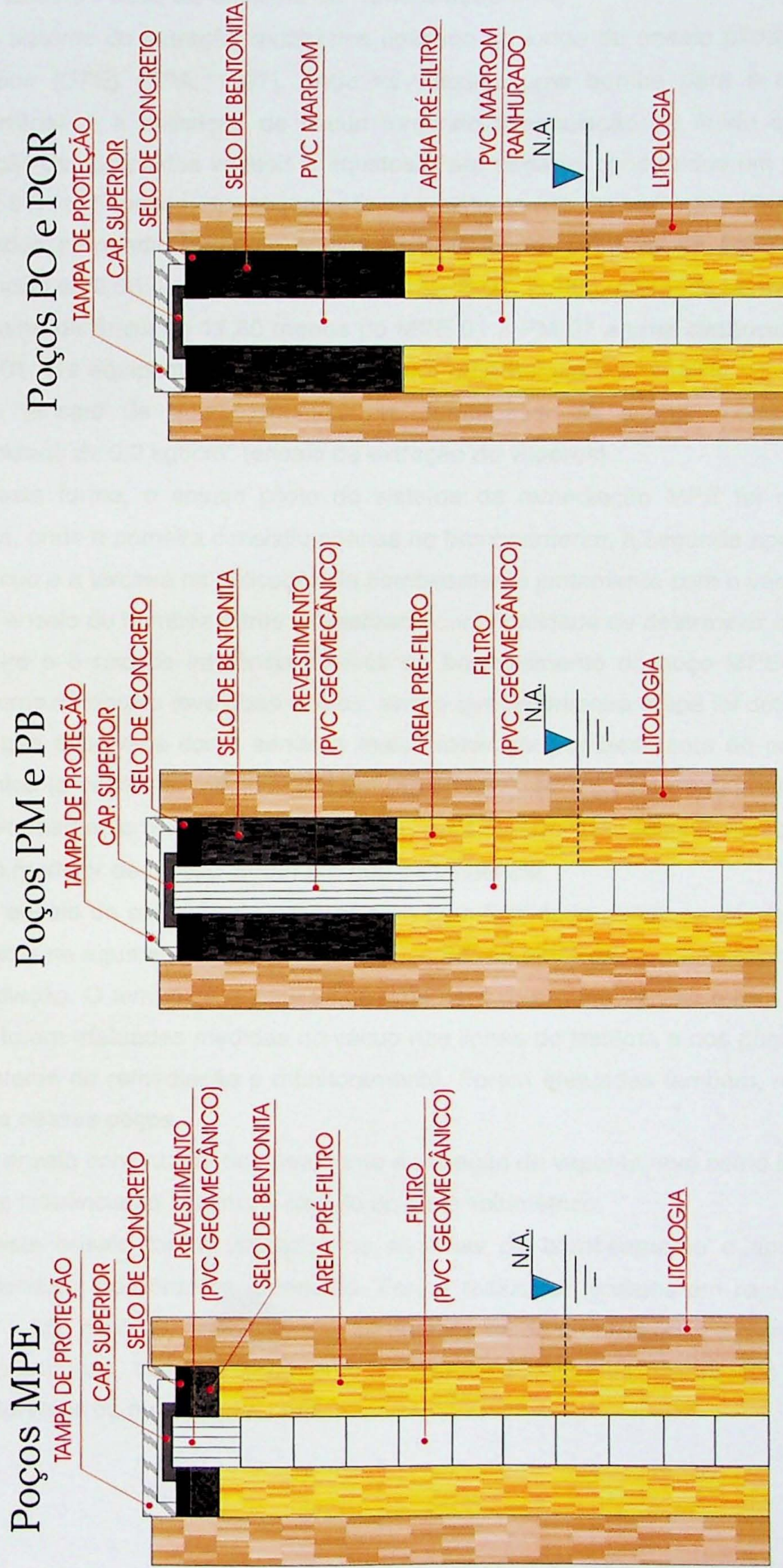


Figura 5.2 - Lay out construtivo dos poços instalados



## 5.5 Ensaio Piloto do Sistema de Remediação MPE

O sistema de extração multifásica aplicado ao longo do ensaio piloto foi o *Dual-Phase Extration* (DPE) (EPA, 1997), onde foi utilizada uma bomba para a remoção da água subterrânea e a aplicação de vácuo forçando a circulação de fluido que proporciona a extração de compostos voláteis e líquidos. Para tanto foi construídos um poço do tipo MPE (MPE-01) e 5 poços de observação do sistema de remediação (POR-01 a POR-05) alinhados perpendicularmente à direção preferencial de fluxo da água subterrânea com distâncias de 0,86; 2; 4; 6 e 7,9 metros do MPE-01. Foram utilizados também, os poços PM-05 a uma distância de 11,80 metros do MPE-01 e PM-07 a uma distância de 14 metros do MPE-01. Os equipamentos utilizados foram uma bomba pneumática de vazão máxima de  $1\text{m}^3/\text{h}$  (ensaio de bombeamento), um compressor de ar, um compressor radial de capacidade de  $0,2\text{ kgf/cm}^2$  (ensaio de extração de vapores).

Desta forma, o ensaio piloto do sistema de remediação MPE foi realizado em três etapas, onde a primeira consistiu apenas no bombeamento, a segunda apenas na aplicação do vácuo e a terceira na aplicação do bombeamento juntamente com o vácuo.

O ensaio de bombeamento foi realizado com finalidade de determinar o rebaixamento do aquífero e o raio de influência através do bombeamento do poço MPE-01 a uma vazão constante. O ensaio teve duas etapas, sendo que na primeira etapa foi determinada a vazão ideal que é definida como sendo a maior vazão de bombeamento do poço em seu nível dinâmico (a vazão foi medida com um hidrômetro). Na segunda etapa foi realizado o teste de bombeamento com duração de 2 horas para determinar o rebaixamento atingido (medido com o medidor de nível d' água) e o raio de influência.

O ensaio de extração de vapores teve com finalidade definir as interferências do vácuo no solo e na água subterrânea de forma a obter parâmetros para a instalação do sistema de remediação. O tempo de ensaio foi de uma hora no regime de vácuo de 1.200 mm de  $\text{H}_2\text{O}$ , onde foram efetuadas medidas de vácuo nas linhas do sistema e nos poços de observação do sistema de remediação e monitoramento. Foram efetuadas também, medições do nível d'água nesses poços.

O ensaio conjunto de bombeamento e extração de vapores teve como finalidade definir o raio de influência do sistema e cálculo do fluxo volumétrico.

Neste ensaio foram utilizados os sistemas de bombeamento e aplicação de vácuo mencionados nos ensaios anteriores. Foram realizados ensaios em regimes de vácuo de 1.080 e 560 mm $\text{H}_2\text{O}$ , onde o tempo de duração foi de 5 horas para o primeiro e de 3 horas para o segundo, com monitoramento no sistema e poços de observação e monitoramento em intervalos de meia à uma hora.



## 5.6 Monitoramento do Sistema MPE

O sistema MPE foi monitorado através dos dados coletados nos poços existentes (PM's, PB's e PO's); no sistema montado; e análise química da água subterrânea e solo.

Dados coletados diariamente dos poços:

- Nível d'água
- Espessura de fase livre
- Vácuo existente

Para a análise química da água subterrânea, foram realizadas duas campanhas de amostragem de água subterrânea durante o período de funcionamento do sistema instalado e uma campanha antes do início de operação do sistema.

## 5.7 Pesquisa Bibliográfica

As pesquisas bibliográficas foram realizadas com o objetivo de adquirir informações sobre a caracterização hidrogeológica da área de estudo; o histórico da contaminação; o comportamento do contaminante em subsuperfície; e a caracterização do sistema MPE.

Na caracterização hidrogeológica da área de estudo, foram analisados os dados obtidos em trabalhos já realizados (investigação ambiental e monitoramento do sistema de bombeamento emergencial) e publicações existentes (teses, livros, etc.).

O histórico da contaminação foi baseado nos trabalhos de investigação ambiental realizado.

As informações sobre o comportamento do contaminante em subsuperfície foram adquiridas em publicações existentes sobre esse assunto, bem como conceitos adquiridos em aula.

As informações sobre o sistema MPE foram obtidas em trabalhos publicados que usaram esse sistema para a remediação de solo e água subterrânea.

## 6 Desenvolvimento do Trabalho

A seguir será apresentado o cronograma e as principais atividades realizadas para o desenvolvimento do trabalho.

Atividades/Período	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Pesquisa Bibliográfica									
Revisão dos estudos dos trabalhos já realizados no local									
Ensaio piloto do sistema de remediação MPE no local									
Monitoramento do sistema de remediação MPE									
Campanha de amostragem de água subterrânea									
Análise dos dados e elaboração do relatório Final									



Os trabalhos bibliográficos e revisão dos trabalhos realizados permitiram descrever as características hidrogeológicas do aquífero da área de estudo nos seus aspectos de variação litológica vertical e horizontal; variação do nível d'água; sentido preferencial do fluxo da água subterrânea; e estimar a velocidade da água subterrânea. Foi possível também caracterizar os arredores, bem como identificar as fontes potenciais de contaminação e os receptores. Os conceitos adquiridos nas aulas do curso "Comportamento de contaminantes orgânicos em subsuperfície" ministrada pelo Prof. Dr. Everton de Oliveira também foram utilizados para a discussão dos resultados

Na revisão do ensaio piloto do sistema MPE foram analisados os dados adquiridos para a definição dos parâmetros necessários (raio de influência do sistema e cálculo do fluxo volumétrico) para projetar o sistema de remediação MPE.

Através dos dados de monitoramento mensal do sistema MPE que teve como objetivo acompanhar a evolução da pluma de fase livre e a variação do nível d'água, bem como as campanhas de amostragem água subterrânea foi possível avaliar a eficiência do sistema instalado e suas limitações.

## **7 Resultados Obtidos**

### **7.1 Geologia e hidrogeologia**

Geologicamente o município de Pindamonhangaba/SP encontra-se sobre sedimentos da Bacia de Taubaté.

A Bacia de Taubaté é composta por sistemas deposicionais do tipo:

- Sistema fluvial meandrante;
- Sistema fluvial entrelaçado;
- Sistema de leques aluviais; e
- Sistema lacustre

Segundo Riccomini (1989), a Bacia de Taubaté apresenta três principais seqüências:

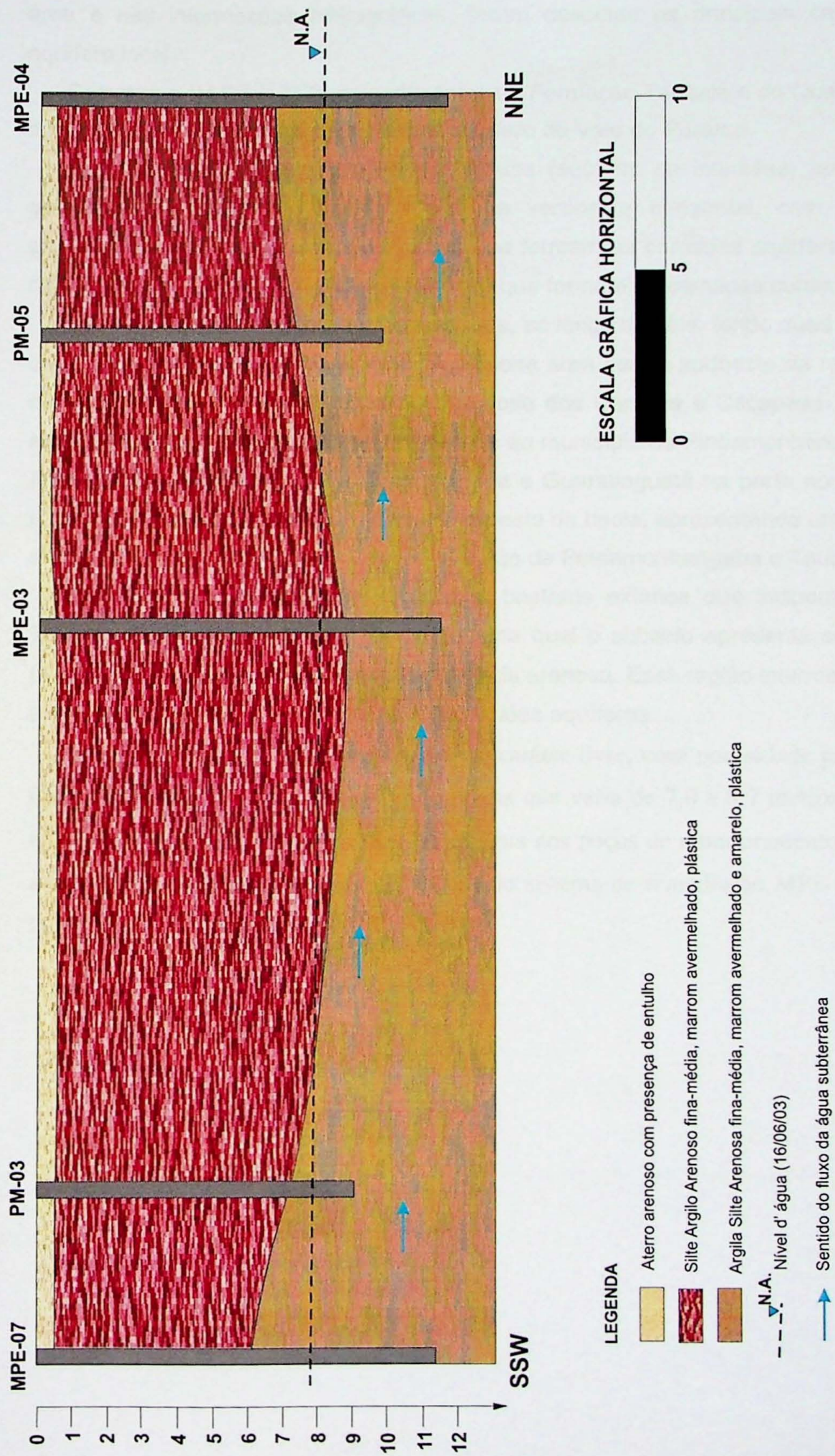
- Seqüência Paraíba do Sul superior;
- Seqüência Paraíba do Sul inferior;
- Seqüência Taubaté; e
- Seqüência Tremembé.

A área de estudo encontra-se sobre a Seqüência Paraíba do Sul inferior, cujo sistema deposicional é fluvial meandrante caracterizado pelo predomínio de argilitos e arenitos dispersos.

Através das sondagens realizadas na área de estudo foi possível verificar que a subsuperfície da área de estudo é constituída por argila e silte em proporções maiores com areia fina em menor proporção, sendo classificada como sedimentos silte-argilo-arenoso à argilo-silte-arenoso.

A **Figura 7.1** apresenta o perfil geológico da área de estudo.







Com base nas informações obtidas nos poços de monitoramento (PM's) instalados na área e nas informações bibliográficas, foram descritas as principais características do aquífero local.

Segundo o DAEE (1977), os sedimentos da Formação Taubaté e do Quaternário do Vale do Paraíba formam o principal e melhor aquífero do Vale do Paraíba.

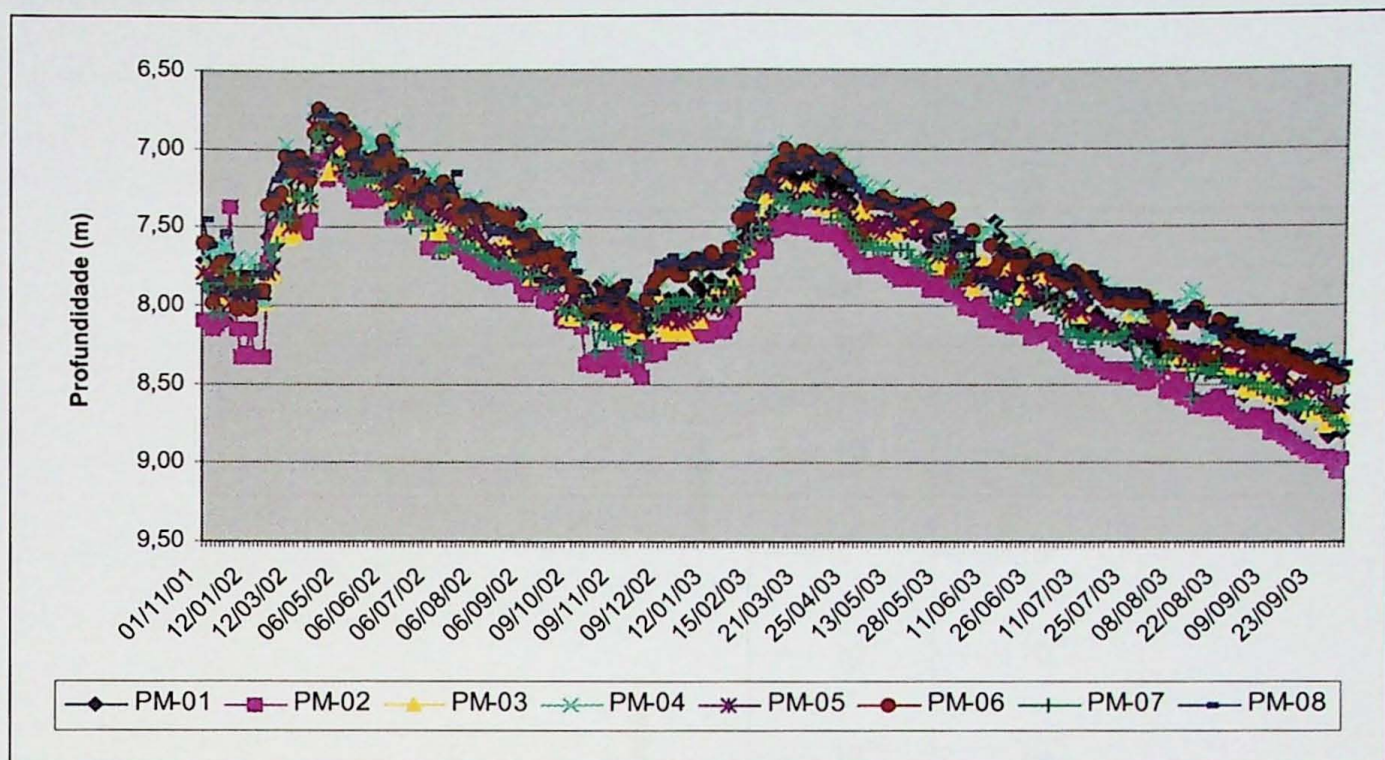
O aquífero sedimentar do Vale do Paraíba (aquífero de interesse) apresenta-se com grande variabilidade no perfil litológico na vertical e horizontal, com sedimentos de granulometria grossa (areias e cascalho) que formam as camadas aquíferas e sedimentos de granulometria fina (argila, silte e folhelho) que formam as camadas confinantes.

Este aquífero apresenta a forma alongada, ao longo do vale, tendo duas áreas principais onde se encontra bem desenvolvido. A primeira área esta a sudoeste da região que inclui as regiões de Santa Isabel, Jacareí, São José dos Campos e Caçapava, cuja espessura atinge até 200 metros diminuindo em direção ao município de Pindamonhangaba e Taubaté. A segunda área abrange a região de Lorena e Guaratinguetá na parte nordeste da bacia, estendendo-se até Cruzeiro na margem noroeste da bacia, apresentando uma espessura de até 300 metros diminuindo em direção a região de Pindamonhangaba e Taubaté.

Entre as duas áreas existe uma zona bastante extensa que incluem as regiões de Taubaté, Pindamonhangaba e Tremembé, na qual o subsolo apresenta sedimentos finos (argilas, siltes e folhelhos), com pouca camada arenosa. Essa região intermediária forma um aquífero pouco permeável, entre as duas regiões aquíferas.

O aquífero local da área de estudo é de caráter livre, com porosidade primária. O nível d'água encontra-se a uma profundidade média que varia de 7,0 a 8,7 metros. A **Figura 7.2.** apresenta o gráfico da evolução do nível d'água nos poços de monitoramento (PM's) durante a fase de bombeamento emergencial e fase do sistema de remediação MPE até setembro de 2003.





