

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Avaliação de Remediação por Sistema de Extração de Fase
Livre – MPE – Estudo de Caso

Daniel Ferreira Brandão

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco (GSA – IGc)

Co-Orientador: Prof. Dr. Ero Crozera

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

TF 2006 - 12

São Paulo

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Avaliação de remediação por sistema de extração de
fase livre – MPE – estudo de caso**

Daniel Ferreira Brandão



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alberto Pacheco

Prof. Dr. Joel Barbujani Sigolo

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas

São Paulo

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Avaliação de Remediação por Sistema de Extração de Fase
Livre – MPE – Estudo de Caso

Daniel Ferreira Brandão



DEDALUS - Acervo - IGC



30900024311

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco (GSA – IGc)

Co-Orientador: Prof. Dr. Ero Crozera

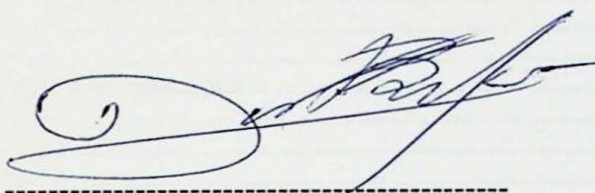
MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

TF 2006 - 12

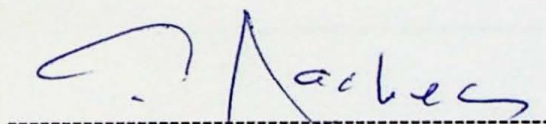
São Paulo

2006

Avaliação de Remediação por Sistema de Extração de Fase Livre – MPE – Estudo de Caso

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Daniel Ferreira Brandão', written over a horizontal dashed line.

Aluno: Daniel Ferreira Brandão

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alberto Pacheco', written over a horizontal dashed line.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco (GSA – IGc)

Co-Orientador: Prof. Dr. Ero Crozera

Monografia de Trabalho de Formatura

ÍNDICE

1. RESUMO	6
2. ABSTRACT	7
3. INTRODUÇÃO	8
4. METAS E OBJETIVOS	9
5. TRABALHOS PRÉVIOS	10
5.1. GEOLOGIA REGIONAL	11
5.1.1 Rochas Pré-Cambrianas	12
5.1.2 Rochas Fanerozóicas	13
5.2. HIDROGEOLOGIA REGIONAL	14
5.2.1 Aquífero Sedimentar Costeiro	14
5.2.2 Rochas Cristalinas	14
6. MATERIAIS E MÉTODOS	15
7. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	18
7.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
7.2. TRABALHOS DE CAMPO	18
7.3. CONFEÇÃO DE RELATÓRIOS DE MONITORAMENTOS	19
8. RESULTADOS OBTIDOS	19
8.1. DADOS HISTÓRICOS	19
8.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	20
8.3. GEOLOGIA LOCAL	21
8.4. POTENCIOMETRIA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	21
8.5. TESTE PILOTO	22
8.6. IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	23
8.7. MONITORAMENTOS	27
8.7.1 Espessuras de Fase Livre	27
8.7.2 Variação do Nível D'água	28
8.7.3 Concentração de Vapores Orgânicos	29
8.7.4 Outras Considerações	30
9. INTERPRETAÇÃO/ DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
10. CONCLUSÕES	32
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

ANEXOS

ANEXO A – PERFIS CONSTRUTIVOS DOS POÇOS DE EXTRAÇÃO.....	36
ANEXO B – ENSAIOS IPT.....	43
ANEXO C – SLUGS TESTES.....	49
ANEXO D – FIGURAS.....	54
ANEXO E – TABELAS E GRÁFICOS.....	65
ANEXO F – FOTOS.....	73

Agradecimentos

Aos meus pais, sem eles nada disso seria possível, a minha mulher (Pururuca) e meu filho Gabriel que amo muito!!!

À Tecnohidro Projetos Ambientais e ao Alexandre Maximiano por, gentilmente, ter cedido os dados para realização deste projeto. Ao meu orientador Prof. Dr. Alberto Pacheco pela grande ajuda prestada durante a realização do mesmo. Ao meu co-orientador Ero Crozera.

A todos os meus familiares, em especial meu tio Beto pela força neste momento.

A todos meus amigos de Geologia, que direta ou indiretamente, contribuíram em todos estes anos: Moi-Rola, Lendia, Prepúcio, Keith, Lagosta, Guga, Cofrinho, Gaganeira... Medusa, Koro, Chá, Sabugueira, Pinguin, Bucha, Empata e tantos outros que tornaram este período inesquecível, enfim todos aqueles que fizeram parte de todos estes anos de faculdade.

Valeu!!!!!!!

A Geologia é foda pra....

Traga, traga mais cachaça....

1. Resumo

O presente projeto visa o acompanhamento do processo de remediação de água subterrânea contaminada, impactada por um vazamento de óleo diesel em um antigo posto de gasolina, através da utilização de um sistema de extração multifásica (MPE) para a retirada de fase livre sobrenadante ao aquífero local. A área estudada encontra-se no Município de Praia Grande, litoral sul do estado de São Paulo.

O presente estudo fez a análise, discussão e interpretação dos dados gerados durante o processo de remediação supracitado, com o objetivo de avaliar o seu desenvolvimento. O sistema de remediação por extração multifásica (MPE) promove a remoção de água e fase livre do aquífero local através do bombeamento com a utilização de uma bomba de vácuo de anel líquido; o produto removido passa por um sistema de separação onde a fase livre e água são separadas, sendo a primeira armazenada em tambores de 200 litros, para posterior remoção, e a segunda injetada a montante da pluma de contaminação.

O acompanhamento do processo foi feita por meio da participação direta do aluno nas etapas de campo e de escritório desde o teste piloto, instalação e operação do sistema de remediação, além da participação na elaboração dos relatórios de instalação e de monitoramentos mensais, serão avaliadas também as propriedades do meio físico, a litologia existente na área e a potenciometria local.

O sistema MPE foi instalado em junho de 2005 e operou durante nove meses promovendo a extração de fase livre sobrenadante ao aquífero local. Nos primeiros três meses pode-se observar uma redução significativa nas espessuras de fase livre, no quarto e quinto mês de monitoramento (setembro e outubro de 2005) houve um aumento dessas espessuras, que porém diminuíram novamente nos dois meses seguintes. Nos meses de janeiro e fevereiro de 2006 não foi verificada a presença de fase livre sobrenadante ao aquífero local, sendo que o sistema foi então desmobilizado. Vale ressaltar que após a desmobilização do sistema foi feita uma Avaliação de Risco RBCA Tier II e constatado que o site não apresentava mais risco à saúde humana, consideradas as vias de exposição válidas para a área.

2. Abstract

This project has in view the whole process of following closely the remediation of the polluted ground water which was affected by a diesel oil leakage from an old gas station. The system used was the MPE - Multi -Phase Extraction to the withdrawn of LNAPL - Light Non Aqueous Phase Liquids in the local aquifer. The area in which the object of study is located is the City of Praia Grande, South Coast of the State of São Paulo.

Generated data has been analyzed, discussed and interpreted in the present project, during the whole process of remediation mentioned above, aiming to evaluate its development. The multi- phase extraction system – MPE promotes the removal of the LNAPL and ground water from the local aquifer through the use of a vacuum pump. The product pumped and removed passes through a separation system in which the LNAPL and the water are separated. The LNAPL is stored in barrels for further removal and the water is injected up gradient of contamination plume.

The project analysis took place while the student's participated directly on the various phases of the field project as well as in the administrative field, the pilot test, the installation and operational phases of the remediation system and also while the monthly reports on monitoring and installation were created, and will also be evaluated the properties of the environment, existent lithology in the area as well as the local potentiometric surface.

The MPE system was installed in June 2005 and operated during 09 (nine) months promoting the extraction of LNAPL from the local aquifer. In the first three months it was possible to observe the significant reduction on the thickness of the LNAPL; on the fourth and fifth monitored months (October and September 2005) there had been an increase of the thickness of LNAPL, however, those decreased on the following two months. In January and February 2006 there was not any presence of LNAPL when verifications took place, therefore, the system was demobilized.

3. Introdução

A área estuda está localizada na cidade de Praia Grande (Anexo F – Foto 3.1) a 72 km da cidade de São Paulo, litoral sul do Estado. O acesso a partir da cidade de São Paulo se dá pela rodovia dos Imigrantes até a saída 57 ou pela rodovia Anchieta até saída 55, acessando em seguida a Rodovia Padre Manuel da Nóbrega até a cidade de Praia Grande (Figura 3.1).

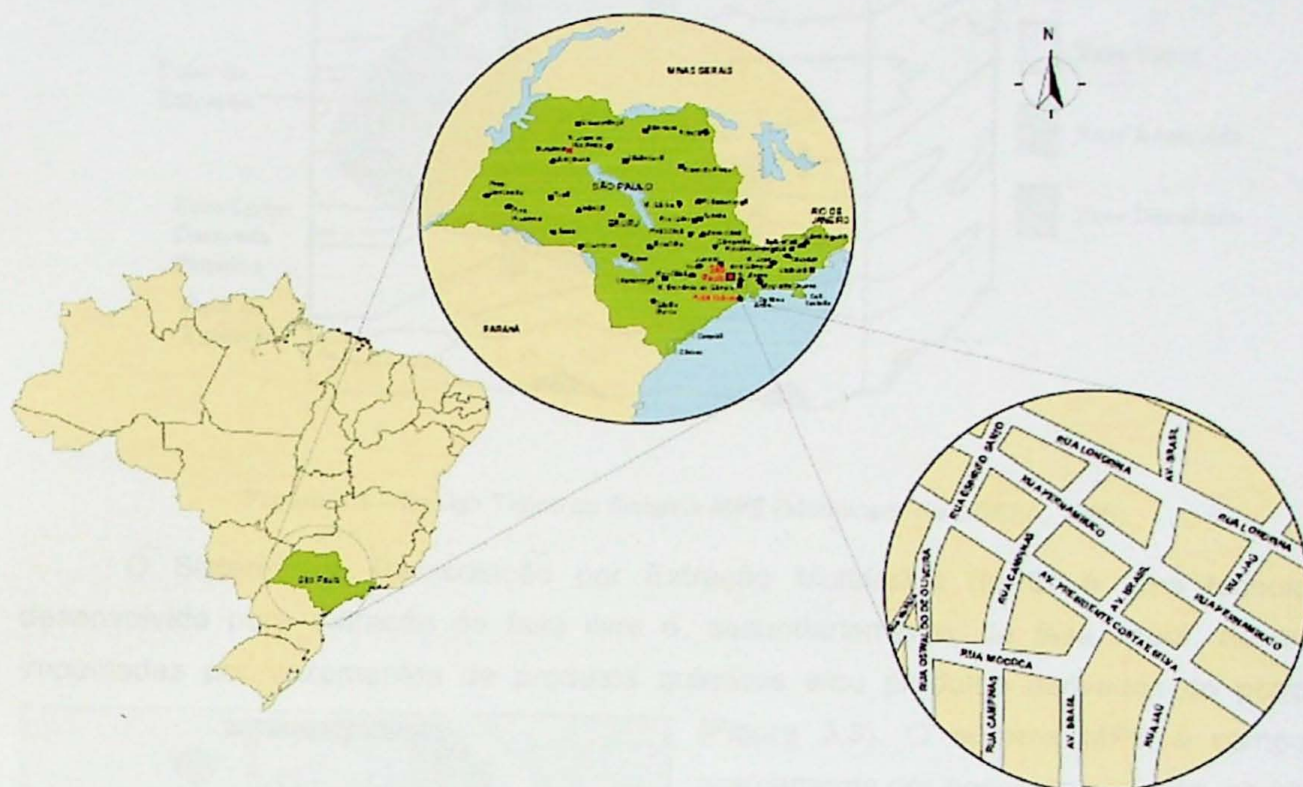


Figura 3.1 – Localização da cidade de Praia Grande (Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006 – Caracterização Ambiental Detalhada RBCA Tier II).

O presente projeto teve como objetivo o estudo e avaliação de um caso de extração de fase livre de combustível sobrenadante ao aquífero local através do acompanhamento do processo de remediação de um Posto de Gasolina, onde houve um vazamento de óleo diesel em um tanque subterrâneo. Este processo teve início em abril de 2005 com o dimensionamento e instalação de um sistema de remediação na área do posto em questão e encerrou-se em março de 2006 com o esgotamento da fase livre existente na área. O projeto pretende relatar e comentar todas as etapas do processo de remediação.

Durante os anos de 2001 a 2003 ocorreram vazamentos de óleo diesel na área em estudo. Para sanar o problema foram retirados os tanques subterrâneos existentes na área, quando foi verificada a presença de 0,65 metros de fase livre de óleo diesel em um das sondagens feitas. Com a constatação deste cenário e análise da geologia local decidiu-se pela utilização de um sistema de remediação por Extração Multifásica (MPE) (Figura 3.2).

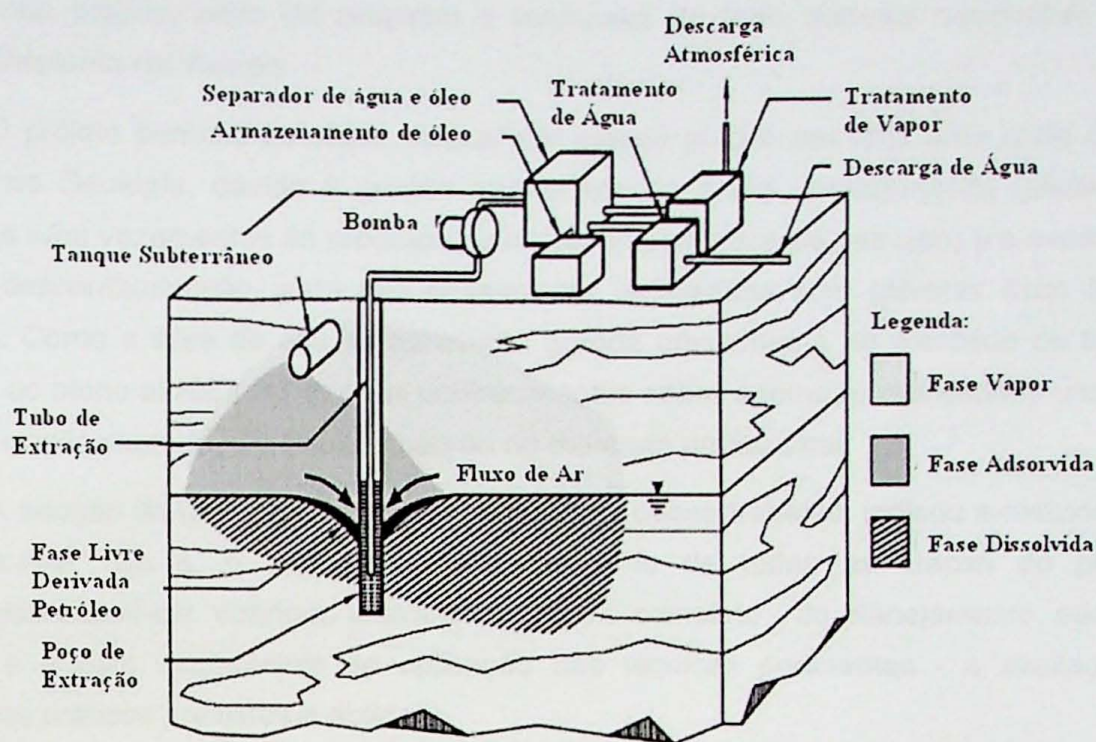


Figura 3.3 – Design Típico do Sistema MPE (Modificado de USEPA, 1995).

O Sistema de Remediação por Extração Multifásica (MPE) é uma tecnologia desenvolvida para extração de fase livre e, secundariamente, da fase vapor, de áreas impactadas por vazamentos de produtos químicos e/ou produtos derivados de petróleo (Figura 3.3). O sistema MPE é composto basicamente por poços de extração, bomba e tanque de vácuo e vaso de separação água/óleo.

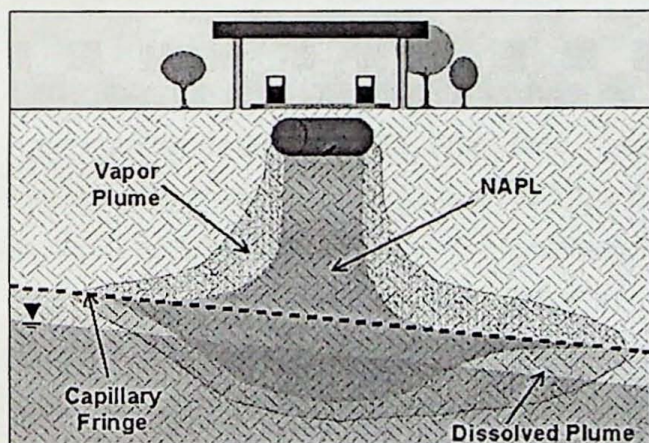


Figura 3.3 – Modelo Conceitual da Migração da Pluma de Fase Livre (API, 2004 – Interactive LNAPL Guide).

Todo o processo de gerenciamento ambiental esta sendo conduzido pela empresa Tecnohidro Projetos Ambientais Ltda, onde realizo estágio.

4. Metas e Objetivos

O presente trabalho visa o estudo da técnica de remediação de Extração Multifásica - MPE, incluindo todo o processo de extração de Fase Livre sobrenadante ao aquífero local. Participando assim de todas as etapas do projeto, desde o dimensionamento do sistema, execução do teste piloto, cálculo de raios de influência, instalação e operação do sistema e confecção de todos os relatórios pertinentes ao caso. Através deste acompanhamento foi desenvolvida a análise do processo de remediação e também de toda a metodologia

utilizada no projeto, além de propiciar o manuseio de todo material necessário para o desenvolvimento do mesmo.

O projeto permitiu ao aluno realizar um estudo prático em uma área cada dia mais atuante na Geologia, devido à grande quantidade de áreas contaminadas (afetadas por derrames e/ou vazamentos de produtos químicos ou derivados de petróleo) e a necessidade de sua descontaminação, para que possam ser reutilizadas sem oferecer risco à saúde humana. Como a área de estudo apresenta grande crescimento no mercado de trabalho, permitiu ao aluno ainda ampliar seus conhecimentos sobre o tema, possibilitando uma maior especialização visando sua futura inserção no mercado profissional.

A adoção de um estudo de caso como tema desse trabalho, indicou a metodologia a ser aplicada, isto é, o acompanhamento próximo de todas as etapas do processo tecnológico escolhido, cobrindo e avaliando o ciclo completo - do planejamento, orientação técnica e etapas sequenciais de aplicação das técnicas pertinentes - à avaliação dos resultados práticos previstos e obtidos.

5. Trabalhos Prévios

Segundo Powers (1981), a extração de água subterrânea a vácuo é uma tecnologia utilizada há muito tempo como um método padrão de controle do nível freático durante construções e atividades mineradoras. O sistema de extração multifásica MPE representa uma adaptação desta tecnologia. Segundo Hajali et al. (1992) e Hess et al. (1993) o sistema MPE é utilizado para remediação de água subterrânea, este promove a extração de água subterrânea e do contaminante através da geração de vácuo nos pontos de extração. A implantação deste sistema apresenta, geralmente, dificuldades em áreas com grande variação da profundidade do nível d'água e baixa permeabilidade (Anexo D - Figura 5.1), devido à necessidade de gerar um gradiente hidráulico relativamente forte.

Blake and Gates (1986), Blake et al. (1990) e Bruce et al. (1992) citam que a extração de água subterrânea e fase livre é resultado deste alto gradiente hidráulico alcançado com tal sistema, que induz altas taxas de migração. Estas altas taxas de extração são responsáveis pelo rebaixamento do nível d'água e este promove o controle da migração da água subterrânea e aumenta a eficiência na extração de vapores (Johnson, et al. 1992).

Segundo USEPA (1995), o sistema de extração multifásica MPE é uma tecnologia de remediação *in-situ* que se utiliza de bombas de vácuo para remover a fase livre de petróleo e os vapores de hidrocarbonetos advindos da subsuperfície. O líquido e os vapores extraídos são tratados e armazenados ou re-injetados no solo. O sistema supracitado pode ser dividido em duas categorias: Sistema de bombeamento individual ("*bioslurping*") e sistema de bombeamento duplo. O primeiro é utilizado para extrair fase vapor e água subterrânea ou uma combinação de fase livre e água subterrânea, enquanto o sistema de bombeamento duplo utiliza uma bomba para extrair água e fase livre do poço e uma bomba de superfície para extrair o vapor do solo. Pode-se também utilizar um sistema com três

bombas, uma utilizada na extração de vapor do solo, outra na retirada de água subterrânea e a terceira para extração do produto sobrenadante; tal tipo de sistema cria um cone de rebaixamento para induzir a migração do contaminante para o poço de extração. Este procedimento é utilizado quando é necessário um controle hidráulico da pluma de fase livre; tal sistema é apropriado para solos de média a alta permeabilidade.

USACE (1999) define o sistema de extração multifásica MPE como uma tecnologia de remediação "*in situ*" que extrai, simultaneamente, fase vapor, fase dissolvida e fase livre da zona vadosa, franja capilar e zona saturada. Consiste numa modificação do sistema de remediação SVE ("*Soil Vapor Extraction*") e pode ser dividido em três categorias:

- "*Dual-phase extraction (DPE)*": extração de fase vapor e fase livre separadamente;
- "*Two-phase extraction (TPE)*": extração de água, fase livre e fase vapor em conjunto.
- "*Bioslurping*": Variação do "*Two-phase extraction (TPE)*" que tem com alvo, além da extração de fase livre e fase vapor, a estimulação de bioventilação na zona não saturada.

Matthew, C.P. et al. (2001) descrevem o "*bioslurping*" como uma combinação da técnica de recuperação de fase livre a vácuo com bioventilação (aeração da zona vadosa do solo) e extração de vapores para simultaneamente promover a recuperação do contaminante e a biorremediação da zona vadosa. A extração de fase livre se dá através geração de vácuo nos poços de extração, criando o gradiente de pressão necessário para forçar o movimento da fase livre para o poço, minimizando o rebaixamento do nível d'água e reduzindo o problema de trapeamento da fase livre no solo. A bioventilação é o processo de aeração da zona vadosa do solo, estimulando os microorganismos nele presentes a metabolizar aerobicamente os hidrocarbonetos de petróleo. Este processo é ativado pela retirada dos gases presentes no solo.

API Interactive LNAPL Guide (2004) demonstra que na utilização do "*bioslurping*" (Anexo D – Figura 5.2), após o bombeamento se faz necessário a separação da água e do óleo, além do tratamento do vapor gerado. Regiões com baixa permeabilidade podem requerer aumento do tempo de remediação e diminuição da área de influência do sistema. O "*bioslurping*" apresenta como principais vantagens o impacto mínimo gerado pela fase residual no solo devido ao pequeno rebaixamento de nível d'água e também a aplicação em áreas com permeabilidade média a baixa, como por exemplo em área compostas por areia fina, silte ou argila-arenosa.

5.1. Geologia Regional

Segundo CPRM (1999), as rochas pré-cambrianas estão presentes em aproximadamente 80% da área da folha Santos. Apresentam intensa complexidade estrutural devido a superposições estruturais e diferentes trajetórias metamórficas, além de diferentes ambientes tectônicos. A área estudada encontra-se inserida nos depósitos do Quaternário, onde estão presentes depósitos colúvio-aluvionares, lacustres e paludais, além

de grandes faixas aluvionares associadas aos rios atuais. O mapa geológico da área estudada encontra-se na Figura 5.1.1.

Com base nos estudos feitos em CPRM (1999) será feita uma breve descrição das unidades presentes na área e à ela adjacentes:

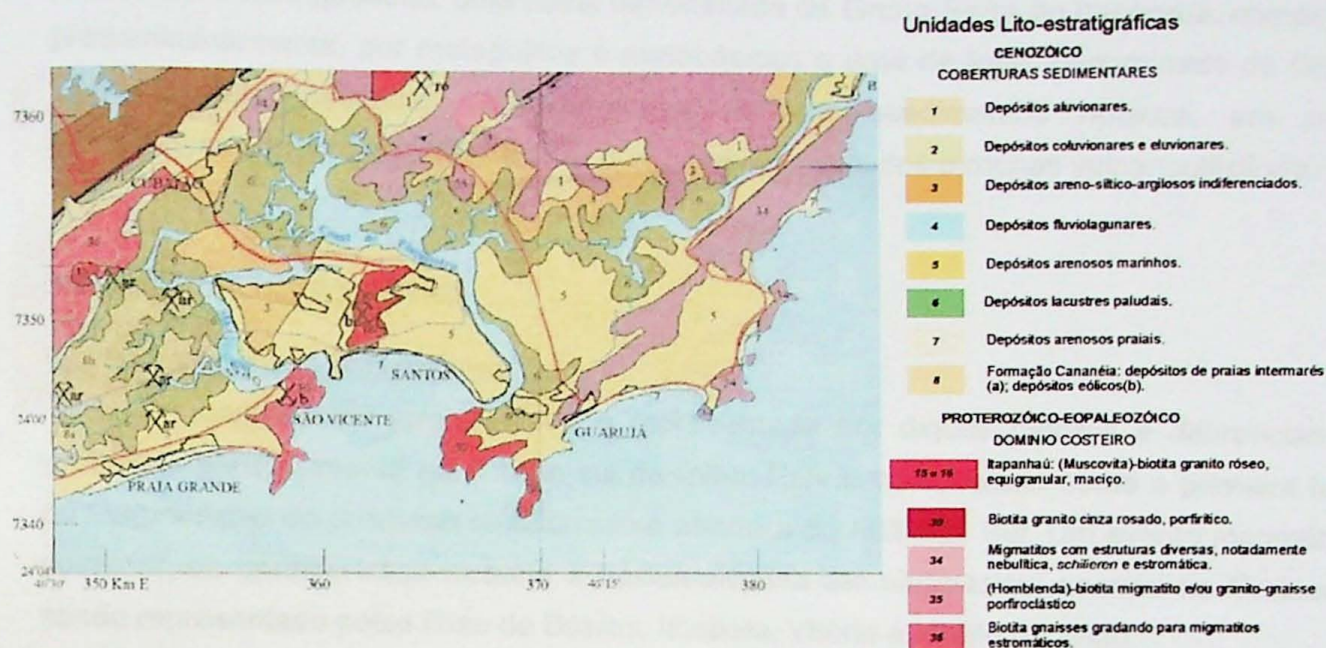


Figura 5.1.1 – Mapa Geológico em escala 1:250.000 da Região Estudada [CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Carta Geológica da Folha Santos (Folha SF.23-Y-D), 1999].

5.1.1 Rochas Pré-Cambrianas

Domínio Costeiro

Afloram entre a zona de cisalhamento de Cubatão e o litoral, compreendendo o denominado Complexo Costeiro. Estão representados por ortognaisses migmatíticos, com intercalações subordinadas de rochas granulíticas de médio a alto grau metamórfico e graus de migmatização e granitização variáveis. As idades assumidas para o Complexo Costeiro variam desde arqueanas a neoproterozóicas; os granitóides e metabásicas intrudidos neste complexo são considerados brasileiros.

Domínio Embu

Afloram em extensa faixa orientada NE-SW entre as zonas de cisalhamento Cubatão e do Rio Jaguari, limitando-se, a sul e a norte, pelas rochas do Domínio Costeiro e São Roque. Representam a área de ocorrência do Complexo Rio Capivari, constituído por rochas de composição tonalítica a granítica fracamente migmatizadas, e do Complexo Embu, representado por filitos e quartzitos miloníticos; micaxistos; (granada) sillimanita xistos; biotita gnaisses; granda-sillimanita biotita milonito gnaisses migmatíticos e gnaisses peraluminosos. É comum tais rocha apresentarem-se migmatizadas e também estão presentes neste domínio granitóides intrusivos.

Domínio São Roque

Limitado a norte pela zona de cisalhamento de Jundiuvira e, a sul, pelas zonas de cisalhamento do Rio Jaguari e Monteiro Lobato, compreende a área de exposição de duas unidades litoestratigráficas: uma basal denominada de Grupo Serra do Itaberaba, composta, predominantemente, por metapelitos e metabásicas e uma de topo, denominada de Grupo São Roque, constituída, essencialmente, por metassedimentos rítmicos, em parte arcoseanos e, subordinadamente, por quartzitos, metabasitos e rochas vulcanoclásticas.

5.1.2 Rochas Fanerozóicas

Rochas Intrusivas Mesozóicas

O magmatismo juro-cretáceo é representado por diques básicos e diferenciados, presentes principalmente na porção sul da folha. Este é considerado como a primeira fase do magmatismo do processo relacionado à abertura do Atlântico Sul. Um evento magmático posterior, de característica alcalina e básica-alcalina até ultrabásica, ocorreu no Cretáceo, sendo representado pelas ilhas de Búzios, Ilhabela, Vitória e Monte de Trigo.

