

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

CONTAMINAÇÃO DO MEIO FÍSICO POR HIDROCARBONETOS E METAIS NA
ÁREA DA REFINARIA ALBERTO PASQUALINI, CANOAS, RS.

ARTHUR SCHMIDT NANNI

Orientador DR. ARI ROISENBERG
Co-orientador DR. ANTÔNIO PEDRO VIERO

COMISSÃO EXAMINADORA

Dra. Elba Calesso Teixeira
Dr. Nelson Amoretti Lisboa
Dr. Egydio Menegotto

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito para obtenção do Título de Mestre
em Geociências

2003

Nanni, Arthur Schmidt

Contaminação do meio físico por hidrocarbonetos e metais na área da refinaria Alberto Pasqualini, Canoas, RS. / Arthur Schmidt Nanni. - Porto Alegre: UFRGS, 2003.

[110 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2003.

1. Geoquímica. 2. Contaminação. 3. Solos. 4. Água Subterrânea. 5. Hidrocarbonetos. 6. Metais. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grün CRB10/1113

"Se você ama alguma coisa, deixe-a livre."

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Objetivos	2
2. Aspectos Físicos	3
2.1. Localização e Acesso.....	3
2.2. Clima.....	5
2.3. Estrutura física da Refinaria.....	8
2.4. Potenciais fontes de contaminação na área da Refinaria.....	10
2.5. Informações disponíveis.....	10
2.6. Aspectos sócio-econômicos dos municípios sob influência da REFAP.....	11
2.7. Cursos d'água.....	12
3. Conceituações	14
3.1. Petróleo.....	14
3.2. Óleo cru.....	14
3.3. Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH).....	15
3.4. Derivados de petróleo.....	15
3.5. Propriedades físico-químicas dos hidrocarbonetos.....	18
3.6. Dados toxicológicos sobre os contaminantes.....	20
4. O Petróleo e o Meio Físico	22
4.1. Introdução.....	22
4.2. Comportamento em subsuperfície.....	23
4.3. Mecanismos de transporte de contaminantes.....	28
4.4. Atenuação natural.....	30
5. Metodologia	32
5.1. Levantamento Geológico.....	32
5.2. Cadastro de poços tubulares.....	34
5.3. Testes de slug.....	34
5.4. Amostragem.....	35
5.5. Análises químicas.....	47
6. O Meio Físico	48
6.1. Geologia	48
6.2. Hidrogeologia.....	61
6.3. Utilização das águas subterrâneas nas adjacências da Refinaria.....	69

7. Resultados Obtidos	72
7.1. Distribuição de metais e hidrocarbonetos nos solos.....	72
7.2. Enquadramento do conteúdo de metais e TPH dos solos segundo normas de controle ambiental.....	96
7.3. Distribuição de metais e hidrocarbonetos de petróleo nas águas subterrâneas	98
7.4. Enquadramento do conteúdo de metais, TPH e BTEX das águas subterrâneas segundo normas de controle ambiental.....	102
8. Conclusões	104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Dados climatológicos do período e resultados do balanço.....	6
Tabela 3.1: Composição básica da gasolina brasileira.....	17
Tabela 4.1: Comparação entre propriedades de destino e transporte para constituintes de combustíveis.....	22
Tabela 5.1. Limites de detecção para águas e solos para metais e contaminantes orgânicos.....	47
Tabela 6.1. Capacidade de troca catiônica e composição da fração argilosa dos materiais de aterro (*) e dos sedimentos cenozóicos (**). (D): dominante; (E): escassa; (S): subordinada. Laudos laboratoriais de CTC e carbono orgânico no Anexo E.....	53
Tabela 6.2: Localização e cotas do terreno e do nível estático dos poços de monitoramento. As coordenadas E e N tem como referência o sistema interno da REFAP. O poço PM01* foi construído pela Concremat.....	64
Tabela 6.3: Condutividade hidráulica (K) calculada a partir de testes de Slug. (1998)..	67
Tabela 7.1: Identificação de origem de produtos pelo número de carbonos (RECAP, 2000).....	73
Tabela 7.2: Concentrações de metais e TPH em solos da área da Refap. Amostras assinaladas com asterisco (*) foram coletadas em estudo prévio.....	73
Tabela 7.4. Resumo estatístico dos grupos de amostras de solo identificados pelo conteúdo de cádmio (mg/Kg). A média do Grupo 1 foi arbitrada em 0,001 mg/Kg, o que equivale à metade do limite de detecção do método analítico.....	83
Tabela 7.5. Resumo estatístico do conteúdo de chumbo (mg/Kg) nos grupos de amostras de solo identificados em histogramas de frequência simples e frequência acumulada. A média do Grupo 1 foi arbitrada em 0,02 mg/Kg, equivalente à metade do limite de detecção do método analítico. No Grupo 3, não foram consideradas no cálculo as amostras T41A e T41B, por apresentarem teores anômalos de Pb, o que levaria a distorções.....	86
Tabela 7.6. Resumo estatístico dos grupos de amostras de solo identificados em histogramas de frequência simples e frequência acumulada de conteúdo de cobre (mg/Kg).	89
Tabela 7.7. Carbono Orgânico em amostras de solo. Amostras assinaladas com asterisco (*) são localizadas nas adjacências da BAE.....	95
Tabela 7.8. Valores de referência para TPH e metais em solos de áreas industriais propostos pela Norma Holandesa (STI) e concentrações máximas em solos da REFAP.....	96
Tabela 7.9. Valores de referência (R,I) de metais em solos (CETESB, 2001) e teores máximos registrados na área da REFAP.....	97
Tabela 7.10. Conteúdo de metais e de TPH nas águas subterrâneas dos poços profundos.	98

Tabela 7.11: Concentrações de metais e TPH das águas subterrâneas dos poços da AG Ambiental.....	99
Tabela 7.12. Valores referência de TPH e metais propostos pela norma holandesa e maiores teores registrados nas águas subterrâneas da REFAP.....	102
Tabela 7.13. Valores BTXE em águas propostos pela CETESB.....	102
Tabela 7.14. Valores de referência de metais em água subterrânea propostos pela CETESB.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Localização do município de Canoas.....	4
Figura 2.2. Situação da área de estudo (REFAP) no município de Canoas.....	5
Figura 2.3. Balanço Hídrico Normal Mensal.....	7
Figura 2.4. Extrato do Balanço Hídrico Mensal.....	7
Figura 2.5. Setores de atividades nos domínios da refinaria.....	9
Figura 4.1: Destino e processos de transporte de componentes de combustíveis em solos (Day, 2001).....	23
Figura 4.2: Estrutura do modelo de transporte de NAPLs modificada de (Day, 2001)..	25
Figura 4.3. Fases de contaminação para LNAPLs.....	27
Figura 4.4. Efeitos da oscilação do nível freático na distribuição de LNAPL (Fetter, 1993).....	28
Figura 4.5. Transporte de contaminantes nos poros do solos com diminuição das concentrações ao longo da trajetória de fluxo (Atmadja & Bagtzoglou, 2001). ...	29
Figura 5.1. Distribuição das sondagens geotécnicas utilizadas na caracterização geológica da área da REFAP.....	33
Figura 5.2. Localização dos poços de monitoramento e furos de trado.....	37
Figura 5.3. Boletins de sondagem a trado (T01 a T10).....	38
Figura 5.4. Boletins de sondagem a trado (T11 a T21).....	39
Figura 5.5. Boletins de sondagem a trado (T22 a T31).....	40
Figura 5.6. Boletins de sondagem a trado (T32 a T41).....	41
Figura 5.7. Boletins de sondagem a trado (TAC01 a TAC08).....	42
Figura 5.8. Detalhes construtivos dos poços de monitoramento (PM10 a PM14).....	45
Figura 5.9. Detalhes construtivos dos poços de monitoramento (PM15 a PM19).....	46
Figura 6.1. Mapa geológico de superfície da área da REFAP.....	54
Figura 6.2. Seções geológicas.....	58
Figura 6.3. Legenda para as seções geológicas apresentadas nas figuras 6.4 a 6.11...	59
Figura 6.4. Seção geológica AA' - E1000.....	59
Figura 6.5. Seção geológica BB' - E1500.....	59
Figura 6.6. Seção geológica CC' - E2000.....	59
Figura 6.7. Seção geológica DD' - E2500.....	59
Figura 6.8. Seção geológica EE' - E3000.....	60
Figura 6.9. Seção geológica FF' - E3500.....	60
Figura 6.10. Seção geológica GG' - S500.....	60

Figura 6.11. Seção geológica HH' - S1000.....	60
Figura 6.12. Isópacas dos pacotes de sedimentos Cenozóicos e aterros. Espessura total de sedimentos Cenozóicos e aterros (em metros), determinadas nas áreas de abrangência das sondagens geotécnicas e poços de monitoramento profundos.....	63
Figura 6.13. Superfície potenciométrica do aquífero.....	66
Figura 6.14: Gráficos h/h ₀ vs. t para os poços de monitoramento PM10 a PM15.....	68
Figura 6.15: Gráficos h/h ₀ vs. t para os poços de monitoramento PM16 a PM19.....	69
Figura 6.16: Distribuição do uso das águas subterrâneas explotadas nos 569 poços cadastrados no entorno da REFAP.....	71
Figura 7.1: Diagrama de frequência simples e acumulada do conteúdo de cromo nos solos.	77
Figura 7.2. Concentrações de cromo em solos da área da REFAP. Níveis de background representados em cinza claro e de contaminação em tons de amarelo a vermelho. A tonalidade cinza escuro corresponde ao intervalo entre o limite superior do background e o limite inferior dos teores de contaminação.....	79
Figura 7.3. Diagrama de frequência simples e acumulada do conteúdo de zinco nos solos. Os dois grupos visualizados no diagrama, com limite em 20 mg/Kg, pertencem à mesma população.....	80
Figura 7.4. Concentrações de zinco em solos da área da REFAP. Concentrações de background representadas em tons de amarelo a laranja. A área em vermelho corresponde a uma amostra anômala cujo teor de Zn tem significado indeterminado.....	81
Figura 7.5. Diagrama de frequência simples e acumulada do conteúdo de cádmio nos solos nos três grupos de amostras.....	82
Figura 7.6. Diagrama binário de variação Cd vs. Zn. Amostras do Grupo 2 do Cd (símbolos azuis) possuem boa correlação, não verificada no Grupo 3 (símbolos vermelhos).....	83
Figura 7.7. Concentrações de cádmio em solos da área da Refap Teores de background representadas em cinza claro e de contaminação em tons de amarelo a vermelho. Cinza escuro corresponde ao intervalo entre o limite superior do background e o limite inferior dos teores de contaminação.....	84
Figura 7.8. Diagrama de frequência simples e acumulada do conteúdo de chumbo nos solos, mostrando três grupos de amostras. O Grupo 1 (<0,05 mg/Kg) e o Grupo 2 (2,18 a 5,97 mg/Kg) pertencem à mesma população.....	85
Figura 7.9. Diagrama binário de variação zinco vs. chumbo, mostrando boa correlação dos dois metais nas amostras pertencentes à População 1 (símbolos azuis) e fraca correlação na População 2 (símbolos vermelhos). Não foram representadas amostras com teores de chumbo abaixo dos limites de detecção analítico.....	86
Figura 7.10. Concentrações de chumbo na área da REFAP. Teores de background representadas em cinza claro e de contaminação em tons de amarelo a vermelho.	