**Figura 7.2. – Evolução do nível d' água nos poços de monitoramento durante o período de bombeamento emergencial e do sistema MPE (até setembro de 2003)**

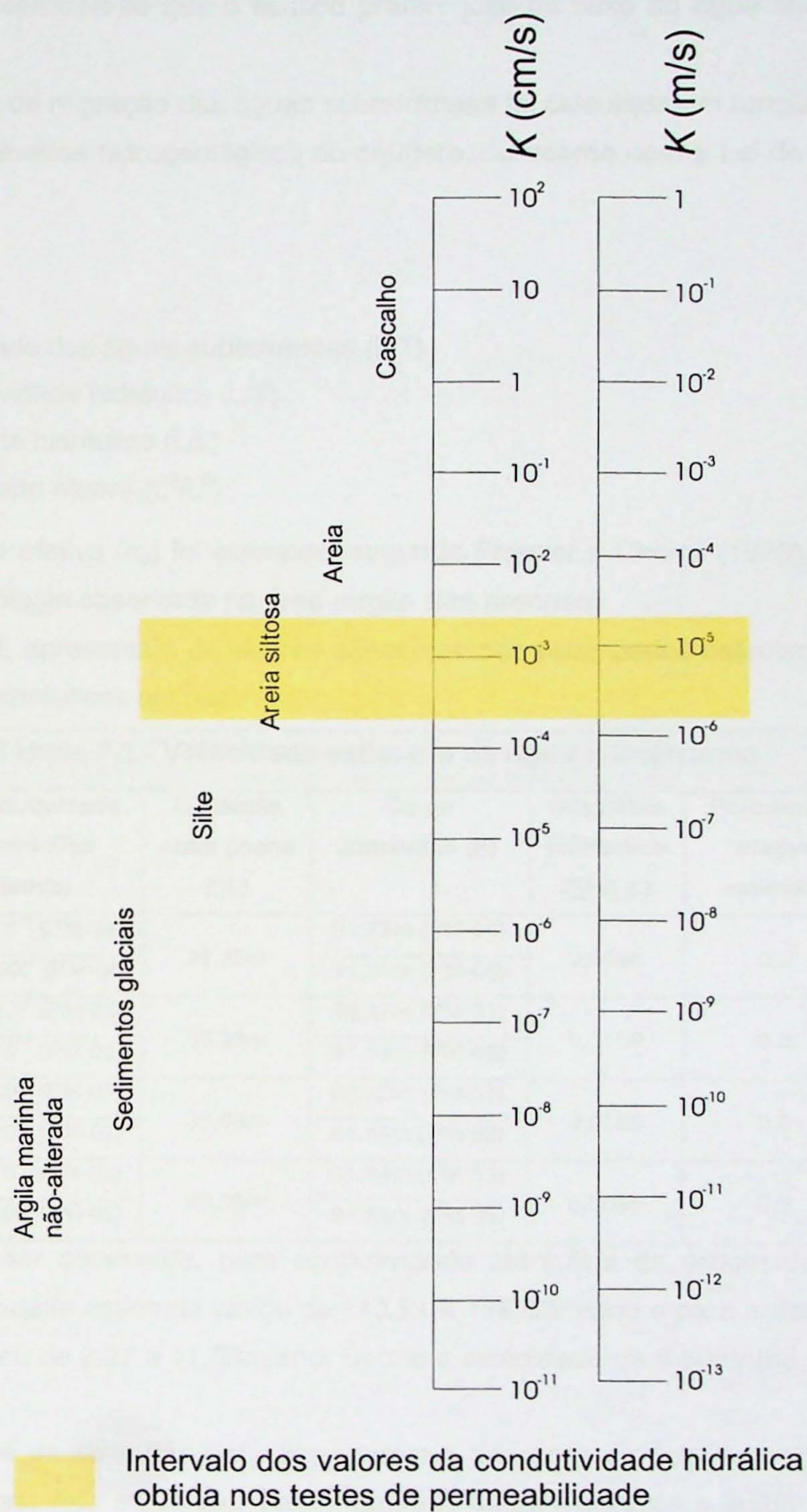
Pode-se observar nitidamente dois períodos de rebaixamento do N.A., um de maio a início de dezembro e outro de abril até o último dia de monitoramento. Observa-se também, dois períodos de elevação do N.A., um de março a maio e outro de início de dezembro a abril. Esta variação do N.A. corresponde ao período em que ocorre a recarga do aquífero.

Através do ensaio de permeabilidade, do tipo recuperação, realizado em alguns poços de monitoramento (PM's) foram calculadas as condutividades hidráulicas. Na **Tabela 7.1.** foram expressa as condutividades hidráulicas calculadas.

<b>Tabela 7.1. – Valores da condutividade hidráulica calculada nos poços de monitoramento (PM's)</b>	
<b>Poço (PM's)</b>	<b>Condutividade hidráulica (cm/s)</b>
<b>PM-01</b>	$6,9 \times 10^{-3}$
<b>PM-02</b>	$4,5 \times 10^{-4}$
<b>PM-04</b>	$1,5 \times 10^{-4}$
<b>PM-05</b>	$4,3 \times 10^{-4}$
<b>PM-06</b>	$7,6 \times 10^{-4}$

Comparando os resultados obtidos da condutividade hidráulica para a geologia local (argila silte arenosa fina-média) com a **Figura 7.3.**, observa-se que os valores obtidos ( $7,6 \times 10^{-4}$  a  $6,9 \times 10^{-3}$  cm/s) estão compatíveis com as condutividades hidráulicas teóricas da literatura (silte a areia fina).





**Figura 7.3.- Valores da condutividade hidráulica(K)**  
Modificado de Freezer and Cherry, 1979



No mapa potenciométrico (**Figura 7.4.**), confeccionado a partir das cargas hidráulicas obtidas através da diferença da cota superficial e do nível d'água dos poços de monitoramento, verificou-se que o sentido preferencial do fluxo da água subterrânea é de SSW para NNE.

A velocidade de migração das águas subterrâneas foi calculada em função do padrão de fluxo e dos parâmetros hidrogeológicos do aquífero, de acordo com a Lei de Darcy, através da expressão:

$$V = K \cdot i / n_e$$

onde :

V = Velocidade das águas subterrâneas (L/T)

K = Condutividade hidráulica (L/T)

i = Gradiente hidráulico (L/L)

$n_e$  = Porosidade efetiva ( $L^3/L^3$ )

A porosidade efetiva ( $n_e$ ) foi estimada, segundo Freezer e Cherry (1979), em 0,2 (20%) em função da litologia observada na área (argila silte arenosa).

A **Tabela 7.2.** apresentam os valores estimados das velocidades calculadas a partir das condutividades hidráulicas obtidas.

<b>Tabela 7.2 - Velocidade estimada da água subterrânea</b>						
Poço	Condutividade Hidráulica (cm/s)	Distância entre poços (m)	Carga hidráulica (H)	Gradiente hidráulico (H/L)	Porosidade efetiva estimada	Velocidade estimada (m/ano)
PM-04 – PM-06	$1,5 \times 10^{-4}$ (PM-04)	27,33m	91,77m (PM-04)	0,0096	0,2	2,27
	$7,6 \times 10^{-4}$ (PM-06)		91,51m (PM-06)			11,53
PM-01 – PM-05	$6,9 \times 10^{-3}$ (PM-01)	53,33m	92,22m (PM-01)	0,0109	0,2	118,00
	$4,3 \times 10^{-4}$ (PM-05)		91,64m (PM-05)			7,41
PM-01 – PM-02	$6,9 \times 10^{-3}$ (PM-01)	36,66m	92,22m (PM-01)	0,0105	0,2	113,91
	$4,5 \times 10^{-4}$ (PM-02)		91,84m (PM-02)			7,43
PM-02 – PM-05	$4,5 \times 10^{-4}$ (PM-02)	23,33m	91,84m (PM-02)	0,0085	0,2	6,05
	$4,3 \times 10^{-4}$ (PM-05)		91,64m (PM-05)			5,78

Como pode ser observada, para condutividade hidráulica da ordem de grandeza de  $10^{-3}$ cm/s, a velocidade estimada variou de 113,91 a 118,00m/ano e para ordem de grandeza de  $10^{-4}$ cm/s, variou de 2,27 a 11,53m/ano. Sendo a velocidade de 6,50m/ano, estimada para a área.

A capilaridade da zona não saturada envolve a interação de forças entre dois fluidos e entre o meio (zona não saturada), sendo definido fluido molhante e fluido não molhante; ângulo de contato; tensão interfacial; etc.



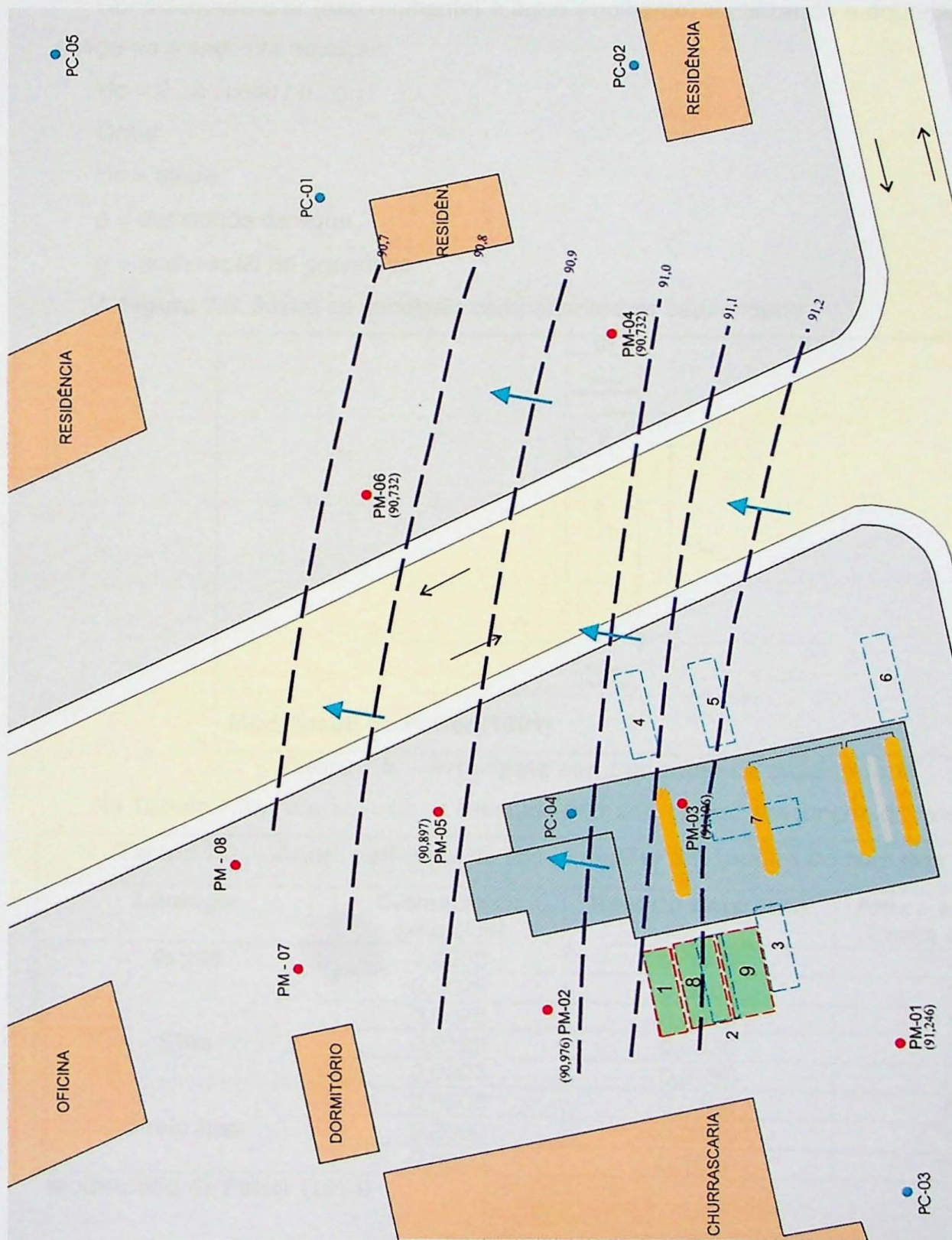


Figura 7.4.. - Mapa Potenciométrico (30/09/03)



A capilaridade da subsuperfície foi estimada baseada na equação de Laplace:

$$P_c = P_{nm} - P_m = 2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta / r$$

Onde:

$P_c$  = pressão capilar

$P_{nm}$  = pressão do fluido não molhante

$P_m$  = pressão do fluido molhante

$\sigma$  = tensão interfacial

$\theta$  = ângulo de contato

$r$  = raio da capilaridade (raio do poro)

Considerando o ar (não molhante) e água (molhante) e utilizando a equação de Laplace chega-se a seguinte equação:

$$H_c = 2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta / \rho \cdot g \cdot r$$

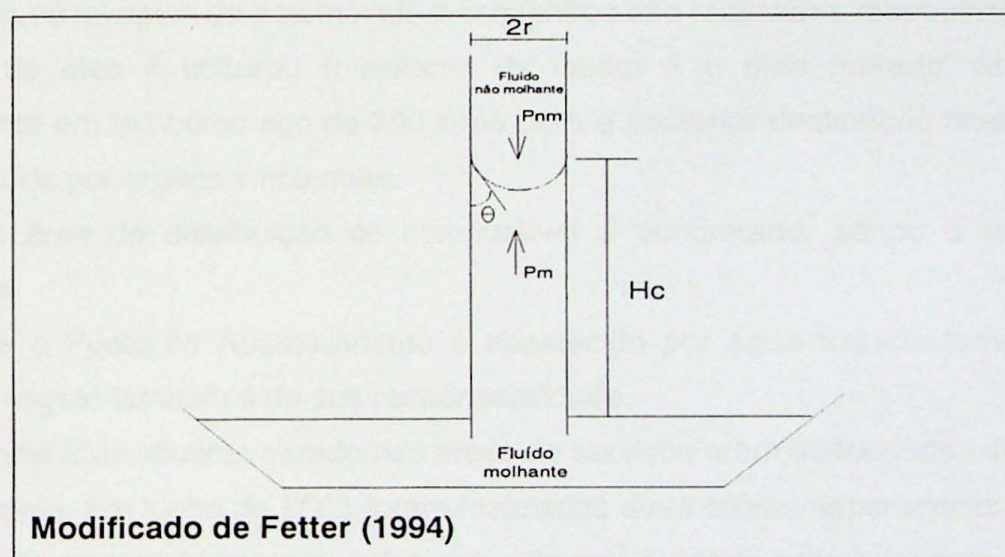
Onde:

$H_c$  = altura

$\rho$  = densidade da água

$g$  = aceleração da gravidade

A **Figura 7.5.** ilustra os principais componentes da capilaridade



**Figura 7.5. – Principais componentes da capilaridade**

Na **Tabela 7.3.**, nota-se a altura estimada da franja capilar em função do raio dos poros

<b>Tabela 7.3. – Altura estimada da franja capilar em função do raio dos poros</b>			
<b>Litologia</b>	<b>Diâmetro do grão (cm)</b>	<b>Raio do poro (cm)</b>	<b>Altura estimada da franja capilar (m)</b>
<b>Argila</b>	0,0008	0,0002	7,50
	0,0025	0,0005	3,00
	0,0075	0,0015	1,00
<b>Silte</b>	0,0150	0,0030	0,50
	0,0300	0,0060	0,25
	0,0500	0,0100	0,15
<b>Areia fina</b>	0,2000	0,0400	0,04
	0,5000	0,1000	0,015

Modificado de Fetter (1994)



Com base na litologia verificada na subsuperfície da área de estudo (silte em maior quantidade; seguida da argila; e areia fina menor quantidade), estima-se uma franja capilar de aproximadamente 0,60 metros de altura.

## **7.2 Descrição da área do Posto de Abastecimento e arredores**

O Posto de Abastecimento iniciou suas operações na década de 80 ocupando uma área de aproximadamente 2.500 m<sup>2</sup>, onde são oferecidos os serviços de abastecimento de combustível (gasolina comum, gasolina aditivada, álcool e óleo diesel comum); lavagem de automóveis e caminhões; troca de óleo; e lubrificação. Dentro da área encontra-se ainda um restaurante, uma mecânica de caminhões e uma borracharia. Foram identificados também dois poços cacimba (**Figura 5.1**).

Para o serviço de abastecimento de combustível eram utilizados 7 tanques subterrâneos de aço carbono de capacidade de 15.000 litros (1 para álcool comum (Tq-02), 1 para gasolina comum (Tq-01), 1 para gasolina aditivada (Tq-04), 1 para diesel aditivado (Tq-03) e 3 para diesel comum (Tq-05, Tq-06 e Tq-07)) e 8 conjuntos de bombas duplas. No final do ano de 2002 foi realizado a retirada de todos os tanques, com exceção do Tq-07 que se localiza perto de umas das colunas de sustentação da cobertura e Tq-01 em utilização. Foram instalados 2 novos tanques de capacidade de 30.000 litros bi-compartimentado.

Os serviços de lavagem de automóveis e caminhões são realizados manualmente.

Na troca de óleo é utilizado o sistema de valeta e o óleo retirado, armazenado temporariamente em tambores aço de 200 litros para a posterior destinação final (refino do óleo) regularizada por órgãos ambientais.

O piso da área de distribuição de combustível é concretado, sendo o restante de paralelepípedo.

Atualmente o Posto de Abastecimento é abastecido por água tratada fornecida pela SABESP cujo esgoto também é de sua responsabilidade.

Anteriormente todo efluente gerado nas áreas de serviços eram descartados diretamente na rede de esgoto. Em junho de 2003 foram instaladas duas caixas separadoras de água e óleo onde o efluente gerado passa por elas antes de seu descarte para a rede de esgoto.

O entorno do Posto de Abastecimento são constituídos por borracharias, restaurante, mecânica de caminhões, agropecuária de subsistência e residências familiares. Foi levantado a existência de três poços cacimba nos arredores cuja água é utilizada para consumo humano (**Figura 5.1**). O piso do entorno é de terra batida, asfalto e concreto.

## **7.3 Comportamento do contaminante em subsuperfície.**

Segundo Guiguer (1996) o vazamento de hidrocarboneto em subsuperfície podem gerar três principais fases:

- Fase separada (fase livre e residual);
- Fase dissolvida; e
- Fase vapor.



Segundo Ogihara (2000), a maior massa dos compostos de hidrocarbonetos se concentram na fase livre e residual.

Após o vazamento de combustível, a fase líquida migra em sentido predominantemente descendente devido à força da gravidade e capilaridade da zona não saturada.

O fenômeno físico que controla a migração do contaminante, principalmente na zona não saturada, é a capilaridade.

A capilaridade do solo é responsável também, pelo aprisionamento do contaminante nos poros e/ou canais, formando a chamada fase residual (retenção de contaminante nos poros).

Na descida do contaminante observa-se o processo de drenagem, onde o fluido não molhante desloca o fluido molhante. Para um sistema de ar e óleo diesel, o fluido molhante é o óleo diesel e o fluido não molhante é o ar.

A retenção de óleo diesel nos poros no processo de drenagem se deve principalmente pelo mecanismo denominado de *by-passing*. A **Figura 7.6.** ilustra o mecanismo.

O contaminante pode ficar retido nos poros, também pelo mecanismo denominado *snap-off*, através do processo de embebição (molhante desloca não molhante), referente a elevação do N.A. A **Figura 7.7.** ilustra o referido mecanismo

É importante salientar que um meio poroso heterogêneo (onde ocorre à interligação de diversos poros com infinitos valores de raio de poro) ocorre caminhos preferenciais de fluidos molhante e não molhante em função das diferenças de raios de poro e canal.

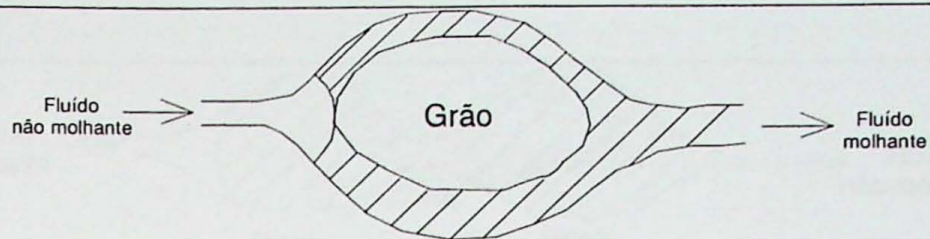
Para efeito de comparação, na **Tabela 7.4.** observa-se as concentrações de hidrocarbonetos residuais na zona não saturada, para gasolina e óleo diesel. Nota-se que a concentração de hidrocarbonetos em areia fina a silte (poros com raio menor) é até 8 vezes maior que em cascalho (poros com raio maior).

<b>Tabela 7.4. – Valores, na zona não saturada, das concentrações de hidrocarbonetos líquidos residuais.</b>				
<b>Meio/Produto</b>	<b>Gasolina</b>		<b>Óleo diesel</b>	
	<b>(L/m<sup>3</sup>)</b>	<b>(mg/Kg)<sup>a</sup></b>	<b>(L/m<sup>3</sup>)</b>	<b>(mg/Kg)<sup>a</sup></b>
<b>Cascalho</b>	2,5	950	10,0	4.900
<b>Areia grossa</b>	4,0	1.500	16,0	7.800
<b>Areia média a grossa</b>	7,5	2.800	30,0	15.000
<b>Areia fina a média</b>	12,5	4.700	50,0	24.000
<b>Areia fina a silte</b>	20,0	7.600	80,0	39.000

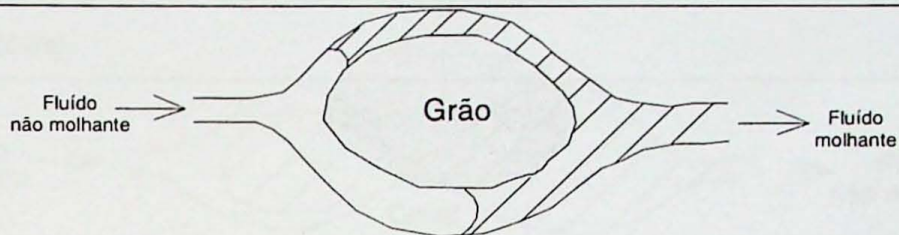
**Notas:** (<sup>a</sup>)= cálculo feito considerando a densidade do solo 1,85 g/cm<sup>3</sup> e as densidades dos combustíveis líquidos de 0,7 g/cm<sup>3</sup> para gasolina e 0,9 g/cm<sup>3</sup> para óleo diesel.