Coberturas Sedimentares Cenozóicas

Compreende o Rift Continental do sudeste do Brasil (bacias de São Paulo e Taubaté) e os depósitos quaternários, representados, respectivamente, nas porções oeste e centro-oeste da folha. As bacias de São Paulo e Taubaté são parte integrante do Rift Continental do sudeste do Brasil, cuja origem e evolução está relacionada ao processo de abertura do Atlântico Sul.

A área de estudo encontra-se inserida na planície de Santos, limitada, ao sul pela Serra de Mongaguá e ao norte pela parte rochosa da ilha de Santo Amaro; nas partes central e nordeste, a planície é drenada por uma rede de lagunas e canais de maré, que delimitam as ilhas de São Vicente e Santo Amaro. Na região sudeste da planície de Santos existem afloramentos de areia marinhas pleistocênicas, depósitos comumente retrabalhados, superficialmente, por processos eólicos. Depósitos arenosos litorâneos, atribuídos à transgressão de Santos, formam uma faixa contínua que se estende do Morro de Mongaguá ao Morro de Itaipu. O resto da Planície é formado essencialmente por depósitos argilo-arenosos de origem flúvio-lagunar; nas margens das lagunas e marés desenvolveram-se formações de mangue [São Paulo (Estado). Secretaria de Obras e do Meio Ambiente, 1979].

Segundo CPRM (1999), os depósitos do Quaternário compreendem depósitos colúvio-aluvionares, lacustres e paludais, tanto continentais como costeiros-marinhos, além de grandes faixas aluvionares associadas à drenagem atual dos rios Tietê e Paraíba do Sul. Apresentam sedimentos argilosos a argilo-arenosos e sedimentos arenosos. Dentre estes depósitos, o único que recebeu uma identidade formal foi a Formação Cananéia (Suguio & Petri, 1973), representada unicamente na região de Santos e São Vicente. É constituída por

uma unidade argilo-arenosa na base e outra mais arenosa no topo, representantes respectivamente de uma fase transgressiva e outra regressiva, de idade pleistocênica.

Segundo Suguio & Petri (1973) a Formação Cananéia é descrita como um depósito composto, essencialmente, por areia fina (análises mostraram que 4/5 dos grãos variam de 0,25 a 0,125mm). Estas apresentam-se inconsolidadas ou laminadas e são de grande importância na geologia regional da planície litorânea, pois além de ocuparem grandes extensões tem grande persistência e são importante fonte de detritos para os sub-ambientes atuais.

5.2. Hidrogeologia Regional

O hidrogeologia regional foi descrita com base no Estudo de Avaliação dos Recursos de Água Subterrânea na Região Administrativa 2 do Estado de São Paulo (1979), realizado pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), Departamento da Secretaria do Obras e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Os sedimentos quaternários formam os principais aquíferos da região de Santos, nas planícies costeiras e no Vale do Ribeira. As características dos aquíferos são bastante variadas de uma planície para outra, sendo estas separadas por afloramentos de rochas cristalinas. A maior parte da região está sob condições freáticas ou pouco confinadas, o fluxo de água subterrânea é, geralmente, na direção do mar e dos rios. As rochas cristalinas não formam aquíferos regionais, mas apresentam condições aquíferas locais.

5.2.1 Aquífero Sedimentar Costeiro

Os sedimentos costeiros apresentam-se muito variáveis em perfis litológicos verticais e horizontais. Observa-se a interdigitação de camadas de areia com material fino, argilas e siltitos; tal variação ocorre dentro da mesma planície e de uma planície para outra. O Quaternário, no litoral sul, mostra, em algumas regiões mais profundas, camadas mais grosseiras de seixos e areia, provavelmente pertencentes à Formação Pariquera-Açu, tornando o aquífero mais permeável na parte inferior. As camadas de areia, entre camadas de silte e argila, formam um aquífero lenticular. Este é fortemente influenciado pela cercania do mar e em algumas partes dissecado por canais de maré e braços de mar, especialmente na região de Cananéia-Iguape e Santos-Cubatão (área de estudo). Essa penetração dos braços de mar e a maré causam uma intrusão de água salobra e salina nos aquíferos dessas duas planícies, além da intrusão marinha aos aquíferos ao longo da praia.

5.2.2 Rochas Cristalinas

Estas, por sua natureza, não podem ser tratadas como aquíferos regionais, porém podem existir condições locais favoráveis para exploração de água subterrânea. Zonas de juntas e falhas são as melhores para circulação de água subterrânea nas rochas cristalinas.

6. Materiais e Métodos

Para a execução deste projeto será utilizada a metodologia descrita por Matthew, C.P. et al. (2001) e implementada por TECNOHIDRO Projetos Ambientais Ltda..

Matthew, C.P. et al. (2001); Baker, R.S. (1995); Fetter, C.W. (1993); USEPA (1991,1995,1996); U.S. Army's Corps of Engineers (1999); Randall, J. C. (2003); The American Petroleum Institute's Soil and Groundwater Technical Task Force. (2004); Huntley D., and Beckett, G.D. (2002) descrevem o processo de remediação por meio do sistema MPE através de geração de vácuo nos poços de extração localizados na região de ocorrência da contaminação, ocorrendo assim indução de fluxo multifásico em subsuperfície. O fluxo multifásico é estabelecido controlando-se o vácuo empregado nos poços de extração do sistema, no qual se cria um gradiente de pressão dirigido para estes pontos. Dessa forma, atribui-se uma taxa de extração suficiente para o carreamento pneumático de líquidos e vapores em cada ponto de extração, visando criar uma zona de influência em toda pluma de contaminação. O fluxo da parte líquida a partir da subsuperfície resulta na extração da fase livre de contaminante e compostos dissolvidos na água subterrânea, além de auxiliar no controle ou reversão da migração da pluma de fase livre. O vácuo gerado também induz a migração das concentrações de vapor ao longo dos poços de extração. O vapor extraído é proveniente do processo de volatilização de compostos voláteis e semivoláteis que podem estar presentes na zona não saturada. O vácuo ou pressão negativa é controlado por:

- Distribuição dos Poços de Extração (PE), considerando características geológicas e hidrogeológicas e permeabilidade da área;
- Seleção da posição vertical do tubo de extração (slurp tube);
- Ajuste das válvulas de controle de fluxo nos cap's de pressão dos poços de extração.

Entretanto, a água subterrânea com compostos dissolvidos, ou seja, ainda contaminada, volta ao aquífero através de poços de injeção e deve ser descontaminada com a utilização de outras tecnologias de remediação (como por exemplo: Pump and Treat, Air Sparging/SVE, entre outras), que escapam dos objetivos desse projeto.

O sistema utilizado no projeto utilizou os seguintes componentes: uma bomba de anel líquido; uma bomba d'água; um tanque de vácuo; dois tanques "pulmão"; uma caixa separadora água/óleo; um painel de controle; um tambor de água para alimentação da bomba e um tambor de armazenamento de óleo. Para a execução deste projeto, além do resultado das pesquisas bibliográficas, estão sendo utilizados dados históricos colhidos antes da instalação do sistema e ao longo do período de sua atuação na área estudada. No início do projeto foram avaliadas as propriedades do meio físico, a litologia existente na área, a potenciometria local, definindo-se assim o raio de influência para cada poço e a configuração final dos poços de extração. Através da análise de monitoramentos mensais realizados no *site*, avaliando-se dessa forma a continuação ou não das operações do

sistema, como forma de avaliação do processo de remediação da área, analisando a eficiência do sistema. Nestes monitoramentos foram registrados dados referentes à profundidade do nível d'água, espessura da contaminação, concentração de VOC (compostos orgânicos voláteis), quantificação do vácuo aplicado a cada poço de extração e quantidade de fase livre recuperada. Estes dados foram obtidos com a utilização de medidor de interface (registra o nível do produto e de água), bayler (amostrador de água), vacuômetros e um medidor de oxidação catalítica (THERMO GASTECH modelo Innova SV-Especial).

A Figura 6.1 apresenta em esquema, o projeto executivo do sistema MPE utilizado na área em questão.

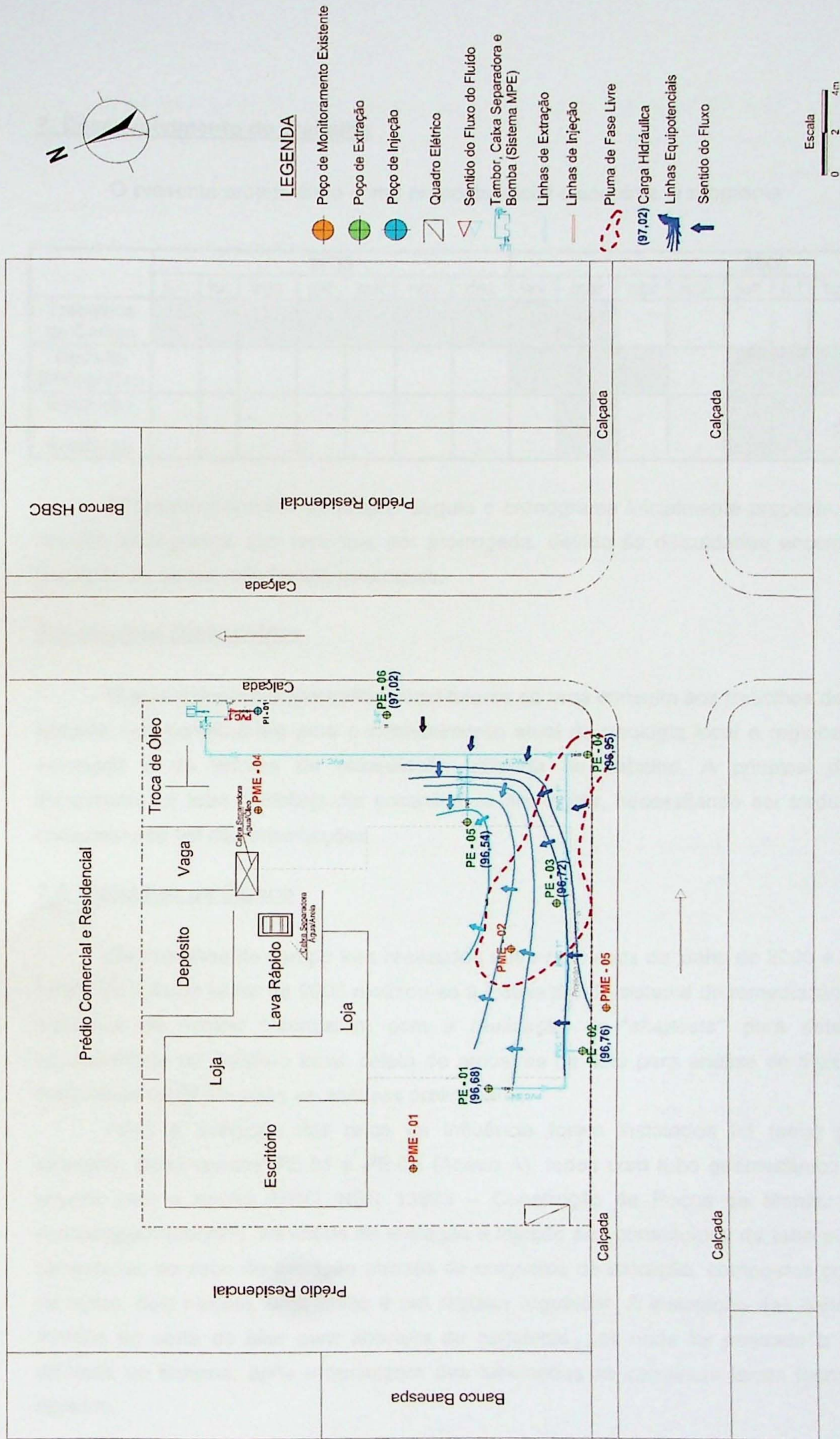


Figura 8.6.1: Layout do sistema, mapa potenciométrico e pluma de fase livre na época da instalação do sistema (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).

7. Desenvolvimento do Trabalho

O presente projeto tinha como proposta inicial o seguinte cronograma:

	2005							2006									
	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov
Trabalhos de Campo																	
Revisão Bibliográfica																	
Execução de Relatórios																	

O desenvolvimento do projeto seguiu o cronograma inicialmente proposto, exceto a revisão bibliográfica que teve que ser prorrogada, devido às dificuldades encontradas na tradução de certas referências essenciais.

7.1. Revisão Bibliográfica

O levantamento bibliográfico constituiu-se de uma consulta aos trabalhos de diversos autores que contribuíram para o conhecimento atual da geologia local e regional da área estudada e da técnica de remediação utilizada no trabalho. A principal dificuldade encontrada foi toda a bibliografia encontrar-se em inglês, necessitando ser traduzida para compreensão fiel das informações.

7.2. Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados entre os meses de junho de 2005 e março de 2006. No mês de junho de 2005 realizou-se a instalação do sistema de remediação MPE; os trabalhos de campo começaram com a realização de "slugtests" para determinar a condutividade do aquífero local, coleta de amostras de solo para análise do meio físico; e teste piloto realizado após as análises preliminares.

Após a definição dos raios de influência foram instalados 06 (seis) poços de extração, denominados PE-01 a PE-06 (Anexo A), todos com tubo geomecânico de 2" de acordo com a norma ABNT NBR 13895 – Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem (Jun/97). As linhas de extração e injeção são constituídas de tubo pvc de 1" e conectadas ao poço de extração através de conjuntos de extração, compostos por um cap de nylon, dois nipples, uma união e um registro regulador. A instalação das linhas deu-se através do corte do piso para abertura de canaletas, por onde foi passada a tubulação utilizada no sistema; após a passagem das tubulações as canaletas foram fechadas com cimento.

O sistema MPE utilizado na área foi montado em “container” de 1,40 x 1,70 x 1,50 fabricado em ferro e chapas de zinco, onde instalados uma bomba de anel líquido de 3cv, uma bomba de transferência de ½ cv, dois tanques “pulmão”, um tanque de vácuo, um painel elétrico, um filtro de carvão ativado, um tanque de alimentação e resfriamento e uma caixa separadora água/óleo (Anexo F – Foto 7.2). Com o término das montagens foi realizado o levantamento topográfico, o primeiro monitoramento e um primeiro teste de bombeamento para verificar o tempo de recuperação da fase livre; com isso foi feita a programação do timer do sistema e iniciou-se sua operação.

Por se tratar de um sistema automatizado, mensalmente foram realizados monitoramentos na área para avaliar a evolução da extração de fase livre pelo sistema e as condições de sua operação, além de promover ajustes e manutenção. Esporadicamente foram realizadas vistas extras à área para promover as manutenções necessárias para manter a eficiência do sistema. Após dois meses com ausência total de fase livre, foram encerradas as operações e o sistema foi desmobilizado para início de uma Caracterização Ambiental Detalhada – RBCA Tier II.

7.3. Confeção de relatórios de monitoramentos

Todos os relatórios feitos foram aprovados pelo contratante e protocolados na CETESB. Inicialmente foi apresentado um relatório de instalação do sistema, com os dados do teste piloto, layout da área, cotas topográficas, dados iniciais (como profundidade do nível d'água, espessura de fase livre, entre outros).

Com os dados gerados nos monitoramentos foram confeccionados relatórios de monitoramentos mensais para acompanhamento do andamento do processo de remediação e avaliação da conveniência da continuação ou não das operações do sistema.

8. Resultados Obtidos

8.1. Dados Históricos

O Posto de Gasolina em questão (Anexo F – Foto 8.1) operou como revendedor de combustíveis derivados do petróleo por aproximadamente 40 anos, em uma área que ocupa aproximadamente 500 m², no município de Praia Grande – SP. Atualmente os serviços de revenda de combustível foram encerrados.

A área do entorno do Posto de Gasolina é classificada, segundo a norma ABNT NBR-13786, como Classe 2, devido à existência de edifício com mais de 04 (quatro) andares.

Em 1991 foram retirados 03 (três) dos 09 (nove) tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis previamente existentes na área do posto.

Entre os anos de 2000 e 2003, foi detectado vazamento de combustível nos tanques de armazenamento de combustível. A Figura 8.1 mostra uma simulação de dois grandes derrames de óleo (1 e 3).e sua migração em subsuperfície (2 e 4).

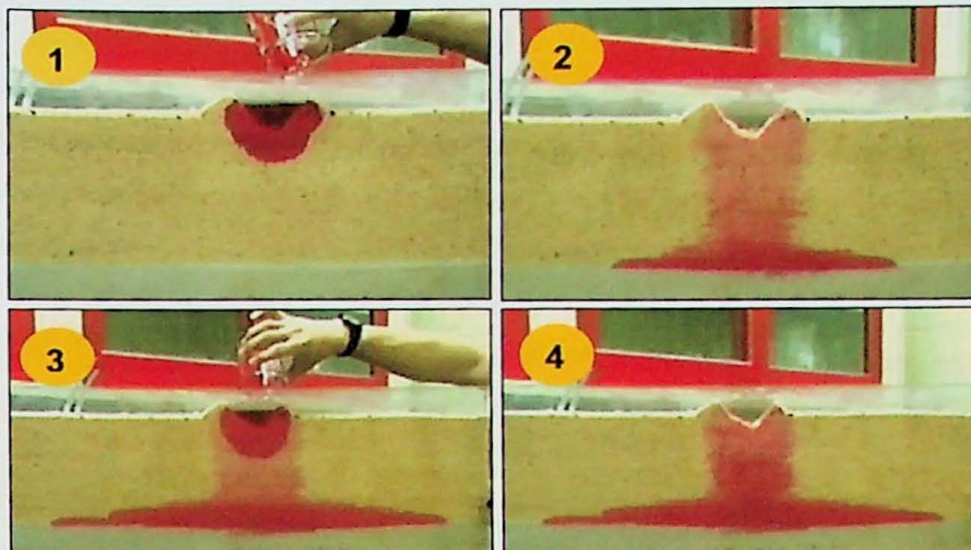


Figura 8.1 – Simulação da migração de combustíveis em fase livre em subsuperfície (Modificado de API, 2004 – Interactive LNAPL Guide).

Para sanar tal problema, ainda no ano de 2003 foram retirados outros 03 (três) tanques de armazenamento, quando observado, em uma das sondagens realizadas, o acúmulo de 0,65 metros de fase livre de óleo diesel.

Em março de 2005, a TECNOHIDRO Projetos Ambientais Ltda. iniciou os trabalhos para a implementação de um sistema de remediação ativo para a completa eliminação da fase livre de produto diagnosticada durante os trabalhos anteriormente citados e confirmada nos estudos da TECNOHIDRO.

8.2.Características Físicas

Com a finalidade de se obter as características físicas específicas do solo na área de interesse foi coletada 01 (uma) amostra indeformada e 01 (uma) amostra deformada para execução de ensaios para determinar os seguintes parâmetros: densidade, umidade natural, granulometria, porosidade total e porosidade efetiva. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Física do Solo e Irrigação - IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas/SP) (Anexo B).

As características do meio físico, obtidas a partir dos resultados das análises laboratoriais, são as seguintes:

Porosidade - definida como a relação entre o volume de espaços vazios e o volume total do solo.

$$\theta_T - \text{Porosidade Total} = 42,3\%$$

$$\theta_{\text{eff}} - \text{Porosidade Efetiva} = 13,1\%$$

Umidade do solo - os espaços porosos do solo podem estar ocupados por ar ou água.

Conteúdo volumétrico de água na zona não saturada

$$\Theta_{ws} = \Theta T * 0,39 = 16,5\%$$

Com base nas campanhas de campo realizadas na área, bem como na compilação dos dados geológicos e hidrogeológicos históricos pesquisados, foi possível caracterizar um sistema composto por um aquífero granular livre, com características hidrogeológicas heterogêneas, descontínuas e anisotrópicas.

Foi realizado um levantamento planialtimétrico e topográfico, visando à locação exata dos pontos de investigação de água subterrânea na área de interesse e adjacências.

8.3. Geologia Local

Foram observados basicamente quatro horizontes diferentes nas seis sondagens feitas, porém todos de mesma granulometria e compostos predominantemente por quartzo e muscovita:

- **Horizonte 1:** Aterro de granulometria areia fina e cor predominantemente esverdeada;
- **Horizonte 2:** Neste horizonte podemos observar a presença de material de granulometria areia fina e cor branca;
- **Horizonte 3:** Composto por material de granulometria areia fina e cor preta;
- **Horizonte 4:** Composto por material de granulometria areia fina e cor esverdeada.

8.4. Potenciometria e Condutividade Hidráulica

Objetivando quantificar os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero local, foram executados ensaios do tipo slug test (Anexo C), em 04 poços de monitoramento instalados na área (PM-02, PM-03, PM-04 e PM-05). De acordo com os resultados do ensaio foi encontrada uma condutividade hidráulica (K) de 4,18E-06 m/s no PM-02, de 2,81E-06 m/s no PM-03, de 3,66E-06 m/s no PM-04 e de 3,41E-06 m/s no PM-05. Desta forma, foi determinada uma condutividade hidráulica média (k) característica do solo representativo (arenoso) para a área de 3,52E-06 m/s, ou 3,04E+01 cm/dia.

Visando a caracterização hidrogeológica local, antes da instalação do sistema, foi realizada 01 (uma) medida de nível d'água estabilizado nos poços de monitoramento, para obtenção das cargas hidráulicas. Com base nos dados obtidos em campo foi verificado o nível d'água variando a uma profundidade de 2,43 a 3,16 metros. Com base nas cargas hidráulicas obtidas para os poços de monitoramento, foi elaborado o mapa potenciométrico da área, onde pode-se observar que o fluxo local ocorre preferencialmente para direção norte/noroeste. Foram determinados 03 gradientes hidráulicos distintos: na porção Oeste da área em questão foi determinado um gradiente hidráulico da ordem 3,4%; na porção central foi determinado um gradiente hidráulico da ordem 2,7 %; e na porção Leste foi determinado um gradiente hidráulico da ordem 1,3 %. Considerando o gradiente hidráulico médio da área das três regiões foi adotado um gradiente hidráulico médio de 2,46% ($i = 2,46\%$).

Durante os meses de monitoramento o fluxo local ocorre predominantemente na direção norte/noroeste (Anexo D – Figuras 8.4.1 a 8.4.8).

8.5. Teste Piloto

Visando estabelecer a área de influência dos poços de extração, bem como a condições ideais de funcionamento do sistema MPE, foi executado um teste piloto "*in situ*". Neste teste foi definida uma malha de extração preliminar, que foi adequada até atingir a configuração final do sistema.

O estudo piloto foi realizado para avaliar a eficiência do sistema, visando o seu redimensionamento e adequação, conforme os resultados de campo.

Segundo Matthew, C.P. et al. (2001), para definição da área de influência dos poços de extração na zona não saturada, foram aplicadas, durante o teste piloto, diferentes taxas de extração nos poços instalados na área em questão. Neste teste foram medidas, nos pontos de monitoramento, as pressões negativas decorrentes da geração de vácuo no PE-03; adicionalmente foram monitoradas as profundidades no nível d'água e espessura de fase livre nos pontos de observação (Anexo E - Tabela 8.5).

Outro fator que influencia na determinação de quantidade e locação dos poços de extração é o tempo estimado para que sejam atingidas as metas de remediação previamente estabelecidas.

Com o teste piloto, verificou-se qual o intervalo de tempo ideal para que o sistema seja mantido em operação ou em repouso. Este artifício tem como objetivo a refrigeração do sistema e evitar a criação de caminhos preferenciais no solo.

Para o melhor entendimento da área e dimensionamento da frequência de operação do sistema, foi realizado o Bail Down Test, que tem por objetivo mensurar a quantidade de fase livre que pode ser retirada de determinado poço de extração, em função do tempo. Para este teste, executou-se o esgotamento do poço e acompanhou-se a recuperação da fase livre até a sua estabilização.

Durante o teste piloto, verificou-se a redução das concentrações de vapores orgânicos, redução das espessuras de fase livre (Anexo E - Gráficos 8.5.1 e 8.5.2) e rebaixamento do nível d'água local. Com a realização do teste, constatou-se que a remoção de fase livre variou entre 0,24 e 1,15 litros/dia, para um regime de operação de 30 minutos ligado e 90 minutos desligado. Adicionalmente, foi observado que em torno de 60% da espessura de fase livre nos poços de extração foi recuperada em menos de 6 horas.

Visando estabelecer a geometria espacial da pluma de fase livre na água subterrânea, foram utilizadas as informações dos poços de extração e monitoramento existentes na área do Posto de Gasolina em questão.

Nos poços de extração e monitoramento foi observada a presença ou não de fase livre de produto e a espessura aparente dessa fase livre.

Matthew, C.P. et al. (2001) adota para determinação da espessura real da fase livre no subsolo, a equação desenvolvida por Lenhard and Parker (1990):

$$D_0 = \frac{\rho_{ro}\beta_{ao}H_0}{\beta_{ao}\cdot\rho_{ro} - \beta_{wo}(1 - \rho_{ro})}$$

Onde:

D_0 – Espessura real de fase livre

H_0 – Espessura aparente

ρ_{ro} – Densidade do produto

β_{ao} – ar/óleo = σ_{aw}/σ_{ao}

β_{ow} – óleo/água = σ_{aw}/σ_{ow}

Porém neste trabalho a espessura real da fase livre no subsolo a partir da medida tomada nos poços foi calculada segundo Ballestero et al. (1994), que afirma que ela pode ser calculada em função da diferença da densidade entre água e os diferentes tipos de combustível e a espessura de fase livre aparente no poço, como descrito a seguir:

$$E_R = E_{AP}(1 - dg)$$

Onde:

E_R – Espessura real de fase livre

E_{AP} – Espessura aparente de fase livre

dg – Densidade do produto

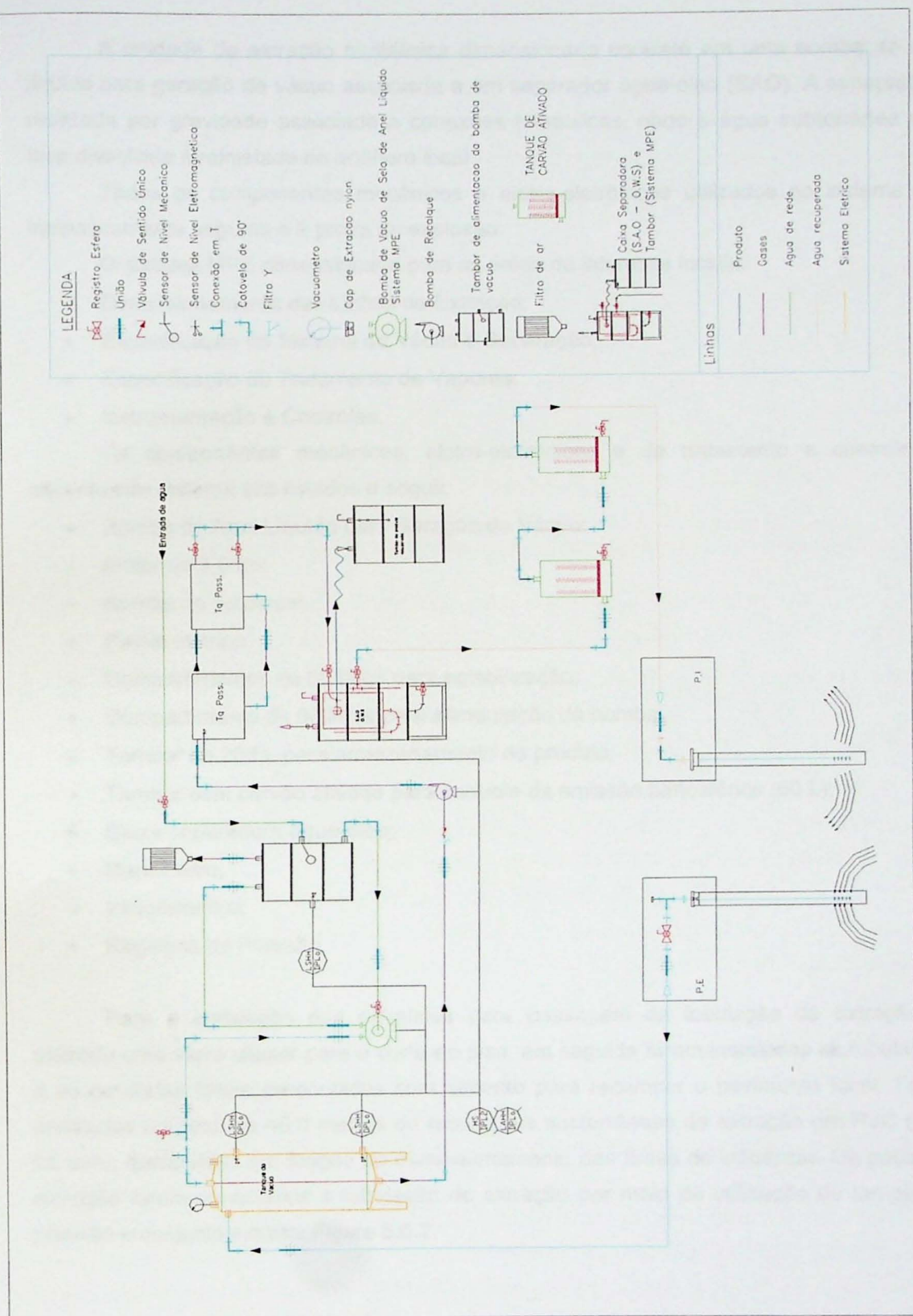
Estes valores são locados em planta, para que seja confeccionada uma pluma de fase livre contendo todos os valores encontrados.