Cinza escuro corresponde ao intervalo entre o limite superior do background e o limite inferior dos teores de contaminação.....	88
Figura 7.11. Diagrama de frequência simples e acumulada do conteúdo de cobre nos solos, identificando dois grupos de amostras.....	89
Figura 7.12. Diagrama de variação cobre vs zinco, mostrando boa correlação dos dois metais nas amostras do grupo 2 (símbolos azuis) e que representam o background de cobre na área. É importante destacar que no grupo 1 (símbolos vermelhos) não há correlação entre os metais.....	90
Figura 7.13. Concentrações de cobre em solos da área da REFAP. Teores de background representadas em cinza claro e de contaminação em tons de amarelo a vermelho. Cinza escuro corresponde ao intervalo entre o limite superior do background e o limite inferior dos teores de contaminação.....	91
Figura 7.14. Concentrações de mercúrio nos solos da REFAP. Concentrações de background representadas em cinza claro e de contaminação em tom laranja.....	93
Figura 7.15. Concentração de TPH nos solos da REFAP. Teores de background representados em cinza claro e de contaminação em tons de amarelo a vermelho....	94
Figura 7.16. Ocorrência de metais e hidrocarbonetos nas águas subterrâneas.....	101

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 5.1. Amostrador do tipo Bailer utilizado na coleta das amostras de águas.....	44
Foto 6.1: Interface entre horizontes de alteração na Fm. Sanga do Cabral.	56

ANEXOS

Anexo A - Testes de Slug

Anexo B - Difractogramas de Raios-X

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BAE	Bacia de Aeração
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
LNAPL	<i>Light non-aqueous phase liquids</i>
MTBE	<i>Methyl tertiary-butyl ether</i>
NAPL	<i>Non-aqueous phase liquids</i>
PAH	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
USEPA	United States Environmental Protection Agency

RESUMO

O presente estudo resulta de convênio entre a Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FAURGS) e a Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP S.A.), tendo como objetivo o diagnóstico das contaminações por metais e hidrocarbonetos dos solos e águas subterrâneas na área e seus domínios.

Os poços tubulares profundos existentes ao redor da refinaria registram 559 unidades distribuídas num raio de 2.000 metros, que têm uso residencial dominante (81,5%) e, em menor escala, comercial (6,5%), industrial (2,6%) e público (0,9%).

A caracterização geológica revelou grande variação lateral e vertical, marcada pela ocorrência de sedimentos quaternários siltico-argilosos e arenosos finos com lentes de argilas orgânicas plásticas, tendo espessura de até 14 metros cobrindo rochas sedimentares da Formação Sanga do Cabral. Esta última composta principalmente por arenitos finos a muito finos, siltitos e argilitos avermelhados. Uma parcela significativa da área encontra-se capeada por aterros de terraplenagem com espessuras entre 0,5 e 4 metros.

Os estudos hidrogeológicos da área registram a existência de um aquífero freático livre, constituído pelo material de aterro e camadas sedimentares superficiais, e outro semi-confinado, representado por níveis arenosos descontínuos intercalados no pacote predominantemente siltico-argiloso de sedimentos quaternários. Os sedimentitos da Formação Sanga do Cabral fazem parte do aquífero semi-confinado.

O diagnóstico da contaminação de solos por hidrocarbonetos e metais contou com a análise química de 94 amostras coletadas em 48 sondagens manuais em diferentes profundidades. Os resultados apontaram a virtual ausência de vanádio e baixos níveis de contaminação por cromo, mercúrio, cádmio, cobre, chumbo e Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH). A grande quantidade de amostras permitiu a realização de uma avaliação geoestatística para determinação dos teores naturais do terreno e das concentrações oriundas de contaminações. Os solos presentes no entorno da bacia de aeração e da área de descarte de borras e caliças apresentaram as maiores concentrações de metais e, mesmo que inexpressivas, de TPH.

A avaliação da qualidade das águas subterrâneas do aquífero semi-confinado foi realizada através da instalação de 10 poços de monitoramento com profundidades da ordem de 20 metros e coleta de amostras para análises químicas. Também foram coletadas amostras do aquífero freático em 9 poços de monitoramento rasos com profundidades da ordem de 5 metros, já existentes na ocasião.

Os resultados obtidos para as águas do aquífero semi-confinado retratam uma boa situação ambiental deste, com teores de metais inexistentes na grande maioria dos poços e concentrações abaixo dos limites de intervenção apenas em alguns. Hidrocarbonetos de petróleo (TPH) foram registrados em apenas um poço, em quantidade inexpressiva.

Os poços rasos revelam um cenário menos favorável no aquífero freático, apontando contaminação pouco significativa por hidrocarbonetos de petróleo em apenas 4 locais.

ABSTRACT

This study results of an agreement between the Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FAURGS) and the Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP S.A.), having as main purposes the diagnosis of soils and groundwater contamination of the by metals and hydrocarbons compounds.

There are 559 documented pre-existent tubular wells in the surrounding area show that 81,5% out of the total amount are used for domestic purposes, 6,5% for commercial uses, 2,6% for industrial uses and only 0,9% for public companies.

The geology of the area reveals a significant lateral and vertical variation across the area, with fine silt-clayish to fine sandy quaternary sediments with lenses of plastic organic clays. The total thickness of this package achieves 14 meters covering sedimentary rocks of Sanga do Cabral Formation. The latter is composed mainly by fine sandstones, siltstones and red claystones. A significant part of the area is covered by a 0,5 to 4,0 meters thick landfill deposits.

Hydrological studies of the target area shows the existence of a phreatic aquifer, constituted by landfill deposit and surficial sedimentary layers, and another semi-confined aquifer represented by discontinuous sandy levels inserted as silt-loamy quaternary lens. The sedimentary rocks of the Sanga do Cabral Formation is a part of the semi-confined aquifer.

The diagnosis of hydrocarbons and metals contamination of soils has been made using chemical analysis of 94 samples collected at different depths. The results aimed the virtual absence of vanadium and low levels of contamination for chromium, mercury, cadmium, copper, lead and Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). The great amount of samples allowed the accomplishment of a geostatistical evaluation for natural background determination of the land and concentration due to soil contamination. The soils around the aeration basin and the stain and residues evasion area presented the largest concentrations of metals, included the inexpressive TPH concentration.

The groundwater quality evaluation of the semi-confined aquifer was accomplished through the installation of 10 monitoring wells about 20 meters deep and sample collection for chemical analyses. Also phreatic aquifer samples were collected in 9 shallow monitoring wells about 5 meters deep previously existent.

Obtained results from semi-confined aquifer groundwater's show a healthy environmental situation, with nonexistent metals amount in the great majority of the wells and concentrations below the intervention limits in some. TPH they were registered only in one monitoring well on an inexpressive amount.

The shallow monitoring wells reveal a less favorable scenery in the phreatic aquifer, pointing out an insignificant TPH contamination matching only four analysed spots.

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo aborda a contaminação do meio físico, solos e águas subterrâneas por hidrocarbonetos de petróleo e metais na área da Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP), inserida na Região Metropolitana de Porto Alegre.

Os dados apresentados são resultado do projeto “*Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos de petróleo e metais pesados das águas subterrâneas e instalação de poços de monitoramento na Refinaria Alberto Pasqualini*” (FAURGS, 2002a), celebrado entre a Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP) e a Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FAURGS). O estudo produz uma frutífera cooperação entre os órgãos envolvidos, propiciando à REFAP a obtenção de um diagnóstico atualizado das contaminações dos solos e das água subterrânea na área da Refinaria, enquanto a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) é beneficiada pelo aperfeiçoamento de seus quadros docente e discente e pelo desenvolvimento de três dissertações de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS.

O presente estudo compreende o levantamento de informações bibliográficas e a execução de estudos geológicos e geoquímicos de detalhe na área da Refinaria, com base na coleta e na análise de amostras de solos e sedimentos em 40 pontos, dispostos em malha regular, e na construção dez poços profundos de monitoramento para água subterrânea. Tais elementos servem de subsídio para o

diagnóstico de contaminação das águas subterrâneas na área e permitem determinar os sítios mais afetados pela atividade industrial. São, ainda, de fundamental importância para compreensão dos processos de contaminação e mitigação natural, bem como para registrar a herança química natural dos metais pesados, não inerente aos processos de transporte e beneficiamento de petróleo na REFAP.

Estes elementos dotarão as áreas técnicas da REFAP e da UFRGS de condições para um entendimento mais adequado das condições do meio físico e de rotinas de monitoramento e remediação em caso de acidentes ambientais.

1.1. Objetivos

Este projeto tem como objetivos principais:

- caracterizar a geologia de superfície e subsuperfície e a hidrogeologia da área da REFAP;
- determinar o conteúdo natural (*background*) dos metais em solo;
- diagnosticar a contaminação por hidrocarbonetos dos solos e da água subterrânea e a evolução das plumas de contaminação;
- diagnosticar o comportamento geoquímico dos hidrocarbonetos nos solos e águas subterrâneas por integração com base na distribuição dos metais.

2. ASPECTOS FÍSICOS

2.1. Localização e Acesso

A área da REFAP está situada no município de Canoas/RS (Fig. 2.1), sendo limitada ao Norte pelo Arroio Sapucaia, que marca também o limite entre os municípios de Canoas e Esteio; a Oeste, pela Rodovia BR-116, que constitui a principal via de acesso; ao Sul, pela Av. Antônio Frederico Ozanan, onde estão instaladas diversas indústrias e, a Leste, por áreas com ocupação residencial predominante (Fig. 2.2).