**Modificado de Guiguer (1996)**

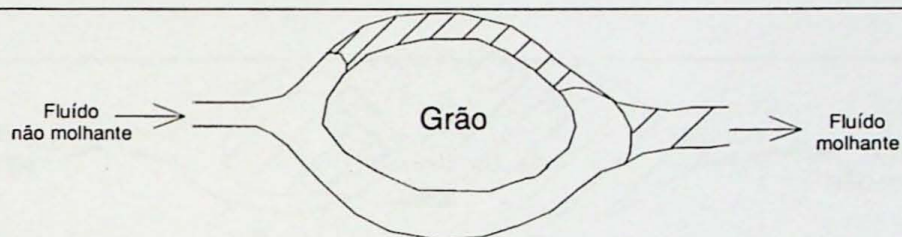




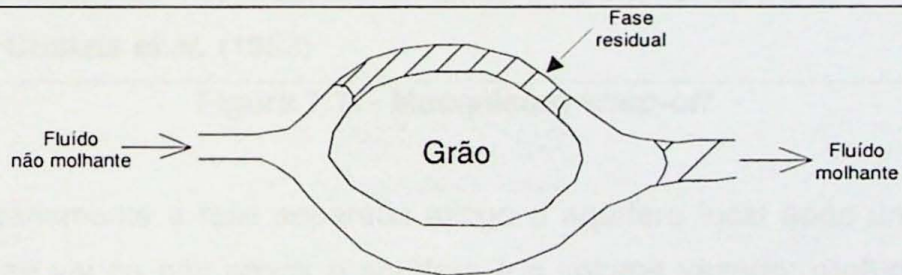
1. Introdução do fluido não molhante (ar), deslocando o fluido molhante (óleo diesel). O raio do canal vai aumentando à medida que o ar alcança o grão, onde encontrará dois canais, um com o raio menor e outro com raio maior.



2. Devido a maior facilidade de fluido não molhante (ar) deslocar fluídos molhantes em poros ou canais de raios maiores, o ar começa a deslocar o óleo na parte de baixo do grão e a parte de cima permanece imóvel.



3. O ar encontra novamente dois canais para seguir, encontrando menor dificuldade de deslocar o óleo diesel em canais ou poros de raio maior.

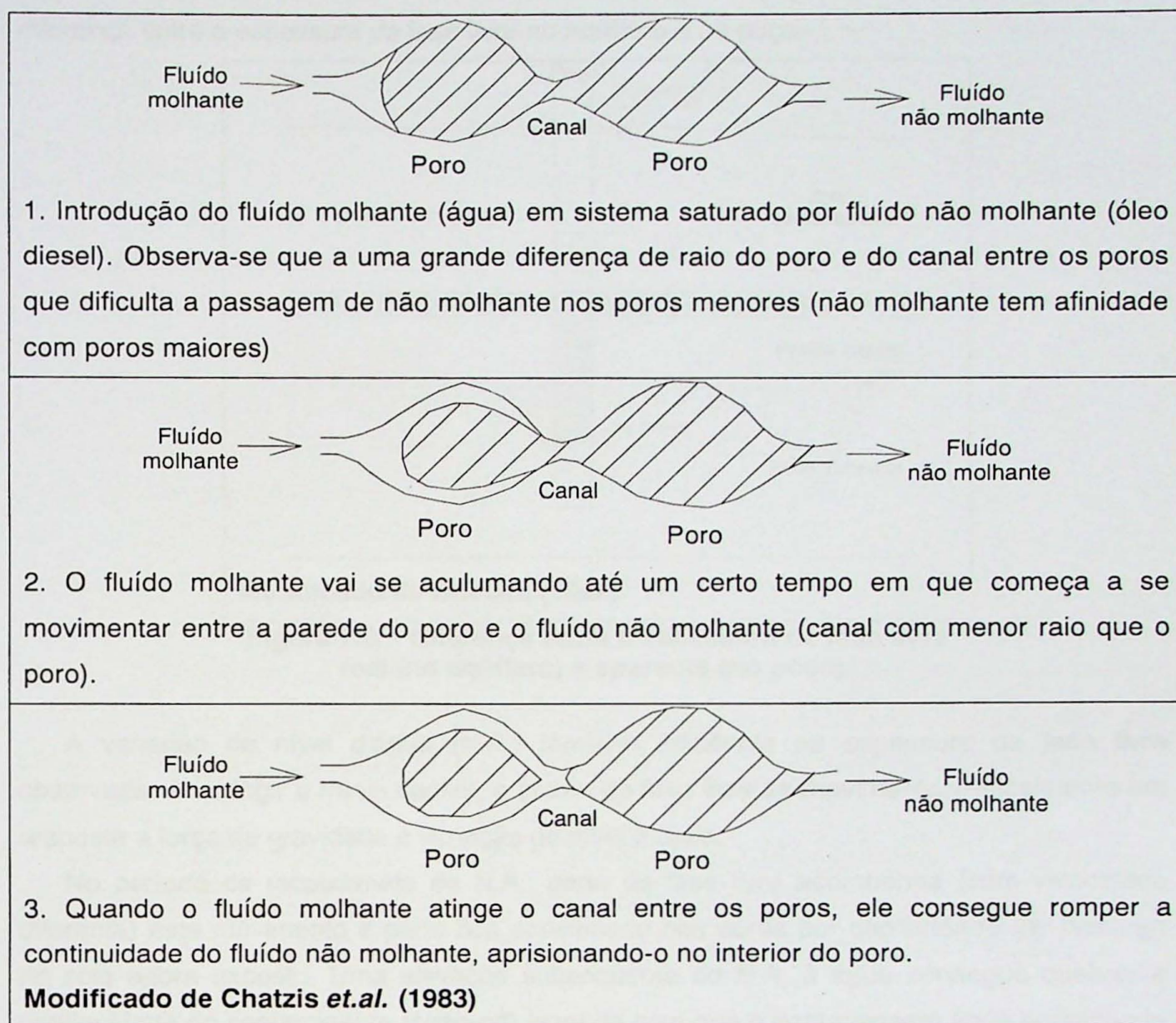


4. Formando assim a fase residual.

**Modificado de Chatzis *et.al.* (1983)**

**Figura 7.6. . – Mecanismo *by-passing***





**Figura 7.7. - Mecanismo *snap-off***

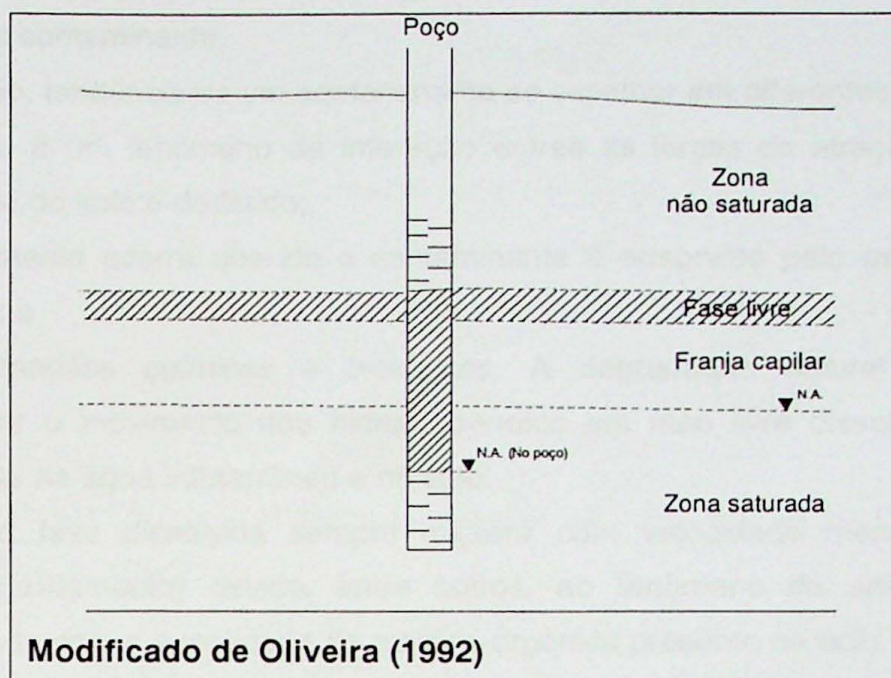
Não necessariamente a fase separada atinge o aquífero local após um vazamento. O que determina se vai ou não atingir o aquífero é o volume vazado; profundidade do nível d'água e capilaridade. Caso a fase líquida atinja meios porosos saturados em água (franja capilar) irá se formar uma pluma de fase livre.

A pluma de fase livre irá migrar segundo a força da gravidade e uma condutividade própria, diferente da condutividade hidráulica. A velocidade da pluma de fase livre normalmente é determinada de forma indireta, levando em consideração as datas do início do vazamento e da chegada do produto a um poço ou observação ou local determinado (Oliveira, 1992).

Segundo Oliveira (1992), a espessura de fase livre presente em poços não corresponde diretamente à espessura real presente no aquífero. Sendo assim deve-se levar em conta a litologia do local (responsável pela altura da franja capilar) e a densidade do contaminante



(responsável pelo rebaixamento do nível d'água dentro do poço). A **Figura 7.8** ilustra a diferença entre a espessura de fase livre no aquífero e no poço.



**Figura 7.8. - Diferença entre a espessura de fase livre real (no aquífero) e aparente (no poço).**

A variação do nível d'água (N.A.) também influencia na espessura de fase livre observada. Ao atingir a franja capilar, a pluma de fase livre se movimenta verticalmente em resposta a força da gravidade e variação do nível d'água.

No período de rebaixamento do N.A., parte da fase livre acompanha (com velocidade diferente) este movimento e parte fica aprisionada nos poros por capilaridade (*by-passing*) no solo agora exposto. Uma elevação subsequente do N.A. à água consegue quebrar a continuidade do contaminante (*snap-off*) fazendo com que o contaminante fique aprisionado abaixo do N.A., causando uma interpretação falsa sobre o volume de fase livre existente.

No próximo período de rebaixamento, o contaminante que anteriormente estava aprisionado abaixo do N.A. volta a reaparecer devido à propriedade que o óleo diesel tem de se espalhar sobre a superfície da água (Oliveira, comunicação verbal).

Nesse processo de variação do N.A. ocorre também, a formação de fase residual no intervalo de profundidade da variação da franja capilar.

A fase dissolvida é resultado do contato entre a água da subsuperfície e a fase separada. Esse contato acontece de várias maneiras, entre elas:

- Infiltração de água na zona não saturada com presença de fase residual; e
- Movimentação da água subterrânea que passa pela fase livre.

Segundo Guiguer (1996), os principais fenômenos físicos que controla a migração de compostos orgânicos na zona saturada são:



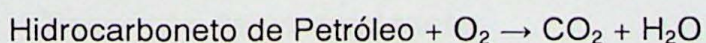
- *Advecção*, processo pelo qual os constituintes químicos são transportados pelo movimento da água subterrânea, podendo variar muito em função da propriedade do solo e do contaminante;
- *Dispersão*, tendência de um contaminante se espalhar em diferentes direções;
- *Adsorção* é um fenômeno de interação entre as forças de atração molecular da superfície do solo e do fluído;
- *Retardamento* ocorre quando o contaminante é adsorvido pelo material sólido do aquífero; e
- *Transformações químicas e biológicas*. A degradação natural também pode influenciar o movimento dos hidrocarbonetos em fase livre dissolvida e limitar o transporte na água subterrânea e no solo.

A pluma de fase dissolvida sempre migrará com velocidade menor que a água subterrânea (retardamento) devido, entre outros, ao fenômeno da adsorção, estando diretamente ligada com a quantidade de matéria orgânica presente no solo. O contaminante presente na fase dissolvida interage com a superfície do grão e matéria orgânica, que através da difusão iônica ocorre à transferência de massa de contaminante da água para o grão ou matéria orgânica. O processo de adsorção é reversível, sendo controlado pela diferença de gradiente. Vale ressaltar que este processo necessita de um tempo de equilíbrio.

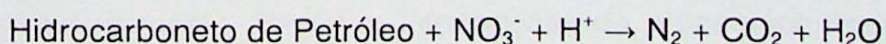
Outro processo importante que ocorre é a biodegradação. Segundo a ASTM (1999), microorganismos presente no solo utilizam o carbono e energia dos hidrocarbonetos de petróleo para a realização do metabolismo essencial para sua sobrevivência. A esse processo damos o nome de biodegradação.

A biodegradação ocorre tanto em ambientes oxidantes, quanto em ambientes redutores. Para este trabalho, foram considerados como indicadores de biodegradação o oxigênio, ferro bivalente, ferro total, nitrogênio nitrato e sulfato.

Em locais de alta concentração de hidrocarbonetos de petróleo, a quantidade de oxigênio dissolvido diminui rapidamente devido a intensa atividade metabólica dos microorganismos. Sendo assim em locais de grande concentração de hidrocarbonetos de petróleo, espera-se obter baixa concentração de oxigênio dissolvido. A equação não balanceada a seguir indica a reação química para o consumo de oxigênio:



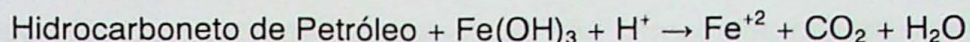
Após a redução considerável da concentração de oxigênio, inicia-se a biodegradação em ambiente redutor, onde o nitrato é consumido através a reação química:



Em locais de alta concentração de hidrocarboneto de petróleo espera-se obter baixa concentração de nitrato.

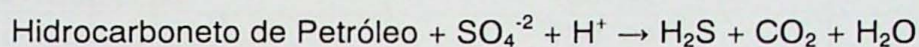


No processo de biodegradação, os microorganismos utilizam o  $\text{Fe}^{+3}$  para a geração de  $\text{Fe}^{+2}$ , através da reação química:



Em locais de alta concentração de hidrocarboneto de petróleo, espera-se uma alta concentração de  $\text{Fe}^{+2}$  e baixa concentração de  $\text{Fe}^{+3}$ .

Em ambientes extremamente redutores, onde as concentrações de oxigênio, nitrato e ferro são baixas, os microorganismos iniciam o consumo de sulfato através da reação química:



Em locais de alta concentração de hidrocarboneto de petróleo, espera-se uma baixa concentração de sulfato.

A fase vapor resulta principalmente da volatilização da fase separada e em escala menor, a partir da fase dissolvida.

Uma parte da fase vapor pode ser retida nos poros do solo por capilaridade ou ser adsorvida. A presença de água no solo diminui a área de superfície disponível diminuindo assim a capacidade do solo de adsorver a fase vapor.

Segundo Guiguer (1996), a movimentação da fase vapor em subsuperfície é controlada por:

- Propriedades físicas e químicas do produto contaminante;
- Propriedade hidrogeológica (condutividade hidráulica, profundidade e sentido de fluxo da água subterrânea, porosidade);
- Duração e intensidade de precipitação pluviométrica; e
- Estruturas feitas pelo homem.

Em geral a fase vapor tende a seguir caminhos mais condutivos e a migrar dessas áreas de maior pressão para as de menor pressão. Esses vapores são mais densos que o ar, o que possibilita se acumularem em garagens de prédios, esgotos, caixas de telefone subterrâneas. Esses vapores são usados para detecção de vazamento, devido a sua alta mobilidade.

Hidrocarbonetos móveis em fase livre, dissolvida e vapor, tendem a se tornar mais distintos e a se separar com o tempo, podendo ser considerados como plumas distintas que pode migrar em diferentes direções.

#### **7.4 Descrição da contaminação**

Em junho de 2001, foi realizada uma investigação ambiental na área do Posto de Abastecimento motivada pelo aparecimento de óleo diesel em fase livre em um dos poços cacimba do posto. Segundo informações do proprietário estimou-se uma perda de 8.000 litros, através do controle de estoque.

O vazamento foi causado pela falta de conexão na linha de retorno bomba e tanque 07. Através do teste de estanqueidade realizado, foi detectado furo no tanque 06.



Os derivados de petróleo são formados por uma mistura complexa de compostos orgânicos. Na **Tabela 7.5.** observam-se as principais propriedades físicas da gasolina e óleo diesel. Os hidrocarbonetos aromáticos são compostos constituintes do óleo diesel (cadeia de carbono maior) e os compostos de cadeia de carbono menor, entre eles, o BTXE que são compostos constituintes da gasolina.

<b>Tabela 7.5. - Principais propriedades da gasolina e diesel</b>		
<b>Propriedade</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Diesel</b>
Fórmula	C <sub>4</sub> a C <sub>12</sub>	C <sub>8</sub> a C <sub>25</sub>
Peso Molecular	100-105	200 (aprox.)
Densidade (Kg/m <sup>3</sup> a 15,5°C)	720-780	803-887
Viscosidade (centipoise a 20°C)	0,37-0,44	2,6-4,1
Pressão de Vapor Reid (mmHg)	413-775	10,34
Solubilidade em água (mg/L a 20°-25°C)	98-240	2,7-3,2

#### **Modificado de Guiguer (1996)**

A pressão de vapor indica que a gasolina é até 70 vezes mais volátil que o óleo diesel. A solubilidade da gasolina é até 100 vezes maior que o óleo diesel.

Através das sondagens realizadas, foi possível observar a presença de solo contaminado (fase residual). Nos poços de monitoramento foi observado óleo diesel em fase livre com espessura de até 1,0 metro (PM-03). Foi possível, também delimitar a pluma de fase livre, apresentando uma área estimada de 200 m<sup>2</sup>. Como medida emergencial foi instalado um sistema de bombeamento.

### **7.5 Bombeamento emergencial**

Como medida imediata foi instalado um sistema de bombeamento emergencial, composto por 03 poços de bombeamento (PB's), duas bombas pneumáticas, um compressor e uma estação de recuperação de produto extraído (caixa separadora água e óleo diesel). O sistema operou de junho de 2001 a setembro de 2002.

Através do sistema de bombeamento emergencial foi possível recuperar aproximadamente 1.600 litros de produto em fase livre do aquífero local.

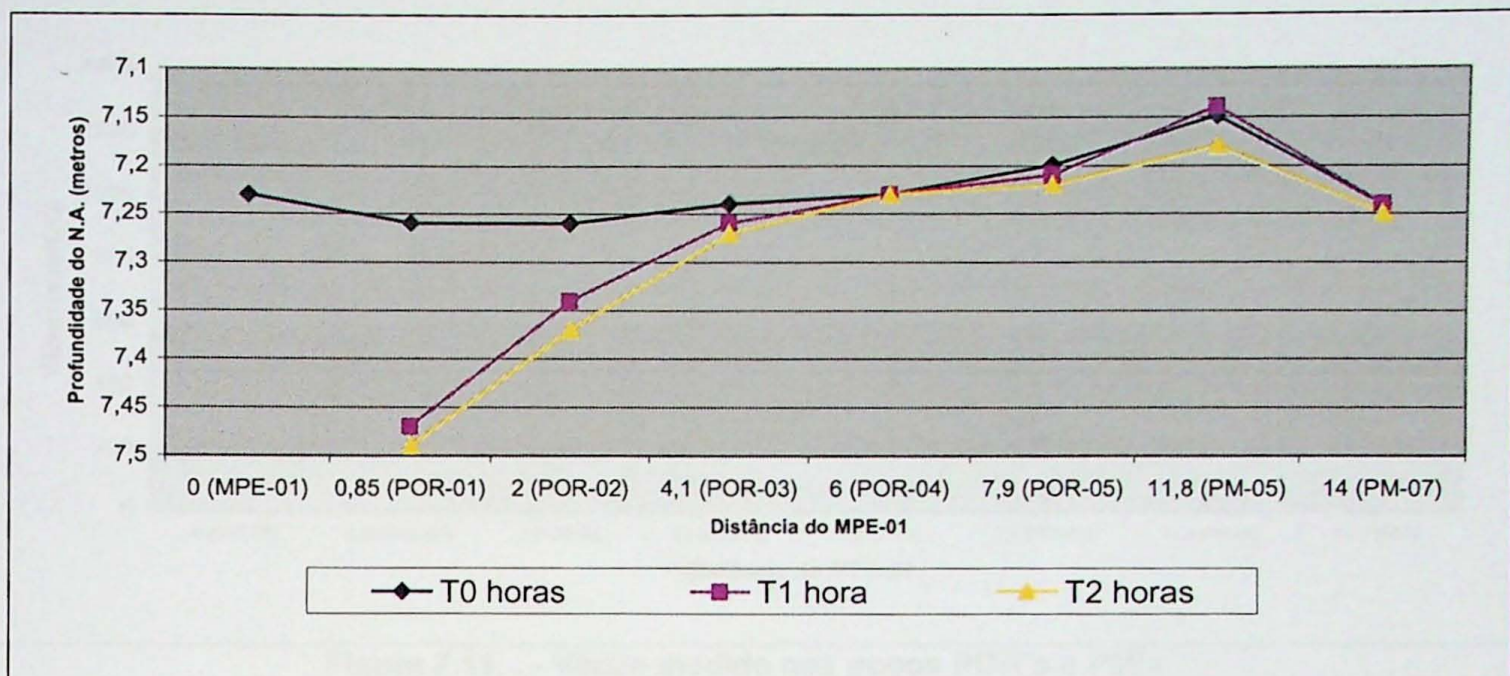
O sistema de remediação selecionado para realizar a recuperação da área degradada foi o sistema de remediação MPE.

### **7.6 Ensaio Piloto do Sistema de Remediação MPE**

O ensaio piloto do sistema de remediação MPE foi dividido em três ensaios, bombeamento, extração de vapores e bombeamento com extração de vapores.