8.6. Implantação do sistema

O dimensionamento do sistema foi feito levando-se em consideração as principais informações sobre o impacto ambiental, área de interesse, tipo de contaminação e tempo para remoção destes contaminantes. Assim, o dimensionamento do sistema foi feito da seguinte forma:

- Cálculo da área de contaminação;
- Cálculo do volume de contaminação;
- Determinação de zonas de influência dos poços.

O layout final do projeto do sistema MPE (as built), o mapa potenciométrico e a pluma de fase livre, na época de instalação do sistema, são apresentados na Figura 8.6.1.



A unidade de extração multifásica dimensionada consiste em uma bomba de anel líquido para geração de vácuo associada a um separador água-óleo (SAO). A separação é realizada por gravidade associada a conexões hidráulicas, onde a água subterrânea com fase dissolvida é reinjetada no aquífero local.

Todos os componentes mecânicos e eletro-eletrônicos utilizados no sistema são intrinsecamente seguros e à prova de explosão.

O sistema MPE dimensionado para as áreas de interesse incluiu:

- Dimensionamento das Linhas de Extração;
- Especificação do Sistema de Vácuo e Separação;
- Especificação do Tratamento de Vapores;
- Instrumentação e Controles.

Os componentes mecânicos, eletro-eletrônicos e de tratamento e controle de efluentes do sistema são listados a seguir:

- Bomba de Anel Líquido para Geração de Vácuo;
- Motor de 3,0 hp;
- Bomba de recalque;
- Painel elétrico;
- Compartimentos de 60 litros para estabilização;
- Compartimento de 60 litros para alimentação da bomba;
- Tambor de 200 L para armazenamento do produto;
- Tambor com carvão ativado para controle da emissão atmosférica (60 L);
- Caixa separadora água-óleo;
- Manômetro;
- Vacuômetro;
- Registros de Pressão.

Para a instalação das canaletas para passagem da tubulação de extração foi utilizada uma serra clipper para o corte do piso, em seguida foram instaladas as tubulações e as canaletas foram preenchidas com cimento para recompor o pavimento local. Foram instalados um total de 40,0 metros de tubulações subterrâneas de extração em PVC (32 e 25 mm), distribuídas em função do dimensionamento das áreas de influência. Os poços de extração foram conectados à tubulação de extração por meio da utilização de tampas de pressão e conjunto extrator Figura 8.6.2.

aglutinação das gotículas de óleo que emergem, até que sejam coletadas por um Skimmer fixo.

A caixa separadora possui 4 (quatro) estágios de separação, como segue:

- *Primeiro estágio*: recebe o efluente (fase dissolvida, fase livre e água);
- *Segundo estágio*: responsável pela aglutinação e separação da fase livre;
- *Terceiro estágio*: destinação da fase livre para tambor de 200L;
- *Quarto estágio*: re-injeção da mistura água / fase dissolvida.

A calibração do sistema foi realizada por meio do nivelamento da caixa separadora e regulagem do Skimmer fixo, que é responsável pelo fluxo de óleo a ser recuperado no tambor de armazenamento de produto.

O vapor extraído dos poços e gerado na Caixa de Separação Água / Óleo passa por um filtro com carvão ativado antes de ser liberado na atmosfera. A água re-injetada no solo não passa por tratamento nessa fase do projeto, mas será o objeto de remediação pelo sistema air sparging / soil vapor extraction.

8.7. Monitoramentos

O monitoramento operacional do Sistema do Sistema MPE é baseado no acompanhamento do processo de extração da fase líquida e da fase vapor na área em questão. Por tratar-se de um sistema ativo automatizado, será monitorado 1 (uma) vez por mês, quando será emitido relatório de acompanhamento do sistema. Neste monitoramento serão realizadas medidas da profundidade no nível d'água, espessura de fase livre, concentração de VOC (compostos orgânicos voláteis), vácuo nos poços de extração e quantidade de fase livre recuperada.

8.7.1 Espessuras de Fase Livre

A Tabela 8.7.1 e o Gráfico 8.7.1 mostram a evolução das espessuras (espessura aparente) de fase livre no decorrer do processo de remediação nos poços que apresentaram, em algum momento, fase livre.

Inicialmente houve uma redução da espessura de fase livre presente no PE-03, verificada nos meses de junho a agosto de 2005, mas houve aumento significativo entre os meses de setembro e outubro. Porém a partir de novembro, a fase livre foi diminuindo gradativamente até desaparecer por completo no mês de janeiro de 2006. Pôde-se observar que a fase livre presente nos poços PE-04 e PME-02 extinguíram-se no primeiro mês de operação do sistema e, apesar do poço PME-02 encontrar-se seco a partir de setembro de 2005, não apresentou presença de fase livre durante dois meses consecutivos. A foto 8.7.1 (Anexo F) mostra a espessura de fase livre no PME-02 no mês de instalação do sistema. Nos meses de janeiro e fevereiro de 2006 não foi observada a presença de fase livre na área em questão; logo o sistema foi desmobilizado no mês seguinte. Os poços que não

aparecem na tabela e no gráfico não apresentaram fase livre no decorrer do processo de remediação.

Tabela 8.7.1 - Variação das espessuras de fase livre ao longo do período de atuação do sistema.

Pontos	Espessura de Fase Livre (m)									
	jun-05 (inst)	jul-05	ago-05	set-05	out-05	nov-05	nov-05* ²	dez-05	jan-06	fev-06
PE-03	0,05	0,04	0,01	0,08	0,15	0,08	0,02	0,01	-	-
PE-04	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PME-02	0,03	-	-	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco

*¹poço obstruído; *²otimização do sistema

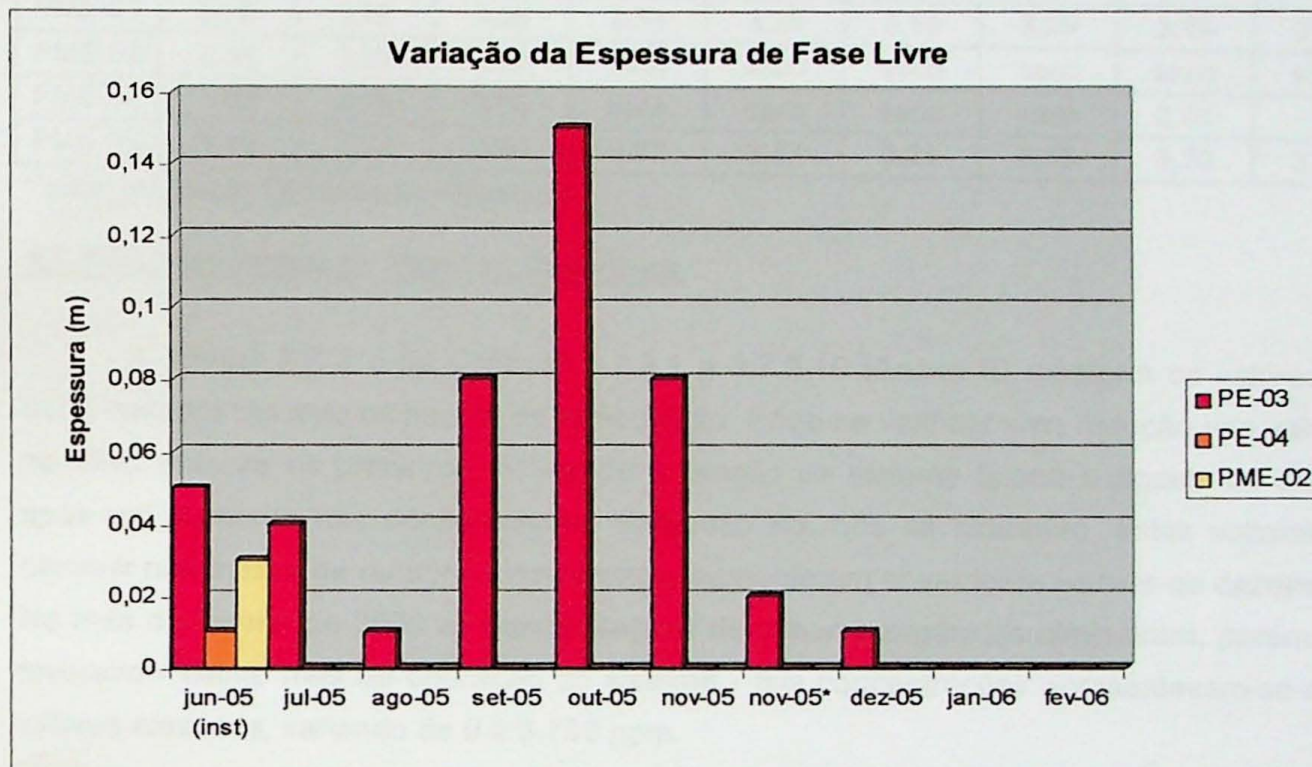


Gráfico 8.7.1 – Variação das espessuras de fase livre ao longo do período de atuação do sistema.

8.7.2 Variação do Nível D'água

A Tabela 8.7.2 e os Gráficos 8.7.2.1 a 8.7.2.10 (Anexo E) apresentam a variação do nível d'água durante os meses de operação do sistema. Pode-se observar nos dados que não há grande variação na profundidade do nível d'água, que foi de 2,80 metros a 3,50 metros aproximadamente.

Pôde-se observar um rebaixamento do nível d'água nos meses de agosto e setembro de 2005, mês em que registrou-se a maior profundidade na maioria dos poços; nos meses seguintes houve uma elevação gradativa do N.A. até novo rebaixamento nos meses de dezembro e janeiro; no mês de fevereiro houve aumento do nível d'água.

Tabela 8.7.2 – Variação da profundidade do nível d'água ao longo do período de atuação do sistema.

Pontos	Nível de Água (m)									
	jun-05 (inst)	jul-05	ago-05	set-05	out-05	nov-05	nov-05* ²	dez-05	jan-06	fev-06
PE-01	3,320	3,30	3,43	3,37	3,36	3,11	3,38	3,25	3,65	2,97
PE-02	3,130	3,35	3,41	3,32	3,32	3,15	3,28	3,22	3,10	2,85
PE-03	3,140	3,08	3,37	3,39	3,49	3,13	3,24	3,20	3,21	3,05
PE-04	2,960	3,13	3,18	3,16	3,09	2,82	2,99	3,02	3,00	2,78
PE-05	3,040	3,31	3,36	3,32	3,26	3,03	3,22	3,15	3,10	2,95
PE-06	2,870	2,80	3,17	3,13	3,06	2,85	3,05	2,97	3,13	2,77
PI-01	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
PME-01	3,28	3,32	3,36	3,34	3,29	3,10	3,29	3,19	3,13	3,00
PME-02	3,14	3,22	3,28	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
PME-04	2,96	2,99	3,05	seco	seco	seco	seco	2,94	* ¹	2,75
PME-05	3,18	3,22	3,23	3,22	3,18	3,01	3,15	3,10	3,10	2,88

*¹poço obstruído; *²otimização do sistema.

8.7.3 Concentração de Vapores Orgânicos

A Tabela 8.7.3 e os Gráficos 8.7.3.1 a 8.7.3.10 (Anexo E) mostram os valores de VOC medidos durante os meses de remediação. Pôde-se verificar uma redução nos valores de VOC durante os primeiros meses de operação do sistema (junho a agosto de 2005); após um aumento nas concentrações verificado no mês de setembro, estas voltaram a diminuir nos meses de outubro e novembro e aumentaram novamente no mês de dezembro. No mês de janeiro de 2006 as concentrações de vapores orgânicos diminuíram, porém em fevereiro - último mês de operação do sistema - tais concentrações apresentavam-se com valores elevados, variando de 0 a 5.780 ppm.

Tabela 8.7.3 – Variação da concentração de VOC ao longo do período de atuação do sistema.

Pontos	VOC (ppm)									
	jun-05 (inst)	jul-05	ago-05	set-05	out-05	nov-05	nov-05* ²	dez-05	jan-06	fev-06
PE-01	10000	180	0	440	160	-	700	2640	340	440
PE-02	10000	0	0	680	160	0	280	220	340	280
PE-03	10000	680	120	420	280	480	1580	9640	580	1000
PE-04	10000	1110	3910	780	880	0	10000	8140	1180	5120
PE-05	10000	380	0	6260	1220	1860	9020	0	0	5780
PE-06	10000	3380	0	5020	100	0	9480	7380	160	4720
PI-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PME-01	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
PME-02	10000	3280	0	1880	3020	3740	5280	2620	0	0
PME-04	4000	1900	1360	400	980	680	1780	140	* ¹	900
PME-05	10000	1680	0	60	3740	0	1820	0	1180	880

*¹poço obstruído; *²otimização do sistema

8.7.4 Outros Considerações

No mês de novembro de 2005 houve uma visita à área para conserto do PE-01, que havia sido danificado e para otimização na extração da fase livre existente na área. Durante os nove meses de operação do sistema não ocorreu nenhum problema que obrigasse a sua paralisação. A partir de novembro de 2005 os registros dos poços de extração PE-01, PE-02 e PE-06 foram fechados a fim de otimizar a extração de fase livre na área.

Foram também realizadas medidas de vácuo nos poços de monitoramento, que são apresentadas na Tabela 8.7.4 (Anexo E); pôde-se verificar que os vácuos medidos variam em torno de 80 a 250 mmHg.

A quantidade de fase livre recuperada durante o processo foi de aproximadamente 100 litros.

9. Interpretação/ Discussão dos Resultados

Após a constatação da presença de óleo diesel combustível sobrenadante ao aquífero, a Tecnohidro Projetos Ambientais foi contratada para fazer a remediação da área. Através do estudo do relatório histórico que nos foi fornecido, onde verificou-se a presença de fase livre de óleo diesel em uma das sondagens realizadas com espessura de aproximadamente 0,65 metros e da descrição litológica indicar a predominância de areais finas a médias, optou-se pela adoção de um sistema de remediação de extração de fase livre MPE.

Nos primeiros estudos realizados pela Tecnohidro foi observada a predominância de um horizonte litológico composto, basicamente, por areia fina (Anexo A) esta composição foi comprovada pelos ensaios realizados no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas/SP) presentes no Anexo B, que mostram um material com 90% de areia, sendo 75% desde total de areia fina. Com a realização de ensaios do tipo slug test (Anexo C) foi determinado o valor médio da condutividade hidráulica para área ($k = 3,52E-06$ m/s), valor este compatível com os valores apresentados nas bibliografias consultadas para granulometria areia fina. Após a realização destes ensaios iniciou-se o teste piloto.

Durante a realização do teste piloto foi gerado vácuo no PE-03 e realizados monitoramentos periódicos nos poços localizados em seu entorno. Este processo não ocorreu de maneira adequada, pois quando foi realizado o teste piloto os poços do sistema já tinham suas posições definidas e encontravam-se instalados, apesar da função do teste ser exatamente definir os raios de influência dos poços de extração e assim melhor definir a sua configuração, otimizando a extração e o número de poços instalados. Portanto o teste piloto foi utilizado apenas para confirmar se a malha de extração era adequada.

Pode-se observar na Tabela 8.5 (Anexo E) que não foi observado vácuo em nenhum dos pontos de observação monitorados durante o teste piloto; apesar disto pode-se verificar o rebaixamento expressivo do nível d'água nos poços PE-03 (poço onde era realizada o bombeamento), PE-05, PME-02 e PME-05, adicionalmente foi verificada a redução dos

valores de VOC medidos no início e no final do referido teste (Gráfico 8.5.1). Houve também uma diminuição significativa nas espessuras de fase livre observadas durante a realização do teste piloto (Gráfico 8.5.2), sendo que tais espessuras apresentaram uma redução de 0,03 para 0,02 metros em espessura no PME-02 (confirmando influência do PE-03 sobre o mesmo), não variaram no PE-04 (sugerindo que o raio de influência do PE-03 não atinge o PE-04, hipótese reforçada por não ter havido variação significativa do nível d'água neste poço durante o teste) e se extinguiram no PE-03. Após a realização do teste pode-se observar uma recuperação de aproximadamente 60% da fase livre no PE-03, em aproximadamente cinco horas e meia.

Matthew, C.P. et al. (2001), mostram que o volume de fase livre existente no solo pode ser determinado através da confecção de um mapa de contorno das espessuras de fase livre, delimitando a pluma existente na área e os intervalos de isoespessuras de fase livre; entretanto este cálculo pode ser feito com auxílio de programas de computador. Neste trabalho as espessuras de fase livre foram calculadas levando-se em conta as áreas calculadas para determinados intervalos de isoespessura; as áreas encontradas foram multiplicadas pela densidade do produto para quantificar o volume de fase livre existente na área, sendo que a soma dos volumes parciais para cada intervalo de isoespessura é o volume total de fase livre existente na área. Na Tabela 9.1 (Anexo E) pode-se observar tais valores.

O sistema foi programado para operar em ciclos de 15 minutos de operação por 45 minutos de repouso e foi monitorado mensalmente após o início de sua operação. Já no primeiro monitoramento, realizado em julho de 2005, os poços PE-04 e PME-02 não apresentaram fase livre, permanecendo este cenário até o término das operações do sistema. No PE-03 houve uma redução na espessura de fase livre observada nos meses de julho e agosto, mostrando uma eficiência do sistema na remoção do contaminante; porém nos meses de setembro e outubro ocorreu novo aumento, culminando com uma espessura máxima de 0,15 metros em outubro de 2005. A partir de novembro de 2005 a fase livre diminuiu gradativamente até sua completa extinção em janeiro de 2006. No mês de fevereiro de 2006 também não foi observada a presença de fase livre na área em questão; logo, o sistema foi desmobilizado e dado continuidade ao processo de gerenciamento ambiental.

Em relação às concentrações de vapores orgânicos (Tabela 8.7.3), apresentam grande variação ao longo do período de atuação do sistema; mas de modo geral pode-se observar uma redução das concentrações até o mês de novembro de 2005, quando sofreram aumento significativo; nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro houve nova redução. Apesar dos valores de VOC estarem relativamente altos no mês de encerramento das operações do sistema, estes seriam alvo da próxima etapa da remediação, contemplada pela instalação de um sistema de remediação *Air Sparging/SVE*.

A operação do sistema ocorreu sem maiores problemas e não houve períodos significativos de paralisação.

Para otimizar a extração de fase livre os poços PE-01, PE-02 e PE-06 foram fechados a partir de novembro de 2005. Outro modo de fazer esta otimização seria dar maior ênfase na extração no PE-03, por exemplo, fechando também o registro do poço PE-04, mantendo somente os poços PE-03 e PE-05 abertos para bombeamento.

10. Conclusões

Através do estudo da bibliografia e análise dos dados apresentados pode-se concluir que:

A descrição litológica local é compatível com a existente na bibliografia, assim como os valores de condutividade hidráulica.

O teste piloto realizado na área comprovou a influência do PE-03 nos pontos de observação PE-05, PME-02 e PME-05 (observada pelo rebaixamento do nível d'água e redução das concentrações de VOC nos pontos de observação), confirmando o acerto na escolha da configuração da malha de extração local. Definiu-se a programação de funcionamento do sistema em 15 minutos de operação e 45 minutos de repouso. Em relação ao teste piloto conclui-se que este não foi realizado de maneira correta, pois além da configuração do sistema estar definida antes da sua realização, seria necessário melhor acompanhamento do teste, com monitoramentos mais frequentes.

A operação do sistema ocorreu sem maiores problemas e não houve períodos significativos de paralisação.

As concentrações de vapores orgânicos se apresentaram menores ao término das operações do sistema, porém ainda apresentavam valores relativamente altos e seriam alvo do sistema de remediação Air Sparging/SVE, utilizado na extração de fase vapor e fase dissolvida na água subterrânea.

As variações verificadas no nível d'água são decorrentes das variações de maré e da quantidade de precipitações durante o período.

O aumento verificado na espessura de fase livre nos meses de setembro e outubro de 2005 pode ter ocorrido devido ao rebaixamento do nível d'água local, que pode propiciar a liberação de fase livre retida no solo, a Figura 9.1 (Anexo D) mostra o diferente comportamento da pluma de fase livre em diferentes horizontes litológicos. Estas variações podem ser observadas no Gráfico 9.1 que mostra a variação das espessuras de fase livre e do nível d'água no PE-03 durante o período de operação do sistema.; porém as espessuras de fase livre voltaram a apresentar reduções a partir de novembro de 2005. No mês de janeiro de 2006 pode-se observar o esgotamento total da fase livre existente na área, este cenário permaneceu inalterado até fevereiro de 2006, quando o sistema foi desmobilizado.

Apesar do elevado tempo de operação do sistema em relação à pequena espessura de fase livre observada, o total esgotamento da fase livre existente na área, assim como a redução das concentrações de vapores orgânicos, mostram a eficiência do sistema na

remediação da área estudada. A análise dos dados permite concluir que apesar do sistema ter-se mostrado eficiente na remoção de fase livre, a maior frequência nos monitoramentos da área, tanto para aquisição de dados como para regulação dos tubos de extração do sistema, poderiam ter reduzido o tempo de operação significativamente.

Após maior experiência nesta área de trabalho e observando os dados pertinentes ao caso (como por exemplo, o pequeno volume de fase livre recuperada e longo tempo de operação do sistema), pode-se concluir que a utilização de um sistema de extração pontual de fase livre com visitas diárias a área teria sido a melhor opção para o caso. . Apesar do maior gasto imediato que isso acarretaria, a remediação poderia ter sido encerrada em prazo mais curto, gerando maior lucro ao final do projeto e melhor eficiência na remoção do contaminante, economizando-se o referente a aproximadamente metade do tempo gasto na remediação da área.

Algumas providencias poderiam ter sido tomadas a fim de otimizar a extração de fase livre existente na área, tais como: maior numero de visitas a área, maior ênfase na extração feita no PE-03.

Apesar de algumas falhas no desenvolvimento do projeto de extração de fase livre sobrenadante ao aquífero local, pode-se afirmar que o sistema de remediação por extração multifásica MPE foi eficiente no esgotamento total da fase livre existente na área.

Vale ressaltar que após a desmobilização do sistema MPE foi realizada uma Caracterização Ambiental Detalhada – RBCA Tier II, quando foi verificado que, considerando o cenário de exposição atualmente válido (Ingestão e contato dérmico com água subterrânea a partir da lixiviação do solo subsuperficial para a água subterrânea por receptores internos ao site), o composto Etilbenzeno apresentou risco à saúde humana. Este cenário está diretamente ligado à existência de poço de água subterrânea na área; com o seu selamento o cenário não é mais considerado válido, encerrando assim o processo de gerenciamento ambiental da área.

11. Referências Bibliográficas

Matthew, C.P., Christopher T. C., Abraham S. C. C., Ronald E. H., Stephen H. R., 2001. "Principles and Practices of Bioslurping". Battelle Memorial Institute, USA;

Baker, R.S. 1995. "One-,Two-, and Three-Phase Flow During Free-Product Recovery". In R.E. Hinchey, J.A. Kittel, and H.J.Reisinger (Eds.), *Applied Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons*, pp. 349-359. Battelle Press, Columbus, OH;

Fetter, C.W. 1993. "Contaminant Hydrogeology". Macmillan Publishing Company, New York, NY;

U.S. Environmental Protection Agency. 1991. "Soil Vapor Extration Technology": Reference Handbook. EPA/540/2-91/003. Office of Research and Development, Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, OH;

U.S. Environmental Protection Agency. 1995. "How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites". EPA 510-B-95-007;

U.S. Environmental Protection Agency. 1996. "How to Effectively Recover Free Product At Leaking Underground Storage Tank Sites". EPA 510-R-96-001.

U.S. Army Corps of Engineers. 1999. "Engineering and Design Multi-Phase Extraction". EM 1110-1-4010. Washington, DC 20314-1000. *site:* <http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/>;

Randall, J. C. 2003. "Environmental and Water Resources Engineer Program". College of Engineering. The University of Texas at Austin. American Petroleum Institute. Regulatory Analysis and Scientific Affairs Department. Publication 4729. Models for Design of Free-Product Recovery Sistem for Petroleum Hidrocarbon Liquids. *site:* <http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/>;

The American Petroleum Institute's Soil and Groundwater Technical Task Force. 2004. "API Interactive LNAPL Guide Version 2.0". Environmental Systems & Technologies (A Division of Groundwater & Environmental Services, Inc.) Blacksburg, Virginia.

Huntley D., and Beckett, G.D. 2002. "Evaluating Hydrocarbon Removal from Sources Zones and its Effect on Dissolved Plume Longevity and Magnitude". The American Petroleum Institute. Regulatory Analysis and Scientific Affairs Department. Publication Number 4715.

Blake, S.B., and N.M. Gates, 1986. "Vacuum Enhanced Hydrocarbon Recovery: A Case Study," in *Proceedings of NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection, and Restoration*. November 12-14, Houston, Texas, p. 709-721.

Blake, S., B. Hockman, and M. Martin, 1990. "Applications of Vacuum Dewatering Techniques to Hydrocarbon Remediation," in *Proceedings of NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection, and Restoration*. October 31 - November 2, Houston, Texas, p. 211-226.

Bruce, L., B. Hockman, R. James-Deanes, J. King, and D. Laws, 1992. "Vacuum Recovery Barrier Wall System Dewateres Contaminated Aquifer: A Solution Based on Proper Evaluation of Hydrogeologic Parameters," in *Proceedings of the NGWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection, and Restoration*. November 4-6, Houston, Texas, p. 303 - 311.

Johnson, R.L., Bagby, W., Matthew, P., and Chien, 1992, C.T. "Experimental Examination of Integrated Soil Vapor Extraction Techniques," in *Proceedings of Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection, and Restoration*. National Ground Water Association, November.

Hajali, P.A., and W.F. Revely, III, 1992. "Process and Apparatus for Groundwater Extraction Using a High Vacuum Process". U.S. Patent No. 5,172,764, December 22.

Hess, R.E., A.A. Hooper, S.R. Morrow, D.J. Walker, and E. Zimmerman, 1993. "Apparatus for Two Phase Vacuum Extraction of Soil Contaminants". U.S. Patent No. 5,197,541, March 30.

Powers, J.P., 1981. *Construction Dewatering, A Guide to Theory and Practice*. Wiley Interscience.

Lenhard, R.J., and J.C. Parker. 1990. "Estimation of Free Hydrocarbon Volume from Fluid Levels in Monitoring Wells" *Groundwater*, 28(1):57-67.

NBR 13895. "Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem". ABNT, junho, 1997.

CPRM, 1999. "Nota Explicativa da Carta Geológica da Folha Santos", folha SF.23-Y-D. Projeto de integração geológico-metalogenética folha Rio de Janeiro, SF.23. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

DAEE, 1979. "Estudo de Águas Subterrâneas – Região administrativa 2 – Santos", v.1. Secretaria de Obras e do Meio Ambiente, São Paulo.

USEPA, veja U.S. Environmental Protection Agency.

USACE, veja U.S. Army Corps of Engineers.