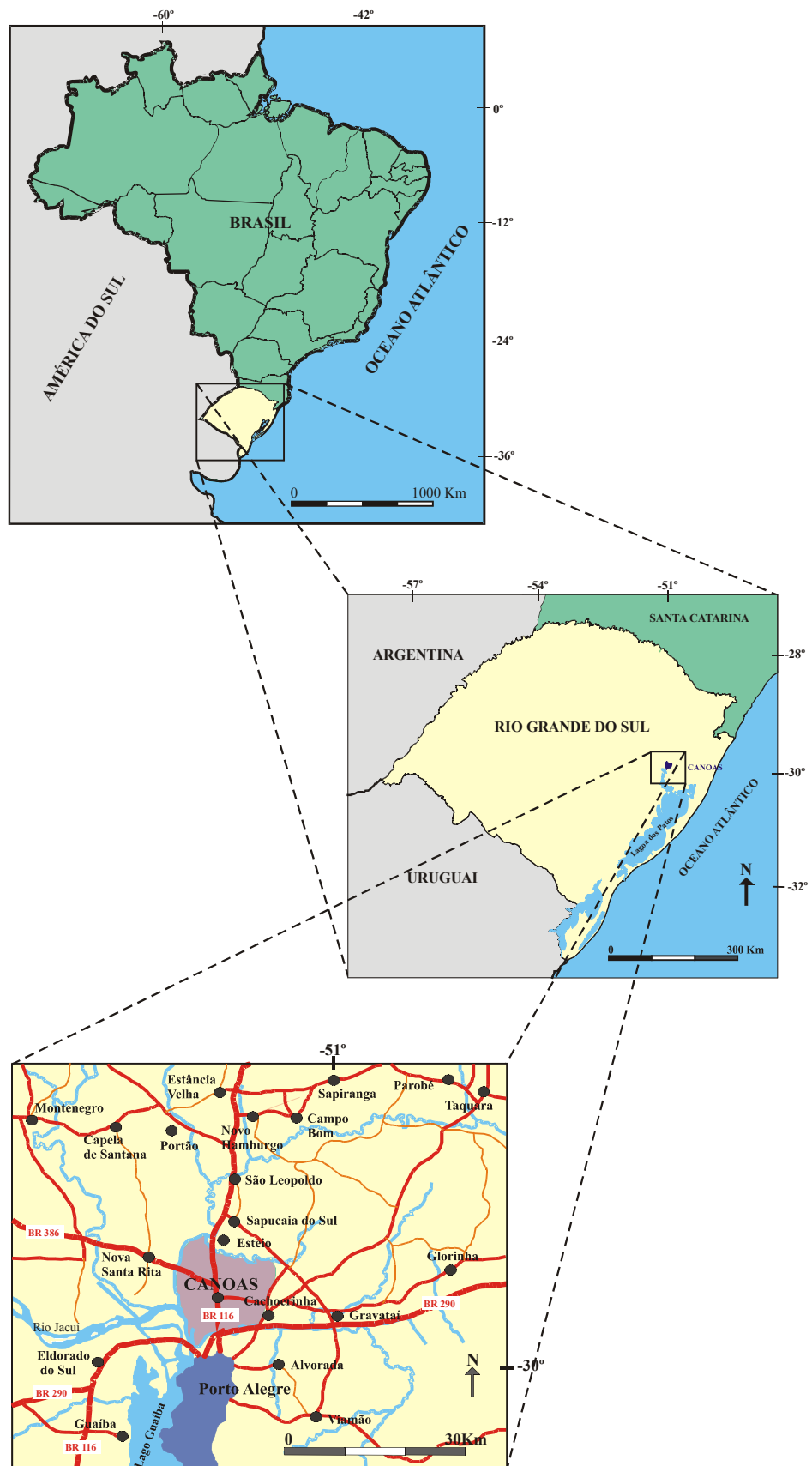


Figura 2.1. Localização do município de Canoas.

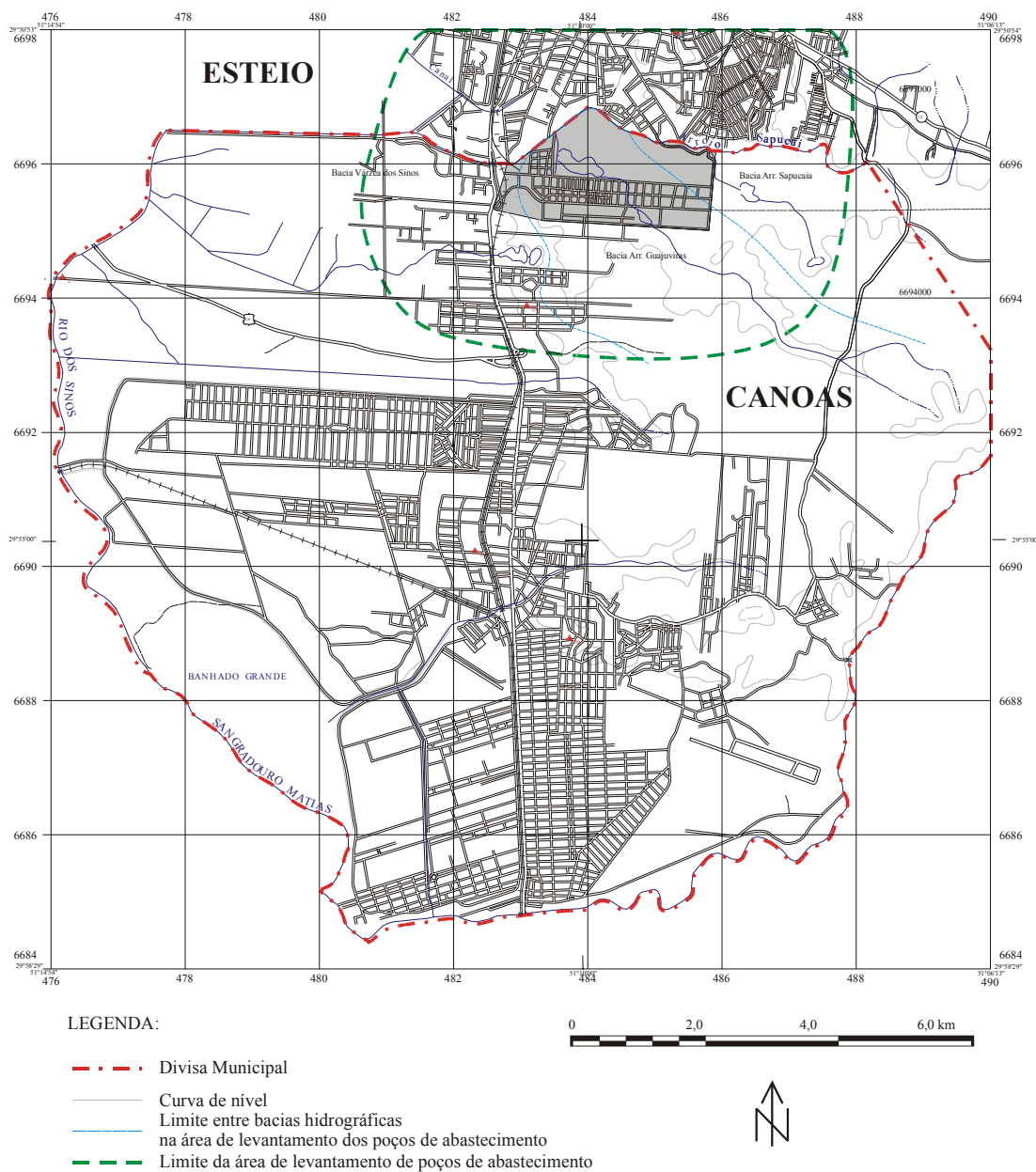


Figura 2.2. Situação da área de estudo (REFAP) no município de Canoas.

2.2. Clima

Canoas está inserida em uma região de clima subtropical úmido isento de estiagens, caracterizado como *Cfa*, segundo a classificação climática de Köppen. O clima apresenta estações climáticas bem definidas e temperaturas médias anuais acima de 18°C.

A precipitação anual na região é de aproximadamente 1277mm, sendo novembro o mês com menor precipitação (76mm) e agosto o de maior (136mm).

2.2.1. Balanço Hídrico

Os dados do balanço hídrico histórico da região metropolitana de Porto Alegre são calculados através do método desenvolvido por Thornthwaite & Mather (Sentelhas et al., 1998). A determinação do balanço hídrico é uma das várias maneiras de se monitorar o armazenamento de água no solo. O estudo é feito através da contabilização do suprimento natural de água ao solo pela chuva (P) e da demanda atmosférica pela evapotranspiração potencial (ETP). Considera-se um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD), neste caso, de 40mm, valor compatível com solos areno-argilosos e aterros que capeiam a superfície da Refinaria. O balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM).

Os dados que definem o balanço hídrico foram extraídos do *website* do Núcleo de Monitoramento Agroclimático – NURMA (Sentelhas et al., 1998) e abrangem o período de 1961 a 1990. O trabalho BHBRAZIL oferece planilhas dinâmicas com balanços hídricos de 500 cidades brasileiras, dentre elas Porto Alegre (Tab. 2.1), sendo os dados estendidos à área da Refinaria, devido à ausência de estudos específicos nos municípios de Canoas e Esteio.

Tabela 2.1. Dados climatológicos do período e resultados do balanço.

Meses	T °C	P mm	N horas	ETP*	P-ETP mm	NEG* *	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan ³⁰	24,6	100	13,9	134,44	-34,4	-55,5	10	-13,65	113,7	20,8	0
Fev ²⁸	24,7	109	13,4	122,27	-13,3	-68,7	7,17	-2,82	111,8	10,4	0
Mar ³¹	23,1	104	12,7	111,08	-7,1	-75,8	6,01	-1,16	105,2	5,9	0
Abr ³⁰	20,1	86	11,7	74,28	11,7	-32,6	17,73	11,72	74,3	0	0
Mai ³¹	16,8	95	10,8	48,79	46,2	0	40	22,27	48,8	0	23,9
Jun ³⁰	14,3	133	10,2	31,71	101,3	0	40	0	31,7	0	101,3
Jul ³¹	14,5	122	10,1	33,34	88,7	0	40	0	33,3	0	88,7
Ago ³¹	15,3	140	10,5	38,99	101	0	40	0	39	0	101
Set ³⁰	16,8	139	11,4	49,5	89,5	0	40	0	49,5	0	89,5
Out ³¹	19,2	114	12,3	73,15	40,8	0	40	0	73,2	0	40,8
Nov ³⁰	21,3	104	13,2	94,41	9,6	0	40	0	94,4	0	9,6
Dez ³¹	23,2	101	13,8	122,02	-21	-21	23,65	-16,3	117,4	4,7	0
TOTAIS	233,9	1347	144,1	933,99	413	-	345	-	892,2	41,8	454,8
MÉDIAS	19,5	112,3	12	77,83	34,4	-	28,7	-	74,3	3,5	37,9
xx = número de dias no período (mês).						** - Negativo acumulado – soma dos valores negativos de P-ETP.					
* Thornthwaite (1948) apud Sentelhas et al. (1998).											

Os dados apresentados (Tab. 2.1) plotados em gráfico apresentam o balanço hídrico climatológico completo, plotando-se P, ETP e ETR na forma de linhas (Fig. 2.3).