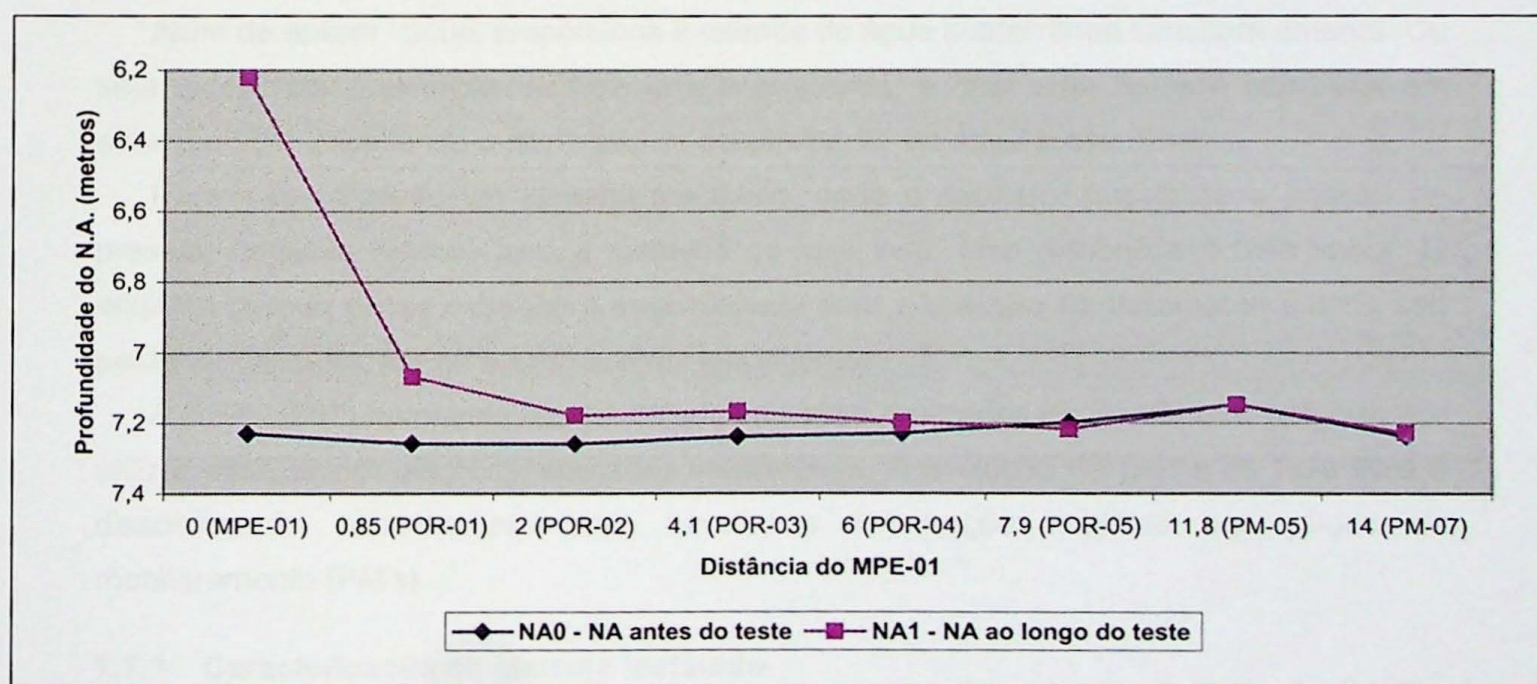
Com base no ensaio de bombeamento, pode-se concluir que a vazão ideal de bombeamento do poço sem esgota-lo é de 0,35 m<sup>3</sup>/h, provocando um rebaixamento máximo de 0,23 metro no POR-01 (0,86 metro do MPE-01). Na **Figura 7.9.** observa-se que no tempo de T<sub>1 hora</sub> foi observada influência do bombeamento até a distância de 5,0 m (PM-05) e no T<sub>2 horas</sub> até 13,0 m (PM-07).





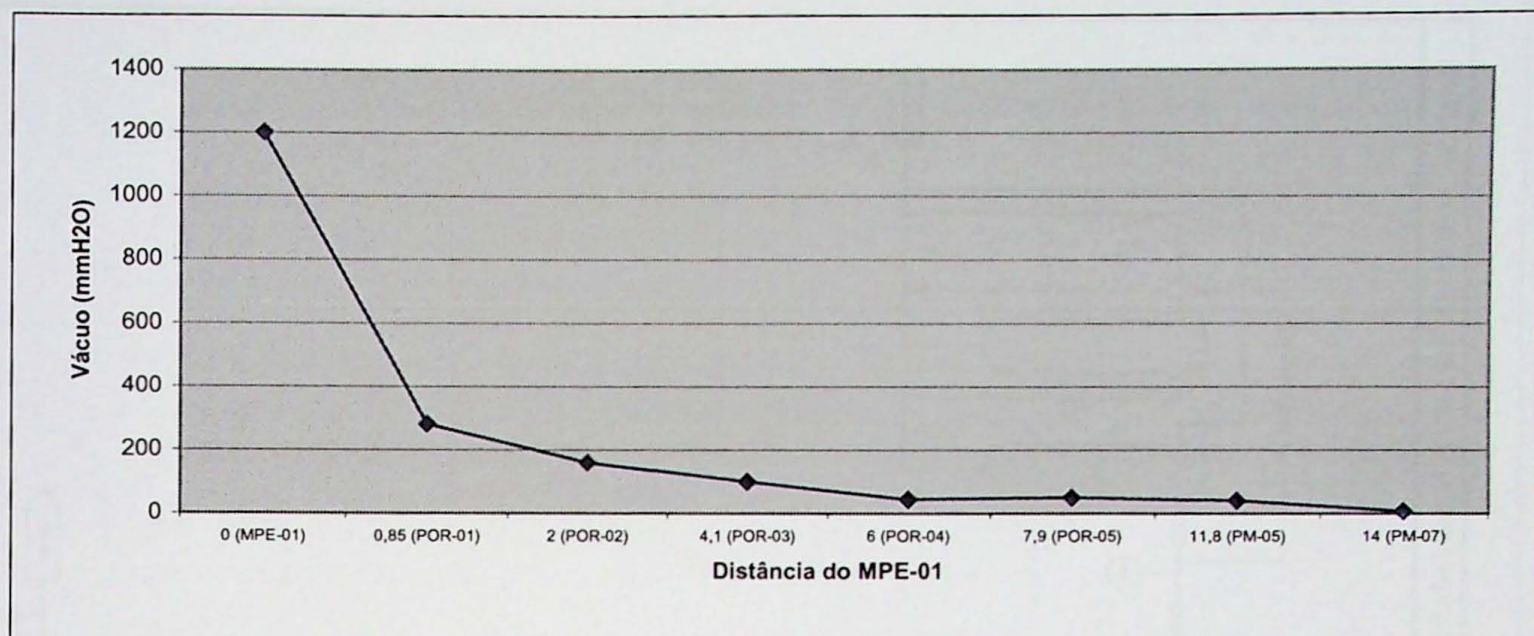
**Figura 7.9. - Rebaixamento do N.A. ao longo do ensaio de bombeamento**

No ensaio de extração de vapores, pode-se observar que a influência do vácuo no N.A. (Figura 7.10.) foi uma elevação do N.A. de até 1,0 metro no MPE-01, com um raio de influência de aproximadamente 6,0 metros. Na Figura 7.11., pode-se observar que o vácuo aplicado no MPE-01 (1200 mmH<sub>2</sub>O) influencia uma distância de aproximadamente 14,00 metros de distância do MPE-01, através da detecção de vácuo de 1 mmH<sub>2</sub>O no poço PM-07.



**Figura 7.10. - Influência do vácuo no N.A.**





**Figura 7.11. - Vácuo medido nos poços POR's e PM's**

## 7.7 Sistema de Remediação MPE

O objetivo do sistema de Extração Multifásica (MPE) é proporcionar uma maior circulação de ar (em um raio de influência) em subsuperfície através da aplicação de vácuo em um determinado local (poço MPE's). Essa circulação de ar pode direcionar a fase vapor presente no solo, possibilitando a sua extração; aumentar a velocidade da evaporação da fase residual para a fase vapor; e proporcionar um aumento de oxigênio em subsuperfície para propiciar a atividade metabólica dos microorganismos (biorremediação).

Além de aplicar vácuo, proporciona a retirada de água subterrânea simultaneamente. Ou seja, possibilita a extração da fase livre e dissolvida; e criar uma barreira hidráulica em subsuperfície dificultando a dispersão do contaminante via água subterrânea.

Para isso utiliza-se um sistema mecânico, onde o exaustor possibilita a criação de pressão negativa (vácuo) para a extração de fase livre, fase dissolvida e fase vapor. O efluente gerado dessa extração é encaminhado para a estação de tratamento para o seu posterior descarte, em de acordo com as leis vigentes.

A EPA (1997) apresenta alguns estudos de caso realizados em locais que optaram por utilizar essa tecnologia com resultados satisfatórios. A evolução da pluma da fase livre e dissolvida foi acompanhada com base nas informações obtidas nos poços de monitoramento (PM's).

### 7.7.1 Caracterização do sistema instalado

O sistema de remediação MPE entrou em operação em Outubro de 2002.

A **Figura 5.1** apresenta a localização dos poços de monitoramento (PM's), cacimba (PC's) e de extração multifásica (MPE's). Para o sistema MPE foram instalados, na área do auto posto, 7 poços de extração multifásica (MPE's) conectados a uma estação compacta de tratamento de efluentes e de ar.

A **Figura 7.12.** apresenta o fluxograma do sistema de remediação instalado.







O efluente gerado (líquido e vapor) será encaminhado para um tanque de separação líquido/ar (ciclone). O ar contaminado é lançado para a atmosfera depois de passar por um leito de carvão ativado e o líquido contaminado é conduzida para uma caixa de separação água/óleo.

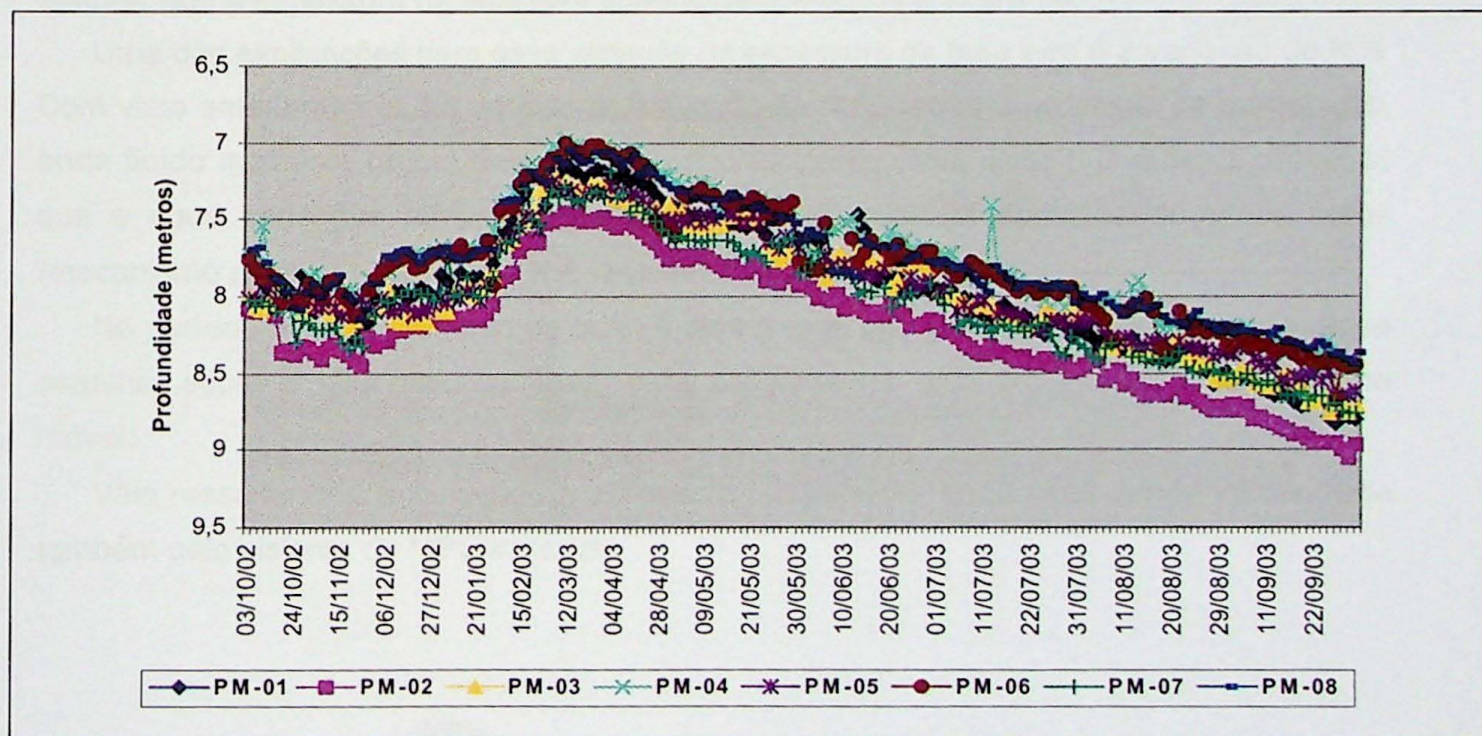
O óleo recuperado é armazenado em tambores lacrados, para posterior encaminhamento para um destino final adequado, aprovado pelos órgãos de controle ambiental.

A água contendo fase dissolvida de contaminantes passa pela coluna de *air-stripping* onde ocorre a transferência de massa do contaminante da água para o ar. O ar é lançado para a atmosfera e a água encaminhada para duas colunas de carvão ativado para o seu posterior descarte na rede pública de esgoto em atendimento ao Artigo 19A do Decreto-Lei 8.468/76.

### 7.8 Monitoramento do Sistema MPE

O monitoramento o sistema de MPE foi realizado através das informações do nível d'água, espessura de fase livre e vácuo observado nos poços existentes na área; e a coleta de amostras de água de alguns poços para análise química.

As medições do nível d'água (N.A.) estão expressos no **Anexo 1 (Tabela 1)**. A partir dessas medições foi confeccionado o gráfico da variação do N.A. (**Figura 7.13.**).



**Figura 7.13-Evolução do N.A. nos poços de monitoramento (PM's) durante o período de funcionamento do sistema de remediação MPE**

Pode-se observar que durante o período de monitoramento do sistema de remediação MPE, o nível d' água nos poços de monitoramento (PM's) apresentou um rebaixamento de até 40 cm entre o início de operação do sistema até meados de novembro de 2002, passando por um período de elevação até meados de março de 2003 (elevação de até 1,0 metro), quando retornar a rebaixar até setembro de 2003 (rebaixamento de até 1,5 metros).



Estes períodos de rebaixamento e elevação do nível d'água estão relacionados com ciclo hidrogeológico do aquífero local. Em períodos onde o aquífero recebe grande volume de recarga (principalmente em dezembro, janeiro e fevereiro), observa-se a elevação do N.A. Após este período, observa-se a diminuição da recarga, conseqüentemente o volume de recarga do aquífero cessa, ocasionando um período de rebaixamento do N.A.

Baseado nos dados de N.A. nos poços de monitoramento, não foi observado uma influência direta do sistema implantado nos referidos dados.

As medições das espessuras da fase livre observada nos poços PM-03, PM-05, PB-02 e PC-04, foram expressas no **Anexo 1 (Tabela 2)**. Em função da presença de uma pequena espessura de fase livre (menor que 0,5cm – película) nos poços PB-02 e PC-04 e para uma melhor visualização, a **Figura 7.14.** apresenta a evolução da espessura da fase livre nos poços PM-03 e PM-05.

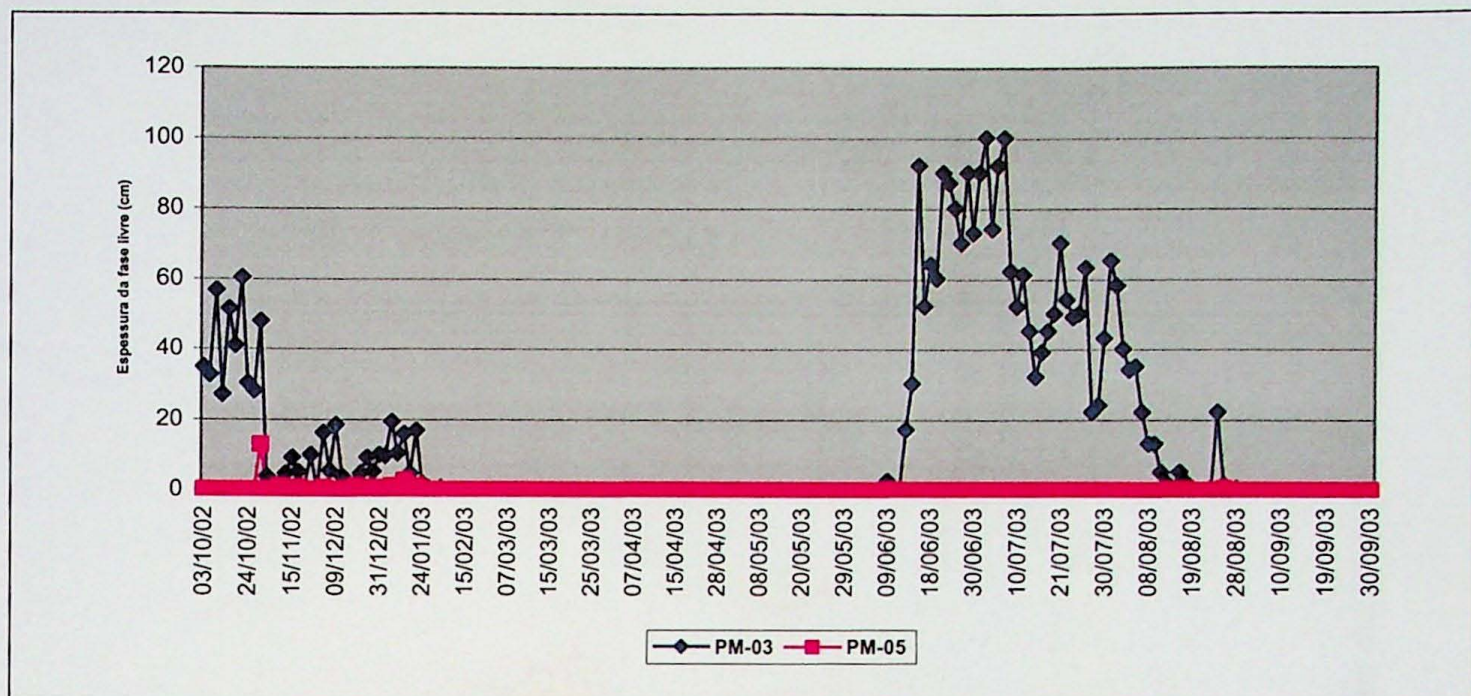
A partir dos dados obtidos, pode-se nota a presença de fase livre nos PM-03 e PM-05 no início da operação do sistema MPE até final de janeiro de 2003, com espessura máxima de 60 cm no PM-03 e 12,75 cm no PM-05, passando por um período (fevereiro de 2003 a início de junho de 2003) de ausência de fase livre nesses poços. No início de junho de 2003 começa ser detectado fase livre no PM-03, atingindo espessura de até 100cm em meados de junho de 2003, voltando a diminuir gradativamente até setembro de 2003. Deve-se lembrar que a espessura de fase livre observada nos poços é aparente.

Uma das explicações para essa variação da espessura da fase livre é a variação do N.A. Com visto anteriormente, no período de elevação do N.A. ocorre o processo de embebição, onde fluído molhante (água) desloca fluído não molhante (óleo diesel). E é neste processo que a água consegue romper a continuidade do óleo diesel aprisionando-o nos poros (mecanismo *snap-off*), abaixo do N.A., tornando a fase livre imóvel.

No período de rebaixamento do N.A., o óleo diesel, por apresentar a propriedade de se espalhar sobre a superfície da água, volta a apresentar uma continuidade, tornando-se móvel.

Vale ressaltar que a variação da espessura da fase livre pode estar sendo influenciada também pelo sistema de MPE instalado.





**Figura 7.14- Evolução da fase livre nos poços PM-03 e PM-05 durante o período de funcionamento do sistema de remediação MPE**

Na Tabela 7.6. observa-se os dados dos poços dos três dias.

**Tabela 7.6. – Dados das medições realizadas nos períodos de maior espessura de fase livre**

Data	21/10/02		08/07/03		21/10/03	
Poço/Parâmetro	N.A. (m)	F.L. (cm)	N.A. (m)	F.L. (cm)	N.A. (m)	F.L. (cm)
PM-01	7,96	0,0	8,02	0,0	8,85	0,0
PM-02	8,36	0,0	8,31	0,0	9,09	0,0
PM-03	8,03	60,17	8,04	100,00	8,87	P
PM-04	8,06	0,0	7,80	0,0	8,97	0,0
PM-05	8,00	P	8,05	P	8,71	P
PM-06	8,02	0,0	7,83	0,0	8,47	0,0
PM-07	7,97	0,0	8,15	0,0	8,75	0,0
PM-08	8,07	0,0	7,84	0,0	8,35	0,0
PB-02	-	P	-	P	-	P
PC-04	-	P	-	P	-	P

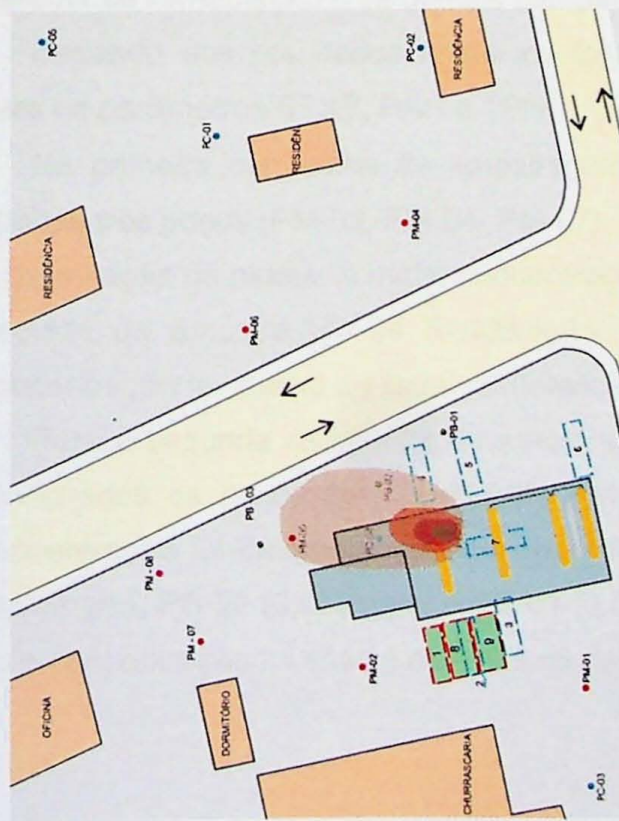
(N.A.) – nível d'água; (F.L.) – fase livre; (P) – película; (-) – não realizado

Dois períodos correspondentes ao final do processo de rebaixamento do N.A., com profundidades médias do N.A. de 8,05m (21/10/02) e 8,00m (08/07/03); e as maiores espessuras de fase livre observada no PM-03, 60,17cm (21/10/02) e 100,00cm (08/07/03). E no dia da última campanha de amostragem, onde o N.A. apresentou a maior profundidade média de 8,75m (21/10/03) e espessura de fase livre no PM-03 de menor que 0,5cm (película).