Anexo A – Perfis Construtivos dos Poços de Extração

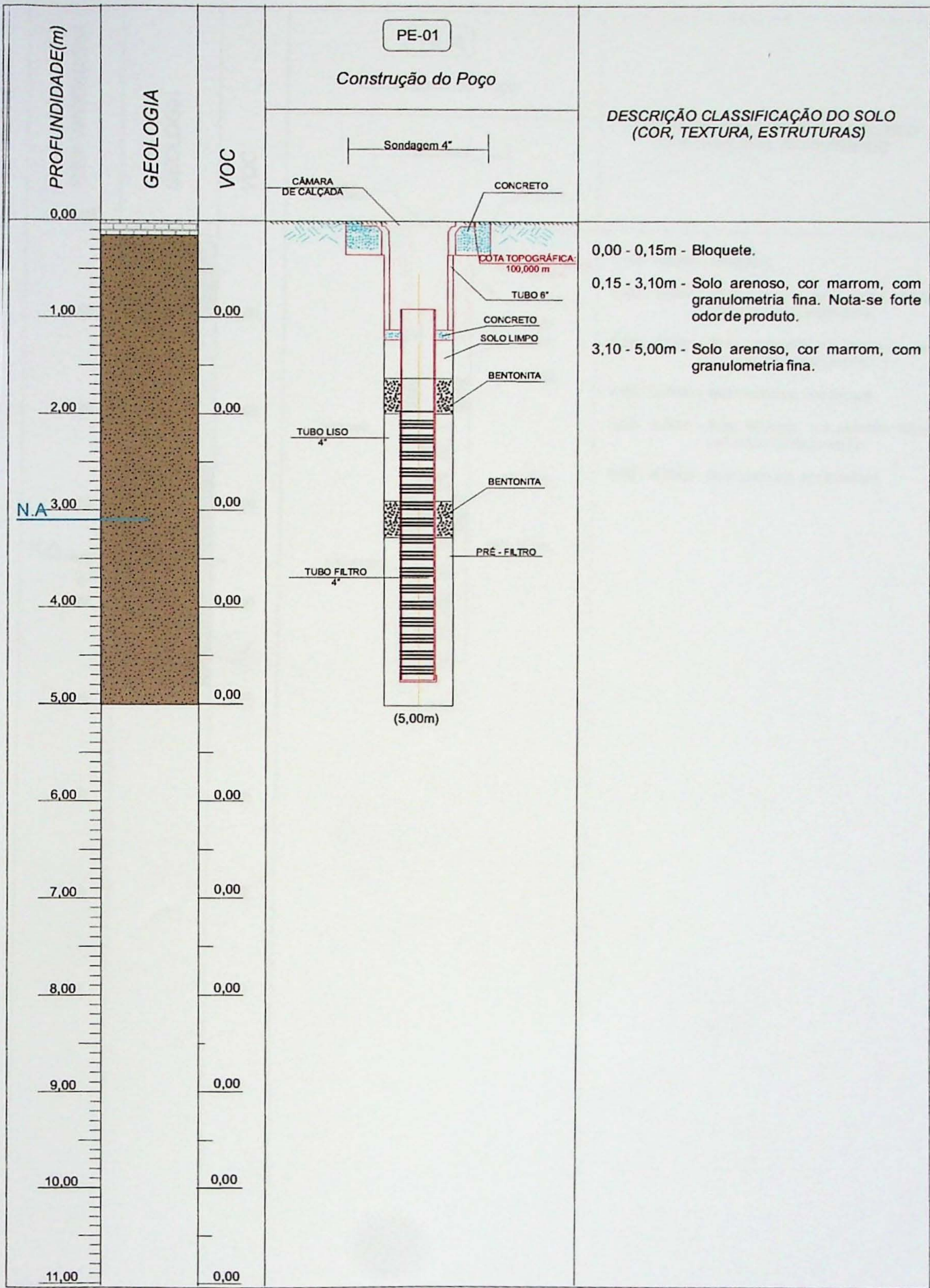


Figura 7.2.1: Perfil construtivo do poço PE-01 (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).

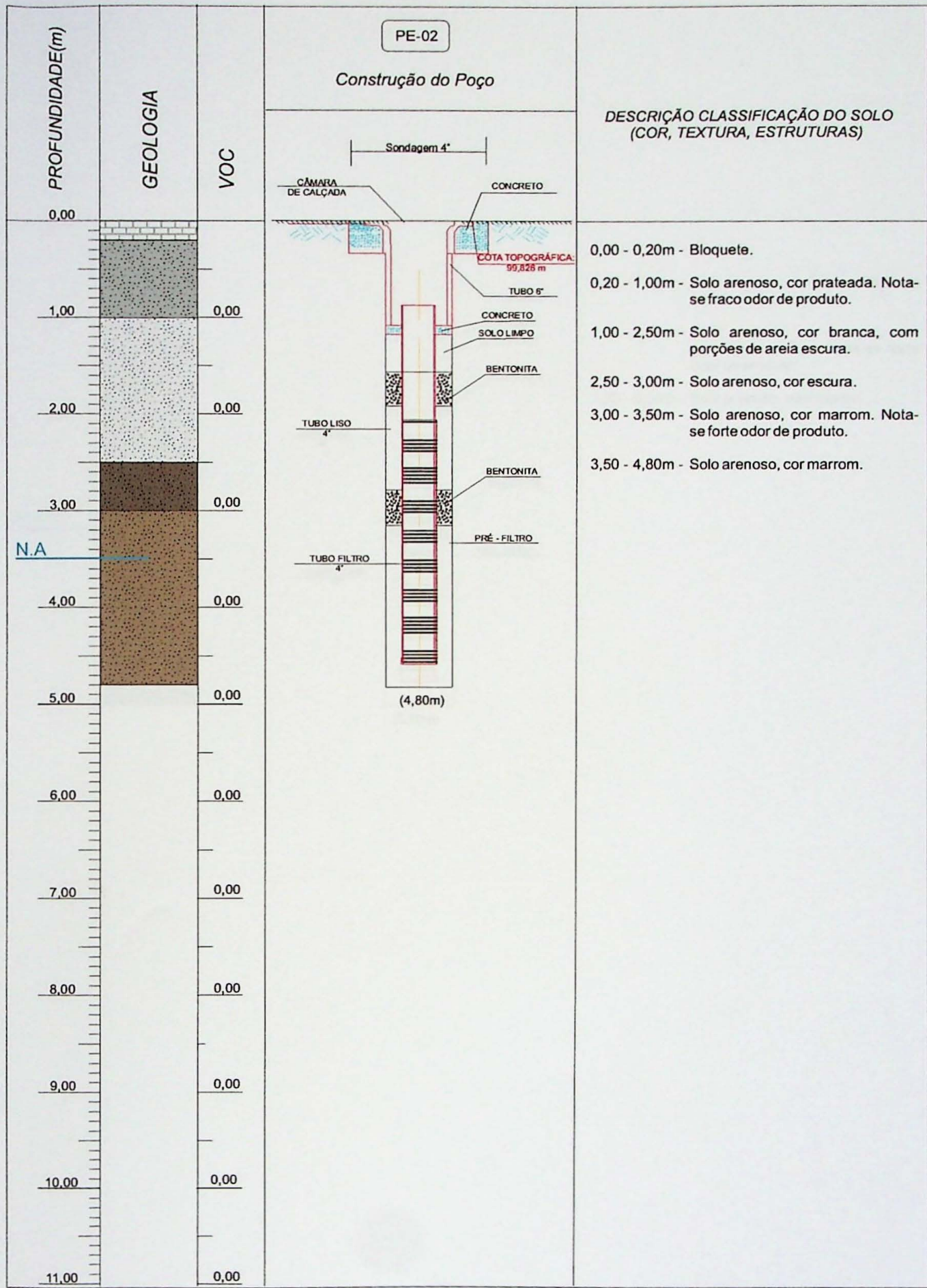


Figura 7.2.2: Perfil construtivo do poço PE-02 (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).

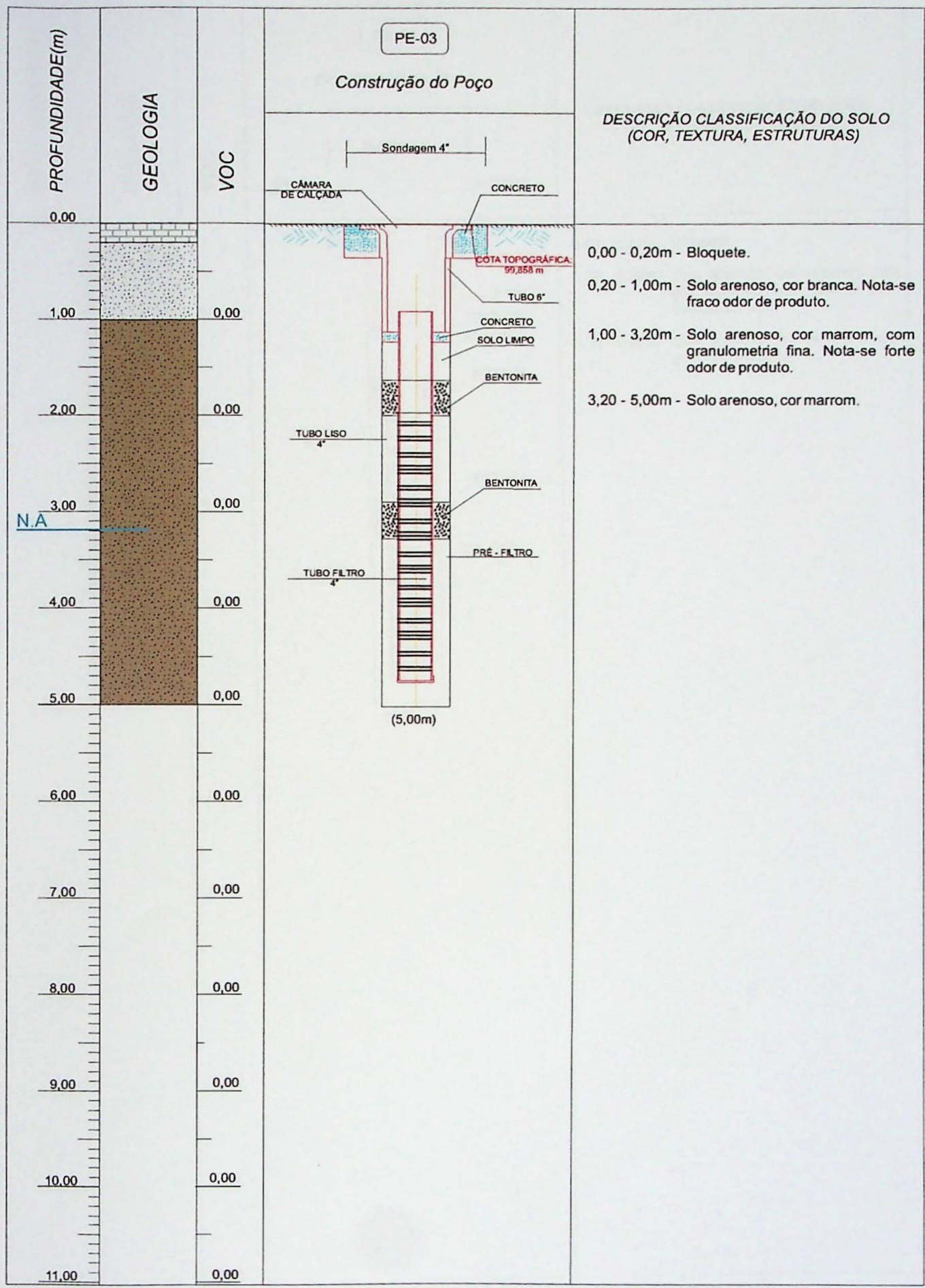


Figura 7.2.3: Perfil construtivo do poço PE-03 (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).

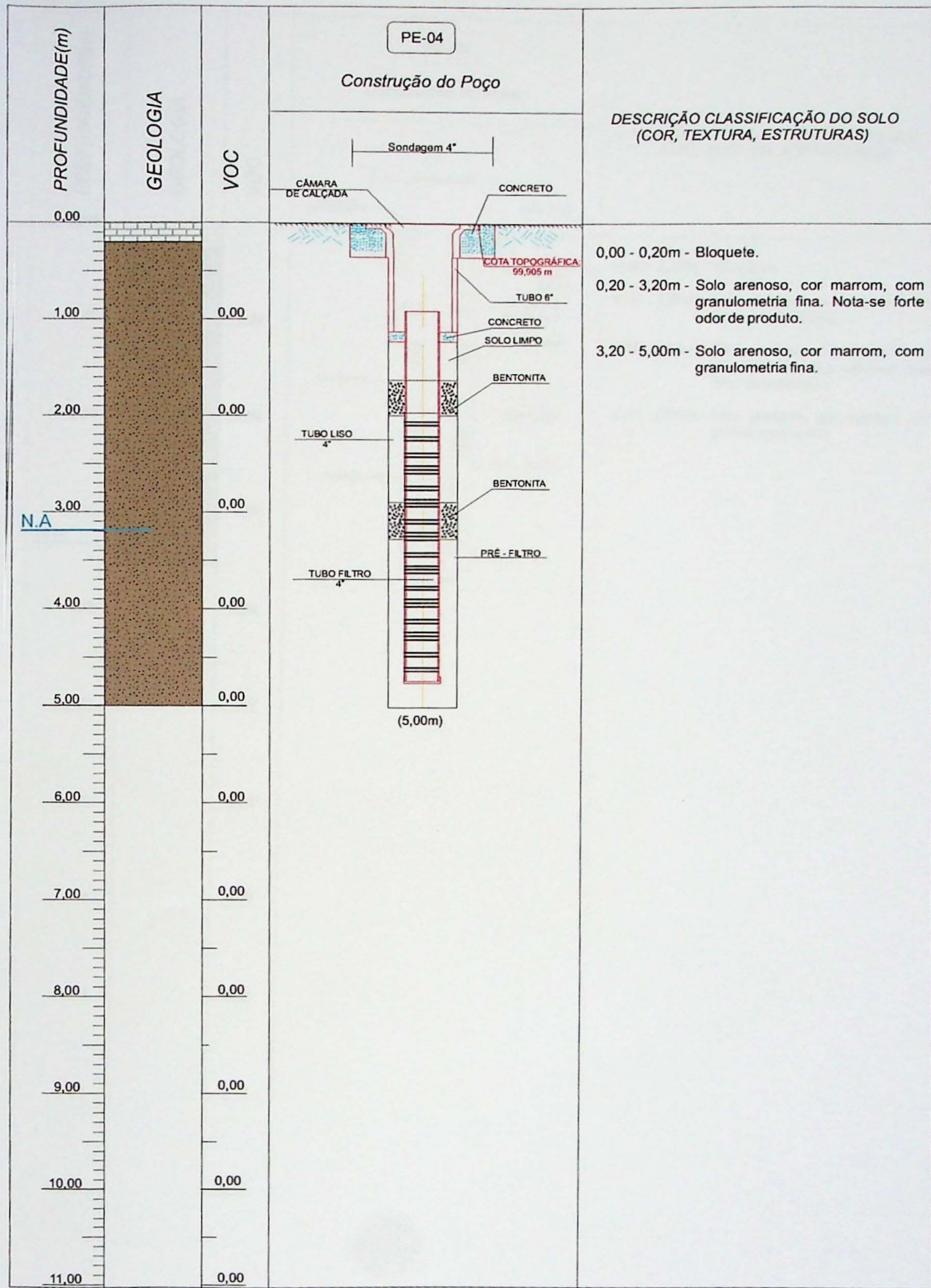


Figura 7.2.4: Perfil construtivo do poço PE-04 (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).

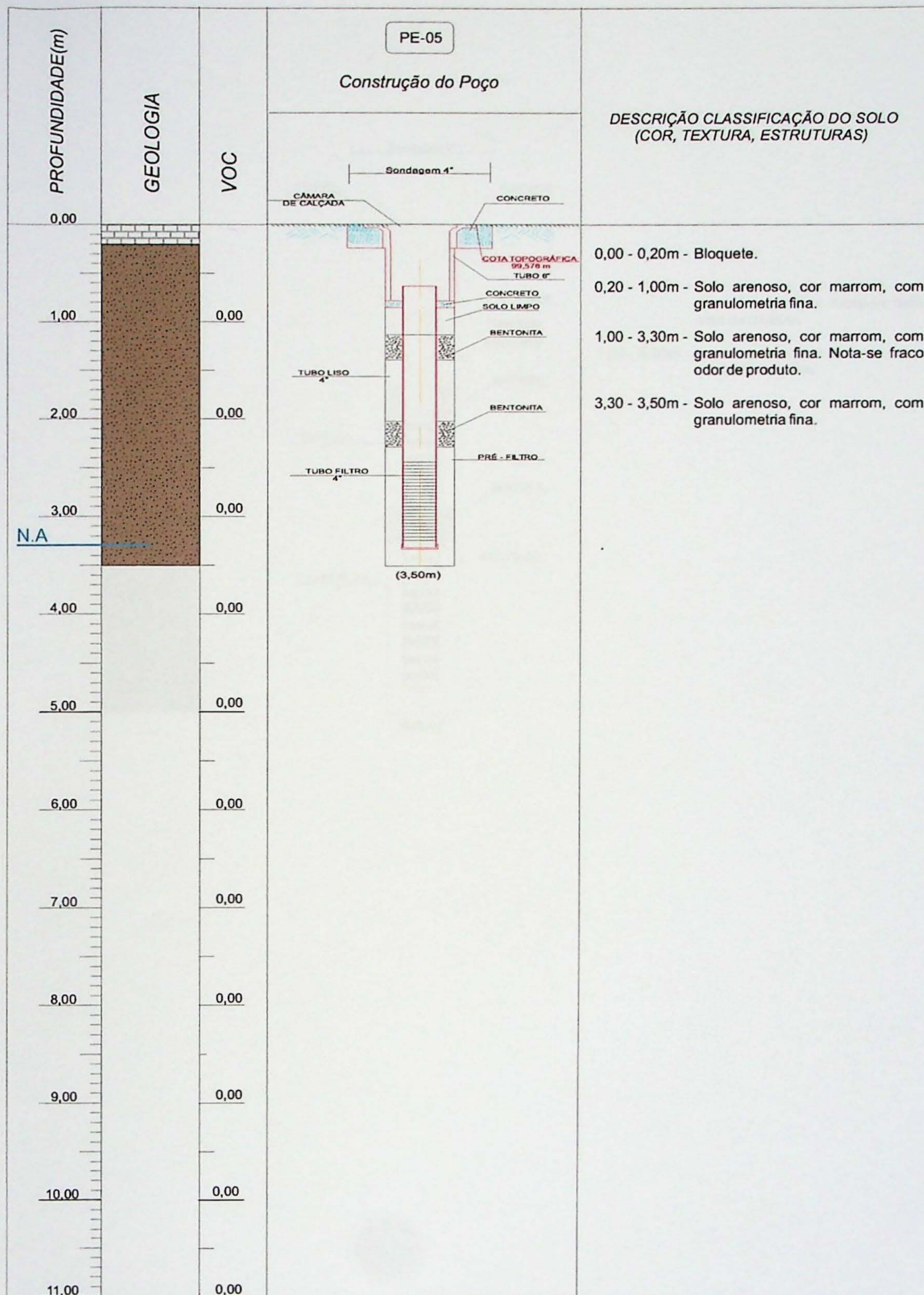


Figura 7.2.5: Perfil construtivo do poço PE-05 (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).

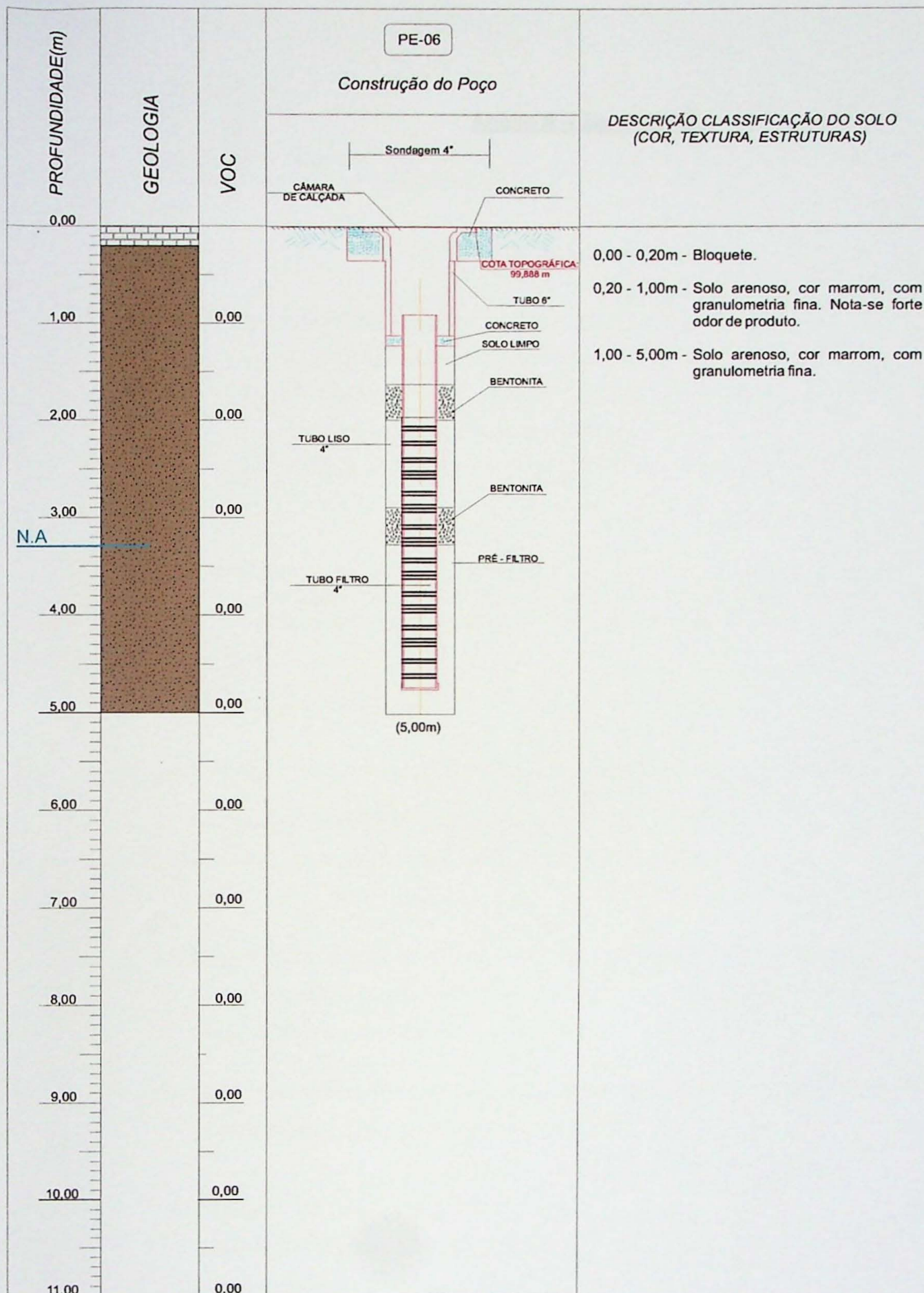


Figura 7.2.6: Perfil construtivo do poço PE-06 (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).

Anexo B – Ensaios IPT

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT

RELATÓRIO DE ENSAIO

TIPO DE ENSAIO: Ensaio de resistência à tração

OBJETO DO ENSAIO: Ensaio de resistência à tração

OBJETIVO DO ENSAIO: Determinar a resistência à tração do material

REFERÊNCIAS: NBR 15931 - 2004

ENDEREÇO: Rua João Dória, 1000 - Vila São Francisco - São Paulo - SP

RESUMO DO RESULTADO: O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 15931 - 2004, com o objetivo de determinar a resistência à tração do material. O ensaio foi realizado com sucesso e os resultados estão apresentados no relatório.

CONCLUSÃO: O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 15931 - 2004.

1. OBJETIVO: Determinar a resistência à tração do material.

1.1. Descrição do ensaio:

Ensaio de resistência à tração, conforme NBR 15931 - 2004.

1.2. Quantidade: Uma amostra de 100 mm de comprimento, com diâmetro nominal de 10 mm. A amostra foi submetida a um ensaio de resistência à tração, conforme NBR 15931 - 2004.

1.3. Data do ensaio: 10/10/2024. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 15931 - 2004.

1.4. Nome do Ensaio: Ensaio de resistência à tração.

1.5. Nome do Ensaio: Ensaio de resistência à tração.

1.6. Nome do Ensaio: Ensaio de resistência à tração.

Este relatório foi elaborado de acordo com a norma NBR 15931 - 2004, com o objetivo de determinar a resistência à tração do material. O ensaio foi realizado com sucesso e os resultados estão apresentados no relatório. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 15931 - 2004.

RELATÓRIO DE ENSAIO N°**CLIENTE: TECNOHIDRO Projetos Ambientais S/C Ltda.**

A/C: André Matheus de O. Quadrini.

Departamento de Remediação Ambiental e Gerenciamento de Resíduos.

Rua: Padre Francisco Libermann, 301.

CEP: 05353-160 - Vila São Francisco - São Paulo, SP.

NATUREZA DO TRABALHO: Análises de densidade do solo (aparente), teor de umidade (natural), porosidades total e efetiva, retenção de água (microporos), granulometria e densidade de partículas (real).**REFERÊNCIA:** Aceite do orçamento CETAE/LRAC n° 061/06.**1 MATERIAL:** Amostras de solo com estruturas deformada e não-deformada.**1.1 Designação declarada pelo cliente:**

Amostras não-deformada e deformada: ID-01 e ID-02 (1,00m)

1.2 Quantidade: Duas amostras de solo com estrutura não-deformada, sendo uma réplica descartada, e uma com estrutura deformada. A amostra com estrutura deformada foi subdividida em duas partes.**1.3 Coleta das Amostras:** As amostras foram coletadas pelo cliente e entregues no LRAC em 23 de março de 2006.**1.4 Números de Ordem do LRAC:**

Amostras deformadas: 139 e 140.

Amostra não-deformada: 141.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

2 MÉTODO UTILIZADO

2.1 Amostras deformadas

2.1.1 Procedimento CETAE-LRAC-PE-002 - "Granulometria", baseado em método descrito em *Methods of Soil Analysis: Part 1 – Physical and Mineralogical Methods* (Klute, 1986) e Manual de Edafologia (KIEHL, 1979).

Equipamentos:

- Agitador e aquecedor (AG-002), agitador de peneiras (AG-003), agitador de Wagner (AG-004) (não requerem calibração).
- Balança eletrônica Gehaka, modelo BG 200 (BL-001): Calibrada em 08.02.2006, conforme certificado nº 69 716-101, do Laboratório de Metrologia Mecânica/CME. Validade da calibração até 08.02.2009.
- Balança eletrônica Marte (BL-003): Calibrada em 17.10.2005, conforme certificado nº 67 430-101, do Laboratório de Metrologia Mecânica/CME. Validade da calibração até 17.10.2008.
- Densímetro (DN-001), modelo ASTM 152H (não requer calibração).
- Estufa *Fanem*, modelo 320E (ES-002) e termômetro (TE-010), calibrado em 03.09.2004, conforme certificado nº 58 817-101, do Laboratório de Metrologia/AMAEI/DME. Validade da calibração até 03.09.2006.
- Termômetro (TE-004): Calibrado em 18.10.2004, conforme certificado nº 59 758-101, do Laboratório de Metrologia/AMAEI/DME. Validade da calibração até 18.10.2006.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

- 2.1.2 Procedimento CETAE-LRAC-PE-003 - "Ensaio de Densidade de Partículas" (#2mm), baseado em método descrito em *Methods of Soil Analysis: Part 1 – Physical and Mineralogical Methods* (KLUTE, 1986) e Norma DNER-ME 093/94 – Densidade Real de Solos.

Equipamentos:

- Picnômetros *Tec Labor* (D1 e D2): Calibrados em 11.03.2006, conforme Procedimento CETAE-LRAC-PT-001 deste Laboratório. Validade da calibração até 11.03.2007.
- Balança eletrônica Gehaka, modelo BG 200 (BL-001): Calibrada em 08.02.2006, conforme certificado nº 69 716-101, do Laboratório de Metrologia Mecânica/CME. Validade da calibração até 08.02.2009.
- Termômetro digital (TE-007): Calibrado em 06.04.2005, conforme certificado nº 63 043-101, do Laboratório de Metrologia/AMAEI/DME. Validade da calibração até 06.04.2007.
- Bomba de vácuo *Leybold*, modelo S:15 (BO-001) (não requer calibração).

2.2 Amostra não-deformada

- 2.2.1 Procedimento CETAE-LRAC-PE-004 - "Densidade do Solo ou Aparente", baseado em método descrito em *Methods of Soil Analysis: Part 1 – Physical and Mineralogical Methods* (Klute, 1986), Manual de Edafologia (KIEHL, 1979) e NBR 9813 (ABNT, 1987).
- 2.2.2 Procedimento CETAE-LRAC-PE-005 - "Porosidade Total, Efetiva e Microporosidade", baseado em método descrito em *Methods of Soil Analysis: Part 1 – Physical and Mineralogical Methods* (Klute, 1986) e Manual de Edafologia (KIEHL, 1979).
- 2.2.3 Procedimento CETAE-LRAC-PE-007 - "Determinação do Teor de umidade", baseado em método descrito em *Methods of Soil Analysis: Part 1 – Physical and Mineralogical Methods* (Klute, 1986) e Manual de Métodos de Análises de Solo, 2ª edição (EMBRAPA, 1997).