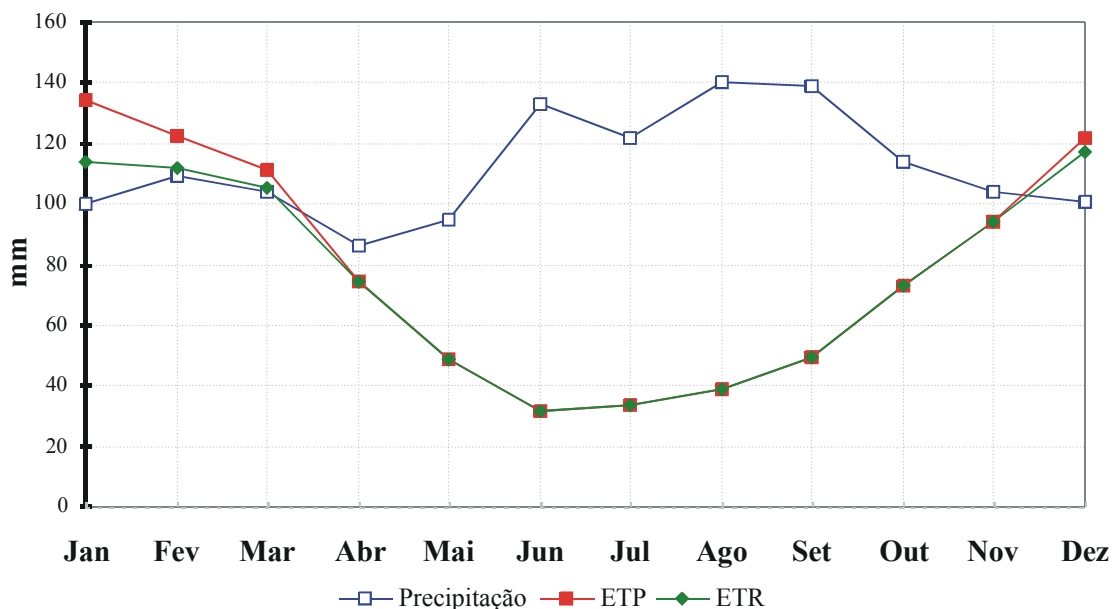


Figura 2.3. Balanço Hídrico Normal Mensal.

O extrato do balanço hídrico (Fig. 2.4), plotando-se -DEF e EXC, possibilita visualizar os períodos de retirada de água do solo (alteração negativa) e de reposição de água no solo (alteração positiva)

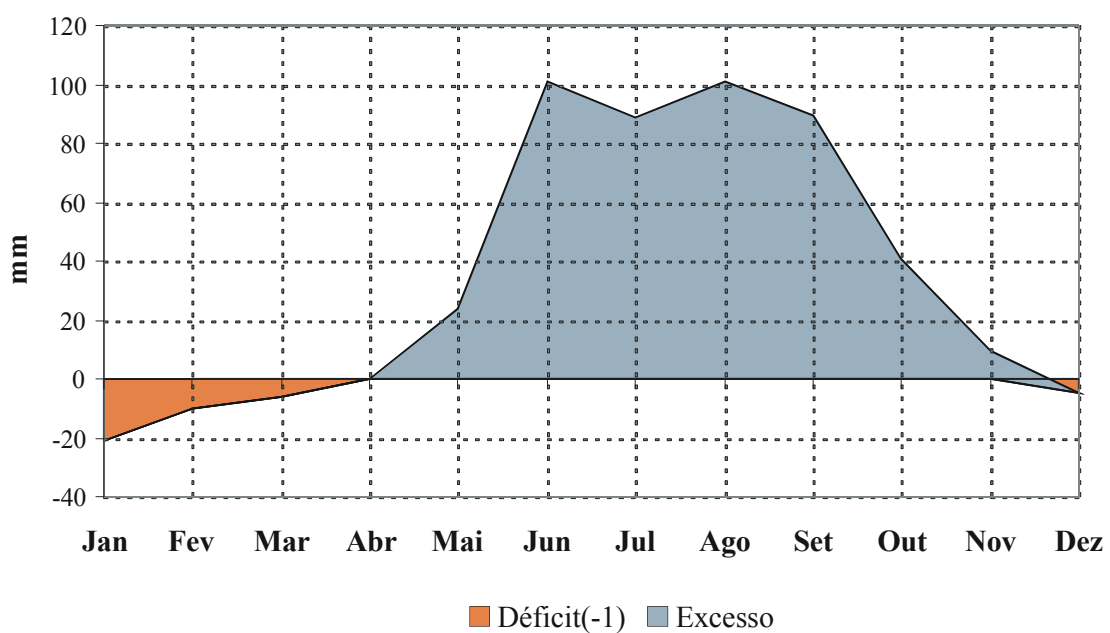


Figura 2.4. Extrato do Balanço Hídrico Mensal.

O balanço hídrico revela para a região da Grande Porto Alegre um período de excesso hídrico no intervalo de abril à novembro e de déficit nos meses de verão climático, ou seja, de dezembro à março. Assim, os períodos de outono, inverno e primavera apresentam maior capacidade de recarga dos aquíferos, ao contrário do que ocorre no verão. O excesso registrado nos períodos de abril à novembro possibilita também um acréscimo nas taxas de escoamento superficial.

2.3. Estrutura física da Refinaria

A área da REFAP compreende 5.448.437m² e está subdividida nos seguintes setores de atividades (Fig. 2.5):

- área administrativa;
- área industrial;
- reserva biológica;
- horto florestal;
- área de tanques;
- usina termoelétrica de Canoas (UTC);
- bacia de aeração (BAE);
- borreiro;
- processamento de gás GLP.

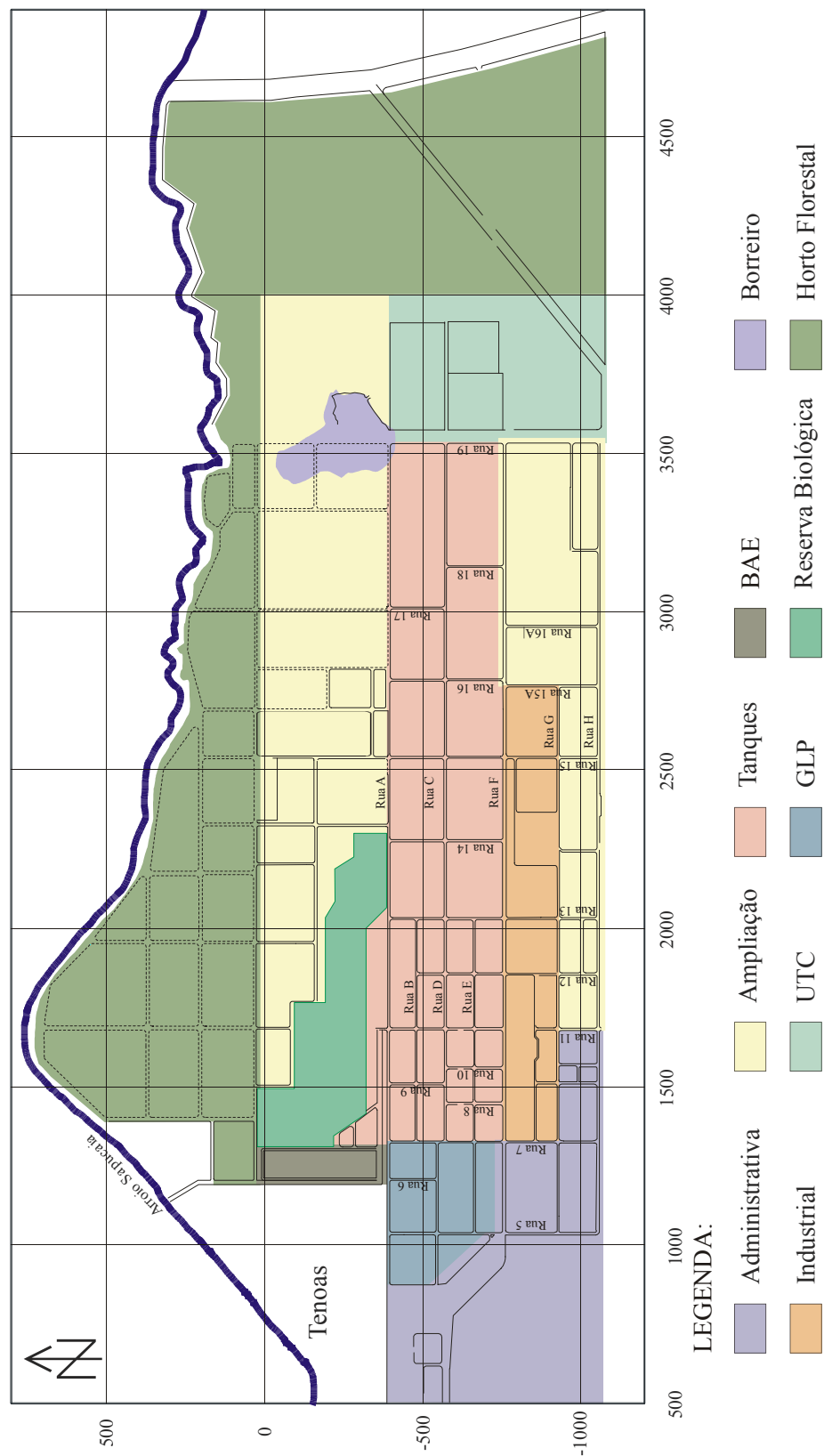


Figura 2.5. Setores de atividades nos domínios da refinaria.

2.4. Potenciais fontes de contaminação na área da Refinaria

Fontes potenciais de contaminações podem ser encontradas em toda a extensão da Refinaria. Porém, algumas áreas merecem maior atenção por envolverem instalações com transporte e estocagem de óleos e derivados. Entre elas, podemos destacar:

- área de tancagem: Situada na porção mediana da Refinaria, esta área estende-se de Oeste para Leste e apresenta inúmeros tanques de estocagem de óleo bruto, derivados e resíduos do refino;
- área industrial: Ocupa a porção centro-Sul e apresenta, em todas as instalações, forte potencial de contaminação, principalmente no que tange à ocorrência de acidentes;
- GLP: Situada na porção Leste, esta área possui diversos tanques de estocagem de gás GLP e forte potencial de contaminação em caso de acidentes;
- bacia de aeração (BAE): Situada na porção Noroeste, esta área possui o maior potencial poluidor por se constituir na área de tratamento de resíduos de óleo que serão descartados no Arroio Sapucaia. Esta área conta com tanques de estocagem de efluentes industriais contaminados, oriundos dos processos de refino. Há registros de vazamentos ocorridos no passado no entorno da BAE;
- borreiro: Situado a Nordeste, esta área caracteriza-se como um depósito de descarte de resíduos sólidos e líquidos, incluindo borra e caliça. A deposição de material foi cessada a aproximadamente 12 anos.

2.5. Informações disponíveis

Importantes informações constantes em documentos de outros estudos realizados nos domínios da Refinaria foram consultados. Dentre os quais, podemos citar:

- “Diagnóstico do Lençol Freático da Refinaria Alberto Pasqualini-REFAP” (UNESP, 1998). Este trabalho abordou a caracterização e contaminação do

lençol freático através de métodos geoeletricos, testes de *slug* e de bombeamento e simulação de transporte de contaminantes;

- perfis geológicos e construtivos de poços de monitoramento do lençol freático (P1 a P9) instalados pela CONCREMAT – Engenharia e Tecnologia S.A (1988);
- mapa de localização de poços de monitoramento do lençol freático e de pontos de amostragem de solos (AG Ambiental, 2000);
- perfis de sondagem geotécnica/geológica realizadas por várias empresas abrangendo boa parte da área da Refinaria.