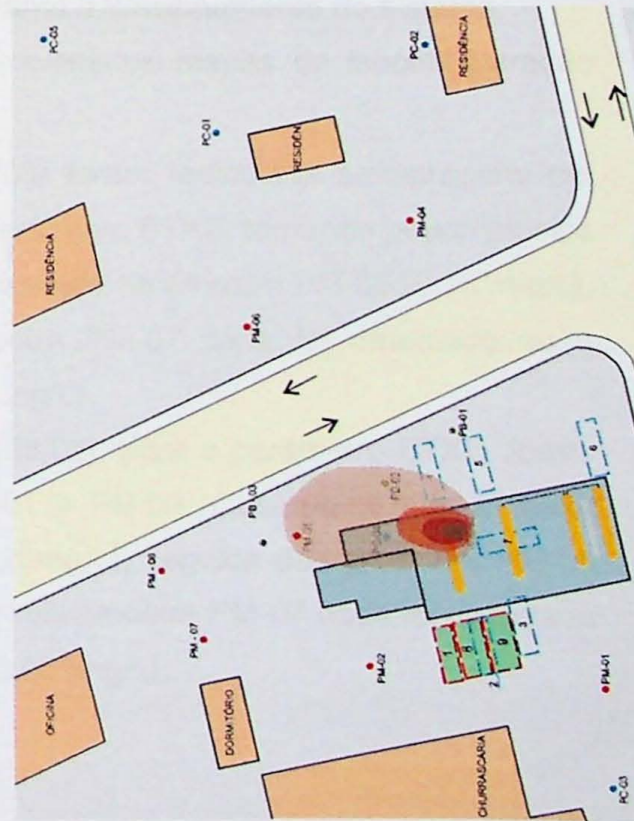
A Figura 7.15 apresenta a evolução da pluma de fase livre em três dias de períodos distintos.



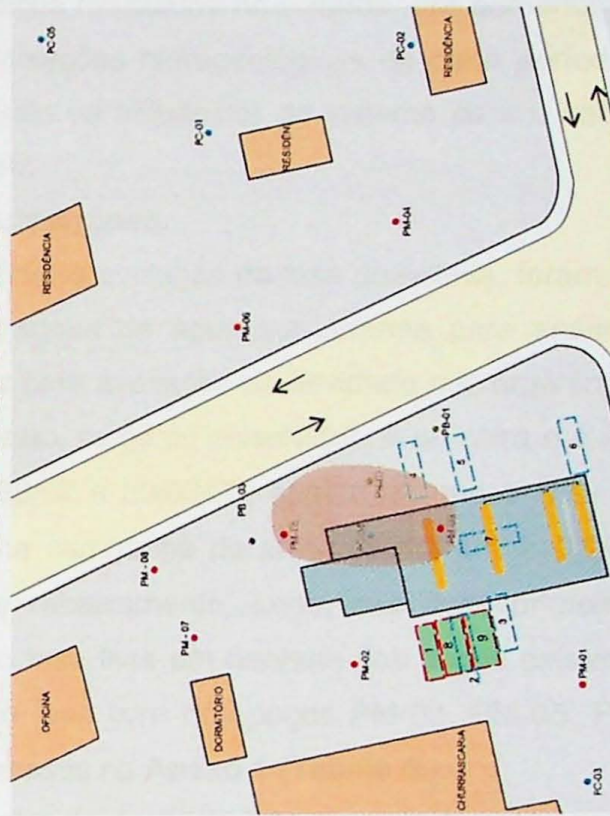
21 de Outubro de 2002



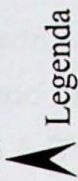
08 de Julho de 2003



21 de Outubro de 2003



NM

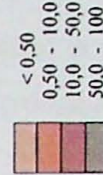


Legenda

- Ilha de Abastecimento
- Tanque retirado (15.000L)
- Tanque Novo (30.000L)
- Poço Cacimba (PC-01)
- Poços de Monitoramento (PM-01)
- Poços de Bombeamento (PB-01)

Espessura da fase livre

Legenda de Cores (cm)



Escala Gráfica  
0 5 10 m

Figura 7.15. - Evolução da pluma de fase livre



Observa-se que nos três referidos dias, a extensão estimada da pluma de fase livre não apresentou variação significativa, porém a sua espessura diminuiu dos dois primeiros períodos para o último.

Com uma área da pluma de fase livre estimada em 200m<sup>2</sup> e uma variação do N.A. em torno de 1,5m, calcula-se que há, pelo menos, aproximadamente 300m<sup>3</sup> de solo contaminado com fase residual.

Baseado nas medições de vácuo realizados nos poços PM's, POR's e MPE's, expressas no **Anexo 1 (Tabela 3 a 5)** observa-se que ocorreram algumas variações de vácuo, estando relacionado com ajustes periódicos realizados no sistema, ora aumentando, ora diminuindo o vácuo, de acordo com as condições hidrogeológicas de cada período, porém de modo geral a área de abrangência (raio de influência) do sistema para o vácuo não se alterou, sendo observado na **Figura 7.16**.

### **7.9 Amostragem de água subterrânea.**

Com o objetivo de acompanhar a evolução da fase dissolvida, foram realizados um total de três campanhas de amostragens de água subterrânea para análise dos parâmetros BTXE, PAH, TPH e parâmetros para avaliação de atividade microrgânica (Ferro total, Ferro bivalente, sulfato, nitrogênio nitrato, oxigênio dissolvido). A primeira e a segunda campanha foram realizadas nos dias 27/05/02 e 30/03/03, época em que o N.A. apresentava-se no período de elevação; e a última campanha de amostragem em 21/10/03, quando o N.A. apresentava-se no período de rebaixamento. Logo, nas duas primeiras campanhas de amostragens, não foi detectado fase livre em nenhum dos poços existentes na área, já na última campanha, foi detectado fase livre nos poços PM-03, PM-05, PB-02 e PC-04. Os resultados analíticos estão expressos no **Anexo 1 (Tabela 6.)**.

Vale ressaltar que a campanha do dia 27/05/03 foi realizada antes do início da partida do sistema de remediação e as demais campanhas, durante o funcionamento do sistema.

Baseado nos resultados analíticos foram confeccionados mapas de isoconcentração para os parâmetros BTXE, PAH e TPH.

Na primeira campanha de amostragem (27/05/03) foram realizadas amostragens em apenas três poços (PM-03, PM-04, PM-07), para o parâmetro BTXE, tornando pouco precisa a delimitação da pluma. A maior concentração foi detectada na amostra PM-03 (0,181mg/L), seguida da amostra PM-04 (0,003mg/L). Na amostra PM-07 nada foi detectado ou a concentração foi abaixo do limite de detecção (0,001mg/L).

Para a segunda campanha de amostragem (30/03/03), para o parâmetro BTXE, foram amostrados os poços PM-03, PM-05, PM-07, PB-01 e PB-02. Observa-se que a maior concentração foi detectada na amostra PM-03 (0,123mg/L), seguida das amostras PM-05 (0,04mg/L), PB-02 (0,012mg/L) e PB-01 (0,007mg/L). Na amostra PM-07 nada foi detectado ou a concentração foi abaixo do limite de detecção (0,001mg/L).





Figura 7.16. - Área de abrangência do vácuo exercido pelo sistema



Na terceira campanha de amostragem (21/10/03), para o parâmetro BTXE, foram amostrados os poços PM-02, PM-04, PM-06, PM-07 e PB-01. Observa-se que em todas as amostras, nada foi detectado ou a concentração foi abaixo do limite de detecção (0,001mg/L), com exceção da amostra PM-04 que apresentou uma concentração de 0,003mg/L.

A **Figura 7.17** apresenta a evolução da pluma de BTXE. Levando em conta uma maior precisão na delimitação da pluma de BTXE nos dias 31/03/03 e 21/10/03, observa-se que a extensão da pluma não apresentou variação significativa. A variação observada foi em relação à presença ou ausência de fase livre.

Considerando que o poço PM-03 apresentou a maior espessura de fase livre e a maior concentração de BTXE, quando a fase livre encontra-se aprisionada abaixo do N.A. (mecanismo *snap-off*) pode-se observar uma diferença de concentração de BTXE, significativa (uma ordem de grandeza), dentro da área da pluma de fase livre aprisionada.

Para o parâmetro PAH, na primeira campanha de amostragem (27/05/02) foi coleta amostra de água subterrânea apenas no poço PM-03, tendo como resultado 0,14902mg/L.

Na segunda campanha de amostragem (30/03/03), para análise do parâmetro PAH, foram coletadas amostras de água subterrânea nos poços PM-03, PM-05 e PB-02. A maior concentração foi detectada na amostra PM-05 (0,11800mg/L) seguida da amostra PM-03 (0,04600mg/L) e amostra PB-02 (0,00600mg/L).

Na terceira campanha de amostragem (21/10/03), foram analisadas as amostras PM-02, PM-07 e PB-01. A maior concentração de PAH foi obtida na amostra PB-01 (0,06790mg/L), seguida da amostra PM-02 (0,00630mg/L) e amostra PM-07 (0,00070mg/L).

A **Figura 7.18** apresenta a evolução da pluma de PAH. Diferente do resultado obtido para concentração de BTXE, houve uma grande diferença na extensão estimada da pluma de PAH entre a campanha do dia 30/03/03 (900m<sup>2</sup>) e 21/10/03 (2800m<sup>2</sup>). A presença da fase livre, neste caso, pode ter afetado a sua extensão.

O parâmetro TPH foi analisado apenas na segunda (30/03/03) e terceira campanha de amostragem (21/10/03).

Na segunda campanha de amostragem (30/03/03), para o parâmetro TPH foram amostrados os poços PM-03, PM-05, PM-07, PB-01 e PB-02. Observa-se que as maiores concentrações de TPH foram detectadas nas amostras PM-05 (56,6mg/L) e PM-03 (22,9mg/L), seguida das amostras PB-01 e PB-02 com concentrações iguais de 2,8mg/L e amostra PM-07 (0,1mg/L).



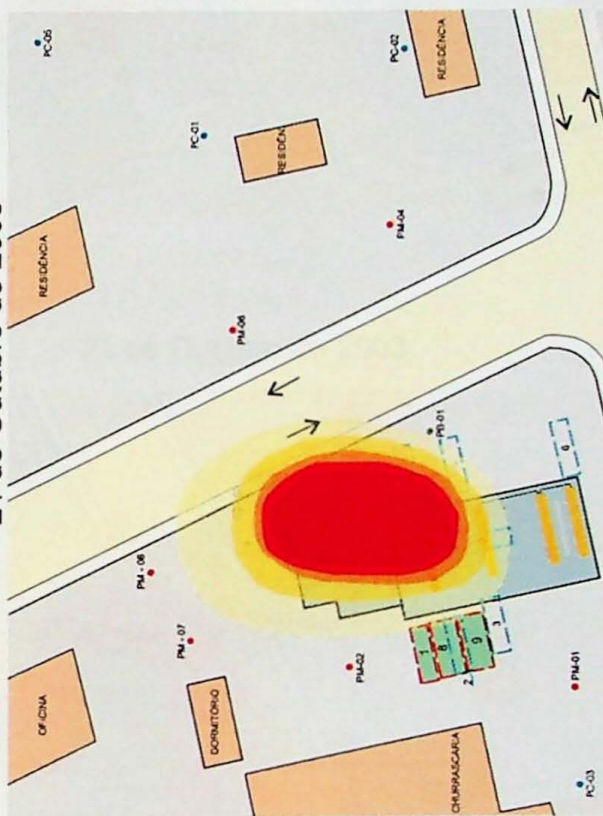
27 de Maio de 2002



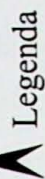
31 de Março de 2003



21 de Outubro de 2003



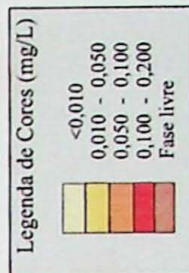
NM



Legenda

- Ilha de Abastecimento
- Tanque retirado (15.000L)
- Tanque Novo (30.000L)
- Poço Cacimba (PC-01)
- Poços de Monitoramento (PM-01)
- Poços de Bombeamento (PB-01)

Concentração de BTXE

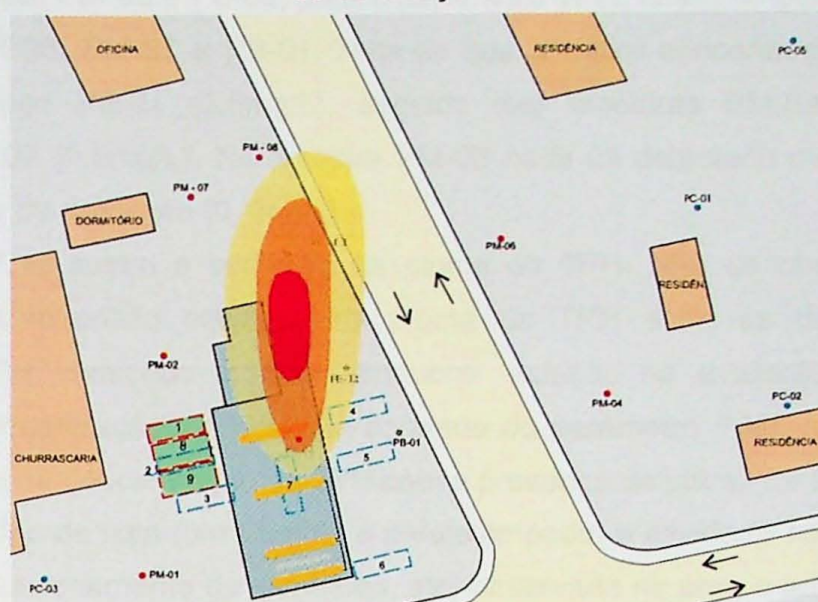


Escala Gráfica  
0 5 10 m

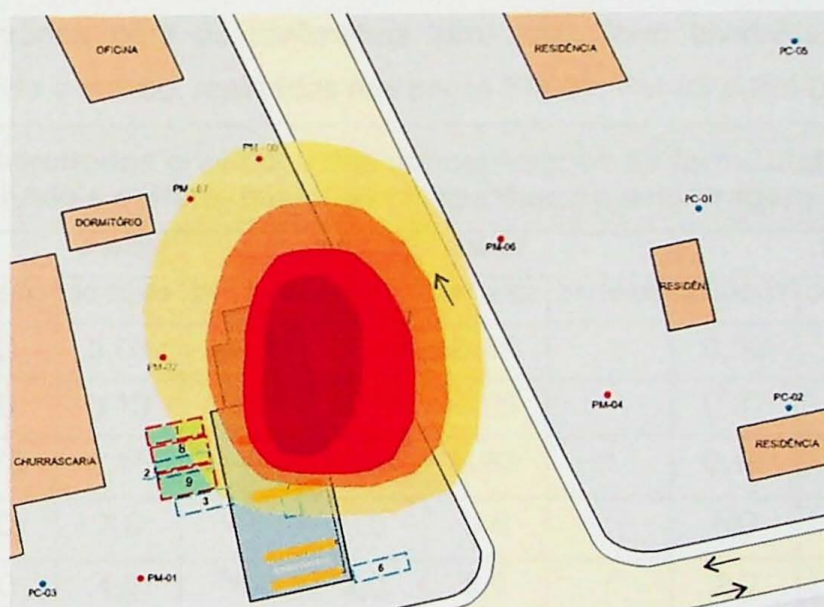
Figura 7.17 - Evolução da pluma de BTXE (benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno)



30 de Março de 2003



21 de Outubro de 2003



NM



Legenda

- Ilha de Abastecimento
- Tanque retirado (15.000L)
- Tanque Novo (30.000L)

- Poço Cacimba (PC-01)
- Poços de Monitoramento (PM-01)
- Poços de Bombeamento (PB-01)

Concentração de PAH

Legenda de Cores (mg/L)

- 0,001 - 0,010
- 0,010 - 0,050
- 0,050 - 0,150
- Fase Livre

Figura 7.18. - Evolução da pluma de PAH (Hidrocarboneto Aromático de Petróleo)



Na terceira campanha de amostragem (21/10/03), em virtude da presença de fase livre nos poços PM-03, PM-05 e PB-02, para o parâmetro TPH, foram amostrados os poços PM-02, PM-04, PM-06, PM-07 e PB-01. Nota-se que a maior concentração foi detectada na amostra do poço PB-01 (3,6mg/L), seguido das amostras PM-04 (1,1mg/L), PM-02 (0,7mg/L), PM-07 (0,6mg/L). Na amostra PM-06 nada foi detectado ou a concentração foi abaixo do limite de detecção (0,1mg/L).

A **Figura 7.19** ilustra a evolução da pluma de TPH. Não se observa uma variação significativa na extensão estimada da pluma de TPH entre as duas campanhas de amostragem. Foi verificado também, pequena variação na extensão de área de cada intervalo de concentração de TPH. Ao contrário do parâmetro PAH, não se observa uma influência direta na concentração de TPH com a presença da pluma de fase livre.

Devido ao tipo de piso (terra batida e paralelepípedo) e atividade econômica (mecânica, borracharia, estacionamento de caminhão, etc) observada na área e arredores do posto, as concentrações de BTXE, PAH e TPH podem ser influenciadas. Pode ser o caso das concentrações de BTXE e TPH detectada no poço PM-04

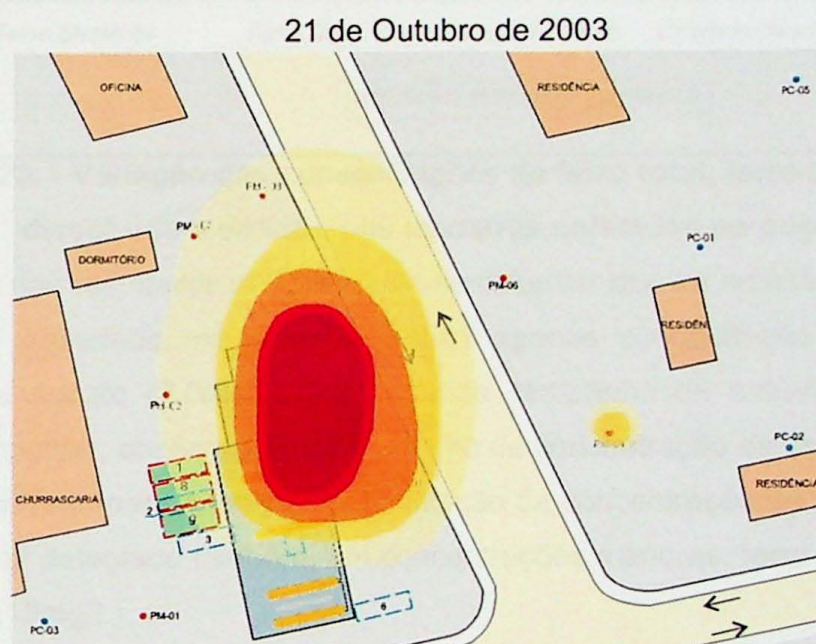
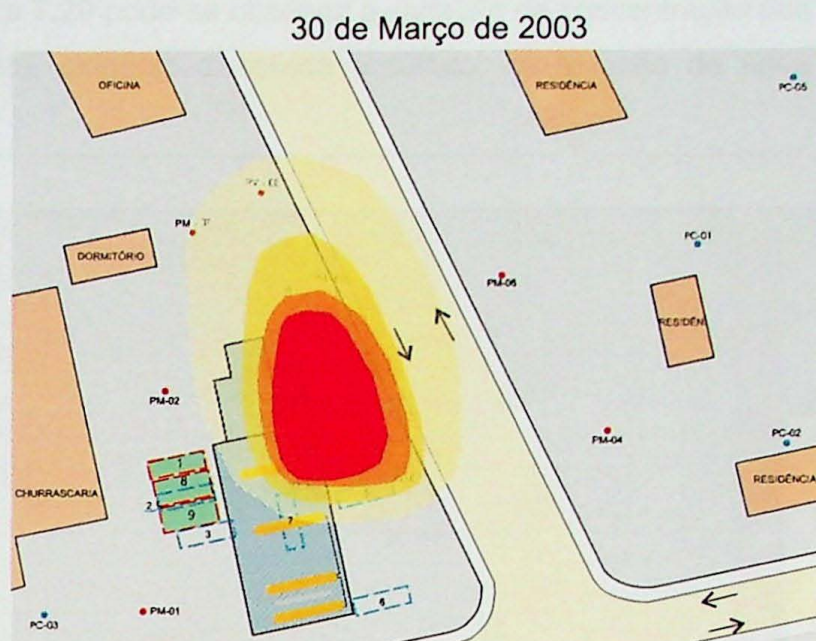
Na **Tabela 7.7.**, observa-se os resultados analíticos das três campanhas de amostragem de água subterrânea para os parâmetros ferro total, ferro bivalente, nitrogênio-nitrato, oxigênio dissolvido e sulfato, realizadas nos poços PM-01, PM-03 e PM-07.