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Equipamentos:

- Funil de placa porosa (fabricante ICAL): Manutenção logo após o uso.
- Balança eletrônica Marte (BL-002): Calibrada em 17.10.2005, conforme certificado nº 67 429-101, do Laboratório de Metrologia Mecânica/CME. Validade da calibração até 17.10.2008.
- Estufa Fanem, modelo 320E (ES-002) e termômetro (TE-010), calibrado em 03.09.2004, conforme certificado nº 58 817-101, do Laboratório de Metrologia/AMAEI/DME. Validade da calibração até 03.09.2006.

3 RESULTADOS

Apresenta-se nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 a seguir, os resultados das análises realizadas.

TABELA 1 - Classificação granulométrica do solo segundo a escala do USDA.

Cascalho	Areia Muito Grossa (MG)	Areia Grossa (G)	Areia Média (M)	Areia Fina (F)	Areia Muito Fina (MF)	Silte	Argila
	2,0mm	1,0mm	0,5mm	0,25mm	0,125mm	0,053mm	0,002mm

TABELA 2 – Resultados das análises de granulometria.

Número de Ordem do LRAC	Designação do Cliente (Projeto)	Classe Textural	Cascalho (%)	Argila (%)	Silte (%)	Areia Total (%)	AREIA (%)				
							MG	G	M	F	MF
139	ID-02 (1,00m) SP 2005 01 47	Arenosa	3	3	4	90	1	2	2	75	10

TABELA 3 – Resultado da análise de densidade de partículas.

Número de Ordem do LRAC	Designação do Cliente (Projeto)	DENSIDADE DE PARTÍCULAS (real) (g/cm ³)
140	ID-02 (1,00m) SP 2005 01 47	2,63

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

TABELA 4 – Resultados das análises de densidade do solo (aparente), teor de umidade (natural), porosidades total e efetiva e retenção de água (microporos).

Número de Ordem do LRAC	Designação do Cliente (Projeto)	Densidade do Solo (aparente) (g/cm ³)	Teor de Umidade (natural)		Porosidade Total		Microporos ou Poros < 37,5 µm		Porosidade Efetiva	
			(cm ³ /cm ³)	(%)	(cm ³ /cm ³)	(%)	(cm ³ /cm ³)	(%)	(cm ³ /cm ³)	(%)
141	ID-01 (1,00m) SP 2005 01 47	1,47	0,204	20,4	0,423	42,3	0,292	29,2	0,131	13,1

Nota: Para efeito de arredondamento, nos cálculos efetuados, foi utilizada a norma ABNT NBR 5891/77 - Regras de Arredondamento na Numeração Decimal.

4 EQUIPE TÉCNICA

José Aparecido Silvério dos Santos – Técnico.
Reginaldo Passos da Cruz - Técnico.
Vera Lúcia Amorim da Luz - Aux. Técnica.
Adão Aparecido Lanzieri Modesto - Estagiário.

São Paulo, 30 de março de 2006.

Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas

Geol^o Dr. Claudio Benedito Baptista Leite
Supervisor do Ensaio
CREASP-0600800673 – RE 5093

Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas

Eng^o de Minas Dra. Mônica Speck Cassola
Responsável pelo Laboratório
CREASP-57502/D – RE 08173

JAS/RPC

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Cidade Universitária - Butantã - 05508-901 - São Paulo - SP - Tel. (11) 3767-4000 - www.ipt.br
Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC - Tel. (11) 3767-4120, 3767-4456 e 3767-4744 - Fax: (11) 3767-4002 - sac@ipt.br



Anexo C – Slugs Testes

Local: Praia Vermelha

Projeto: 100

Nome:

Página: 100

Feito por: [nome]

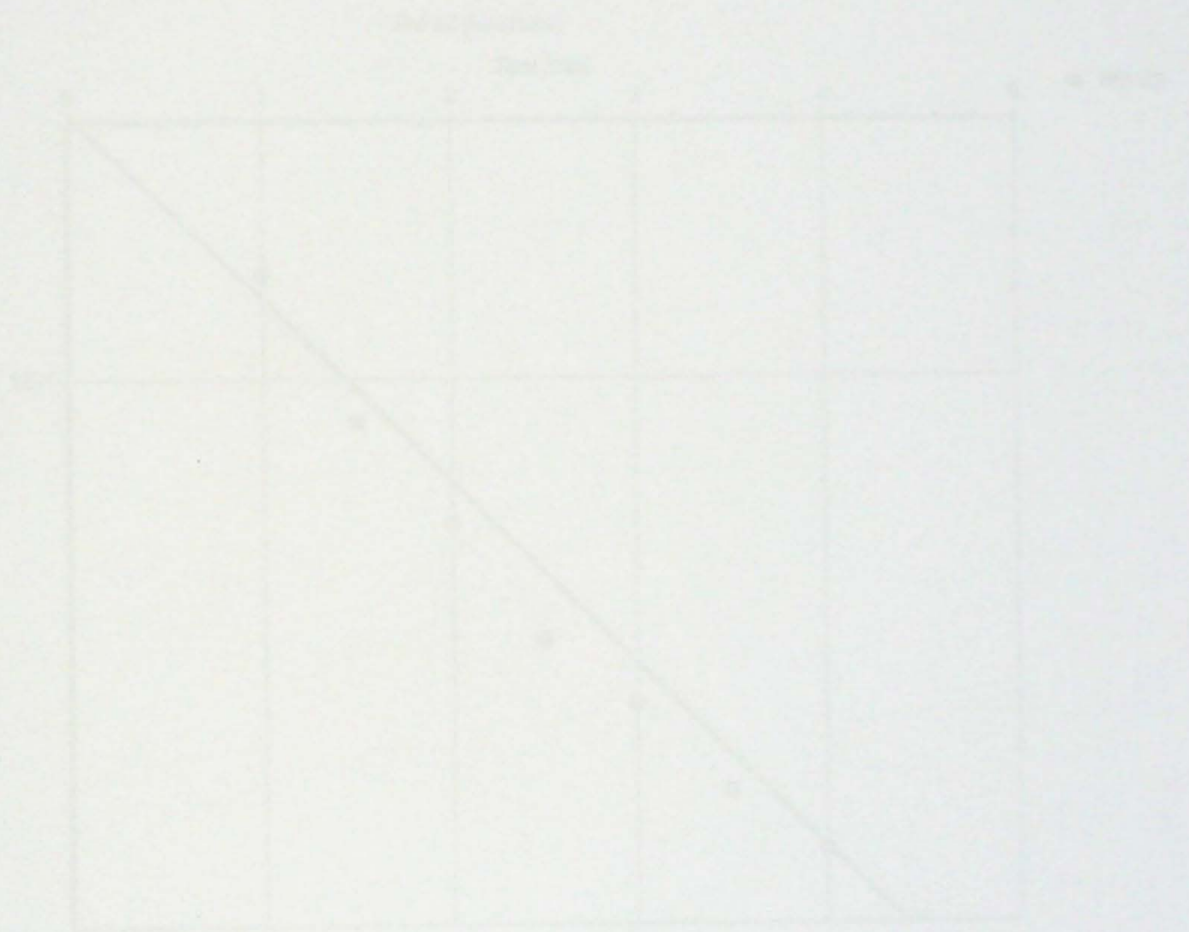
Assinado por:

Data de teste: 10/02/2010

Data de validação: 10/02/2010

Objetivo do teste: [objetivo]

Resumo do teste:



Concentração:

100 mg/L



TECNOHIDRO Projetos Ambientais S/C Ltda.
Rua Padre Francisco Libermann, 301
Vila São Francisco - São Paulo, SP

E-mail: tecnohidro@tecnohidro.com.br

Análise de Slug Test

Nu

Projeto: Avaliação de Risco Toxicológico

Cliente:

Local: Praia Grande/SP

Slug Test: PM-02

Poço: PM-02

Teste realizado por:

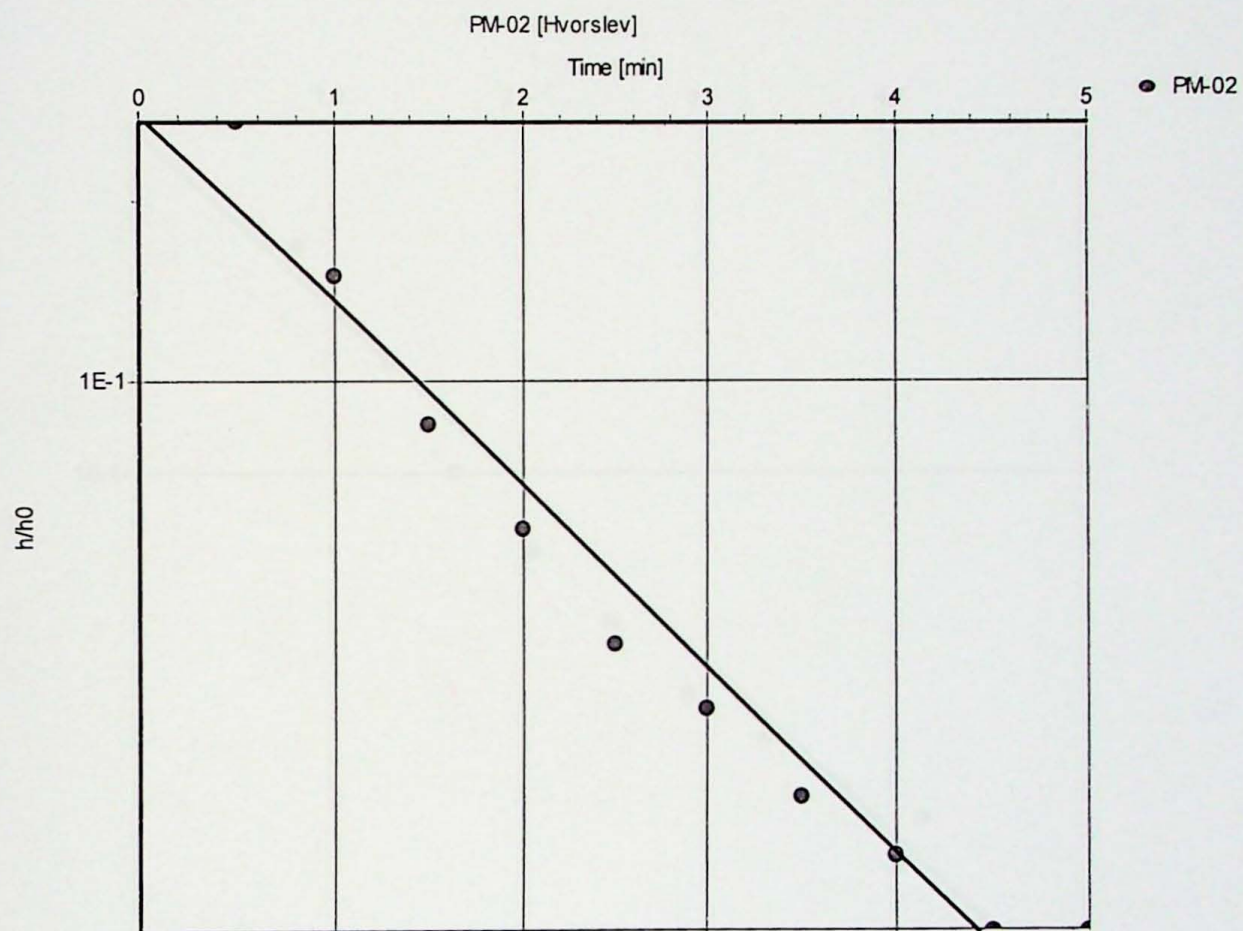
Data do teste: Julho/2005

Avaliado por:

Data de avaliação: Julho/2005

Método de análise: Hvorslev

Espessura do aquífero:



Condutividade: 4,18E-6 [m/s]



TECNOHIDRO Projetos Ambientais S/C Ltda.
Rua Padre Francisco Libermann, 301
Vila São Francisco - São Paulo, SP
E-mail: tecnohidro@tecnohidro.com.br

Análise de Slug Test

Nu

Projeto: Avaliação de Risco Toxicológico

Cliente:

Local: Praia Grande/SP

Slug Test: PM-03

Poço: PM-03

Teste realizado por:

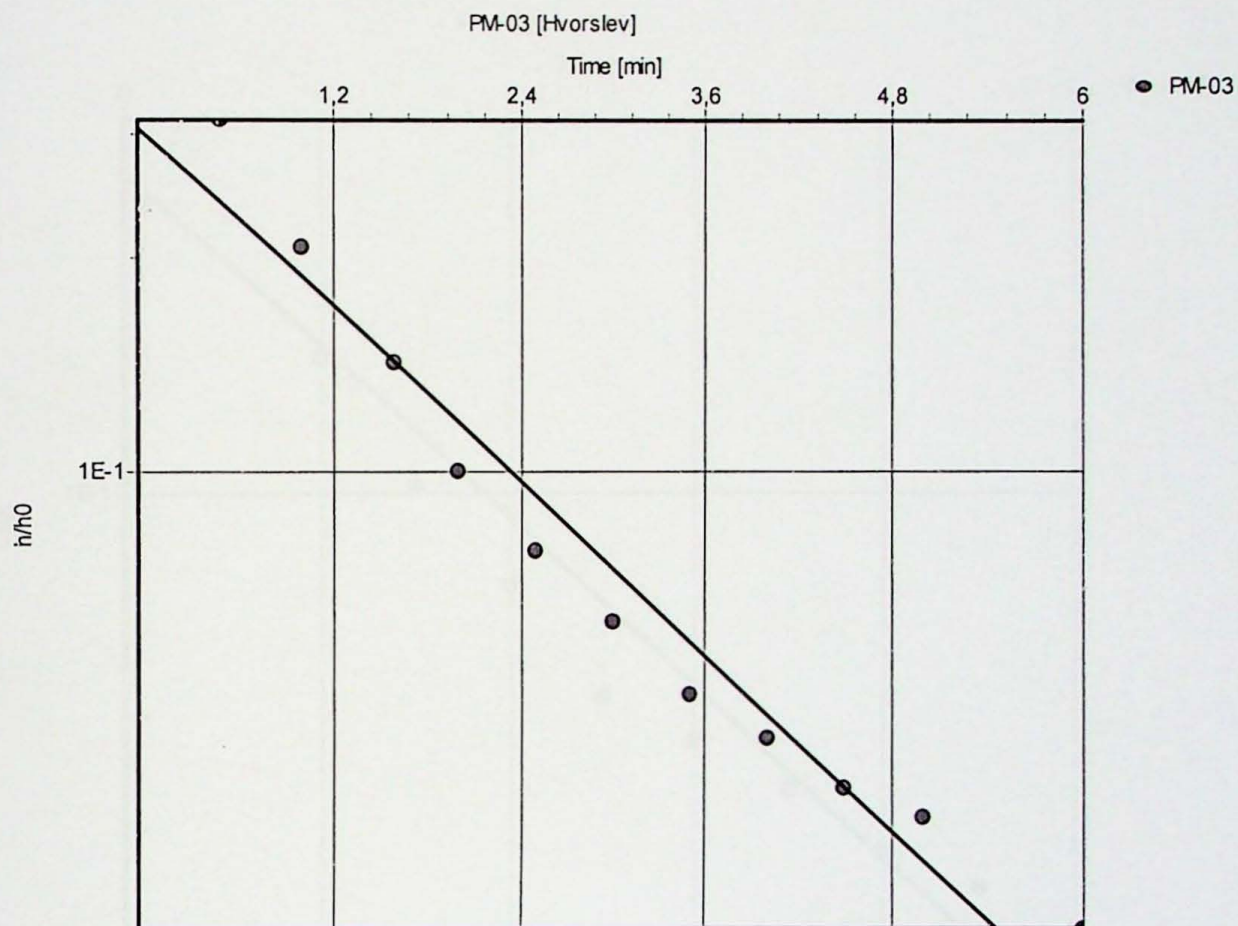
Data do teste: Julho/2005

Avaliado por:

Data de avaliação: Julho/2005

Método de análise: Hvorslev

Espessura do aquífero:



Condutividade: 2,81E-6 [m/s]



TECNOHIDRO Projetos Ambientais S/C Ltda.
Rua Padre Francisco Libermann, 301
Vila São Francisco - São Paulo, SP
E-mail: tecnohidro@tecnohidro.com.br

Análise de Slug Test

Nu

Projeto: Avaliação de Risco Toxicológico

Cliente:

Local: Praia Grande/SP

Slug Test: PM-04

Poço: PM-04

Teste realizado por:

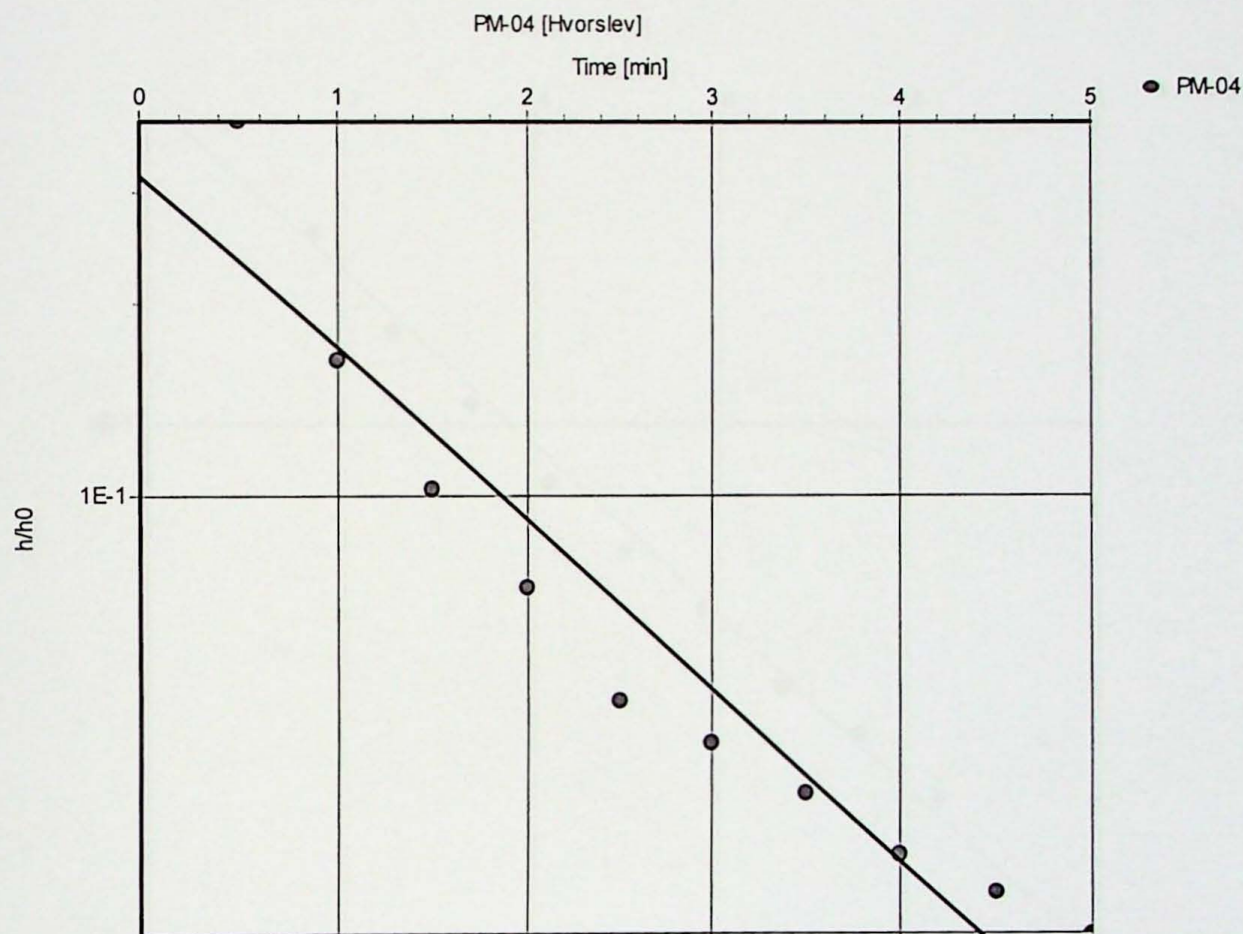
Data do teste: Julho/2005

Avaliado por:

Data de avaliação: Julho/2005

Método de análise: Hvorslev

Espessura do aquífero:



Condutividade: 3,66E-6 [m/s]



TECNOHIDRO Projetos Ambientais S/C Ltda.
Rua Padre Francisco Libermann, 301
Vila São Francisco - São Paulo, SP
E-mail: tecnohidro@tecnohidro.com.br

Análise de Slug Test

Nu

Projeto: Avaliação de Risco Toxicológico

Cliente:

Local: Praia Grande/SP

Slug Test: PM-05

Poço: PM-05

Teste realizado por:

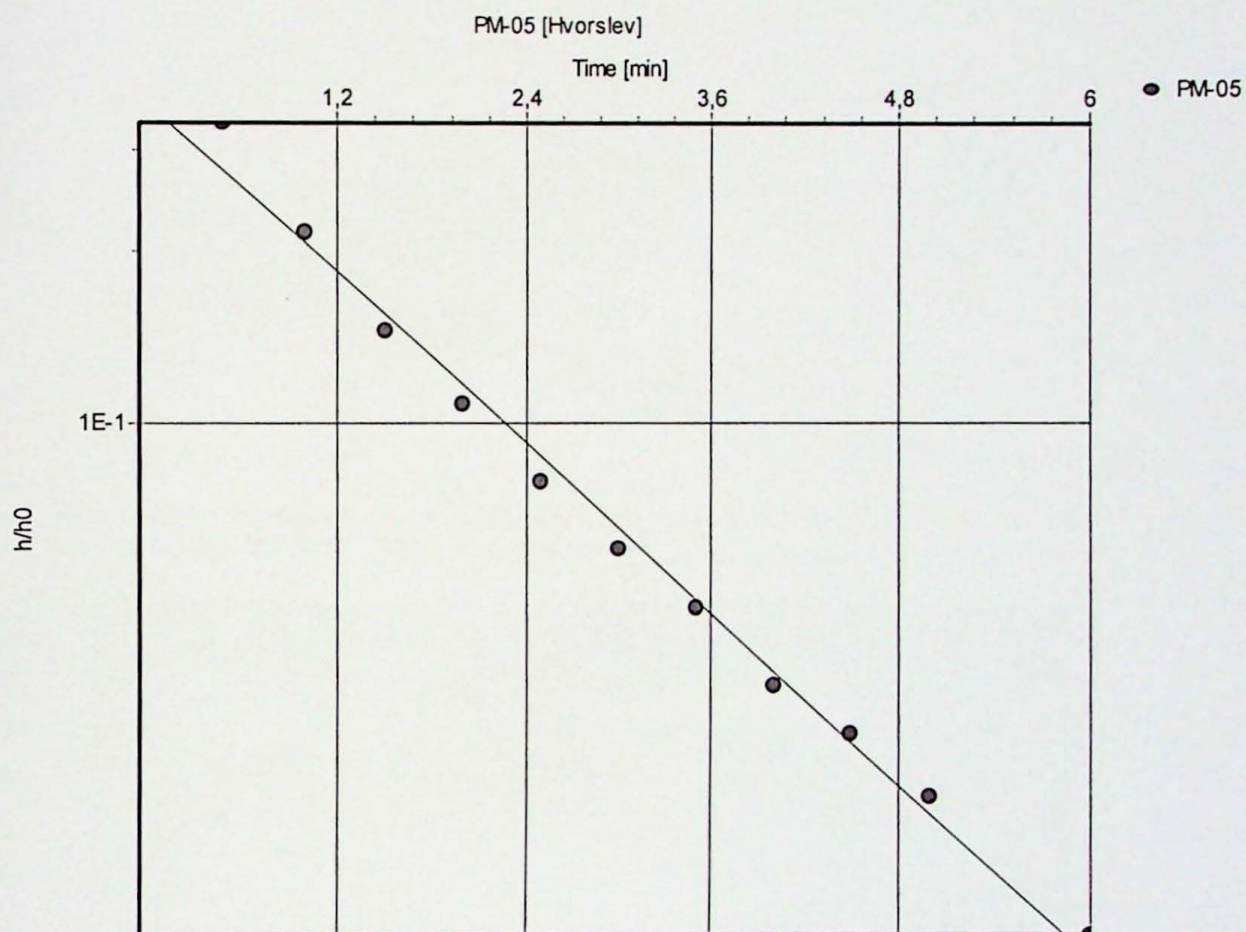
Data do teste: Julho/2005

Avaliado por:

Data de avaliação: Julho/2005

Método de análise: Hvorslev

Espessura do aquífero:



Condutividade: 3,41E-6 [m/s]

Anexo D – Figuras

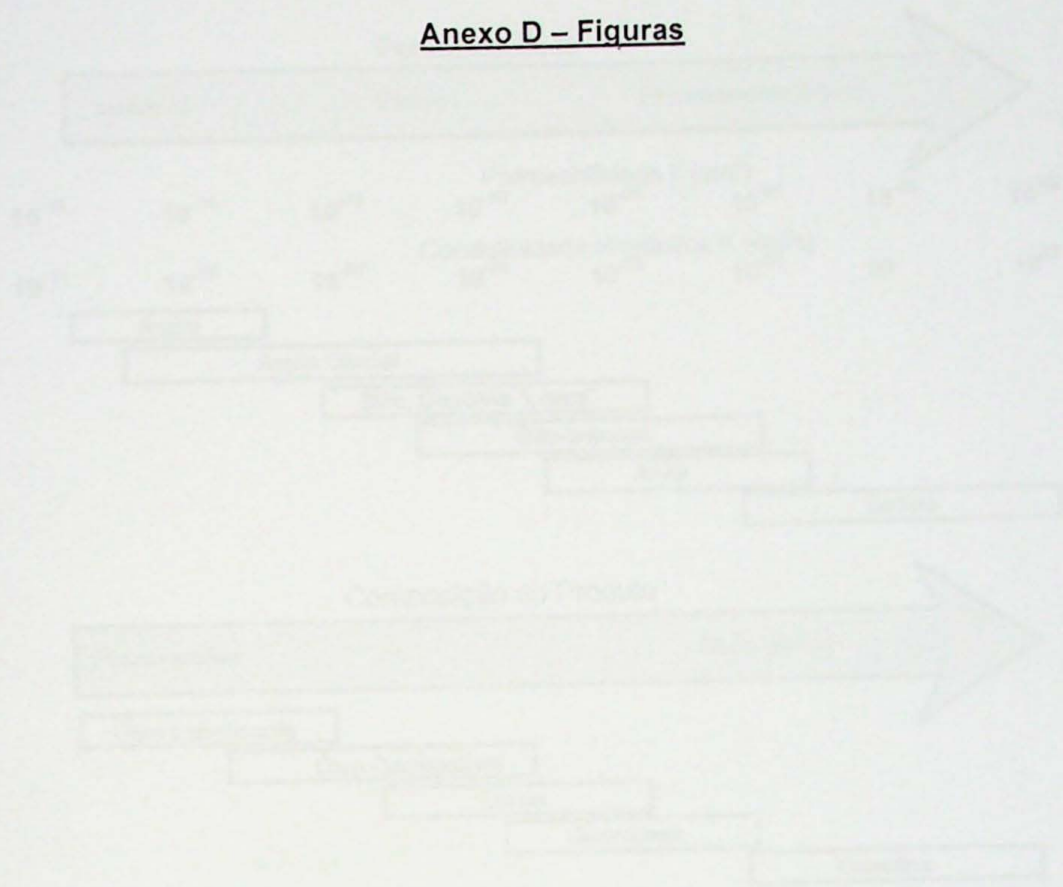


Figura 8.3 – Transferência de conhecimento tácito e explícito: os processos de transferência de conhecimento. Adaptado de: [1]