2.6. Aspectos sócio-econômicos dos municípios sob influência da REFAP

2.6.1. Município de Canoas

O município de Canoas possui uma população total de 305.711 habitantes concentrada na zona urbana, sendo 148.757 homens e 156.954 mulheres (IBGE, 2000).

As atividades econômicas mais expressivas do Município residem na indústria, que compreende um parque diversificado, onde se destacam metalurgia, produção de vidro, refino de petróleo e implementos agrícolas, pecuária e agricultura com o cultivo de grãos, frutas, tubérculos e verduras. O comércio vem sendo ampliado a cada ano, com instalações de redes nacionais de lojas e supermercados. No âmbito do comércio internacional, Canoas destaca-se pela exportação de óleo e farelo de soja, máquinas e implementos agrícolas, aparelhos de ar condicionado e outros produtos industriais.

O município de Canoas conta com 89.604 domicílios, dos quais 96% possuem abastecimento de água por rede geral, sendo os demais abastecidos por poços ou fontes artesianas. Possui um sistema de coleta de lixo que atende cerca de 99% das residências.

O sistema de ensino compreende 60 estabelecimentos de nível pré-escolar, 91 de nível fundamental, 21 de nível médio e três de nível superior. A taxa

de alfabetização atinge 96% da população residente com mais de dez anos de idade (IBGE, 2000).

O sistema de saúde é deficitário, havendo apenas um hospital equipado para o atendimento à população.

2.6.2. Município de Esteio

O município de Esteio cobre uma área de 27,6 km² e possui uma população de 75.233 habitantes, o que resulta numa densidade demográfica relativamente elevada de 2.725,8 hab./km², dos quais cerca de 99% residem na área urbana (IBGE, 1996).

A economia está baseada na indústria metalúrgica, de alimentos, de bebidas, de madeira e de mobiliário. Também merecem destaque a indústria da construção civil, o comércio e os serviços.

Quanto ao sistema viário, Esteio conta com 95,1% de vias pavimentadas, o que representa a melhor infra-estrutura do setor na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA).

Em relação ao saneamento básico, o abastecimento de água tratada por rede pública atinge 94,2% dos domicílios, o que é significativamente superior à média nacional de 88,1 %. O sistema de coleta de esgoto sanitário através de rede coletora atende somente 0,3 % dos domicílios, enquanto 79,5 % são atendidas por fossa séptica ligada à rede pluvial.

Na RMPA são identificados elementos fundamentais que se traduzem em carências ou em más condições de moradias. Em Esteio, foram identificadas ocupações irregulares em terrenos de propriedade pública ou privada, com destaque para as áreas marginais do arroio Sapucaia e uma área de preservação permanente.

2.7. Cursos d'água

Os cursos d'água presentes na REFAP pertencem à Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, tendo como principal tributário o Arroio Sapucaia. A microbacia do Arroio Sapucaia é formada pelos Arroios Esteio e Guajuviras, registrando-se outros cursos menos expressivos.

O Arroio Esteio apresenta fluxo para Oeste com pequena inflexão para Sul, atravessando bairros de Esteio e Sapucaia do Sul.

O Arroio Guajuviras flui para Noroeste cruzando núcleos urbanos de baixa renda, como o conjunto habitacional homônimo, situado no município de Canoas.

A maior parte da população residente às margens do Arroio Guajuviras ocupa essa área de forma irregular, representando uma séria ameaça às condições ambientais do arroio, seja pela disposição de entulhos e lixos, seja pela inexistência de redes de serviço de saneamento básico. As águas oriundas do núcleo habitacional Guajuviras apresentam cores escuras e exalam forte odor de esgoto.

As águas da microbacia do Arroio Sapucaia possuem boa qualidade até a foz do Arroio Guajuviras, já que este sofre descarga de poluentes com alto grau carcinogênico. Urge a implementação de programas de educação ambiental junto à população para esclarecer da importância da preservação da qualidade das águas.

3. CONCEITUAÇÕES

3.1. Petróleo

Presente em praticamente todas as atividades do homem, o petróleo tem forte conotação no seu cotidiano. O petróleo é uma complexa mistura de hidrocarbonetos, constituído basicamente por carbono e hidrogênio e por quantidades variáveis de oxigênio e enxofre e traços de nitrogênio, metais e outros elementos (Nadim et al, 2000). A menor molécula de hidrocarboneto é o metano (CH_4) e a maior parte dos hidrocarbonetos apresentam baixo peso molecular (Robbins et al., 1993).

3.2. Óleo cru

Como regra geral, todos os óleos crus são constituídos por complexos orgânicos similares, mas a quantidade relativa destes componentes difere em óleos de origens distintas (Irwin et al., 1998). Este tipo de produto sofre degradação em decorrência do tempo de armazenamento e dos processos de transporte. Valores similares de TPH podem resultar de diferentes misturas de hidrocarbonetos, repercutindo em riscos variados à saúde humana e ao meio ambiente (Bauman apud Heath, 1993). A concentração de metais também varia de acordo com a origem do óleo e, com exceção do rubídio e do nióbio, todos metais até o número atômico 42 (molibdênio) podem ser encontrados. Na maioria dos casos, o níquel e o vanádio são os mais abundantes. Elementos mais pesados, como o chumbo e o bário são também

detectados, porém em quantidades menos significativas (Kirk & Othmer apud Irwin et al., 1998).

O óleo cru pode conter frações de hidrocarbonetos voláteis, alguns dos quais tóxicos à saúde humana, como benzeno, tolueno, xilenos e outros aromáticos. Entretanto, as concentrações relativas destes hidrocarbonetos voláteis no óleo cru são significativamente menores àquelas encontradas em produtos do refino, como a gasolina. O volume de benzeno na gasolina pode chegar a 3% (30.000 ppm), enquanto que nos óleos é de aproximadamente 0,2% (2.000 ppm). Como resultado, as emissões de vapores esperadas para óleos crus serão muitas vezes inferiores às da gasolina (Sullivan apud Irwin et al., 1998).

3.3. Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH)

TPH, do inglês “Total Petroleum Hydrocarbons”, refere-se a testes de laboratório expeditos e, por conseqüência, pouco onerosos. Medidas em diferentes laboratórios, as determinações de de TPH podem variar conforme a seleção da porção de amostra a ser analisada.

Na maior parte dos casos, o parâmetro TPH é analisado segundo o método 418.1 da USEPA ou por derivações deste. Entretanto, muitos outros métodos também são referidos como determinadores do parâmetro em questão. Análises de TPH são comumente utilizadas como guias na determinação de áreas com contaminação.

3.4. Derivados de petróleo

Os processos de refino envolvem um conjunto de operações industriais que visam obter o fracionamento do petróleo em seus vários subprodutos. O petróleo armazenado em tanques é pré-aquecido e introduzido numa torre de destilação atmosférica. A fração mais pesada do resíduo atmosférico é submetida a um fracionamento sob vácuo, originando-se gasóleos e o resíduo reconhecido como óleo combustível (ANP, 2002).

O processo de craqueamento catalítico fluido (FCC) apresenta como principais produtos o GLP e a gasolina, enquanto o coqueamento térmico de resíduo de vácuo, gera GLP, nafta e óleo diesel (Irwin et al., 1998).

Os efluentes industriais oriundos dos processos de refino incluem hidrocarbonetos como óleos e graxas, resíduos sólidos e outros compostos como fenóis, sulfetos, amônia, ácidos e álcalis, entre outros (Eaton et al., 1994; Nemerow and Dasgupta, 1991).

Os hidrocarbonetos aromáticos - BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) - estão presentes em concentrações pouco significativas nos óleos brutos, pois são produzidos durante o processo de destilação e estão associados aos produtos de petróleo refinados, como, por exemplo, gasolina, diesel e querosene (Robbins et al., 1993).

3.4.1. Gasolina

Gasolina é um produto do petróleo altamente volátil, constituído basicamente por hidrocarbonetos leves alifáticos (alcanos, cicloalcanos, alquenos), aromáticos (BTXE) e aditivos (MTBE – *methyl tertiary-butyl ether*). No Brasil, um grande número de veículos são abastecidos exclusivamente por álcool e a gasolina comercializada possui uma mistura de 76% de gasolina e 24% de etanol (Decreto-lei nº 2607-98).

A gasolina é uma mistura de aproximadamente 280 diferentes hidrocarbonetos no intervalo do C4 ao C12. Avaliar a ecotoxicologia da gasolina é equivalente a estimar a toxicidade dos componentes mono-aromáticos solúveis em água, particularmente os hidrocarbonetos aromáticos. Os componentes BTEX da gasolina exibem claramente e em curto prazo, efeitos de toxicidade para uma variedade de organismos aquáticos em ambientes com ou sem circulação (Irwin et al., 1998).

Os constituintes da gasolina podem ser divididos em três categorias de componentes: parafinas, aromáticos e olefinas. As parafinas representam a categoria mais abundante e, muitas vezes, correspondem a 66% da gasolina, sendo constituídas de cadeias de carbonos ligadas a átomos de hidrogênio por ligações simples (hidrocarbonetos saturados). Os componentes aromáticos correspondem, aproximadamente, a 25% da gasolina e possuem uma estrutura do tipo cadeias de benzeno, sendo considerados como constituintes mais tóxicos. As olefinas são

normalmente o grupo menos abundante e se consistem de cadeias de hidrocarbonetos com ligações duplas ou triplas não saturadas em hidrocarbonetos (USEPA, 1992).

A composição básica da gasolina brasileira compreende 31 diferentes compostos, incluindo aqueles da adição de álcool (Tab. 3.1). Os percentuais referidos na tabela podem sofrer variações decorrentes de condições de políticas regionais e sazonais.

Tabela 3.1: Composição básica da gasolina brasileira.

Compostos	Fórmula	Proporção (%)
Isobutano	C_4H_{10}	0,2
n-Butano	C_4H_{10}	0,7
Etanol	C_2H_6O	23,0
Isopentano	C_5H_{12}	5,1
n-pentano	C_5H_{12}	4,0
Metilbuteno	C_5H_{10}	2,1
Dimetilbutano	C_6H_{14}	0,2
2-Metilpentano + Metilciclobutano	$C_6H_{14} + C_5H_{10}$	2,8
3-Metilpentano	C_6H_{14}	1,3
n-Hexano + 1-Hexeno	C_6H_{14}	2,8
Metilciclopentano	C_6H_{12}	1,9
3-Metil-1,3Pentadieno	C_6H_{10}	0,6
Benzeno	C_6H_6	0,8
,Ciclohexano	C_6H_{12}	1,0
2-Metilhexano	C_7H_{16}	1,2
2,3-Dimetilpentano	C_7H_{16}	0,4
3-Metilhexano	C_7H_{16}	1,2
n-Heptano	C_7H_{16}	2,4
Metilciclohexano + 1,1,3-Trimetilciclopentano	$C_7H_{14} + C_8H_{16}$	1,9
Etilciclopentano	C_7H_{14}	0,3
1,2,4-Trimetilciclopentano	C_8H_{16}	0,2
Tolueno	C_7H_8	2,5
2-Metilheptano	C_8H_{18}	1,0
3-Metilheptano	C_8H_{18}	0,6
n-Octano + Dimetilciclohexano	$C_8H_{18} + C_8H_{16}$	1,8
Etilbenzeno	C_8H_{10}	0,8
(m+p)-Xileno	C_8H_{10}	3,4
3-Metiloctano	C_9H_{20}	0,5
0-Xileno	C_8H_{10}	1,2

Compostos	Fórmula	Proporção (%)
Hidrocarboneto alifático	C ₉ H ₂₀	1,1
Hidrocarboneto aromático	C ₉ H ₁₂	3,3

Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas in (CETESB, 2000).