**Tabela 7.7. - Resultados analíticos das concentrações de ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, nas duas campanhas de amostragem realizadas (mg/L)**

Poço	PM-01			PM-03			PM-07			LD
Data/Parâmetro	27/05/03	30/03/03	21/10/03	27/05/03	30/03/03	21/10/03	27/05/03	30/03/03	21/10/03	
Ferro bivalente	ND	0,03	0,75	0,21	0,35	-	0,06	0,04	ND	0,03
Ferro Total	ND	0,13	1,18	0,24	0,76	-	0,21	0,10	0,21	0,12
Nitrogênio Nitrato	1,70	1,15	1,22	11,3	6,83	-	0,11	2,33	4,66	0,10
Oxigênio dissolvido	ND	7,6	4,8	6,6	3,6	-	ND	4,6	6,4	0,1
Sulfato	2,0	4,0	ND	2,0	5,0	-	2,0	5,0	ND	2,0

ND – não detectado, LD – limite de detecção; (-) não analisado





NM  

 Legenda

- Ilha de Abastecimento
- Tanque retirado (15.000L)
- Tanque Novo (30.000L)

- Poço Cacimba (PC-01)
- Poços de Monitoramento (PM-01)
- Poços de Bombeamento (PB-01)

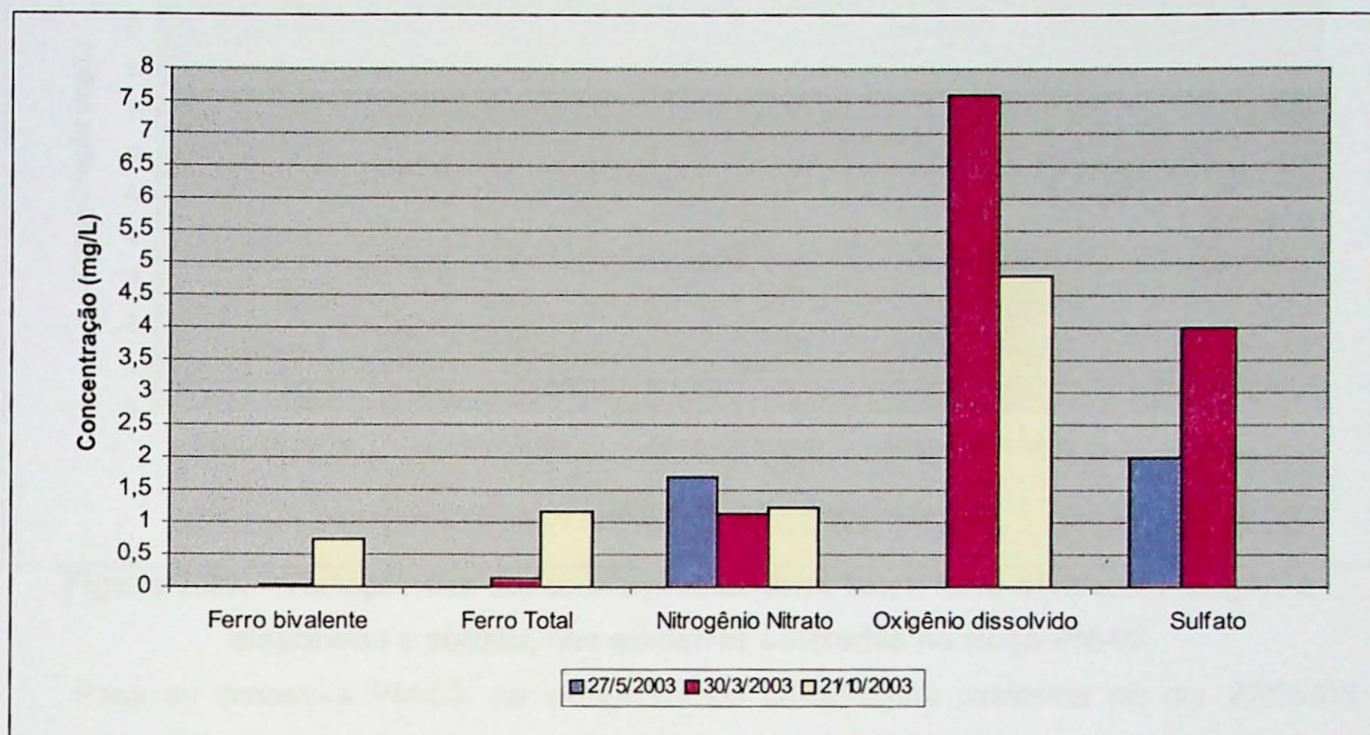
Concentração de TPH

Legenda de Cores (mg/L)	
	0,1 - 1,0
	1,0 - 2,5
	2,5 - 4,0
	> 4,0
	Fase Livre

**Figura 7.19. - Evolução da pluma de TPH (Hidrocarboneto Total de Petróleo)**



Na **Figura 7.20** pode-se observar a variação da concentração dos parâmetros ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, na amostra de água subterrânea do poço PM-01



**Figura 7.20. - Variação das concentrações de ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, nas amostras coletadas no poço PM-01**

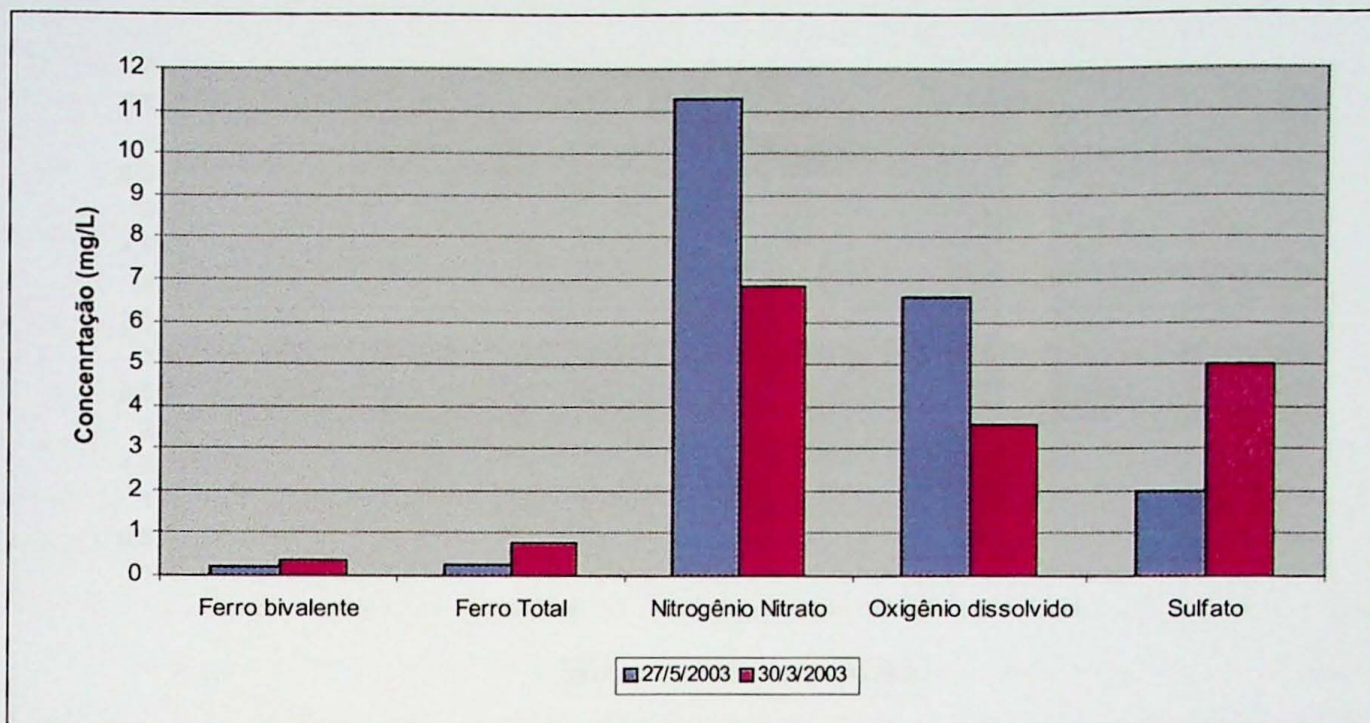
Baseado nos resultados obtidos, pode-se observar que na amostragem realizada no dia 21/05/03 foi detectado, na amostra PM-01 apenas concentração de nitrogênio nitrato (1,70mg/L) e sulfato (2,0mg/L). Na segunda campanha de amostragem, em relação a primeira campanha, observou-se um aumento de concentração de oxigênio dissolvido (para 7,6mg/L) e sulfato (para 4,0mg/L); e diminuição da concentração de nitrogênio nitrato (para 1,15mg/L). Foi detectado também, em concentrações menores, ferro bivalente (0,03mg/L) e ferro total (0,13mg/L).

Na terceira campanha de amostragem (21/10/03), a amostra PM-01, em relação a segunda campanha, apresentou um decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido (para 4,8mg/L) e não foi detectado sulfato. Não houve grande variação na concentração de nitrogênio nitrato (para 1,22mg/L). A concentração de ferro bivalente e ferro total apresentou uma elevação, para 0,75 e 1,18mg/L, respectivamente.

O poço PM-01 localiza-se a montante da área degradada, sendo assim a concentração de fase dissolvida de óleo diesel, vinculada ao vazamento, é nula. O que dificulta a avaliação da intensidade da atividade micoorgânica.

A **Figura 7.21** ilustra a variação da concentração dos parâmetros ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, nas amostras de água subterrânea do poço PM-03





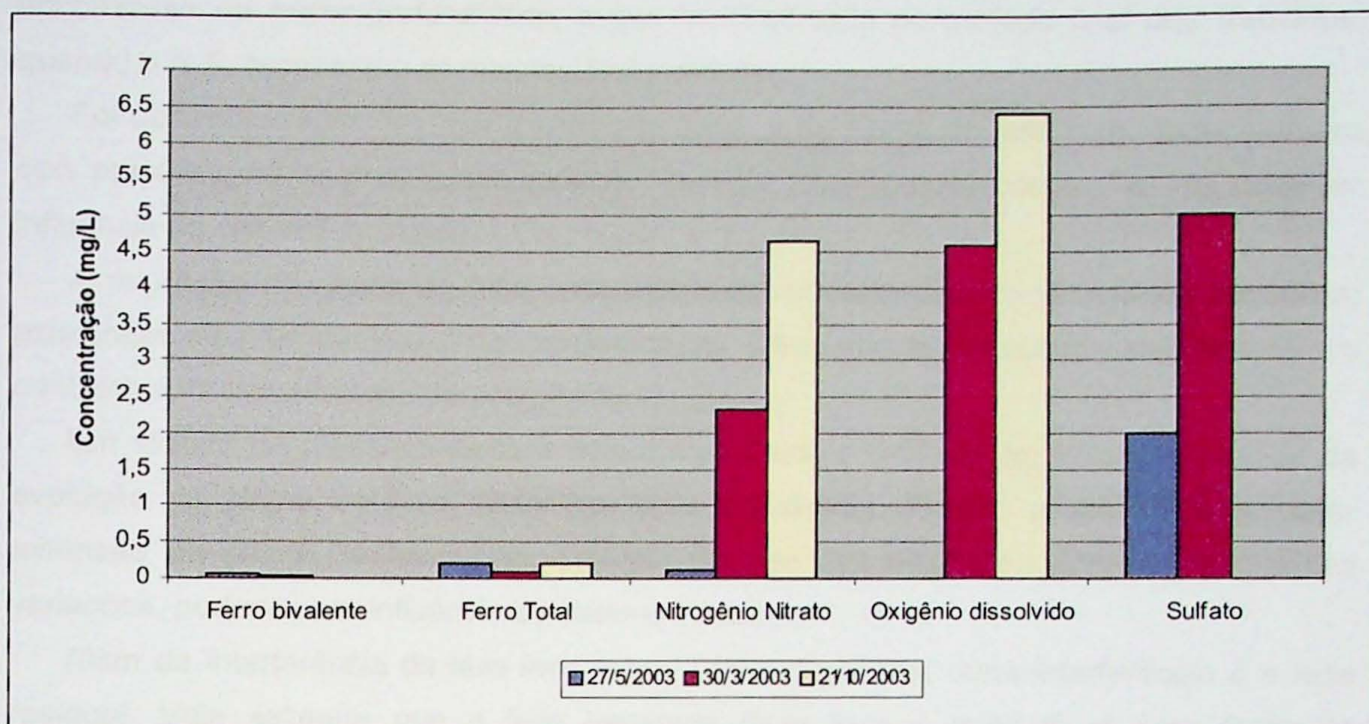
**Figura 7.21. - Variação das concentrações de ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, nas amostras coletadas no poço PM-03**

Para as amostras PM-03, na campanha de amostragem realizada no dia 27/05/03 detectou-se maior concentração de nitrogênio nitrato (11,3mg/L) e oxigênio dissolvido (6,6mg/L); e em concentrações menores de sulfato (2,0mg/L), ferro total (0,13mg/L) e ferro bivalente (0,03mg/L). Com os resultados obtidos na segunda campanha (30/03/03), observou-se, em relação a primeira campanha de amostragem, uma diminuição na concentração de nitrogênio nitrato (para 6,83mg/L), oxigênio dissolvido (para 3,6mg/L); e uma elevação na concentração de sulfato para (5,0mg/L), ferro total (para 0,76mg/L) e ferro bivalente (para 0,35mg/L).

No poço PM-03 foi observado a maior espessura de fase livre e se localiza dentro da área de influência do vácuo gerado pelo sistema. Sendo assim, espera-se uma maior atividade metabólica microorgânica, detectado pelo consumo de oxigênio dissolvido e nitrogênio nitrato. A concentração de oxigênio dissolvido pode ser influência pela maior circulação de ar promovida pelo sistema de remediação

A **Figura 7.22**, ilustra a variação da concentração dos parâmetros ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, nas amostras de água subterrânea coletadas no poço PM-07





**Figura 7.22. - Variação das concentrações de ferro total, ferro bivalente, oxigênio dissolvido e sulfato, nas amostras coletadas no poço PM-07**

O resultado analítico da primeira campanha de amostragem (27/05/03), realizada no poço PM-07, foi detectado maior concentração de sulfato (2,0mg/L) e em concentrações menores de ferro total (0,21mg/L), nitrogênio nitrato (0,11mg/L) e ferro bivalente (0,06mg/L). Não foi detectado concentração de oxigênio dissolvido. Na segunda campanha de amostragem (30/03/03), houve um aumento na concentração (em relação a primeira campanha) de nitrogênio nitrato (para 2,33mg/L), sulfato (para 5,0mg/L) e oxigênio dissolvido (para 4,6mg/L). Na terceira campanha de amostragem observa-se mais um aumento na concentração (em relação a segunda campanha) de nitrogênio nitrato (para 4,66mg/L) e oxigênio (para 6,4mg/L) e não foi detectado concentração de sulfato. O ferro total e ferro bivalente, sempre se apresentaram em concentrações menores, com pouca variação entre as campanhas de amostragem.

O poço PM-07 localiza-se a jusante da área degradada e foi detectado alguma concentração de PAH, TPH e BTXE. Portanto é esperado concentrações maiores de nitrogênio nitrato, oxigênio dissolvido e sulfato (baixa atividade metabólica dos microorganismos).

## 8 Interpretação/Discussão dos Resultados

A migração da pluma de fase livre é influenciada pela condutividade do contaminante; variação de profundidade do nível d'água; e fenômeno da capilaridade.

Os dados adquiridos indicam que extensão da pluma de fase livre variou em função da variação do N.A. Sendo esse processo um dos principais fatores para o aprisionamento de contaminante nos poros, abaixo do N.A.. Isso indica uma das limitações do sistema MPE instalado, onde a extração de fase livre só pode ser realizada em época onde o N.A.



encontra-se na maior profundidade, o que foi observado no período final dos trabalhos, quando o N.A. apresentou as maiores profundidades.

Foi observado também, que a extensão máxima da pluma de fase livre, observada em dois períodos, não sofreu quase variação, ou seja, migrou muito pouco. Tal fato pode ter influência do sistema instalado.

A migração da pluma de fase dissolvida é influenciada pela condutividade hidráulica; existência ou não de fase livre; fenômeno de retardamento; adsorção; degradação do contaminante por atividade microorgânica.

Em virtude da presença de fase livre durante todo o período do projeto, a análise da evolução da pluma de fase dissolvida ficou prejudicada. Porém, assim como a maior extensão da pluma de fase livre, a pluma de fase dissolvida não apresentou grandes variações, podendo ser influência do sistema instalado.

Além da interferência da fase livre sobre a fase dissolvida, outra interferência é a fase residual. Vale salientar que a fase separada (fase livre e residual) é uma fonte de contaminação para a fase dissolvida.

Em função de todos os fenômenos que interferem na formação de fase residual, a dificuldade do sistema instalado em agir nessa fase é muito grande.

## 9 Conclusões

Baseado nos resultados obtidos durante toda a execução do projeto, pode-se concluir que:

- A subsuperfície da área de estudo é constituída por sedimentos predominantemente silte argiloso com areia fina em proporções menores;
- A aquífero local é de caráter livre; com porosidade primária; nível d'água médio variando de 7,22m a 8,64m; a velocidade estimada do fluxo da água subterrânea foi de 6,5m/ano; o sentido de fluxo preferencial da água de SSW para NNE; e altura da franja capilar estimada em 0,45m;
- Cada poço de MPE, pode apresentar raio de influência de até 14,0m para o vácuo; e 6,0 para o bombeamento de água subterrânea;
- A pluma de fase livre não apresentou variação significativa na sua extensão, com uma área estimada de 200m<sup>2</sup>; a maior espessura da fase livre observado no PM-03 foi de 60,17cm (21/10/02) e 100cm (08/07/03); do dia 08/07/03 para o último dia de monitoramento (30/09/03), foi observado uma diminuição gradativa dessa espessura; a pluma de fase livre esta dentro da área de influência do sistema MPE; a espessura de fase livre observada em poços não corresponde à verdadeira espessura observada no aquífero, deve-se levar em consideração a altura da franja capilar e a diferença de densidade entre contaminante (óleo diesel) e água;
- Igualmente a fase livre, a pluma de fase dissolvida não variou significativamente a sua extensão, apresentando uma área estimada de 2800m<sup>2</sup>; as maiores



concentrações de BTXE, TPH e PAH foram detectadas no poço PM-03 (0,181mg/L, 22,9 mg/L e 0,14900mg/L, respectivamente); a presença de fase livre comprometeu a avaliação dessa pluma; o tipo de piso observado em cada área dos arredores pode influenciar a pluma de fase dissolvida detectada;

- Na avaliação da biorremediação, observou-se que local com maior contaminação (na região do PM-03), apresentou um consumo de oxigênio dissolvido e nitrogênio nitrato, o que indica uma intensa atividade microorgânica; a concentração de oxigênio dissolvido pode ser influenciada pelo sistema instalado;
- A migração da pluma de fase separada em zona não saturada é influenciada pelo fenômeno da capilaridade; e em zona saturada a pluma de fase livre é influenciada pela condutividade do contaminante no meio poroso e variação do N.A.;
- A migração da pluma de fase dissolvida é influenciada pelos fenômenos da advecção, adsorção, retardamento e transformação química (biodegradação);
- A formação da fase residual ocorre por mecanismos relacionado ao fenômeno da capilaridade (*snapp-off* e *by-passing*); e
- As limitações observadas do sistema de remediação MPE instalado, estão intimamente ligados com os fenômenos que agem no processo de migração das fases que se formam após o vazamento de óleo diesel em subsuperfície.



## 10 Referências Bibliográficas

- ASTM International (1999). **ASTM Standards on Assessment and Remediation of Petroleum Release Sites**. 126pp
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1999). **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo.
- CHATZIS, I. and DULLIEN, F.A.L. (1983). **Dynamic Immiscible Displacement Mechanisms in Pore Doublets: Theory versus Experiment**. J. Colloid Interface Sci. 91, 199pp
- DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA (1977). **Estudo das águas subterrâneas**. Região administrativa 03.
- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1997). **Presumptive Remedy: Supplemental Bulletin Multi-Phase Extraction (MPE) Technology for VOC's in Soil and Groundwater**. EPA 540-F-97-004.
- FETTER, C. W. (1994). **Applied Hydrogeology**. University of Wisconsin – Oshkosh. 691pp
- FREEZE, R.A. & CHERRY (1979). **Groundwater**. Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- GUIGUER, N. (1996). **Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento**. Waterloo Hydrogeologic.
- MONTGOMERY, J.H. (1996). **Groundwater Chemicals, Desk Reference**. Lewis Publishers.
- OLIVEIRA, E. (1992) **Contaminação de aquífero por hidrocarbonetos provenientes de vazamento de tanques de armazenamento subterrâneo**. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- OGIHARA, S.H. (2000). **Avaliação de Investigação Ambiental e de Tecnologia de Intervenção Aplicadas em uma Área Industrial com Elevadas Concentrações de Hidrocarbonetos**. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo
- RICCOMINI, C. (1989). **O rift continental do sudeste do Brasil**. Dissertação de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.