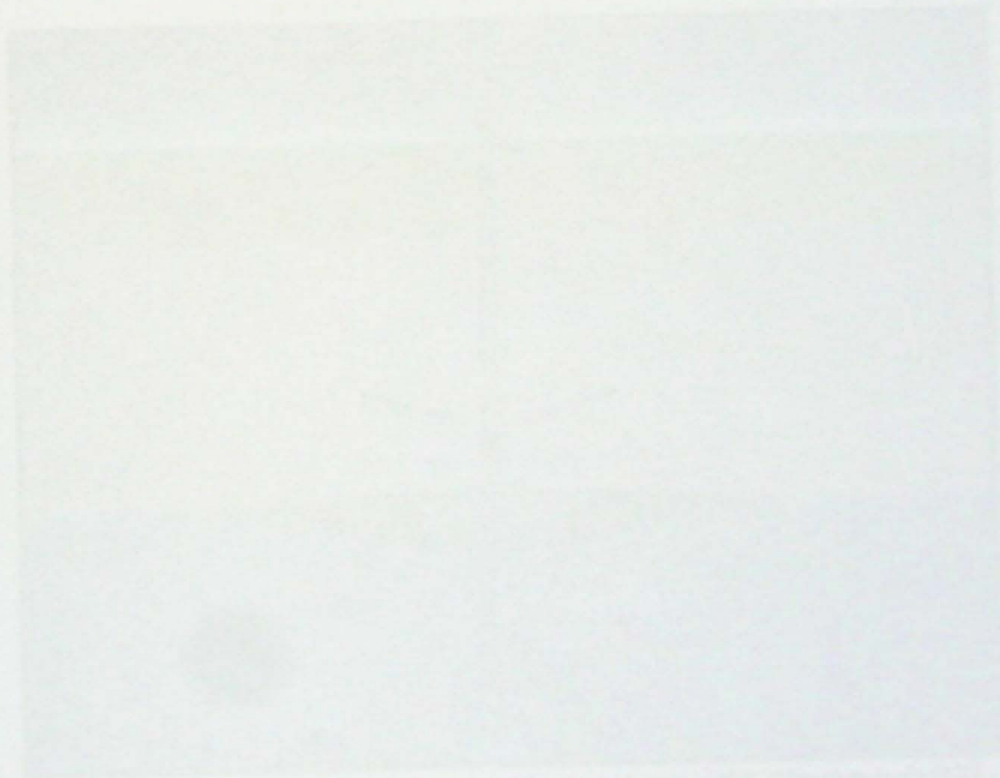


Figura 8.4 – Diagrama de fluxo do processo de transferência de conhecimento. Adaptado de: [1]

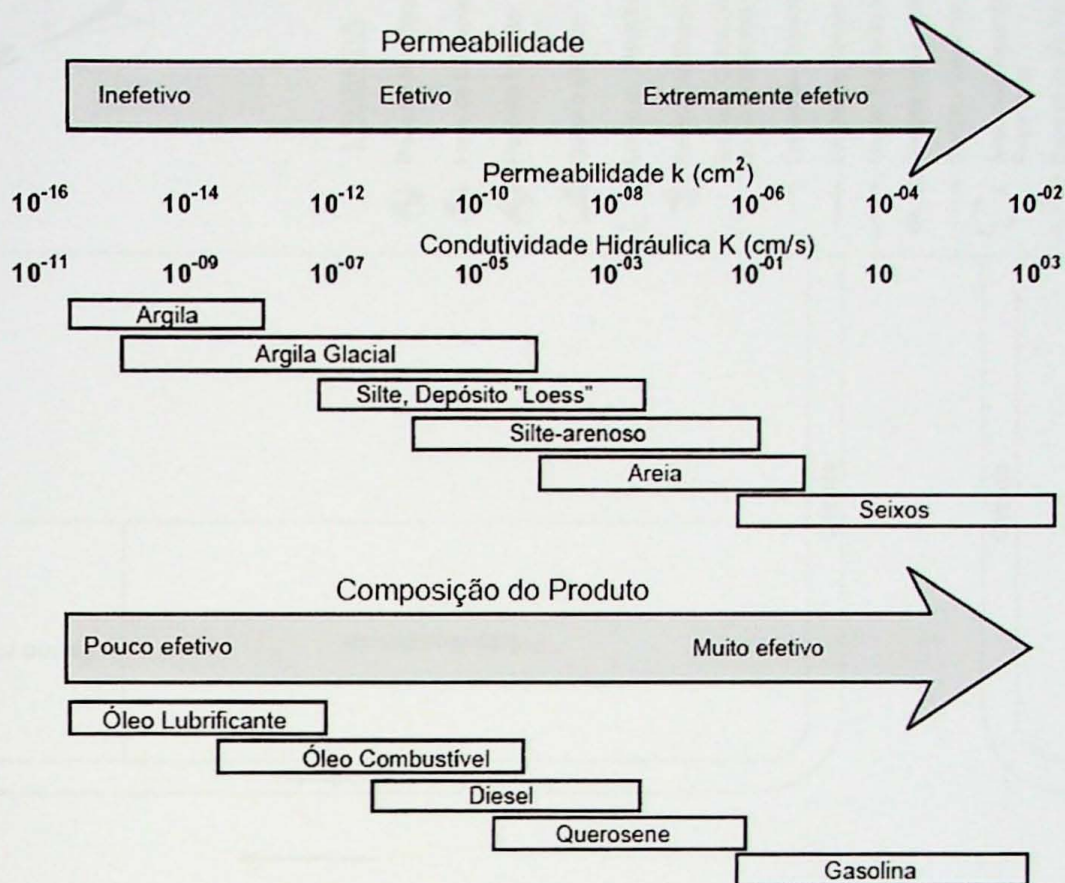


Figura 5.2 – Relação da efetividade do sistema com as características do meio e a composição do produto. Modificado de USEPA, 1995.

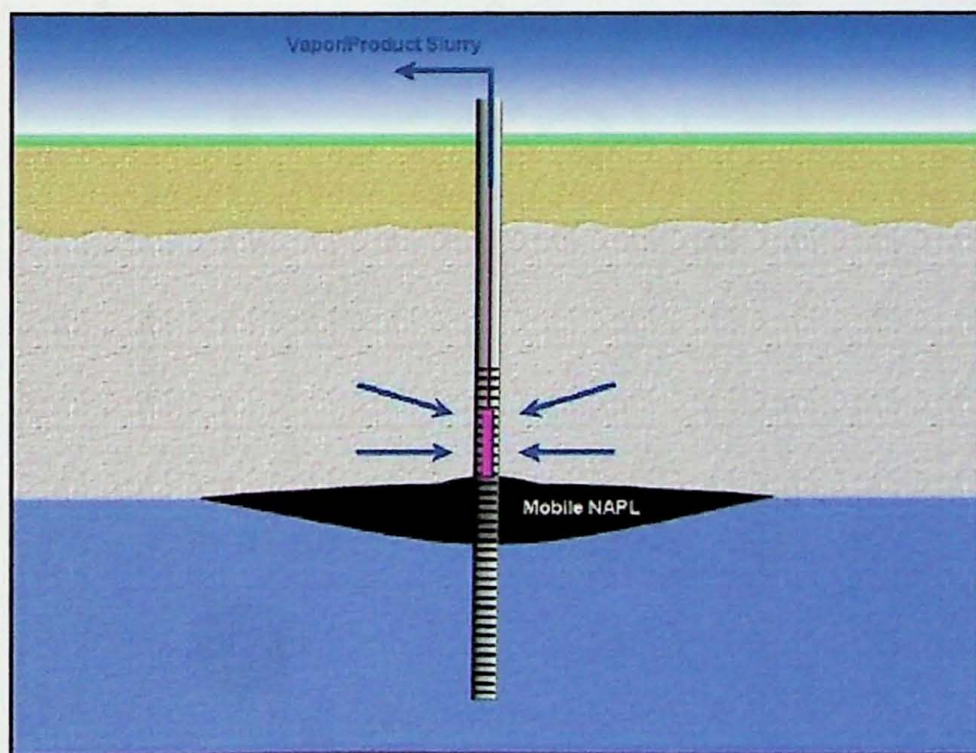
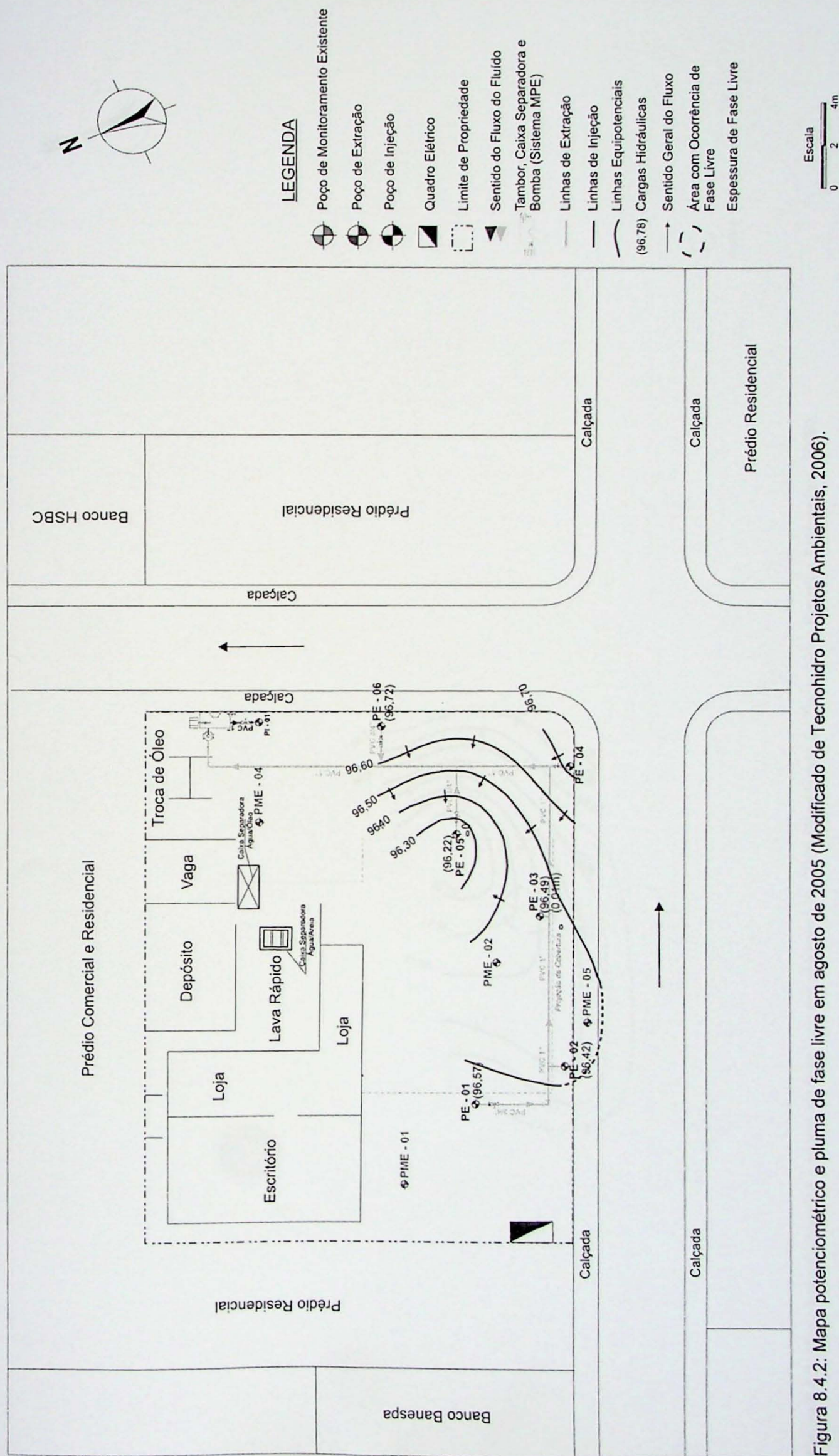


Figura 5.2 – Design típico de um poço de extração para sistema MPE ("bioslurping") (API, 2004 – Interactive LNAPL Guide).



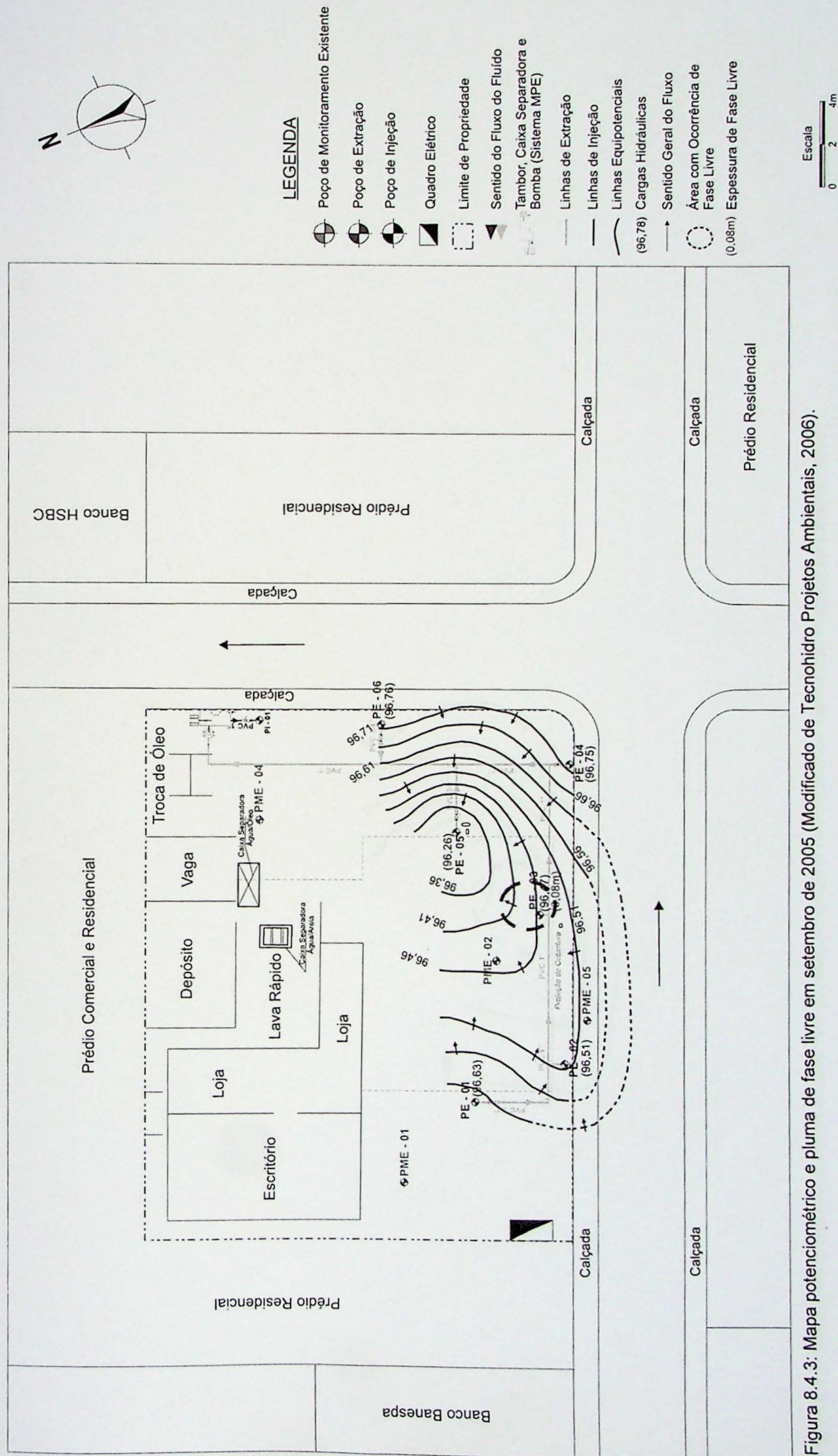
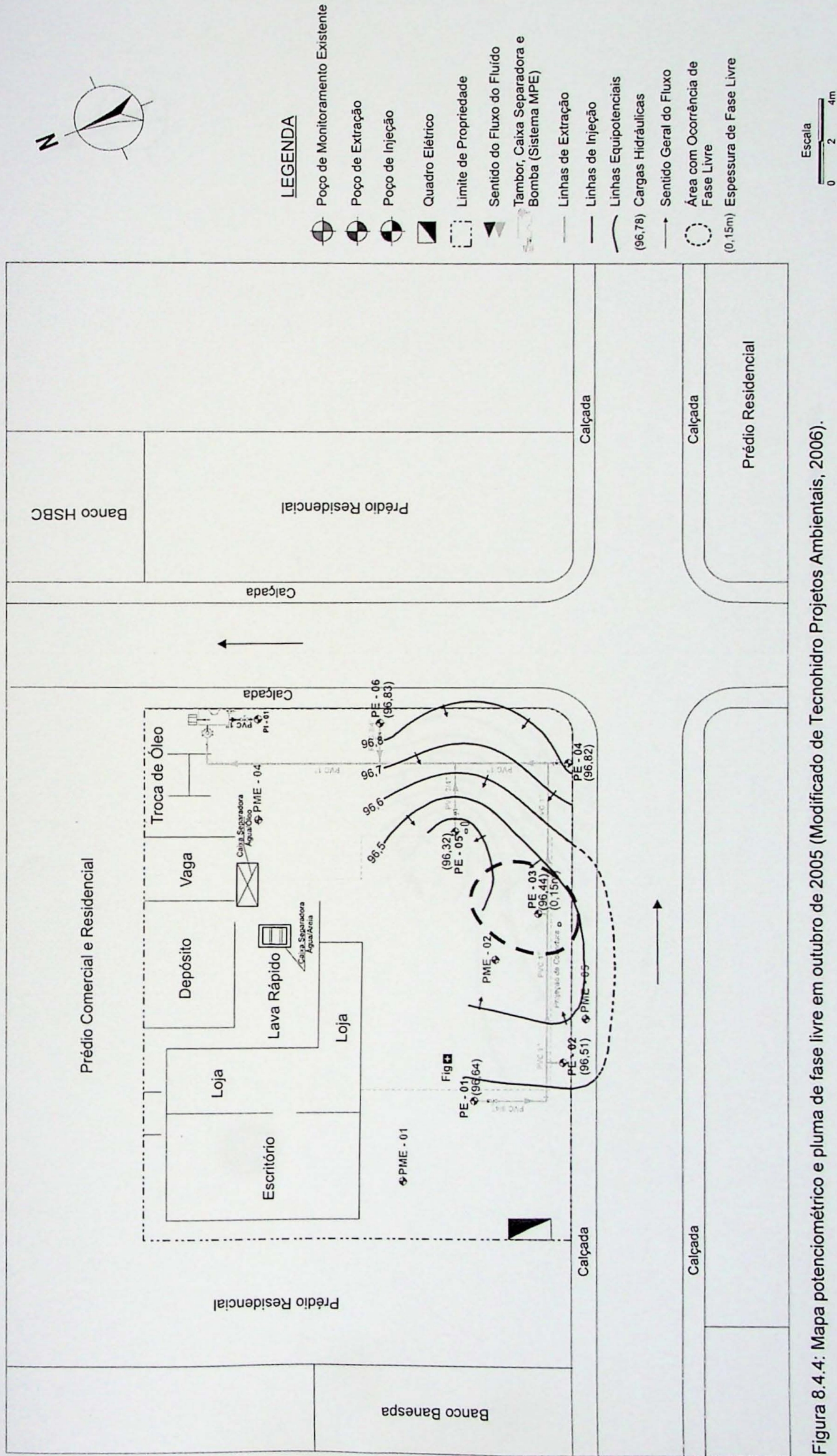


Figura 8.4.3: Mapa potenciométrico e pluma de fase livre em setembro de 2005 (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).



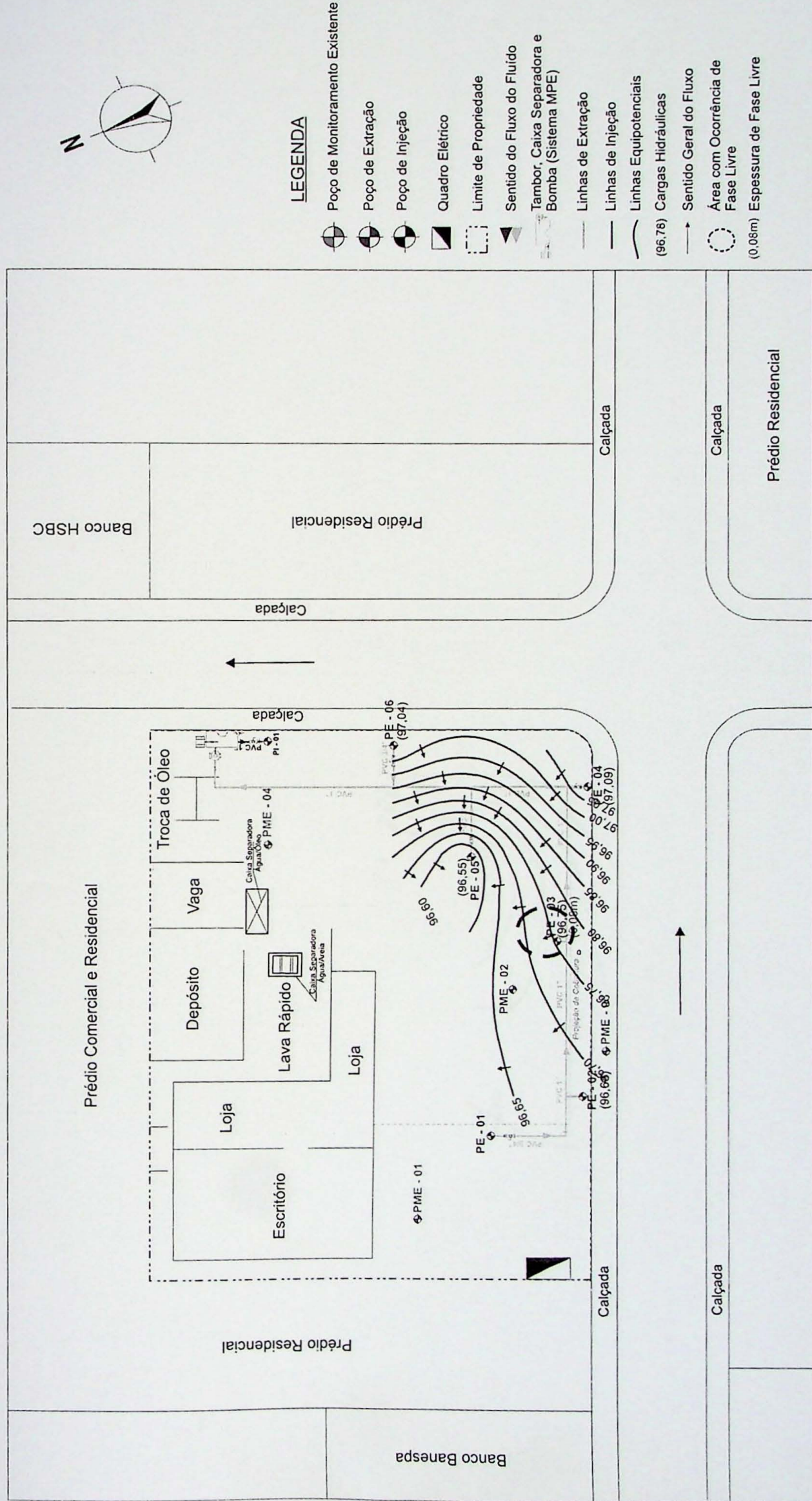


Figura 8.4.5: Mapa potenciométrico e pluma de fase livre em novembro de 2005 (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).

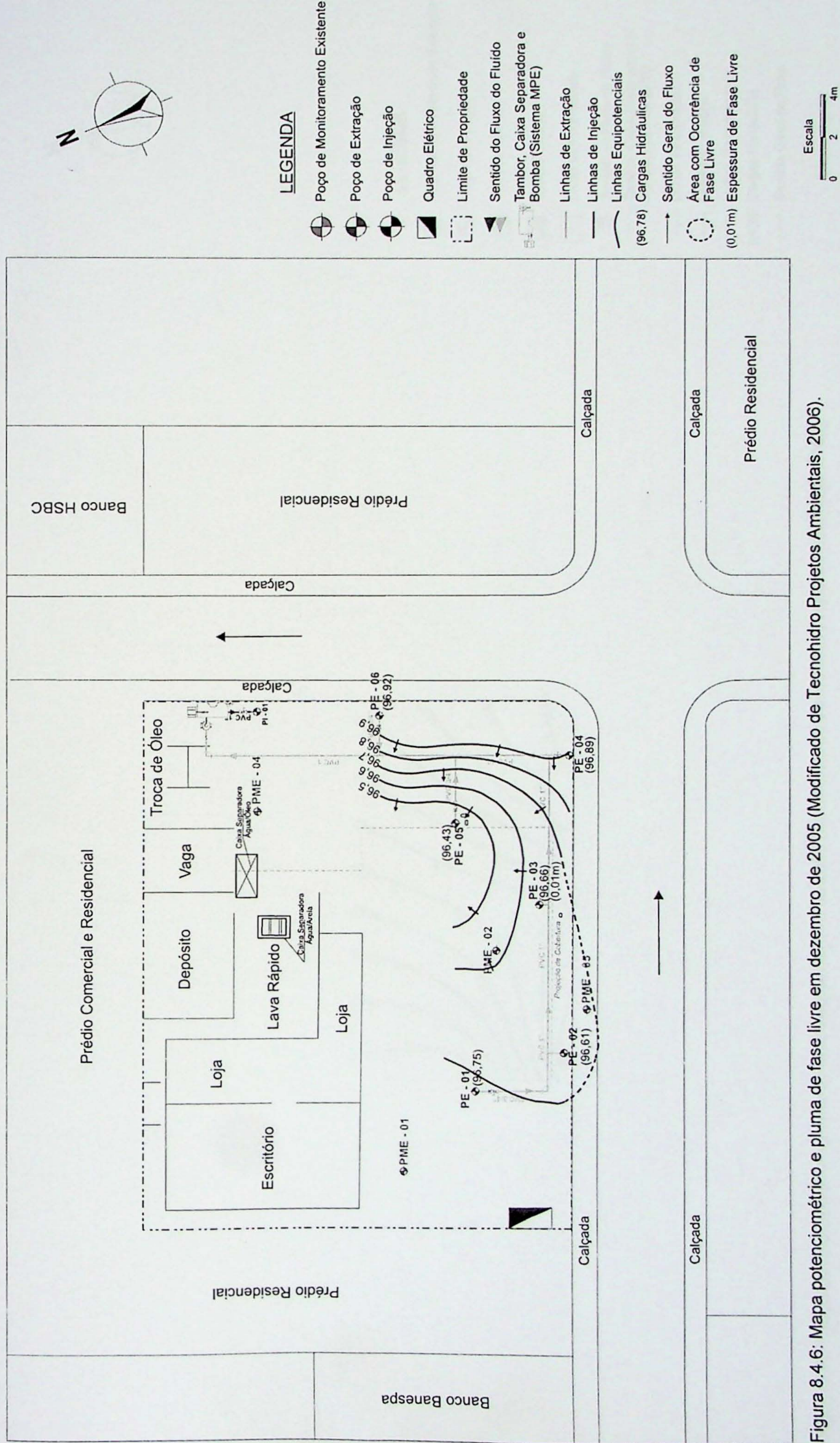
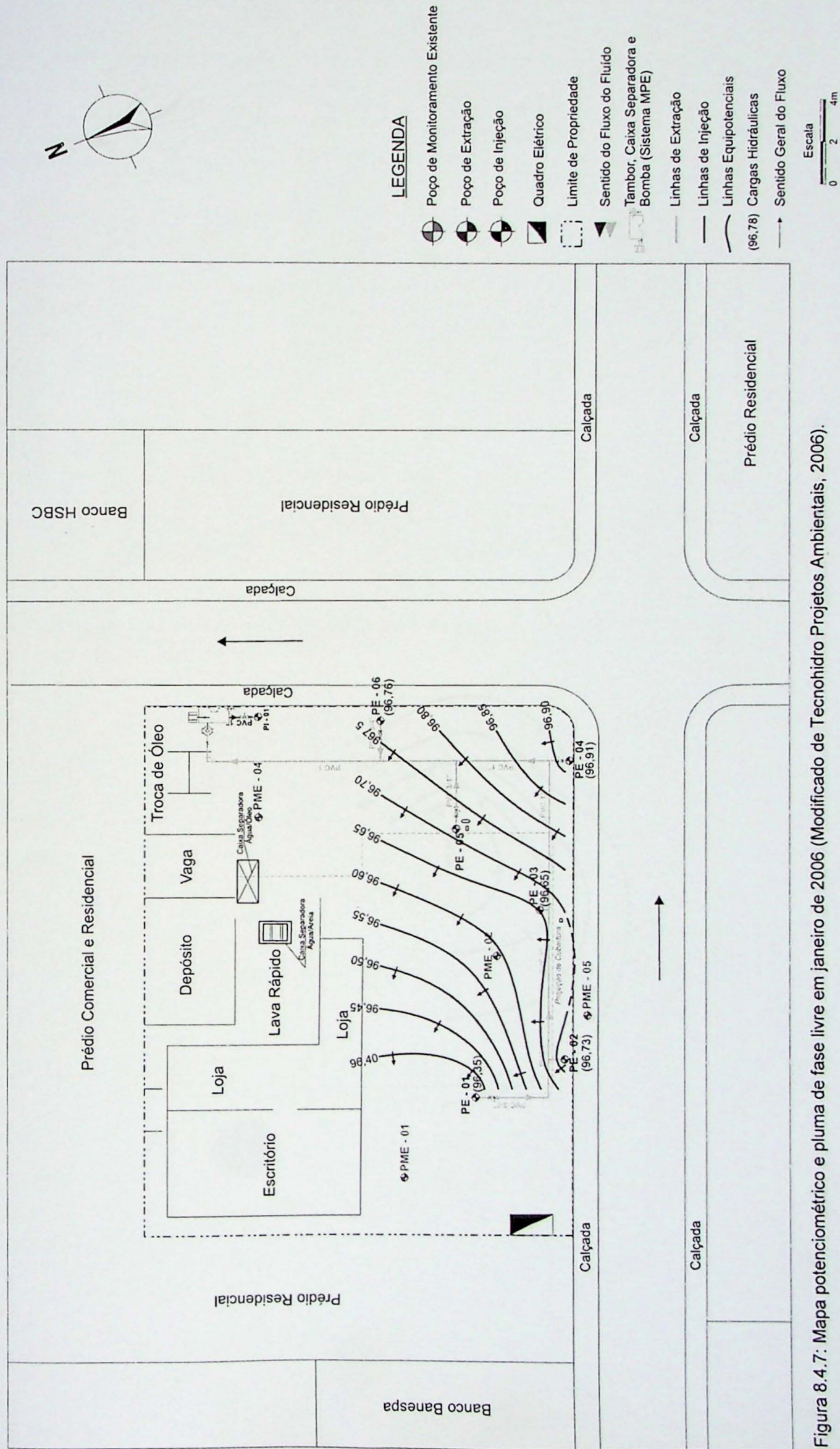


Figura 8.4.6: Mapa potenciométrico e pluma de fase livre em dezembro de 2005 (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).