3.4.2. Diesel

O óleo diesel é composto principalmente por hidrocarbonetos de cadeias simples não ramificadas. Diferencia-se da gasolina pelo tamanho das cadeias, número de carbonos na estrutura, peso molecular, pressão de vapor e menor concentração de hidrocarbonetos aromáticos (BTEX).

No processo de processamento de óleo cru, o diesel insere-se na porção intermediária dos destilados (C9 a C25) que incluem querosene, combustível de aviação e óleo combustível. Esses combustíveis contêm parafinas (alcanos), cicloparafinas (cicloalcanos), compostos aromáticos e olefinas (Cole apud Irwin et al. 1998).

3.5. Propriedades físico-químicas dos hidrocarbonetos

Cada petróleo possui uma única “impressão digital” ou seja, uma combinação individual de vários Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAHs) e outros constituintes. Considerando-se a grande variação das propriedades físico-químicas dos diferentes produtos de petróleo, algumas precauções devem ser tomadas ao determinar os reflexos toxicológicos de cada tipo no meio ambiente (Irwin et al., 1998).

3.5.1. Solubilidade

A solubilidade dos hidrocarbonetos compreende a quantidade de soluto que pode sofrer partição na fase aquosa e, assim, ser transportada em solução. A solubilidade do óleo na água é expressa como a concentração cumulativa de componentes dissolvidos individualmente. Com a degradação dos hidrocarbonetos, a solubilidade é reduzida de forma significativa (Irwin et al., 1998) e com o aumento do peso molecular (Dahmani et al., 1993).

3.5.2. Pressão de vapor

A pressão de vapor é diretamente correlacionada com a volatilidade de uma substância. Pode, assim, ser utilizada para estimar a volatilização e partição de um composto presente na fase adsorvida ou na fase aquosa.

3.5.3. Lei de Henry

A solubilidade de um gás em um líquido diminui com o aumento da temperatura e é proporcional à pressão parcial de um gás em contato com a solução. Em outras palavras, quando a pressão parcial de um gás dissolvido no líquido aumenta, a quantidade de gás dissolvido no líquido também aumenta.

3.5.4. Densidade

A densidade de um composto é condicionada às interações entre as substâncias, a estrutura molecular e o peso molecular. A densidade de óleos crus e produtos de óleos dependem da temperatura e do grau de degradação (Irwin et al., 1998).

3.5.5. Coeficientes de partição

Expressa a tendência de particionamento de um composto orgânico entre água e octanol em equilíbrio. Este coeficiente é diretamente proporcional à tendência de dissolução do contaminante em ser dissolvido por líquidos orgânicos ao invés de água.

A tendência de um composto ser adsorvido na fase orgânica de solos é refletida pelo seu coeficiente de partição orgânica (K_{oc}). Ao se comparar o K_{oc} do MTBE com outros compostos, observa-se que existe uma menor afinidade de adsorção em solos quando comparado aos PAHs (Day, 2001).

3.5.6. Tensões interfaciais

Esta propriedade resulta da força de atração entre moléculas na interface de um líquido, sendo essencial para calcular taxas de expansão e o provável ponto no qual o óleo formará emulsões de óleo-em-água e vice-versa. As tensões

interfaciais de óleos crus e derivados dependem da temperatura e do grau de degradação (Irwin et al., 1998).

3.6. Dados toxicológicos sobre os contaminantes

A toxicidade do óleo cru e derivados de petróleo varia consideravelmente em função das características químicas. Por outro lado, a sensibilidade de cada biota varia de acordo com a espécie (Albers apud Irwin et al., 1998).

A toxicidade do óleo cru pode ser interpretada como a toxicidade de uma complexa mistura de produtos químicos orgânicos e inorgânicos. Entretanto, existem muitas incertezas no uso de relações de dose-resposta baseadas no óleo cru como uma mistura total (Sullivan et al. apud Irwin et al., 1998). Uma alternativa aproximada usada muitas vezes é o “indicador de aproximação química”. Este indicador envolve a seleção de uma porção da mistura química total, que demonstre a porção melhor representativa em termos de mobilidade e toxicidade. Esta aproximação pode ser usada para o óleo cru contendo frações de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAHs). Os constituintes BTEX são de interesse por serem solúveis em água, altamente móveis no meio físico e se constituírem nos componentes mais voláteis e solúveis do óleo cru. Deve-se ressaltar que o benzeno é definido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) como classe A – carcinogênico. Os PAHs apresentam mobilidade menor, mas são importantes por prevalecerem no óleo cru, representando os componentes mais pesados e menos voláteis (Sullivan et al apud Irwin et al., 1998).

3.6.1. TPH

Dentre todos hidrocarbonetos de petróleo, o benzeno, o tolueno e os xilenos são considerados os mais nocivos à saúde.

3.6.1.1. Benzeno

O benzeno é encontrado no petróleo em concentrações de até 4 g/L. Emissões de benzeno ocorrem durante a produção de derivados de petróleo e no

manuseio de derivados, como a gasolina e solventes industriais. A principal via de exposição é a inalação.

O efeito mais conhecido da exposição ao benzeno é a depressão da medula, levando à anemia. Carcinogênico, o benzeno tem sido relacionado a casos de leucemia (WHO apud CETESB, 2001).

A risco de câncer pela contribuição do benzeno é muitas vezes superior se comparado a outros componentes presentes em derivados de petróleo.

3.6.1.2. Tolueno

O tolueno é encontrado no solo, adsorvido em argilominerais (bentonita e caolinita) matéria orgânica. A capacidade de adsorção do tolueno cresce com a diminuição do pH.

A passagem do tolueno da água para o ar é bastante rápida. Sua meia-vida para volatilização é de 5 horas (Versar apud CETESB, 2001).

3.6.1.3. Xilenos

Em humanos, a exposição aguda pode produzir irritações respiratórias, faciais e nos olhos, edema pulmonar, pneumonia química da aspiração, sintomas de náusea, dores de cabeça, fraqueza, vertigem ou euforia, perda de coordenação, coma e morte (Dabney apud Irwin et al., 1998).

4. O PETRÓLEO E O MEIO FÍSICO

4.1. Introdução

O destino e o transporte de componentes de combustíveis em subsuperfície são determinados pelas suas características físicas e químicas e pelas condições geoquímicas e hidrogeológicas de um determinado sítio (Day, 2001). As características físicas e químicas da grande maioria dos componentes voláteis na gasolina (BTEX, MTBE e etanol) são comparados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Comparação entre propriedades de destino e transporte para constituintes de combustíveis.

Propriedade	Unidade	MTBE	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	Xileno	Etano
Vol. % na gasolina	Vol%	10-15	1	5	<1	8	10
Peso Molecular ¹	g/mol	88	76	92	106	106	46
Gravidade Específica	Não dimensionável	0.74	0.88	0.87	0.87	0.87	0.79
Pressão de vapores ^{**2}	mm Hg	251	95	28	9	8	50
Pressão parcial (gasolina) *	mm Hg	25	1	1.4	<0.1	0.6	5
Constante de Henry ^{**2}	Não dimensionável	0.02	0.22	0.24	0.35	0.00024	0.00011
Log K _{oc} (adsorção) ²	Não dimensionável	1.05	1.9	2.0	2.5	2.6	0.7
Solubilidade em água (pura) ^{**2}	mg/L	43000	1780	535	161	146	Miscível
Solubilidade em água (gasolina) *	mg/L	4300	18	27	<2	12	Miscível

Propriedade	Unidade	MTBE	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	Xileno	Etano
Limite de Odor ¹	ppbv	95	1500-4700	160	6000	20000	49000
Limite de gosto	mg/L	10-130	500-4500	ND	ND	ND	ND
Taxa de Biodegradação	%/dia	0.01-0.1	0.1-1.0	0.1-1.0	0.1-1.0	0.1-1.0	0.3 ³

* Baseado em gasolina contendo 10% MTBE ou etanol, 5% tolueno, 8% xilenos, 1% etilbenzeno, e 1% benzeno.
 ** Em condições de temperatura de 258°C.
 ND Não disponível.
¹ Urie Environmental apud Day,2001.
² Zogorski et al. apud Day,2001.
³ Malcolm Pirnie, Inc. apud Day,2001.

4.2. Comportamento em subsuperfície

Combustíveis líquidos podem ser convertidos para fases vapor e sólida por uma variedade de processos físicos, químicos e biológicos atuantes no subsolo (Day, 2001). A Figura 4.1 ilustra algumas destas transformações que podem ocorrer entre diferentes fases.

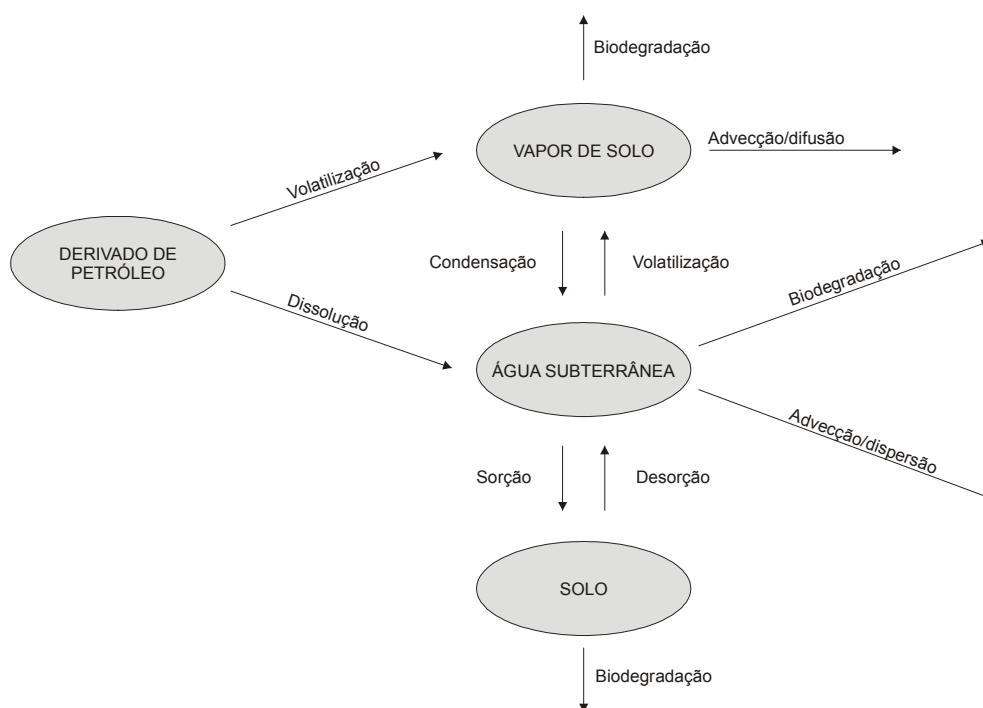


Figura 4.1: Destino e processos de transporte de componentes de combustíveis em solos (Day, 2001).