**ANEXO 1**  
**TABELAS**



Tabela 1 - Profundidade do nível d'água (N.A.) nos poços de monitoramento - metros

Poço/Data	03/10/02	06/10/02	09/10/02	12/10/02	15/10/02	18/10/02	21/10/02	24/10/02	27/10/02	31/10/02	03/11/02	06/11/02	09/11/02	12/11/02	15/11/02	18/11/02	21/11/02
PM-01	7,74	7,813333	7,9	7,96	8,04	7,92	7,963333	8,04	7,86	8,08	8,105	8,0625	8,05	8,125	8,1025	8,05	8,275
PM-02	8,0825	8,093333	8,0375	8,0525	8,13	8,3675	8,356667	8,38	8,325	8,33	8,36	8,4025	8,3325	8,305	8,355	8,38	8,415
PM-03	8,0025	8,07	8,0875	8,0475	7,9625	8,0075	8,033333	8,0475	8,085	8,0375	8,055	8,075	8,11	8,03	8,055	8,195	8,16
PM-04	7,7375	7,783333	7,535	7,815	7,885	8,03	8,063333	8,085	8,01	7,8575	7,84	7,9625	7,9025	7,915	7,9625	7,955	7,9725
PM-05	8,013333	8,023333	7,8725	7,945	8,025	7,99	8	8,04	8,03	8,0225	8,065	8,075	8,0275	8,07	8,1225	-	8,12
PM-06	7,7625	7,823333	7,875	7,865	7,883333	8,0475	8,02	8,0175	8,02	7,9225	7,96	8,0025	7,9	7,8875	7,9875	8,035	8,13
PM-07	8,0225	8,06	8,03	8,05	8,095	7,96	7,97	8,3	8,16	8,165	8,215	8,215	8,205	8,2025	8,295	8,34	8,265
PM-08	7,695	7,676667	7,7825	7,88	7,9	7,9675	8,073333	8,0775	7,965	7,91	8	7,95	7,91	7,855	7,9875	8,025	8,14

Poço/Data	24/11/02	27/11/02	30/11/02	03/12/02	06/12/02	09/12/02	12/12/02	15/12/02	18/12/02	21/12/02	24/12/02	27/12/02	31/12/02	03/01/03	09/01/03	12/01/03	15/01/03
PM-01	8,195	8,17	8,0225	8,0575	8,035	7,97	7,965	8	7,985	7,9375	7,973333	8,1075	7,86	7,9075	7,99	7,84	7,95
PM-02	8,45	8,265	8,316667	8,2925	8,295	8,22	8,226667	8,2	8,18	8,2025		8,1725	8,12	8,1775	8,1875	8,14	8,1575
PM-03	8,015	8,065	8,1025	8,07	7,9625	8,15	8,175	8,1	8,1625	8,1575	8,173333	8,0775	8,1	8,0925	7,985	8	7,92
PM-04	8,06	7,885	8,1	7,835	7,8375	7,76	7,7375	7,74	7,735	7,7375	7,716667	7,7125	7,68	-	7,6975	7,72	7,68
PM-05	8,02	8,075	8,095	8,02	8,0825	8,095	8,063333	8,06	8,113333	8,1	8,086667	8,0575	8,02	8,045	7,995	8,01	7,9775
PM-06	8,11	7,9575	7,89	7,835	7,8075	7,78	7,75	7,74	7,8125	7,81	7,743333	7,725	7,7	7,74	7,706667	7,66	7,7325
PM-07	8,32	8,095	8,125	8,035	8,045	8,005	8,005	7,96	7,9575	7,99	7,98	8,0325	7,96	7,73	7,995	7,99	7,8675
PM-08	8,085	7,9125	7,92	7,73	7,7475	7,71	7,69	7,73	7,77	7,73	7,71	7,725	7,68	7,7275	7,7575	7,745	7,7225

Poço/Data	18/01/03	21/01/03	24/01/03	27/01/03	03/02/03	06/02/03	09/02/03	12/02/03	15/02/03	18/02/03	21/02/03	24/02/03	28/02/03	06/03/03	09/03/03	12/03/03	15/03/03
PM-01	7,8775	7,8775	7,895	7,79	7,61	7,5825	7,51	7,365	7,3225	7,51	7,51	7,415	7,2275	7,2	7,135	7,1725	7,195
PM-02	8,13	8,1575	8,1175	8,06	7,905	7,8675	7,85	7,7075	7,65	7,62	7,6525	7,525	7,51	7,5	7,455	7,49	7,47
PM-03	7,9975	7,9475	7,8925	7,855	7,665	7,645	7,625	7,54	7,49	7,455	7,3	7,155	7,175	7,29	7,25	7,29	7,29
PM-04	7,686667	7,6925	7,63	7,56	7,41	7,37	7,31	7,215	7,1775	7,125	7,1775	7,125	7,015	7,05	6,97	7,0125	7,013333
PM-05	7,966667	8,023333	7,9175	-	7,68	7,633333	7,605	7,545	7,485	7,4825	7,57	7,23	7,2525	7,31	7,3	7,32	7,39
PM-06	7,725	7,72	7,635	7,935	7,44	7,4175	7,42	7,275	7,2175	7,2125	7,22	7,15	7,1025	7,085	7,01	7,0525	7,06
PM-07	7,98	8,0025	7,95	7,875	7,7	7,655	7,635	7,555	7,2925	7,4925	7,535	7,4	7,3175	7,35	7,29	7,365	7,38
PM-08	7,6875	7,69	7,6925		7,38	7,365	7,375	7,265	7,1925	7,2225	7,26	7,17	7,1075	7,126667	7,04	7,095	7,126667

Poço/Data	18/03/03	21/03/03	24/03/03	27/03/03	01/04/03	04/04/03	07/04/03	10/04/03	14/04/03	17/04/03	22/04/03	25/04/03	28/04/03	30/04/03	02/05/03	05/05/03	06/05/03
PM-01	7,255	7,1975	7,175	7,18	7,22	7,23	7,23	7,19	7,25	7,23	7,27	7,29	7,34	7,4	7,43	7,45	7,5
PM-02	7,5125	7,5025	7,49	7,4875	7,53	7,55	7,55	7,53	7,52	7,55	7,58	7,62	7,65	7,71	7,76	7,74	7,76
PM-03	7,32	7,2675	7,27	7,27	7,36	7,37	7,35	7,35	7,39	7,4	7,42	7,44	7,41	7,45	7,47	7,45	7,55
PM-04	7,0625	7,0675	7,08	7,02	7,04	7,07	7,07	7,04	7,09	7,04	7,14	7,17	7,16	7,22	7,25	7,27	7,34
PM-05	7,34	7,315	7,325	7,3325	7,28	7,34	7,34	7,32	7,34	7,34	7,37	7,41	7,45	7,51	7,53	7,5	7,51
PM-06	7,063333	7,0225	7,025	7,06	7,08	7,11	7,09	7,09	7,07	7,13	7,15	7,18	7,52	7,57	7,61	7,33	7,35
PM-07	7,375	7,3325	7,32	7,35	7,19	7,36	7,36	7,33	7,45	7,41	7,45	7,47	7,51	7,57	7,64	7,61	7,63
PM-08	7,115	7,06	7,06	7,06	7,1	7,15	7,15	7,12	7,08	7,2	7,16	7,2	7,23	7,27	7,32	7,32	7,37

(-) medição não realizada



Tabela 1 - Profundidade do nível d'água (N.A.) nos poços de monitoramento (continuação) - metros

Poço/Data	07/05/03	08/05/03	09/05/03	12/05/03	13/05/03	14/05/03	16/05/03	19/05/03	20/05/03	21/05/03	22/05/03	23/05/03	26/05/03	27/05/03	28/05/03	29/05/03	30/05/03
PM-01	7,48	7,49	7,48	7,5	7,52	7,54	7,54	7,5	7,54	7,55	7,52	7,55	7,6	7,69	7,72	7,71	7,72
PM-02	7,74	7,73	7,75	7,78	7,81	7,83	7,83	7,8	7,84	7,84	7,79	7,81	7,9	7,85	7,91	7,87	7,85
PM-03	7,55	7,52	7,55	7,49	7,54	7,48	7,48	7,48	7,47	7,5	7,47	7,5	7,67	7,72	7,76	7,72	7,7
PM-04	7,29	7,25	7,32	7,3	7,46	7,42	7,42	7,39	7,4	7,4	7,35	7,37	7,43	7,4	7,43	7,45	7,43
PM-05	7,47	7,53	7,48	7,5	-	7,45	7,45	7,47	7,53	7,52	7,47	7,52	7,65	7,64	7,69	7,61	7,64
PM-06	7,33	7,3	7,36	7,34	-	7,38	7,38	7,36	7,41	7,4	7,36	7,39	7,46	7,41	7,49	7,41	7,39
PM-07	7,63	7,65	7,63	7,64	-	7,64	7,64	7,65	7,7	7,73	7,7	7,73	7,78	7,65	7,68	7,62	7,65
PM-08	7,35	7,37	7,37	7,48	7,37	7,33	7,33	7,35	7,43	7,43	7,4	7,44	7,52	7,47	7,49	7,48	7,53

Poço/Data	02/06/03	03/06/03	04/06/03	05/06/03	06/06/03	09/06/03	10/06/03	11/06/03	12/06/03	13/06/03	16/06/03	17/06/03	18/06/03	20/06/03	23/06/03	24/06/03	25/06/03
PM-01	7,7	7,6	7,65	7,54	7,81	7,81	7,8	7,81	7,84	7,47	7,57	7,83	7,9	7,89	7,87	7,88	7,95
PM-02	7,78	7,94	8,02	7,77	8,03	7,99	7,99	8,09	8,06	8,07	8,1	8,12	8,1	8,13	8,06	8,1	8,13
PM-03	7,75	7,72	7,74	7,89	7,78	7,72	7,72	7,76	7,81	7,71	7,71	7,78	7,78	7,8	7,94	7,9	7,79
PM-04	7,73	7,72	7,75	7,57	7,56	7,57	7,57	7,53	7,5	7,62	7,65	7,65	7,64	7,67	7,58	7,68	7,71
PM-05	7,77	7,8	7,83	7,74	7,8	7,83	7,83	7,79	7,84	7,8	7,85	7,85	7,87	7,82	7,75	7,74	7,87
PM-06	7,81	7,83	7,82	7,52	-	-	-	-	7,62	7,77	7,72	7,64	-	7,69	7,76	7,73	7,75
PM-07	7,84	7,78	7,7	7,59	-	7,85	7,85	-	7,87	7,98	7,96	7,97	-	7,94	8,07	8,02	7,98
PM-08	7,57	7,6	7,61	7,83	7,84	7,84	7,84	7,84	7,88	7,63	7,67	7,68	7,68	7,68	7,79	7,75	7,74

Poço/Data	26/06/03	27/06/03	30/06/03	01/07/03	02/07/03	03/07/03	07/07/03	08/07/03	09/07/03	10/07/03	11/07/03	14/07/03	15/07/03	16/07/03	17/07/03	18/07/03	21/07/03
PM-01	7,97	7,95	7,97	7,97	7,97	7,96	7,98	8,05	8,02	8,11	8,09	8,13	8,12	8,09	8,06	8,1	8,15
PM-02	8,19	8,18	8,15	8,17	8,23	8,24	8,24	8,27	8,31	8,34	8,36	8,38	8,32	8,36	8,37	8,39	8,39
PM-03	7,76	7,81	7,82	7,99	7,97	7,97	7,99	8,01	8,04	8,07	8,05	8,02	8,07	8,12	8,11	8,12	8,16
PM-04	7,7	7,68	7,69	7,72	7,74	7,74	7,72	7,86	7,8	7,86	7,89	7,94	7,41	7,88	7,86	7,87	7,9
PM-05	7,94	7,92	7,9	7,98	7,96	7,96	7,91	8,1	8,05	8,1	8,03	8,03	8,17	8,12	8,1	8,11	8,15
PM-06	7,75	7,71	7,71	7,81	7,79	7,79	7,82	7,87	7,83	7,78	7,81	7,85	7,83	7,87	7,9	7,93	7,94
PM-07	-	-	7,92	8,01	8,06	8,06	7,97	8,2	8,15	8,17	8,2	8,18	8,24	8,19	8,18	8,22	8,22
PM-08	-	7,77	7,79	7,76	7,79	7,79	7,82	7,8	7,84	7,89	7,93	7,97	7,8	7,84	7,89	7,91	7,92

Poço/Data	22/07/03	23/07/03	24/07/03	25/07/03	28/07/03	29/07/03	30/07/03	31/07/03	01/08/03	04/08/03	05/08/03	06/08/03	07/08/03	08/08/03	11/08/03	12/08/03	13/08/03
PM-01	8,17	8,21	8,25	8,17	8,17	8,17	8,2	8,27	8,21	8,24	8,27	8,33	8,27	8,31	8,35	8,27	8,35
PM-02	8,43	8,43	8,4	8,45	8,4	8,44	8,44	8,49	8,48	8,45	8,42	8,4	8,54	8,52	8,47	8,58	8,6
PM-03	8,19	8,16	8,1	8,12	8,15	8,15	8,12	8,08	8,12	8,1	8,13	8,12	8,33	8,33	8,3	8,37	8,36
PM-04	7,98	7,99	8,03	7,93	8,03	8,07	8,07	8,01	7,97	8,05	8,01	8,05	8,04	8,01	-	8,08	7,95
PM-05	8,17	8,22	8,21	8,15	8,17	8,16	8,16	8,19	8,16	8,17	8,15	8,15	8,26	8,27	8,29	8,3	8,34
PM-06	7,95	7,98	7,96	7,96	7,98	7,95	7,95	7,95	8,01	8,06	8,07	8,11	8,16	8,29	-	8,1	8,07
PM-07	8,2	8,18	8,17	8,25	8,37	8,38	8,38	8,26	8,31	8,34	8,39	8,4	8,34	8,31	-	8,39	8,39
PM-08	7,91	7,94	7,95	7,91	7,94	7,94	7,94	8,04	7,98	8,02	8,02	7,98	8,04	8,07	8,13	8,07	8,08

(-) medição não realizada



Tabela 1 - Profundidade do nível d'água (N.A.) nos poços de monitoramento (continuação) - metros

Poço/Data	14/08/03	15/08/03	18/08/03	19/08/03	20/08/03	21/08/03	22/08/03	25/08/03	26/08/03	27/08/03	28/08/03	29/08/03	01/09/03	02/09/03	03/09/03	05/09/03	09/09/03
PM-01	8,39	8,4	8,4	8,42	8,4	8,4	8,36	8,43	8,4	8,47	8,49	8,57	8,54	8,49	8,52	8,53	8,58
PM-02	8,64	8,62	8,63	8,65	8,6	8,6	8,57	8,66	8,61	8,68	8,71	8,74	8,72	8,74	8,7	8,74	8,8
PM-03	8,36	8,37	8,35	8,3	8,27	8,27	8,27	8,4	8,37	8,45	8,43	8,53	8,55	8,54	8,52	8,47	8,57
PM-04	8,01	8,05	8,19	8,19	8,2	8,15	8,15	8,16	8,17	8,19	8,2	8,2	8,21	8,2	8,25	8,24	8,3
PM-05	8,32	8,29	8,31	8,3	-	8,3	8,3	8,34	8,34	8,35	8,35	8,39	8,37	8,37	8,38	8,34	8,4
PM-06	8,02	8,1	8,34	8,36	-	8,1	8,1	8,17	8,22	8,2	8,24	8,21	8,24	8,32	8,23	8,32	8,3
PM-07	8,42	8,4	8,44	8,41	8,42	8,42	8,37	8,46	8,49	8,49	8,47	8,48	8,5	8,51	8,53	8,51	8,56
PM-08	8,07	8,05	8,13	8,17	8,17	8,17	8,2	8,14	8,1	8,17	8,2	8,23	8,18	8,24	8,2	8,22	8,24

Poço/Data	10/09/03	11/09/03	12/09/03	15/09/03	16/09/03	17/09/03	18/09/03	19/09/03	22/09/03	23/09/03	24/09/03	25/09/03	26/09/03	29/09/03	30/09/03
PM-01	8,6	8,62	8,65	8,63	8,63	8,65	8,69	8,71	8,7	8,67	8,69	8,79	8,83	8,78	8,8
PM-02	8,79	8,81	8,83	8,85	8,87	8,87	8,9	8,9	8,93	8,95	8,95	8,96	8,96	8,99	8,97
PM-03	8,57	8,59	8,57	8,51	8,5	8,56	8,54	8,54	8,68	8,69	8,65	8,76	8,65	8,7	8,7
PM-04	8,31	8,27	8,27	8,37	8,37	8,37	8,36	8,36	8,39	8,39	8,3	8,4	8,4	8,44	8,46
PM-05	8,43	8,46	8,43	8,54	8,56	8,56	8,52	8,53	8,5	8,55	8,49	8,64	8,64	8,64	8,61
PM-06	8,32	8,32	8,36	8,35	8,31	8,31	8,38	8,4	8,43	8,44	8,41	8,67	8,67	8,45	8,45
PM-07	8,57	8,54	8,57	8,64	8,65	8,65	8,64	8,62	8,67	8,65	8,7	8,7	8,7	8,74	8,76
PM-08	8,24	8,25	8,21	8,3	8,3	8,3	8,31	8,34	8,33	8,32	8,38	8,36	8,36	8,4	8,37

(-) medição não realizada



Tabela 2 - Espessura da fase livre medida nos poços - centímetros

Poço/Data	03/10/02	06/10/02	09/10/02	12/10/02	15/10/02	18/10/02	21/10/02	24/10/02	27/10/02	31/10/02	03/11/02	06/11/02	09/11/02	12/11/02
PM-03	34,75	32,5	56,5	26,875	51,25	40,75	60,17	30,25	28	47,75	3,75	1	1,5	4,5
PM-05	P	P	P	P	P	P	P	P	P	12,75	P	P	0,75	P
PB-02	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
PC-04	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P

Poço/Data	15/11/02	18/11/02	21/11/02	24/11/02	27/11/02	03/12/02	06/12/02	09/12/02	12/12/02	15/12/02	18/12/02	21/12/02	24/12/02	27/12/02
PM-03	9	5	0,5	9,75	0	16	5,25	18,25	3,75	1	1,5	4,5	9	5
PM-05	0,5	0,5	P	P	P	0,5	P	P	P	P	0,75	P	0,5	0,5
PB-02	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
PC-04	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P

Poço/Data	31/12/02	03/01/03	09/01/03	12/01/03	15/01/03	18/01/03	21/01/03	24/01/03	27/01/03	31/01/03	03/02/03	06/02/03	09/02/03	12/02/03
PM-03	9,75	9,5	19,125	10,25	15,75	4,5	16,75	1,625	0,5	0	0,5	0	0	0
PM-05	P	0,5	1	P	2,5	P	1	P	0	0	0	0	0	0
PB-02	P	P	P	P	P	P	P	P	0	0	0	0	0	0
PC-04	P	P	P	P	P	P	P	P	0	0	0	0	0	0

Poço/Data	15/02/03	18/02/03	21/02/03	24/02/03	28/02/03	05/03/03	06/03/03	07/03/03	08/03/03	10/03/03	11/03/03	12/03/03	13/03/03	14/03/03
PM-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Poço/Data	15/03/03	18/03/03	19/03/03	20/03/03	21/03/03	22/03/03	24/03/03	25/03/03	26/03/03	27/03/03	01/04/03	02/04/03	04/04/03	05/04/03
PM-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Poço/Data	07/04/03	08/04/03	09/04/03	10/04/03	11/04/03	12/04/03	14/04/03	15/04/03	16/04/03	17/04/03	22/04/03	23/04/03	24/04/03	25/04/03
PM-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(-) medição não realizada  
(P) - película (menor 0,5cm)



Tabela 2 - Espessura da fase livre medida nos poços (continuação) - centímetros

Poço/Data	28/04/03	29/04/03	30/04/03	02/05/03	05/05/03	06/05/03	07/05/03	08/05/03	09/05/03	12/05/03	13/05/03	14/05/03	16/05/03	19/05/03
PM-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Poço/Data	20/05/03	21/05/03	22/05/03	23/05/03	26/05/03	27/05/03	28/05/03	29/05/03	30/05/03	02/06/03	03/06/03	04/06/03	05/06/03	06/06/03
PM-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Poço/Data	09/06/03	10/06/03	11/06/03	12/06/03	13/06/03	16/06/03	17/06/03	18/06/03	20/06/03	23/06/03	24/06/03	25/06/03	26/06/03	27/06/03
PM-03	2,5	0	0	17	30	92	52	64	60	90	87	80	70	90
PM-05	0	0	0	0	0	P	P	P	P	P	P	P	P	P
PB-02	0	0	0	0	0	P	P	P	P	P	P	P	P	P
PC-04	0	0	0	0	0	P	P	P	P	P	P	P	P	P

Poço/Data	30/06/03	01/07/03	02/07/03	03/07/03	07/07/03	08/07/03	09/07/03	10/07/03	11/07/03	14/07/03	15/07/03	16/07/03	17/07/03	18/07/03
PM-03	73	90	100	74	92	100	62	52	61	45	32	39	45	50
PM-05	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
PB-02	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
PC-04	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P

Poço/Data	21/07/03	22/07/03	23/07/03	24/07/03	25/07/03	28/07/03	29/07/03	30/07/03	31/07/03	01/08/03	04/08/03	05/08/03	06/08/03	07/08/03
PM-03	70	54	49	50	63	63	22	24	43	58	40	34	35	22
PM-05	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
PB-02	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
PC-04	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P