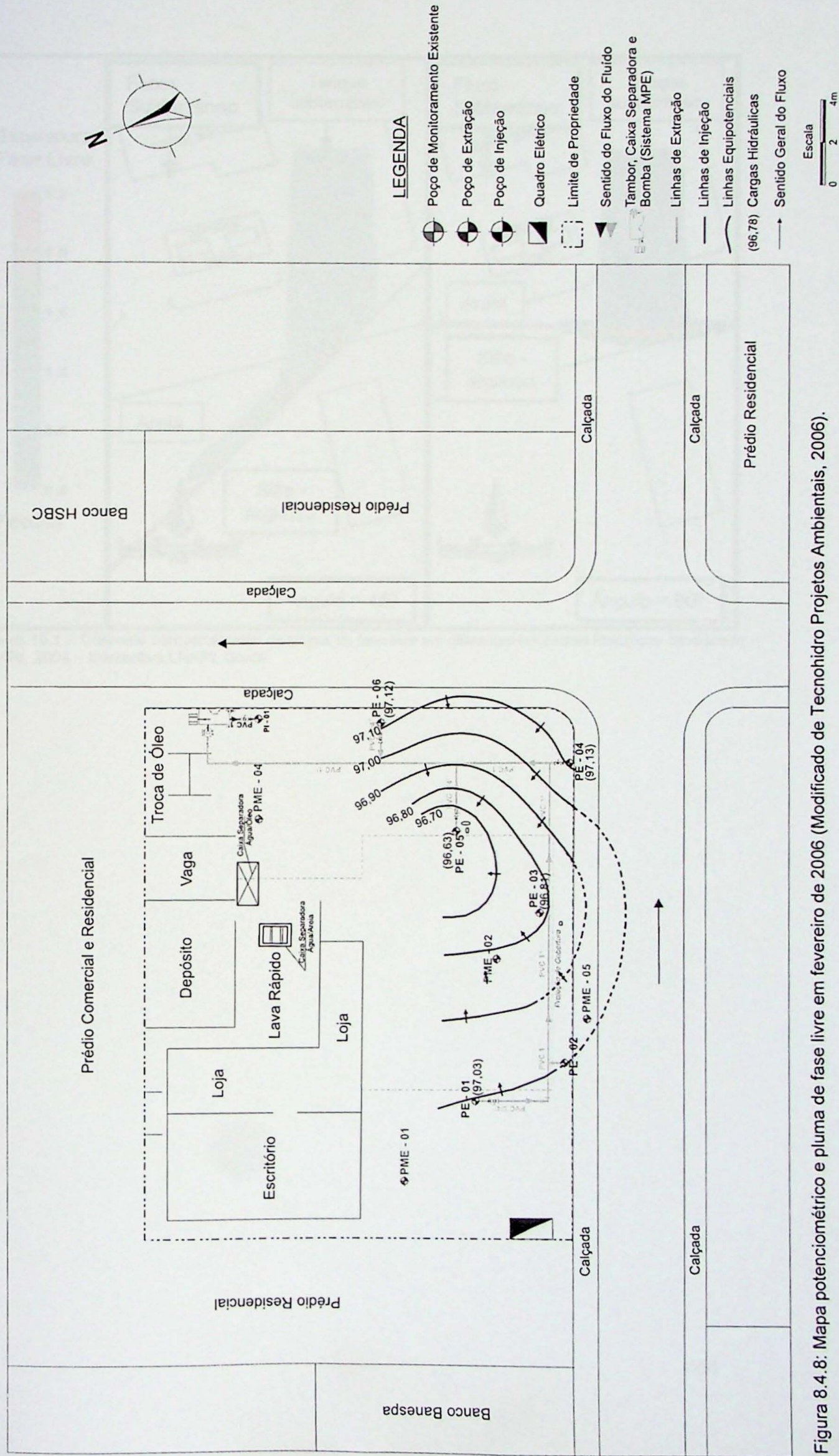


Figura 8.4.8: Mapa potenciométrico e pluma de fase livre em fevereiro de 2006 (Modificado de Tecnohidro Projetos Ambientais, 2006).

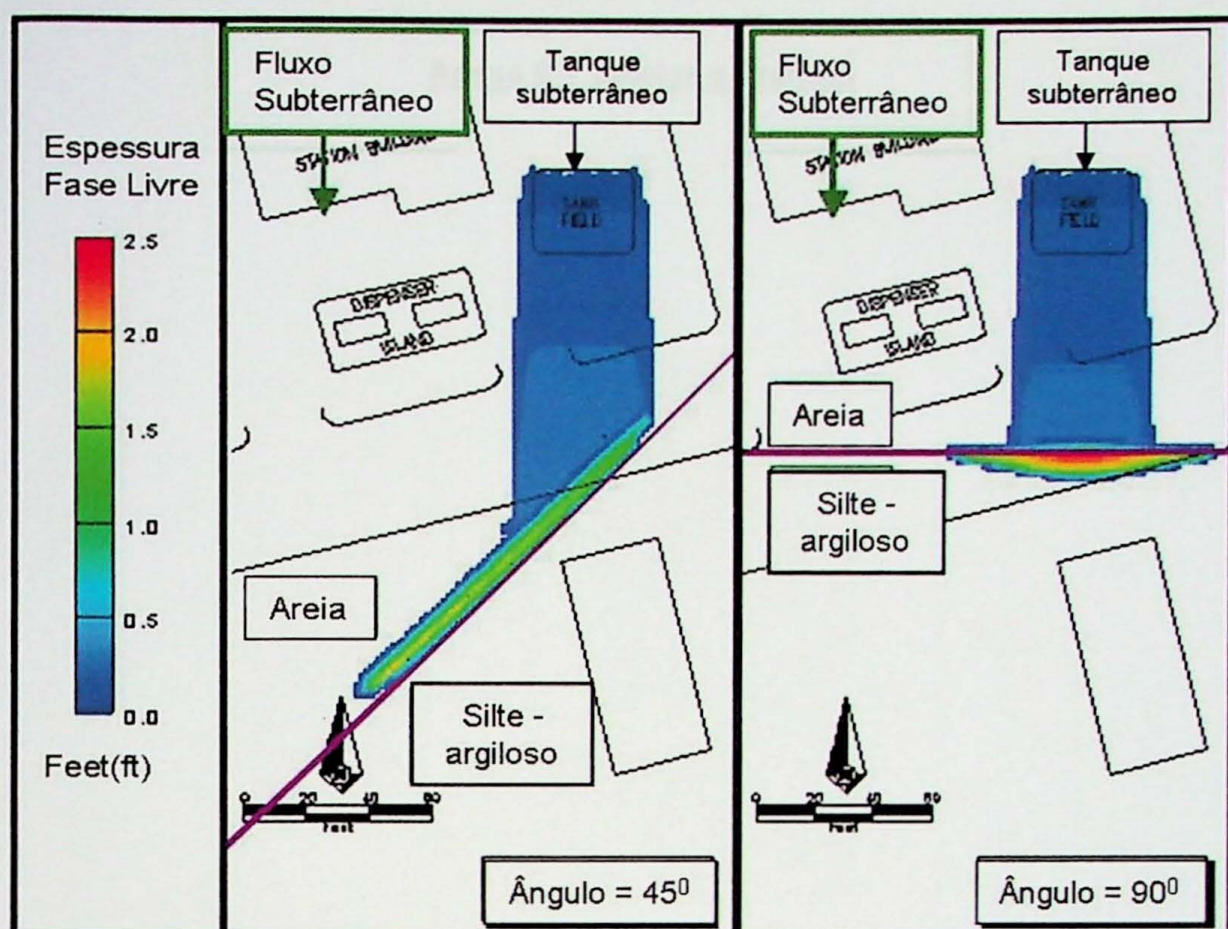


Figura 10.1 – Diferente comportamento da pluma de fase livre em diferentes horizontes litológicos. Modificado de API, 2004 – Interactive LNAPL Guide.

Tabela 8.5: Dados do teste piloto.

Monitoramento 01					Monitoramento 02				Monitoramento 03				Monitoramento 04			
Poço	N.A	esp FL	VOC		N.A	esp FL	Vácuo		N.A	esp FL	Vácuo		N.A	esp FL	Vácuo	VOC
PE-01	3,14	0	10000		3,13	0	0		3,14	0	0		3,14	0	0	8940
PE-02	3,13	0	10000		3,13	0	0		3,15	0	0		3,19	0	0	3440
PE-03	3,14	0,05	10000		4,06	0,02	260		4,12	0,01	245		4,10	0	210	0
PE-04	2,96	0,01	10000		2,95	0,01	0		2,96	0,01	0		2,93	0,01	0	6280
PE-05	3,04	0	10000		3,04	0	0		3,13	0	0		3,36	0	0	160
PE-06	2,87	0	10000		2,86	0	0		2,87	0	0		2,87	0	0	8640
PME-02	2,96	0,03	10000		3,01	0,03	0		3,06	0,03	0		3,12	0,02	0	0
PME-05	2,82	0	10000		2,82	0	0		2,90	0	0		3,08	0	0	2840
Hora: 08:00h					Hora: 10:00h				Hora: 14:00h				Hora: 18:00h			

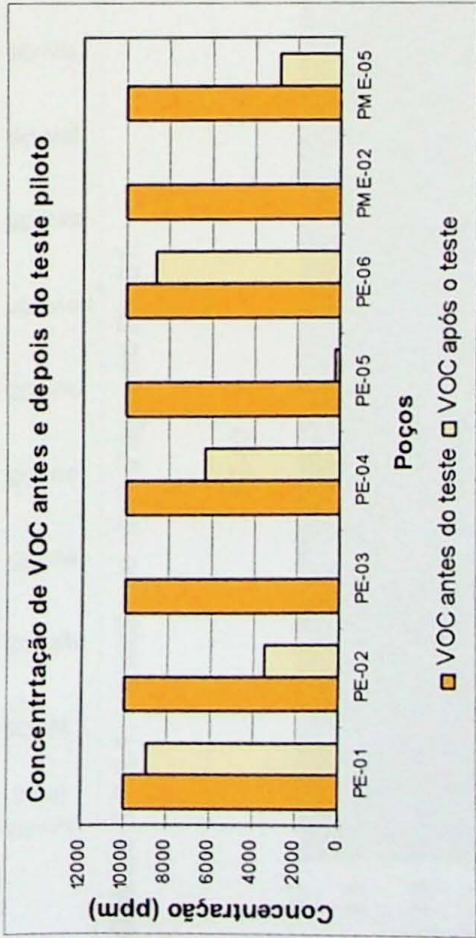


Gráfico 8.5.1: Valores de VOC antes e depois do teste piloto.

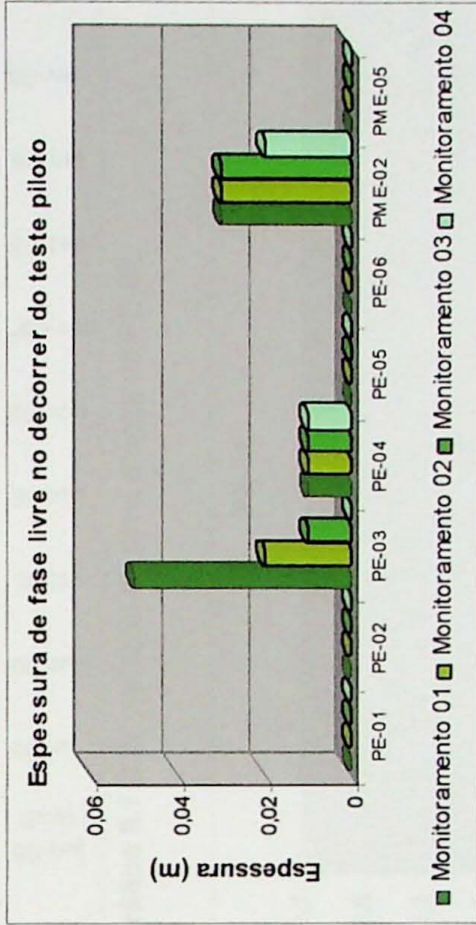


Gráfico 8.5.2: Variação da espessura de fase livre durante a realização do teste piloto.

Tabela 8.7.4: Medidas de vácuo nos meses de operação do sistema.

Pontos	Vácuo (mmHg)									
	jul-05	ago-05	set-05	out-05	nov-05	dez-05	jan-06	fev-06		
PE-01	250	140	180	110	-	-	-	-		
PE-02	170	140	110	130	-	-	-	-		
PE-03	210	180	200	170	160	190	140	180		
PE-04	100	80	120	100	120	90	110	80		
PE-05	110	160	140	170	200	210	170	180		
PE-06	150	90	100	140	-	-	-	-		

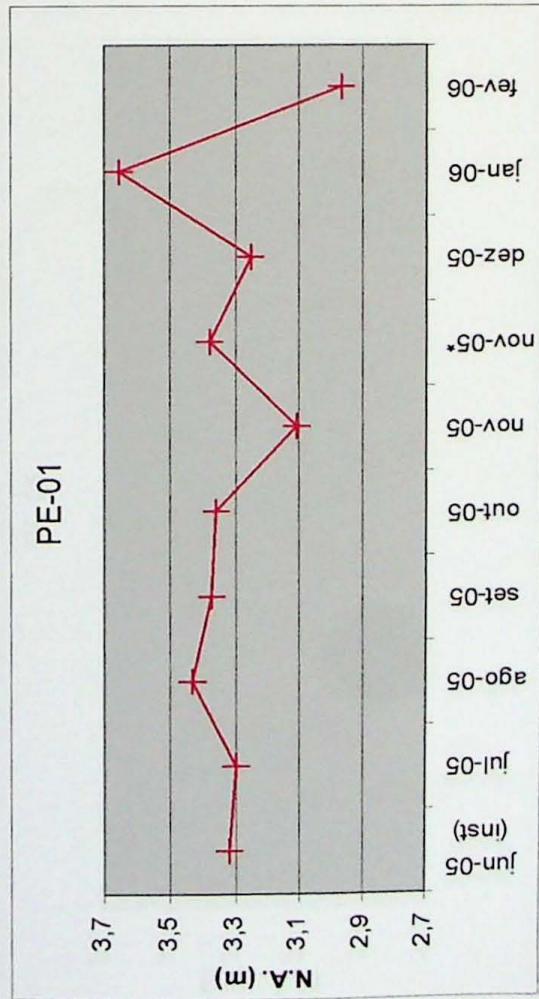


Gráfico 8.7.2.1: Variação do nível d'água no PE-01.

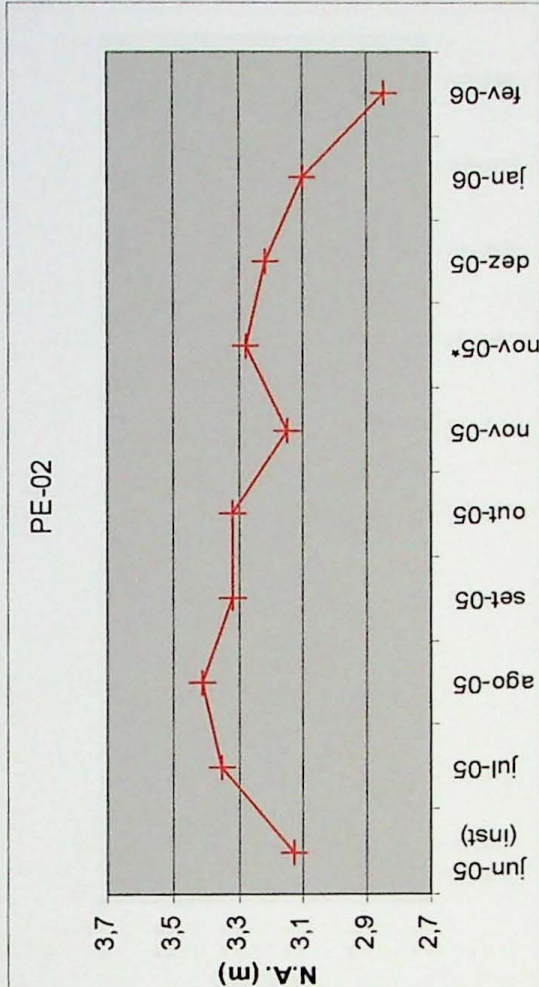


Gráfico 8.7.2.2: Variação do nível d'água no PE-02.

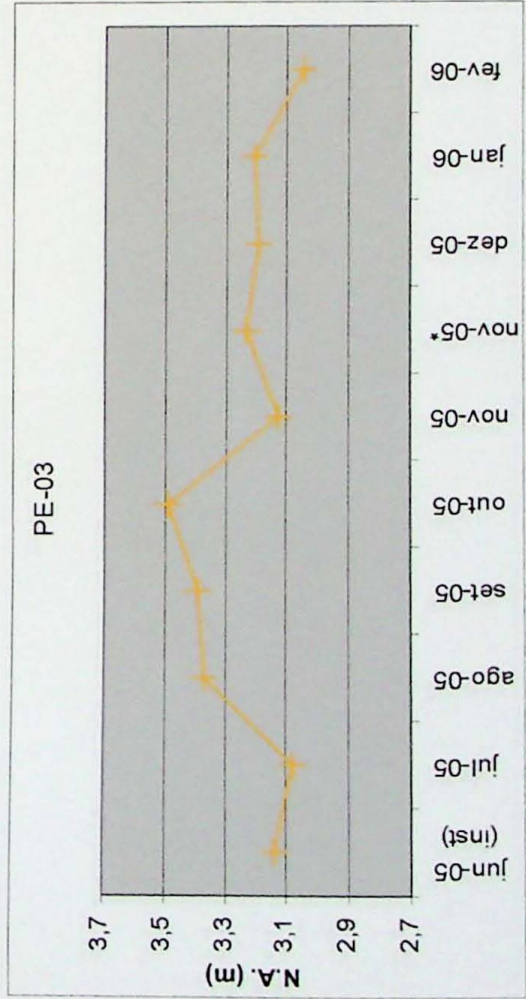


Gráfico 8.7.2.3: Variação do nível d'água no PE-03.

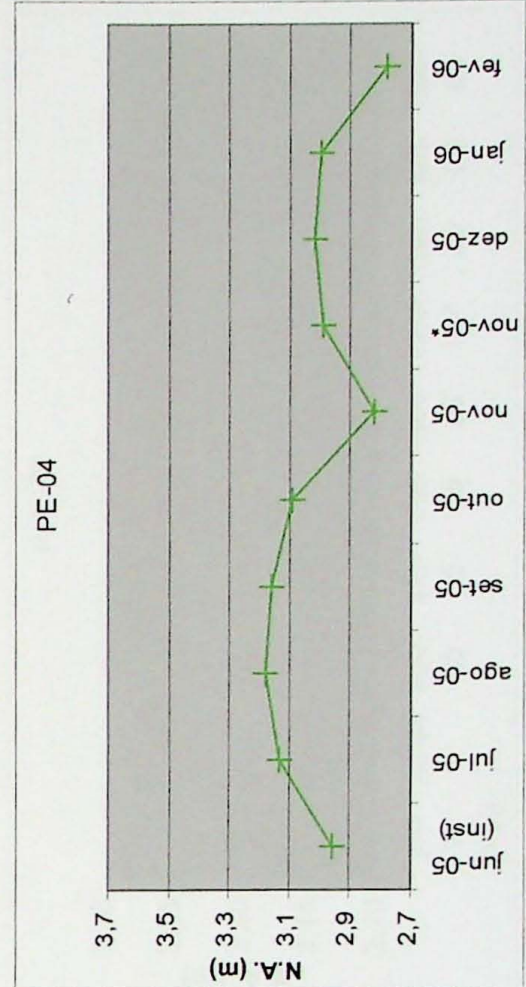


Gráfico 8.7.2.4: Variação do nível d'água no PE-04.

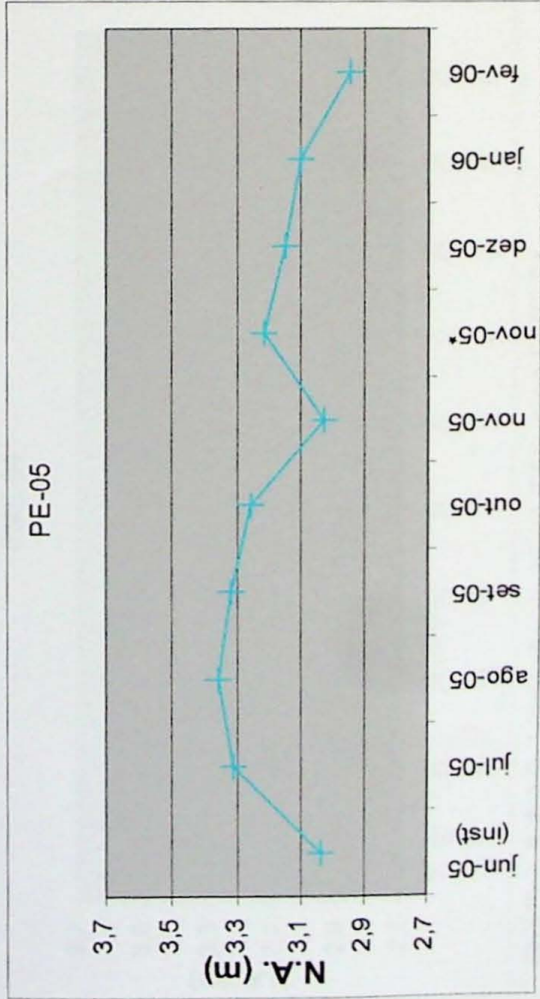


Gráfico 8.7.2.5: Variação do nível d'água no PE-05.

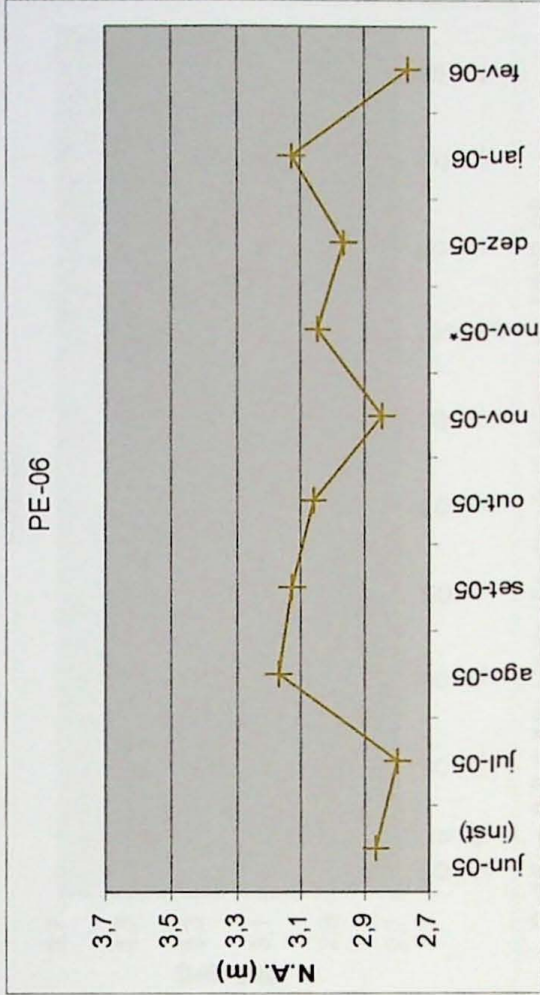


Gráfico 8.7.2.6: Variação do nível d'água no PE-06.

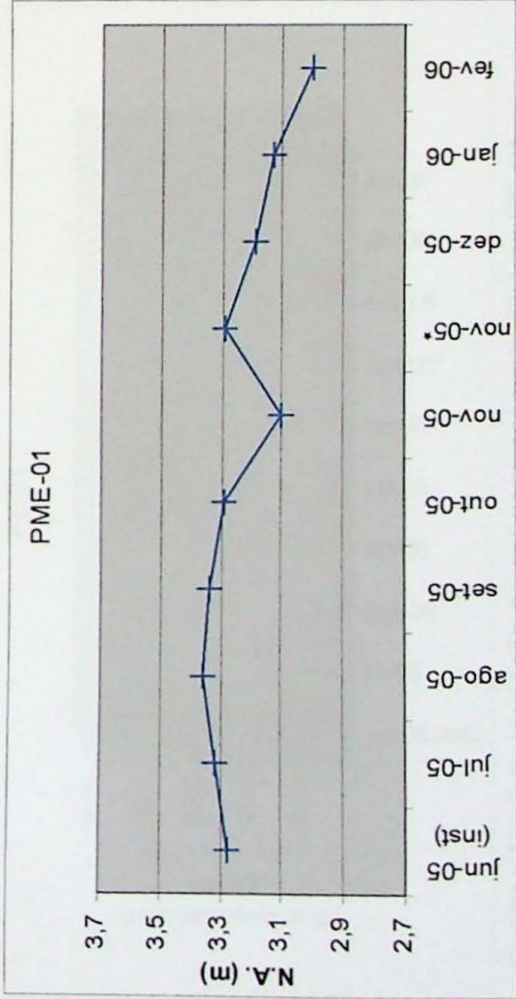


Gráfico 8.7.2.7: Variação do nível d'água no PME-01.

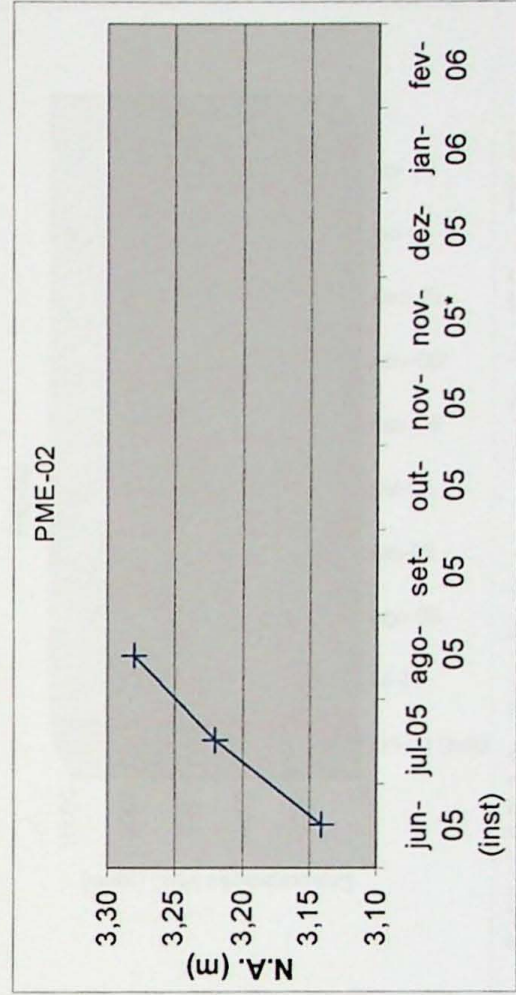


Gráfico 8.7.2.8: Variação do nível d'água no PME-02.