A volatilização em sistemas aquíferos ocorre na zona vadosa e é comandada pelos gradientes de concentração entre a fase líquida e a fase vapor. Com

o passar do tempo, situações de equilíbrio podem se estabelecer entre as concentrações no ar e nos espaços dos poros na zona vadosa para um determinado contaminante. A pressão vapor de um determinado componente volátil dependente da temperatura é uma medida da tendência deste componente para mover-se da fase líquida para a fase vapor (Day, 2001).

A volatilização e a condensação são processos complementares que descrevem o intercâmbio de componentes voláteis entre água e ar. A volatilização resulta do movimento da água para o ar, enquanto a condensação resulta do ar para a água. O intercâmbio entre a fase vapor no solo e a fase líquida nos poros ocorrerá na zona vadosa e na franja capilar. O equilíbrio pode ser estabelecido entre concentrações de um determinado componente, como descrito pela constante de Henry (Tab. 4.1), e é dependente da temperatura.

A dissolução representa a incorporação de um componente sólido pela fase líquida. A solução de componentes de combustíveis tenderá a ocorrer dentro dos poros d'água na zona vadosa, bem como na zona saturada, abaixo do lençol freático. A constante infiltração de água através de solos afetados por contaminação tenderá a dissolver os componentes voláteis do contaminante residual nos solos. A solubilidade em água é provavelmente a mais importante propriedade que afeta a partição de componentes orgânicos entre o contaminante e a água. Compostos como MTBE são mais solúveis em água que constituintes BTEX, por exemplo (Tab. 4.1).

Quando em contato com o meio físico, a trajetória de transporte de contaminantes orgânicos pode ser modelada segundo dois estágios (Fig. 4.2). O primeiro, compreende todos aqueles processos que ocorrem inteiramente acima do nível freático, ou seja, na zona vadosa. O segundo, considera os processos de transporte dentro do aquífero freático em pequenas profundidades e pode ser caracterizado através de poços de monitoramento.

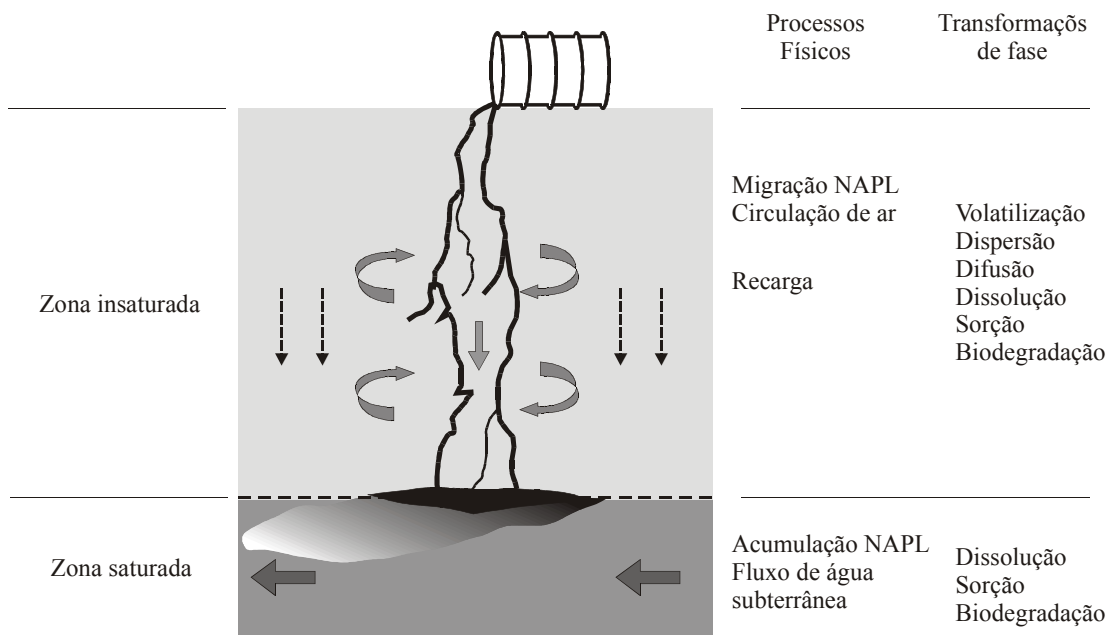


Figura 4.2: Estrutura do modelo de transporte de NAPLs modificada de (Day, 2001).

Uma vez inserido no subsolo, o produto do petróleo passa a compor três diferentes fases: dissolvida, líquida e gasosa. Uma pequena fração dos hidrocarbonetos de petróleo é dissolvida na água subterrânea, parte do líquido inicialmente infiltrado permanece preenchendo poros dos solos, como fase residual, e sofre evaporação no ar presente nos poros do solo. A fase líquida imiscível na água subterrânea é chamada de fase líquida não-aquosa, NAPL - *non-aqueous phase liquids*.

A NAPL é em geral dividida em duas classes, uma mais leve que a água (LNAPL - *light non-aqueous phase liquids*) e, outra, com densidade maior que a da água (DNAPL - *dense non-aqueous phase liquids*). Hidrocarbonetos de petróleo presentes em combustíveis como gasolina, querosene e diesel são LNAPL (Coduto, 1998).

Os movimentos oscilatórios de níveis freáticos condicionam os contaminantes a uma mistura complexa de três ou quatro fases, envolvendo grãos minerais, hidrocarbonetos em fase líquida, água e/ou ar (Sauck, 2000).

A **Fase Livre** constitui um nível sobrenadante ao freático livre com espessura variável (Fig. 4.3), dependente da quantidade de produto inserido no meio e da dinâmica do aquífero freático. A fase livre é composta por hidrocarbonetos que preenchem cerca de 50% dos vazios do solo, enquanto a outra metade dos vazios é

ocupada por água e ar (Sauck, 2000). Esses valores não são constantes, admitindo-se que concentrações menores de hidrocarbonetos sejam registradas nos limites superiores deste intervalo, próximo do limite com a franja capilar associada ao nível freático.

A passagem de contaminantes da fase livre para as demais fases dá-se através de uma interface de transição de espessura variável, dependente de fatores como viscosidade do produto, disponibilidade de oxigênio, magnitude e frequência das oscilações freáticas, porosidade do solo e, ainda, o tempo transcorrido desde o vazamento, entre outros fatores intervenientes.

A **Fase Residual** ou **Fase Adsorvida** constitui um halo de dispersão entre a fonte do vazamento e o nível freático (Fig. 4.3) sendo mais efetiva com produtos mais viscosos como óleo cru. Caracteriza-se por finas películas de hidrocarbonetos que ficam aderidas às superfícies de grãos do solo ou descontinuidades existentes no substrato geológico. Devido às variações freáticas inerentes, a fase adsorvida ocupa uma parte da franja capilar, situada logo acima da zona de fase livre, podendo ser mais ou menos significativa em função da viscosidade do produto, das condições geológicas e das oscilações do lençol freático.

A **Fase Dissolvida** decorre da dissolução de aditivos, MTBE principalmente, e de fração emulsionada de hidrocarbonetos que possuem maior mobilidade e fraca viscosidade como a gasolina, dissipando-se abaixo no nível freático livre (Fig. 4.3). A quantidade de hidrocarbonetos dissolvidos depende das condições de degradação e de bioconversão do produto, estando, desta forma, mais condicionada à fase residual, onde estes processos são mais intensos. É interessante destacar que ambientes anóxicos inibem a dissolução de hidrocarbonetos e a fase dissolvida. Neste caso, apenas a parte superior de aquíferos livres são afetadas.

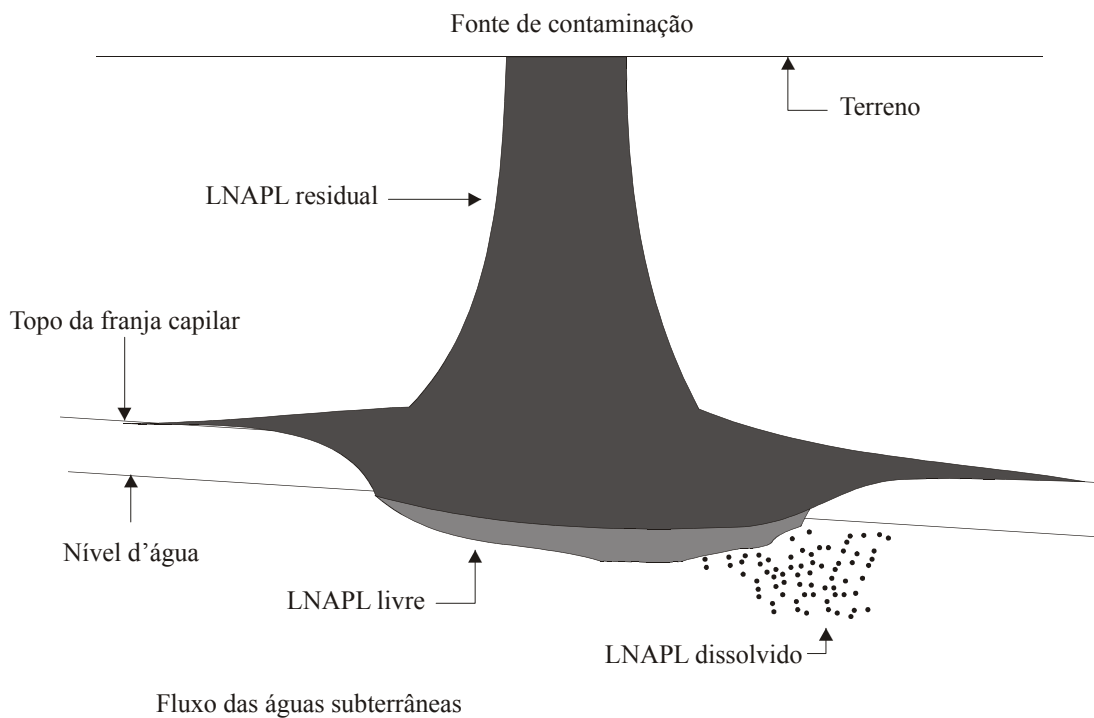


Figura 4.3. Fases de contaminação para LNAPLs.