Poço/Data	08/08/03	11/08/03	12/08/03	13/08/03	14/08/03	15/08/03	18/08/03	19/08/03	20/08/03	21/08/03	22/08/03	25/08/03	26/08/03	27/08/03
PM-03	13	13	5	2	0	5	2	0	0	0	0,5	22	1,5	0
PM-05	P	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0
PB-02	P	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	0
PC-04	P	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	0

(-) medição não realizada  
(P) - película (menor 0,5cm)



Tabela 2 - Espessura da fase livre medida nos poços (continuação) - centímetros

Poço/Data	28/08/03	29/08/03	01/09/03	02/09/03	03/09/03	05/09/03	09/09/03	10/09/03	11/09/03	12/09/03	15/09/03	16/09/03	17/09/03	18/09/03
PM-03	0	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,5	0,4	0,1	0,1	0,4	0,5	0,1
PM-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Poço/Data	19/09/03	22/09/03	23/09/03	24/09/03	25/09/03	26/09/03	29/09/03	30/09/03	30/09/03
PM-03	0,5	P	P	P	P	P	P	P	P
PM-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(-) medição não realizada  
(P) - película (menor 0,5cm)



Tabela 3 - Medição de vácuo nos poços de monitoramento (PM's) - cmH2O

Poço/Data	02/04/03	04/04/03	07/04/03	09/04/03	11/04/03	14/04/03	16/04/03	23/04/03	25/04/03	28/04/03	30/04/03	02/05/03	05/05/03
PM-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-03	1,5	3,5	3,5	1,8	2,6	1,8	1,6	1,7	1,6	1,5	1,6	1,5	2
PM-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-05	2,5	3,7	3,3	3,8	3,5	3,7	3,7	3,8	3,5	3,5	3,5	3,4	4,2
PM-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-07	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,3	0,4	0,4	0	0
PM-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,5	0	0	0

Poço/Data	07/05/03	09/05/03	12/05/03	14/05/03	16/05/03	19/05/03	21/05/03	23/05/03	26/05/03	28/05/03	30/05/03	02/06/03	04/06/03
PM-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-03	2,1	2	2,3	2	2,3	2	1	1,2	1	1,5	1,3	1,5	1,2
PM-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-05	4,2	4	4	4,5	4,5	2,8	4	4	4	4	4,2	3,8	4
PM-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Poço/Data	06/06/03	09/06/03	11/06/03	13/06/03	16/06/03	18/06/03	20/06/03	23/06/03	25/06/03	27/06/03	30/06/03	02/07/03	07/07/03
PM-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-03	1,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PM-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-05	4,3	4	4	4	3	4	4	4,2	4	3,5	3,5	2	2
PM-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Poço/Data	09/07/03	11/07/03	14/07/03	16/07/03	08/08/03	11/08/03	13/08/03	15/08/03	18/08/03	20/08/03	22/08/03	25/08/03	27/08/03
PM-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-03	1	1	1	1	1	1	1	1	1,2	1,2	1	1,2	1,3
PM-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-05	2	2	2,4	2	3,5	3,8	3,5	3,7	3,8	-	4	4	3,8
PM-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0
PM-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(-) medição não realizada



Tabela 3 - Medição de vácuo nos poços de monitoramento (PM`s) - cmH2O (continuação)

Poço/Data	01/09/03	03/09/03	05/09/03	11/09/03	15/09/03	17/09/03	19/09/03	22/09/03	24/09/03	26/09/03	29/09/03
PM-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-03	2	2	2	1,7	2,1	2	2	1	1	1	1,2
PM-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-05	4	4	3,8	4	3,7	3,5	3,5	2,5	2	2	2
PM-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(-) medição não realizada



Tabela 4 - Medição de vácuo nos poços de observação do sistema de remediação (POR's) - cmH2O

Poço/Data	02/04/03	04/04/03	07/04/03	09/04/03	11/04/03	14/04/03	16/04/03	23/04/03	25/04/03	28/04/03	30/04/03	02/05/03	05/05/03
POR-01	-	3,5	3,6	-	-	4	3,9	3,7	4,5	4,5	4,5	4,5	5
POR-02A	3,5	2,8	2,9	4,4	4,6	3	3,2	3	3,5	3,5	3,5	3,9	4
POR-02B	3,5	2,7	2,5	4,5	4,7	2,9	2,6	3	3,5	3,5	3,5	3,5	4
POR-02C	3,5	2,7	2,5	4,3	4,7	2,7	2,5	2,8	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
POR-03	3	2,8	2,5	3,9	4	2,6	2,5	2,5	3,5	3,5	3,7	3,4	3,8
POR-04A	3,6	2,7	3	4	4	2,5	2,5	2,5	3,7	3,5	3,6	4,2	4,5
POR-04B	3,2	2,5	2,7	4,6	4,5	2,5	2,5	2,6	3,6	3,5	3,7	3,6	4
POR-04C	3,7	2,7	2,7	4	4,3	2,5	2,4	2,3	3,5	3,5	3,5	3,5	4
POR-05	3,5	2,8	3	4,4	4,6	2,4	2,6	2,7	3,5	3,5	3,8	3,7	-
POR-06	3,4	3,5	3,7	5	5,2	4,2	4,3	4,4	4,6	4,5	4,4	4,3	5
POR-07	3,5	2,5	2,4	3,5	3,7	3,4	3,4	3,6	3,5	3,5	3,5	3,8	-

Poço/Data	07/05/03	09/05/03	12/05/03	14/05/03	16/05/03	19/05/03	21/05/03	23/05/03	26/05/03	28/05/03	30/05/03	02/06/03	04/06/03
POR-01	5	5	5	4,7	4,7	0,5	1	1,3	1	1	1,5	2,5	2,8
POR-02A	4,2	4,2	4,2	3,9	4	2	2	2,1	2	2	2,3	2	2,4
POR-02B	4	4,2	4	4,1	4,1	2	2	2	2	2	2	2,3	2
POR-02C	3,7	3,8	4,3	4,1	4,3	1	2	2	2	2	2,4	2,4	2,3
POR-03	3,5	3,5	3,5	4,2	4,1	-	2,5	2,4	2,5	2,5	2,3	1,6	1,9
POR-04A	4,2	4,2	3,5	3,5	3,6	2	3	3	3	3	3,2	2,3	2,5
POR-04B	4	4	4	3,4	3,5	2	3,5	3,5	3	3,5	3,5	2,5	2,6
POR-04C	4,3	4	4	4,1	3,5	2,5	3	3	3	3	3,5	2,5	2,5
POR-05	3,8	3,8	4,1	4,3	4	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,6	3,2	2,7
POR-06	4,8	4,7	3,9	4	4,5	4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	5	4,6
POR-07	4,5	4,5	4,5	4,4	4	2	3,5	3,5	3,4	3,5	3,3	2,9	3

Poço/Data	06/06/03	09/06/03	11/06/03	13/06/03	16/06/03	18/06/03	20/06/03	23/06/03	25/06/03	27/06/03	30/06/03	02/07/03	07/07/03
POR-01	3,2	3	3	3,9	4	4	4	4	3	2	2	0,8	1
POR-02A	2,5	2,5	2,5	3,2	-	3	3,2	3,2	2,5	2,5	2,7	1	1
POR-02B	2,3	2,1	2,2	3,2	-	3	3,1	3	2,5	2,5	2,5	1	1
POR-02C	2	1,8	2	3,2	-	3	3,2	3	2,4	2,5	2,5	1	1,2
POR-03	1,7	1,5	4,5	3,4	3,5	3,5	3,4	3,4	2	3	3,2	1	1,2
POR-04A	2,4	2,5	2,5	2,8	3	3	3	3	3	2,7	2,7	1,2	1,5
POR-04B	2,5	2,5	2,7	2,9	3	3	3	3	3	3	3	1,1	1,3
POR-04C	2,5	2,5	2,6	2,8	3	3	3,1	3,2	3	4,9	4,9	1,2	1,3
POR-05	3,4	3	3,2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3	3	2	1,8
POR-06	4,9	5	5	4	3,9	3,9	3,8	3,7	4	4,5	4,5	4	3,5
POR-07	3,2	3	2,9	3	2,9	2,9	3	3	3	2,5	2,5	2,5	2,9

(-) medição não realizada



Tabela 4 - Medição de vácuo nos poços de observação do sistema de remediação (POR`s) - cmH2O (continuação)

Poço/Data	09/07/03	11/07/03	14/07/03	16/07/03	08/08/03	11/08/03	13/08/03	15/08/03	18/08/03	20/08/03	22/08/03	25/08/03	27/08/03
POR-01	-	0,8	0,5	0,8	0,7	0,8	1	1,4	1,2	1,5	1,5	1,6	1,5
POR-02A	1	1,2	1	1	1,7	1,5	2,5	2,3	2	2,5	2	2,3	2,5
POR-02B	1	1,1	1	1	1,7	1,5	2	2	2,5	2	2,5	2	2,5
POR-02C	1	1,2	1	1	1,7	1,5	2,5	2	2,7	2,5	2,5	2,7	2,5
POR-03	1	1	1,2	1,3	3	2,7	2	2,5	2	2,7	2,5	2,5	3
POR-04A	-	1	1,4	1,2	3,5	3,5	2,5	2,5	2,7	3	2,7	2	3,5
POR-04B	-	1,5	1,3	1,1	3,5	3,4	2,3	1,8	2,5	2,5	2	2,2	3,5
POR-04C	-	1,3	1,5	1,1	3,5	3,5	3	3,4	2,5	3,2	3	3	3,5
POR-05	2	2,1	2	2,5	4	4,2	3,4	3	3	3,8	3,5	3,4	4
POR-06	4	3,7	3,9	4	4,5	4,5	3,8	3,5	2,9	4	4	3,9	5
POR-07	3	3,2	3,5	3,6	4	4	2,7	2	4	2,5	2,5	2,5	4,5

Poço/Data	29/08/03	01/09/03	03/09/03	05/09/03	11/09/03	15/09/03	17/09/03	19/09/03	22/09/03	24/09/03	26/09/03	29/09/03
POR-01	1,3	1,5	1,7	2	1,3	1,2	1	1,2	2,5	2,4	1,7	1,5
POR-02A	2	2,1	2	2,3	1,5	1,6	1,5	1,5	2,5	2,5	2,4	2,5
POR-02B	2	2,4	2,3	2,5	1,5	1,4	1,5	1,5	2,5	2	2,5	2,5
POR-02C	2,5	2,4	2,3	2,5	1,3	1,5	1,5	1,4	2,5	2,5	2	2,5
POR-03	2,5	2,5	2,7	2,6	2,5	2,4	2,5	2,8	2	2	3	3
POR-04A	3	3,2	3	2,7	2,5	2,7	-	3,5	3	3,2	3,5	3,5
POR-04B	2,7	2,5	2,5	2,5	2,7	2,5	-	3	2	2	3,5	3,5
POR-04C	2	2	2,5	2	2,5	2,5	-	3,2	2	2	3,5	3
POR-05	2,8	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	-	4	3,5	3,5	3	3,5
POR-06	3,2	3,5	3	2,7	4,6	4,8	5	5	5	5	3,5	5
POR-07	4,3	4	4,3	3,9	4,5	4	4	4,5	4	4	4	4

(-) medição não realizada



Tabela 5 - Medição de vácuo nos poços de extração multifásica (MPE's) - kgf/cm2

Poço/Data	02/04/03	04/04/03	07/04/03	09/04/03	11/04/03	14/04/03	16/04/03	23/04/03	25/04/03	28/04/03	30/04/03	02/05/03	05/05/03
MPE-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPE-02	0,06	0,04	0,04	0,04	0,02	0,06	0,06	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04
MPE-03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02
MPE-04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,06
MPE-05	0,02	0,04	0,06	0,06	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04
MPE-06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
MPE-07	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04	0,06

Poço/Data	07/05/03	09/05/03	12/05/03	14/05/03	16/05/03	19/05/03	21/05/03	23/05/03	26/05/03	28/05/03	30/05/03	02/06/03	04/06/03
MPE-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPE-02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,06
MPE-03	0,02	0,02	0,06	0,04	0,06	-	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,06
MPE-04	0,04	0,02	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,06	0,04
MPE-05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,06	0,04
MPE-06	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02
MPE-07	0,06	0,04	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06

Poço/Data	06/06/03	09/06/03	11/06/03	13/06/03	16/06/03	18/06/03	20/06/03	23/06/03	25/06/03	27/06/03	30/06/03	02/07/03	07/07/03
MPE-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPE-02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06
MPE-03	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,06	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04
MPE-04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	-	-
MPE-05	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
MPE-06	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	-
MPE-07	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,06	0,06

Poço/Data	09/07/03	11/07/03	14/07/03	16/07/03	08/08/03	11/08/03	13/08/03	15/08/03	18/08/03	20/08/03	22/08/03	25/08/03	27/08/03
MPE-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPE-02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	-	0,04	0,04
MPE-03	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-	-	-	0,06	-	-
MPE-04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	-	-	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04
MPE-05	-	-	-	-	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
MPE-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPE-07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04

(-) medição não realizada



**Tabela 5 - Medição de vácuo nos poços de extração multifásica (MPE`s) - kgf/cm2 (continuação)**

Poço/Data	29/08/03	01/09/03	03/09/03	05/09/03	11/09/03	15/09/03	17/09/03	19/09/03	22/09/03	24/09/03	26/09/03	29/09/03
MPE-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MPE-02	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04
MPE-03	-	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
MPE-04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04
MPE-05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06
MPE-06	-	-	-	-	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04
MPE-07	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04

(-) medição não realizada



Tabela 6 - Resultados analíticos das amostras de água subterrânea

Poço	PM-02			PM-03			PM-04			PM-05			Solubilidade em água (A)	Pressão de vapor (A)
	27/05/02	30/03/03	21/10/03	27/05/02	30/03/03	21/10/03	27/05/02	30/03/03	21/10/03	27/05/02	30/03/03	21/10/03		
Parâmetro/Data													mg/L	mmHg
BTXE (mg/L)														
Benzeno	-	-	ND	0,049	0,015	-	ND	-	ND	-	ND	-	1,75 - 1,85	95 - 95,2
Tolueno	-	-	ND	0,005	0,003	-	0,003	-	0,003	-	0,002	-	490 - 627	28,1 - 28,4
Xileno	-	-	ND	0,125	0,104	-	ND	-	ND	-	0,04	-	156 - 204	6,6 - 8,8
Etilbenzeno	-	-	ND	0,002	0,001	-	ND	-	ND	-	ND	-	131 - 208	9,6 - 9,9
TOTAL	-	-	ND	0,181	0,123	-	0,003	-	0,003	-	0,04	-	-	-
LD	-	-	0,001	0,001	0,001	-	0,001	-	0,001	-	0,001	-	-	-
PAH (mg/L)														
Naftaleno	-	-	0,0026	0,1	0,028	-	-	-	-	-	0,031	-	12,5 - 33,6	7,80E+2 - 2,30E+3
Acenafileno	-	-	0,0001	0,00081	0,00023	-	-	-	-	-	0,00053	-	3,93 - 16,1	6,68E+03
Acenafateno	-	-	0,00029	0,0075	0,0028	-	-	-	-	-	0,0069	-	3,93 - 4,16	2,15E+3 - 2,30E+3
Fluoreno	-	-	0,00064	0,0011	0,0046	-	-	-	-	-	0,007	-	1,66 - 2,23	6,0E+4 - 3,55E+5
Fenantreno	-	-	0,0023	0,026	0,0071	-	-	-	-	-	0,036	-	1,00 - 1,28	9,50E+3 - 6,80E+4
Antraceno	-	-	0,00015	0,0011	0,00028	-	-	-	-	-	0,0081	-	3,0 - 7,5	6,00E+4 - 7,50E+6
Fluoranteno	-	-	ND	0,00009	0,0011	-	-	-	-	-	0,0096	-	17,7 - 26,5	9,23E+6 - 1,16E+8
Pireno	-	-	0,00015	0,0011	0,0011	-	-	-	-	-	0,011	-	10,7 - 17,5	6,85E+7 - 8,48E+9
Benzo(a)antraceno	-	-	ND	0,00057	0,00028	-	-	-	-	-	0,0016	-	1,0 - 1,6	3,05E+10 - 1,105E+11
Criseno	-	-	0,00008	0,00032	0,0006	-	-	-	-	-	0,0032	-	0,102 - 0,200	4,30E+9 - 6,30E+9
Benzo(b)fluoranteno	-	-	ND	0,00043	0,0001	-	-	-	-	-	0,001	-	0,12	5,00E-07
Benzo(k)fluoranteno	-	-	ND	ND	0,00007	-	-	-	-	-	0,00064	-	0,055	9,59E-11
Benzo(a)pireno	-	-	ND	0,0001	0,00007	-	-	-	-	-	0,0012	-	0,16 - 0,40	5,00E+9 - 8,40E+11
Ideno(123-cd)pireno	-	-	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	0,00009	-	6,2	1,01E-10
Dibenzo(a,h)antraceno	-	-	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	0,00008	-	0,249	2,78E-12
Benzo(ghi)pirileno	-	-	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	0,00006	-	0,026	1,01E+10 - 1,04E+10
TOTAL	-	-	0,00631	0,14902	0,04633	-	-	-	-	-	0,118	-	-	-
LD	-	-	0,00003	0,00003	0,00003	-	-	-	-	-	0,00003	-	-	-
TPH (mg/L)														
TPH	-	-	0,7	-	22,9	-	-	-	1,1	-	56,6	-	-	-
LD	-	-	0,1	-	0,1	-	-	-	0,1	-	0,1	-	-	-

(A) - retirado de Montgomery (1996)

(-) - não realizada



Tabela 6 - Resultados analíticos das amostras de água subterrânea (continuação)

Poço	PM-06			PM-07			PB-01			PB-02			Solubilidade em água (A)	Pressão de vapor (A)
Parâmetro/Data	27/05/02	30/03/03	21/10/03	27/05/02	30/03/03	21/10/03	27/05/02	30/03/03	21/10/03	27/05/02	30/03/03	21/10/03	mg/L	mmHg
BTXE (mg/L)														
Benzeno	-	-	ND	ND	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	-	1,75 - 1,85	95 - 95,2
Tolueno	-	-	ND	0,004	ND	ND	-	0,003	ND	-	0,005	-	490 - 627	28,1 - 28,4
Xileno	-	-	ND	ND	ND	ND	-	0,004	ND	-	0,007	-	156 - 204	6,6 - 8,8
Etilbenzeno	-	-	ND	ND	ND	ND	-	ND	ND	-	ND	-	131 - 208	9,6 - 9,9
TOTAL	-	-	ND	0,004	ND	ND	-	0,007	ND	-	0,012	-	-	-
LD	-	-	0,001	0,001	0,001	0,001	-	0,001	0,001	-	0,001	-	-	-
PAH (mg/L)														
Naftaleno	-	-	-	-	-	ND	-	-	0,033	-	0,0036	-	12,5 - 33,6	7,80E+2 - 2,30E+3
Acenafileno	-	-	-	-	-	ND	-	-	0,00085	-	0,00006	-	3,93 - 16,1	6,68E+03
Acenafeno	-	-	-	-	-	0,00005	-	-	0,0048	-	0,00018	-	3,93 - 4,16	2,15E+3 - 2,30E+3
Fluoreno	-	-	-	-	-	0,00013	-	-	0,0095	-	0,00056	-	1,66 - 2,23	6,0E+4 - 3,55E+5
Fenantreno	-	-	-	-	-	0,00047	-	-	0,015	-	0,00045	-	1,00 - 1,28	9,50E+3 - 6,80E+4
Antraceno	-	-	-	-	-	0,00003	-	-	0,00058	-	0,00004	-	3,0 - 7,5	6,00E+4 - 7,50E+6
Fluoranteno	-	-	-	-	-	ND	-	-	0,0011	-	0,00016	-	17,7 - 26,5	9,23E+6 - 1,16E+8
Pireno	-	-	-	-	-	0,00005	-	-	0,00056	-	0,00016	-	10,7 - 17,5	6,85E+7 - 8,48E+9
Benzo(a)antraceno	-	-	-	-	-	ND	-	-	0,00062	-	0,00004	-	1,0 - 1,6	3,05E+10 - 1,105E+11
Criseno	-	-	-	-	-	ND	-	-	0,0017	-	0,00042	-	0,102 - 0,200	4,30E+9 - 6,30E+9
Benzo(b)fluoranteno	-	-	-	-	-	ND	-	-	0,00009	-	0,00029	-	0,12	5,00E-07
Benzo(k)fluoranteno	-	-	-	-	-	ND	-	-	0,00007	-	0,00005	-	0,055	9,59E-11
Benzo(a)pireno	-	-	-	-	-	ND	-	-	ND	-	0,00004	-	0,16 - 0,40	5,00E+9 - 8,40E+11
Ideno(123-cd)pireno	-	-	-	-	-	ND	-	-	ND	-	ND	-	6,2	1,01E-10
Dibenzo(a,h)antraceno	-	-	-	-	-	ND	-	-	ND	-	ND	-	0,249	2,78E-12
Benzo(ghi)pirileno	-	-	-	-	-	ND	-	-	ND	-	ND	-	0,026	1,01E+10 - 1,04E+10
TOTAL	-	-	-	-	-	0,00073	-	-	0,06787	-	0,00605	-	-	-
LD	-	-	-	-	-	0,00003	-	-	0,00003	-	0,00003	-	-	-
TPH (mg/L)														
TPH	-	-	ND	-	0,1	0,6	-	2,8	3,6	-	2,8	-	-	-
LD	-	-	0,1	-	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-	0,1	-	-	-

(A) - retirado de Montgomery (1996)

(-) - não realizada