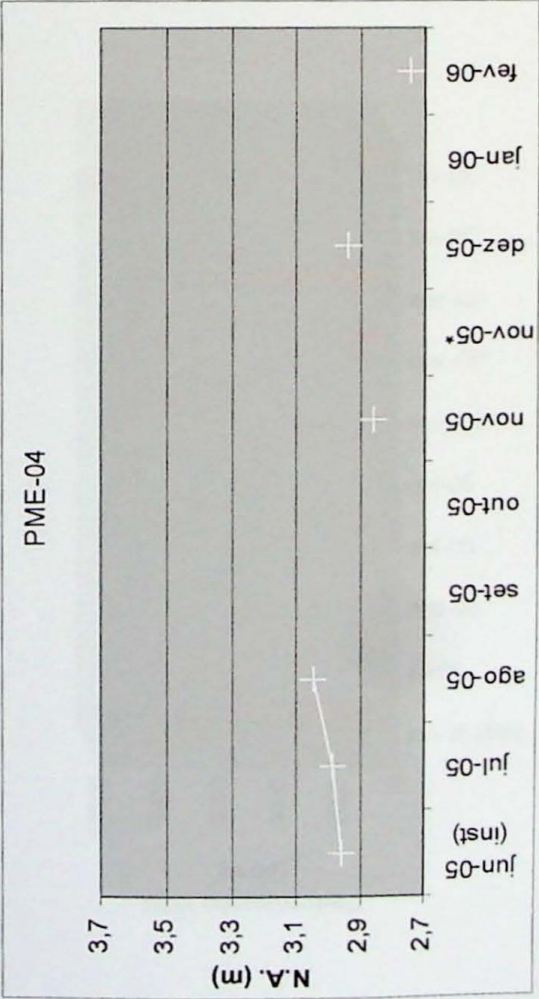


Gráfico 8.7.2.9: Variação do nível d'água no PME-04.

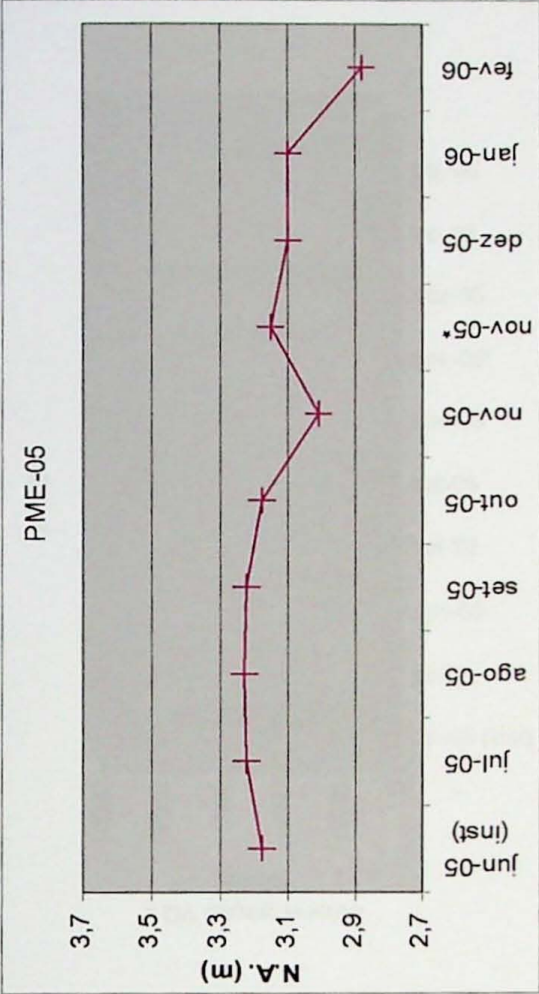


Gráfico 8.7.2.10: Variação do nível d'água no PME-05.

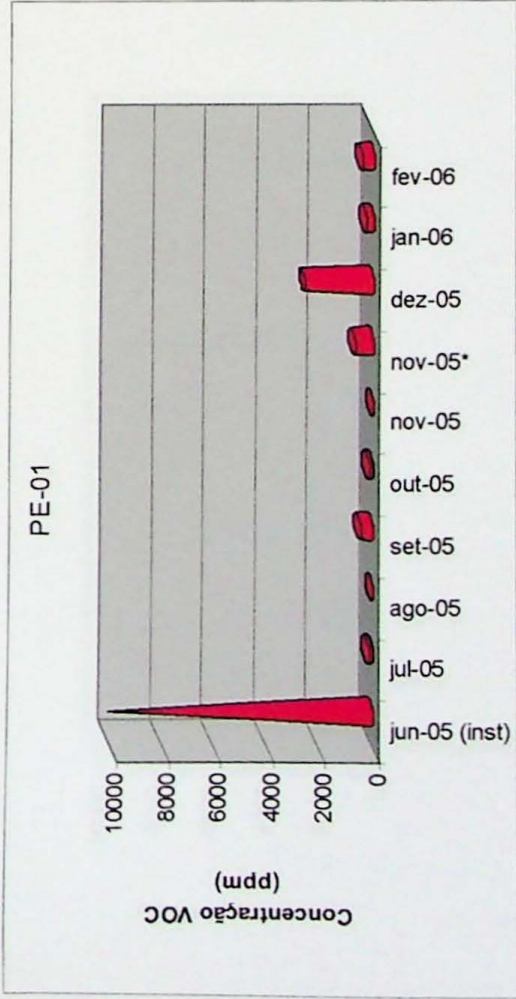


Gráfico 8.7.3.1: Variação da concentração de VOC no PE-01.

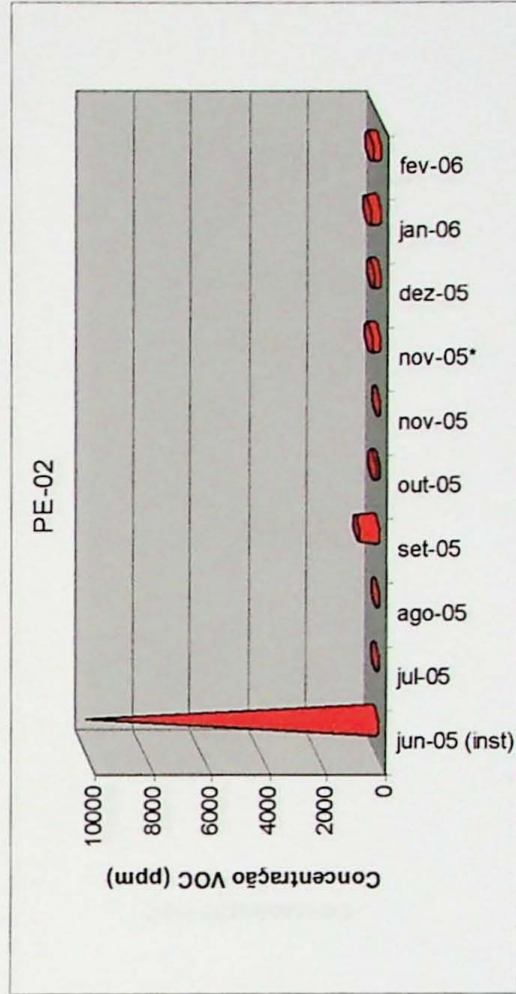


Gráfico 8.7.3.2: Variação da concentração de VOC no PE-02.

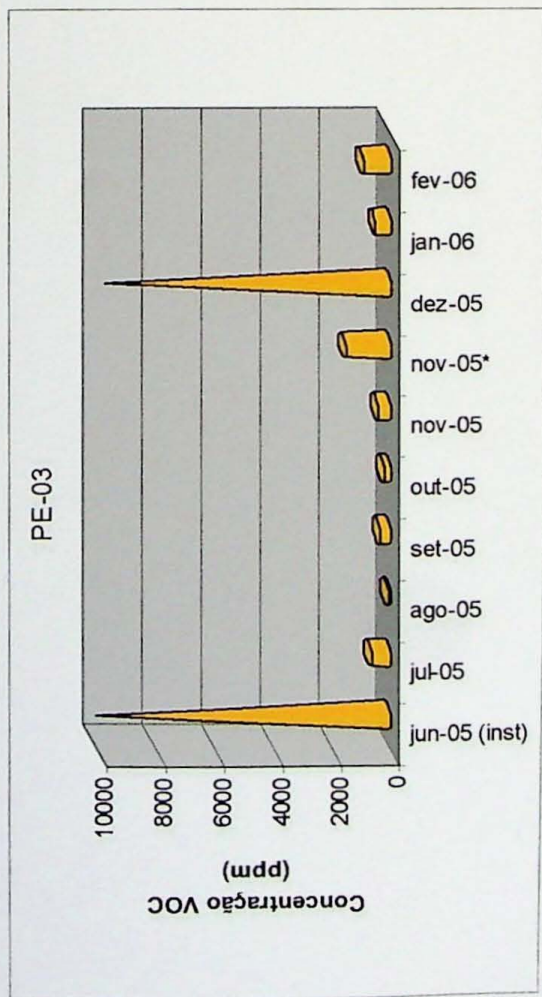


Gráfico 8.7.3.3: Variação da concentração de VOC no PE-03.

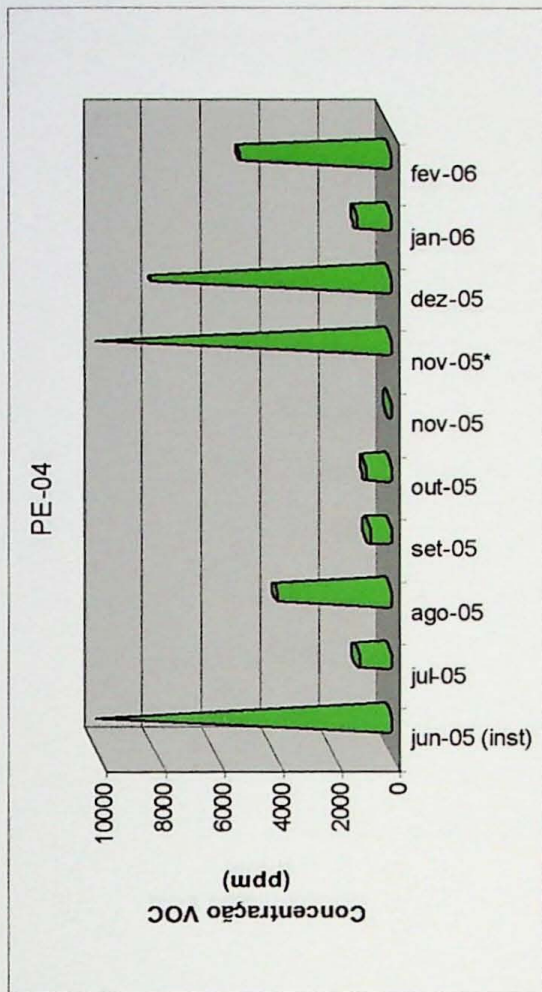


Gráfico 8.7.3.4: Variação da concentração de VOC no PE-04.

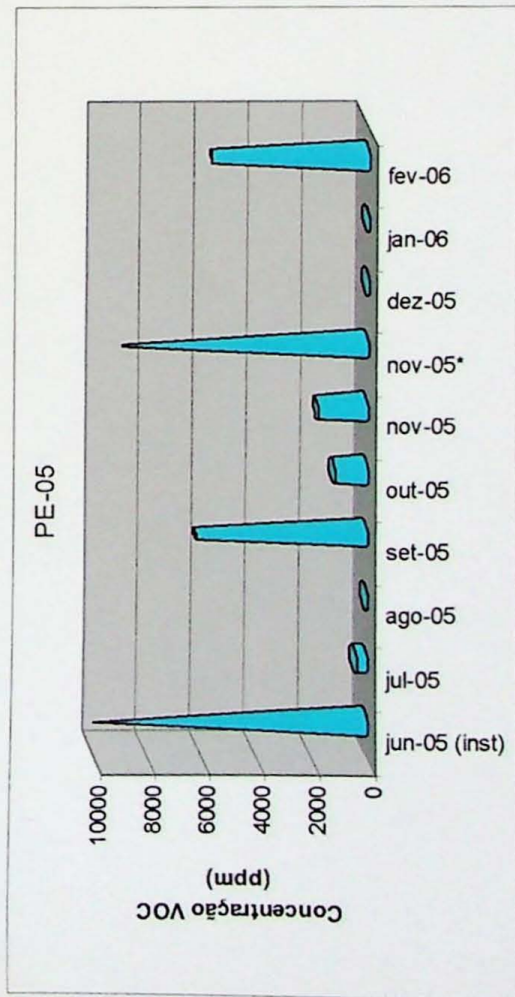


Gráfico 8.7.3.5: Variação da concentração de VOC no PE-05.

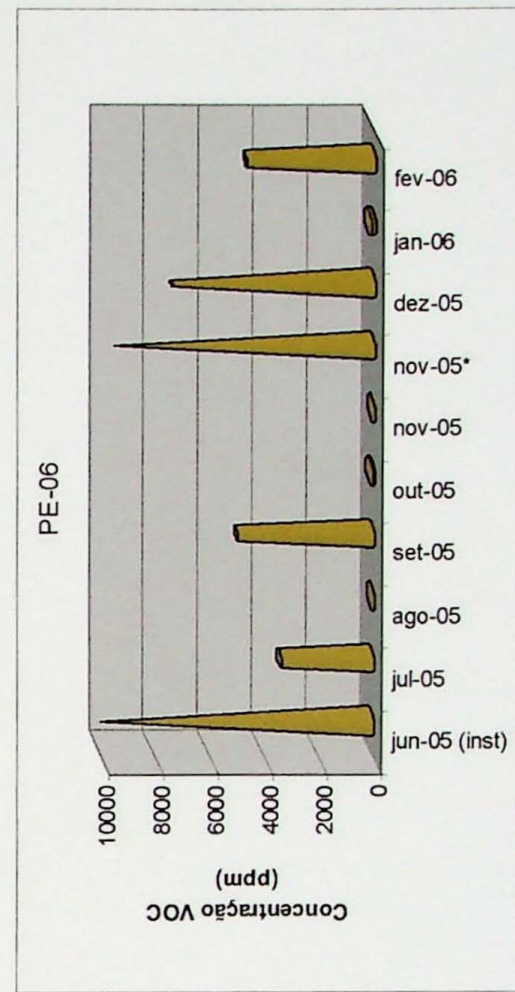


Gráfico 8.7.3.6: Variação da concentração de VOC no PE-06.

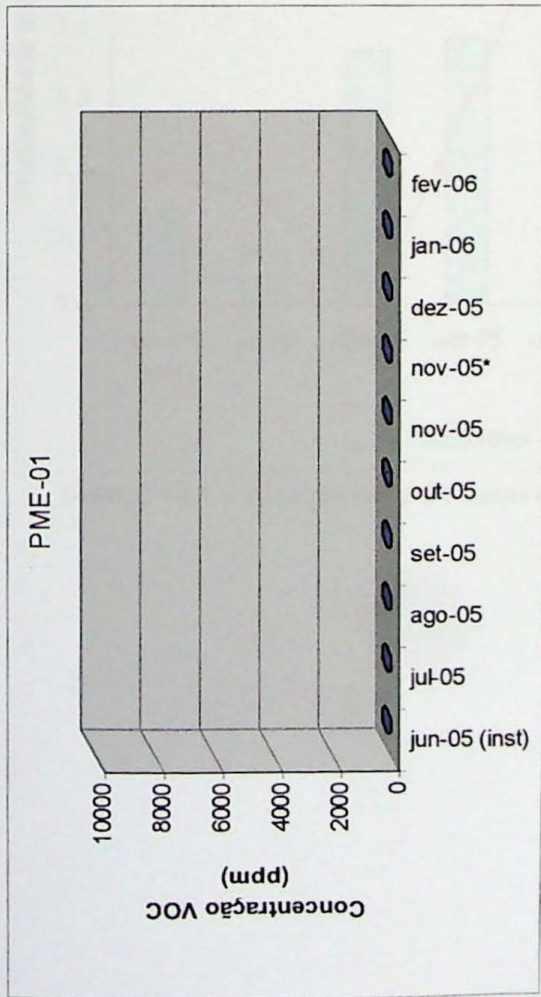


Gráfico 8.7.3.7: Variação da concentração de VOC no PME-01.

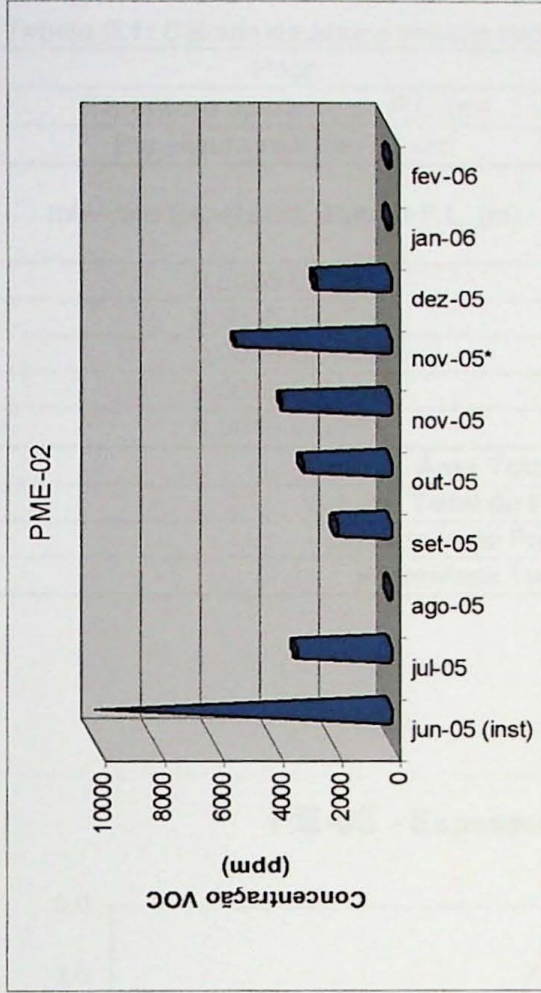


Gráfico 8.7.3.8: Variação da concentração de VOC no PME-02.

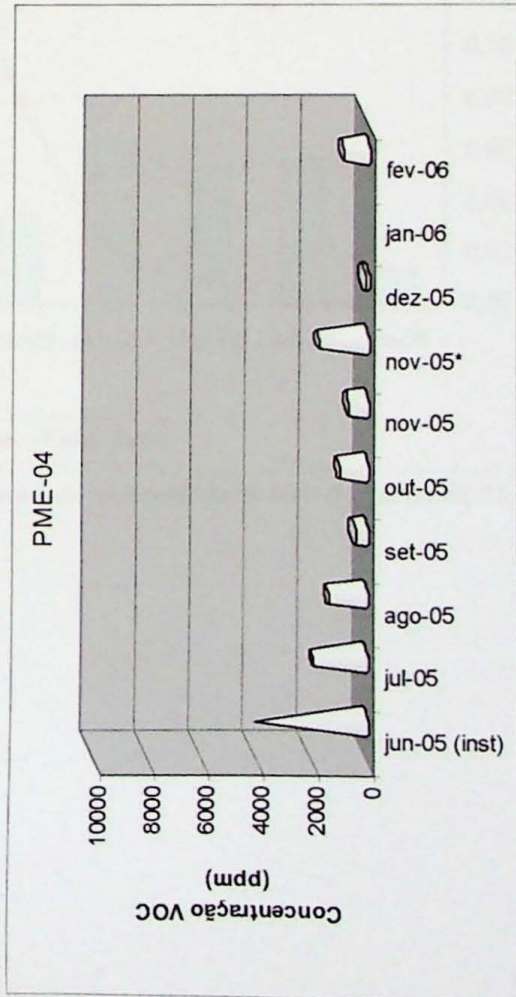


Gráfico 8.7.3.9: Variação da concentração de VOC no PME-04.

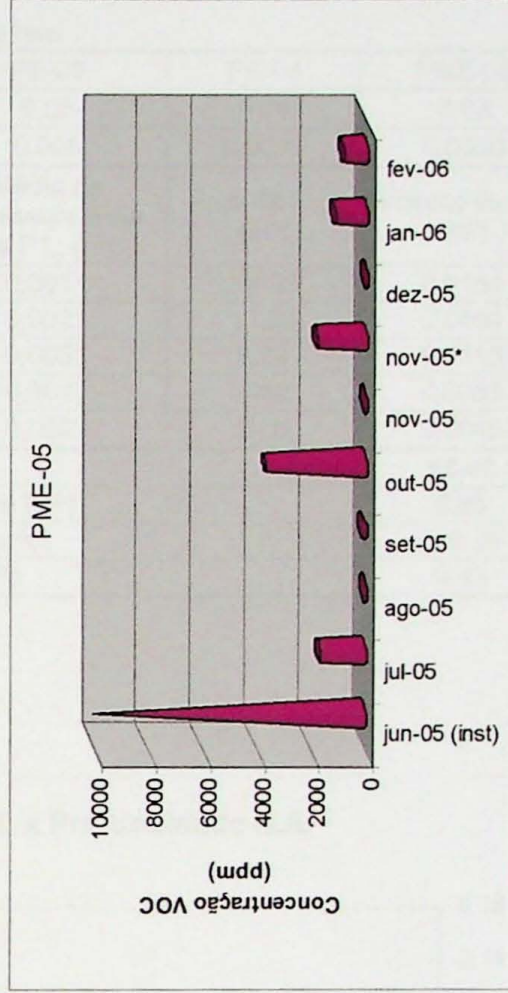


Gráfico 8.7.3.10: Variação da concentração de VOC no PME-05.

Tabela 9.1: Cálculo de área e volume total de fase livre

Poço	PE-03	PE-04	PME-02
Espessura aparente de F.L. (m)	0,05	0,01	0,03
Espessura real de F.L. (m)	0,006	0,0012	0,0036
Intervalo Espessura Real de F.L. (m)	Média da Espessura Rel de F.L. (m)	Área de F.L. (m²)	Volume de F.L. (m³)
0,0006-0,0016	0,0011	39,60	0,0184
0,0016-0,0026	0,0021	11,20	0,0099
0,0026-0,0036	0,0031	8,80	0,0115
0,0036-0,0046	0,0041	4,80	0,0083
0,0046-0,0060	0,0053	2,00	0,0045
Área Total (m²)			66,40
Volume Total de Fase Livre (m³)			0,05
Densidade do Produto (kg/m³)			880,00
Porosidade Total do Solo			0,42

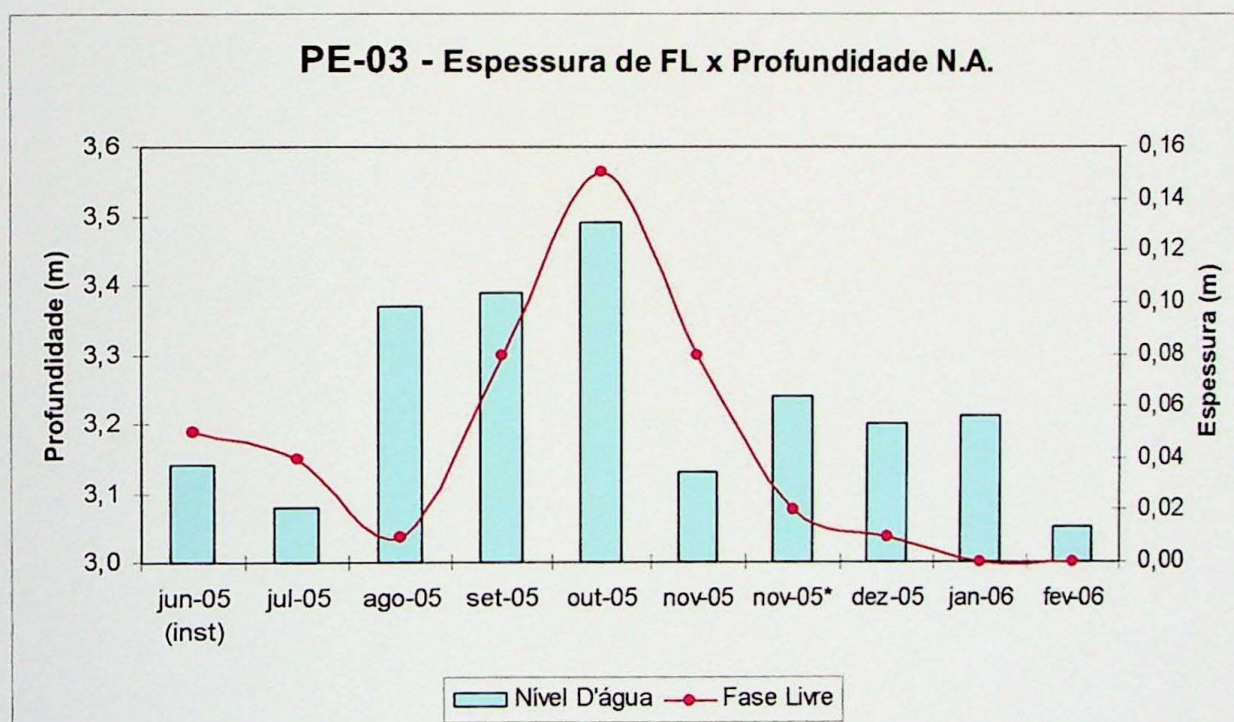


Gráfico 10.1 – Variação das espessuras de fase livre e da profundidade do nível d'água no PE-03.

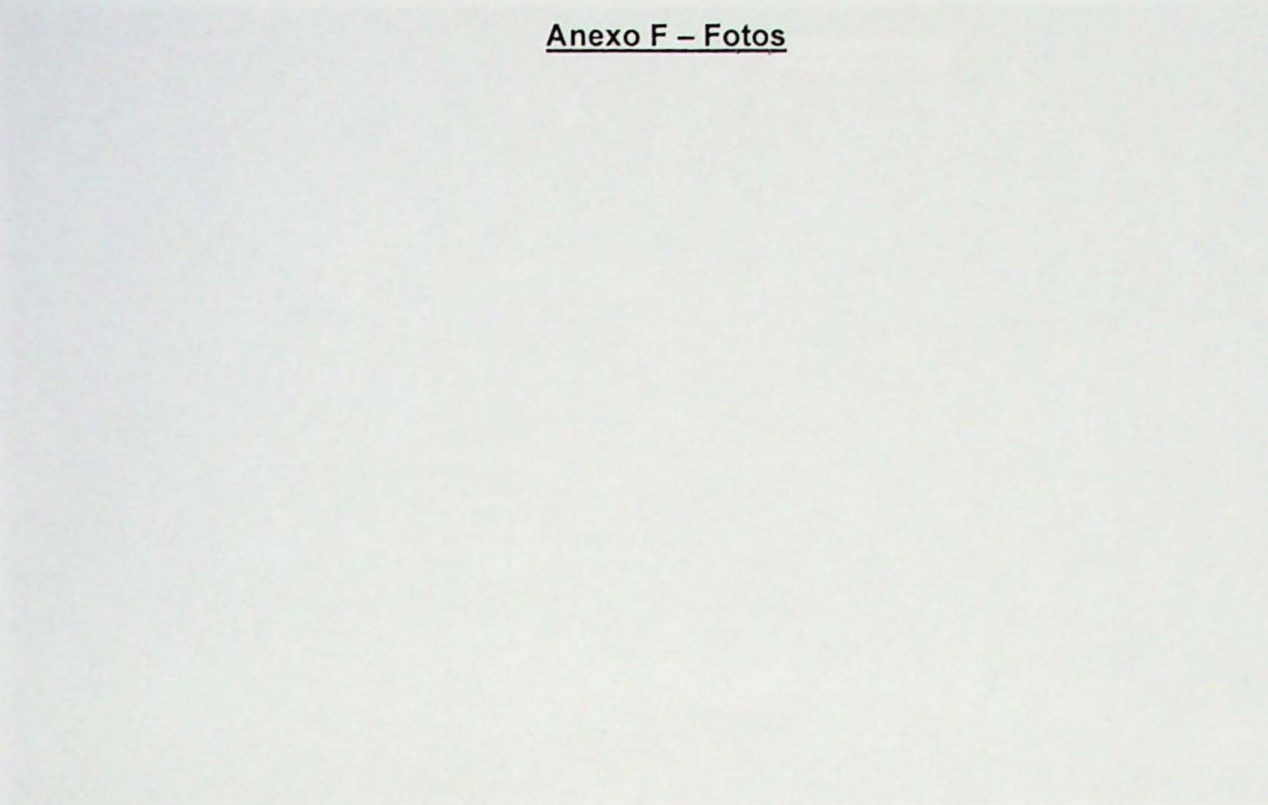


Figura 2.11: Imagem de uma das células do tecido de estudo.



Figura 2.12: Imagem de uma das células do tecido de estudo.



Foto 3.1: Localização da área estudada (Retirada de Google Earth).



Foto 7.2: Vista geral do sistema instalado na área.



Foto 8.1: Visão geral da área estudada.



Foto 8.6.1: Construção de um poço de extração.



Foto 8.6.2: Poço de extração finalizado.



Foto 8.7.1: Espessura de fase livre no PME-02 no mês de instalação do sistema.

DOAÇÃO _____

TGC-UST

Data: *07/05/08*