Oscilações no nível freático alteram o cenário de situação das diferentes fases. Em caso de rebaixamento do nível freático, uma franja de LNAPL fica aderida aos solos como fase residual (Fig. 4.4). Numa situação de recomposição do nível freático ou até mesmo na elevação deste acima da profundidade habitual, uma franja residual de LNAPL se origina abaixo do nível freático (Fig. 4.4).

Nas ocasiões de rebaixamento do lençol freático, a fase residual de contaminantes passa a ser mais facilmente degradada, pois passa a contar com maior disponibilidade de oxigênio no ambiente. O inverso ocorre em ocasiões de elevação do nível freático.

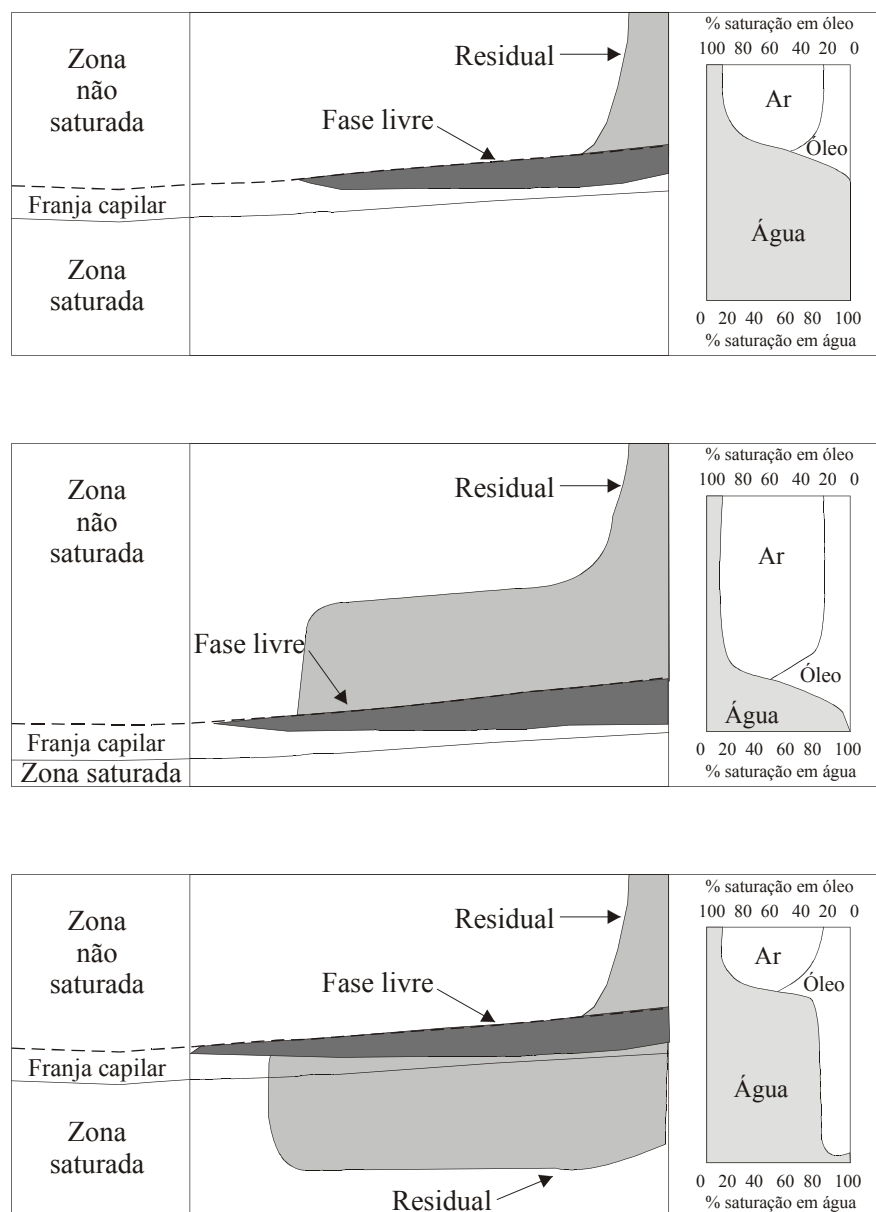


Figura 4.4. Efeitos da oscilação do nível freático na distribuição de LNAPL (Fetter, 1993).

4.3. Mecanismos de transporte de contaminantes

Os principais processos de transporte de contaminantes em águas subterrâneas incluem advecção, difusão e dispersão.

A **advecção** define a movimentação do contaminante junto a superfície freática, mantendo relação direta de velocidade e direção de fluxo com esta.

A **difusão** molecular é o processo pelo qual os contaminantes solúveis migram de áreas com maior concentração para outras com menor concentração, de acordo com a lei de Fick¹. Este processo pode ocorrer mesmo na ausência de fluxo da água subterrânea (Atmadja & Bagtzoglou, 2001).

A **dispersão** é o principal processo de diluição de contaminantes e sua efetividade é decorrente das características físicas do contaminante, da variação espacial dos caminhos de fluxo, da heterogeneidade do aquífero e da velocidade de fluxo das águas subterrâneas.

A **adsorção** envolve o retardamento no avanço do contaminante através das interações físicas e químicas entre este e a matriz do solo.

A **biodegradação** ou **bioconversão** representa a transformação de certos componentes orgânicos em CO₂ e água, na presença de microorganismos em subsuperfície (Bedient, 1994).

Os mecanismos de advecção, dispersão e difusão são responsáveis pela disseminação longitudinal e transversal dos contaminantes, de acordo com a direção de fluxo (figura 4.5). Desta forma, as envoltórias de plumas tendem a formas alongadas segundo a direção de fluxo predominante das águas subterrâneas.

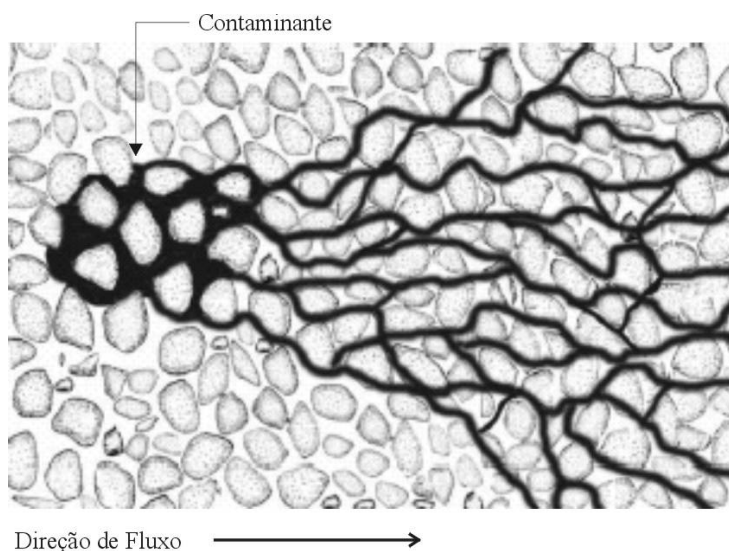


Figura 4.5. Transporte de contaminantes nos poros do solos com diminuição das concentrações ao longo da trajetória de fluxo (Atmadja & Bagtzoglou, 2001).

1 A lei de Fick descreve o movimento passivo de moléculas e a sua diminuição por gradientes de concentrações.

4.4. Atenuação natural

A atenuação natural corresponde a um conjunto de um processos químicos, físicos e biológicos que levam à redução de concentrações, toxicidade ou mobilidade de contaminantes em solos ou águas subterrâneas (USEPA, 1999). Tais processos agem *in-situ* e incluem mecanismos de biodegradação, dispersão, diluição, sorção, volatilização e transformação ou destruição química e/ou biológica de contaminantes.

A eficácia da atenuação natural depende do tipo e concentração do contaminante e das características físicas, químicas e biológicas do meio físico. A atenuação pode reduzir os riscos impostos pelos contaminantes de três formas:

- transformação dos contaminantes para formas menos tóxicas, através de processos de biodegradação ou bioconversão;
- redução da mobilidade dos contaminantes pela sorção no solo;
- redução das concentrações dos contaminantes e, em consequência, dos níveis de exposição.

A biodegradação colabora com a aceleração dos processos de degradação, uma vez que parcelas de hidrocarbonetos são transformadas em ácidos orgânicos ou mesmo totalmente oxidadas. Em ambientes aeróbicos e com maior disponibilidade de oxigênio, a atenuação é mais efetiva, sendo possível degradar completamente os PAHs para produtos não tóxicos como CO₂ e H₂O (mineralização) ou assimilar estes à biomassa microbológica (Cerniglia & Heitkamp apud Elliott, 2001).

Em condições anaeróbicas, a disponibilidade de oxigênio fica condicionada ao fluxo das águas subterrâneas e à renovação destas no ambiente. Nesta situação, a demanda de oxigênio é muitas vezes inferior que em condições aeróbicas, tornando, assim, mais lenta a degradação dos contaminantes. Quando a atividade microbológica é suficientemente rápida, plumas de PAHs podem estabilizar, ou seja, não expandir espacialmente (USEPA, 1999).

É registrado que a volatilização dos componentes mais voláteis de BTEX respondem por apenas 5 a 10% da redução de massas em diversos sítios contaminados (McAllister & Chiang apud Bocklmann, 2002).

A sorção de contaminantes é comumente chamada de particionamento, constituindo um processo no qual o contaminante, originalmente em solução, passa a incorporar-se às fases sólidas, ficando retido em partículas do solo, principalmente em argilominerais, matéria orgânica e óxidos de Fe e Mn.

A atenuação natural de contaminantes inorgânicos em solos e águas subterrâneas pode ser eficaz através de reações redox. Os metais podem ser aprisionados² por reações de sorção como precipitação, adsorção nas superfícies dos minerais do solo, absorção na matriz pedológica, ou ainda, pelo particionamento em matéria orgânica (USEPA, 1999).

2 O aprisionamento de contaminantes inorgânicos dá-se, exceto aqueles que sofrem decaimento radioativo, pela não degradação destes por processos naturais de atenuação.

5. METODOLOGIA

5.1. Levantamento Geológico

O reconhecimento geológico do terreno foi realizado a partir da análise de afloramentos naturais e de cortes existentes na região, do levantamento de dados em trabalhos anteriores, da execução de 40 sondagens a trado manual e de perfurações profundas utilizadas para a instalação de dez poços de monitoramento. As sondagens a trado avançaram até o nível freático livre ou até três metros de profundidade quando este não foi alcançado. Tal profundidade foi adotada por cumprir com os objetivos desejados.

Um extenso trabalho de compilação de dados geológicos, realizado sobretudo em relatórios geotécnicos com informações sobre sondagens a percussão, alimentou um banco de dados com descrição dos materiais geológicos em 339 diferentes pontos (Fig. 5.1). Os registros compilados compreendem sondagens executadas no período entre 1964 e 2002, tendo como últimos resultados as dez perfurações executadas neste projeto para a instalação de poços de monitoramento.

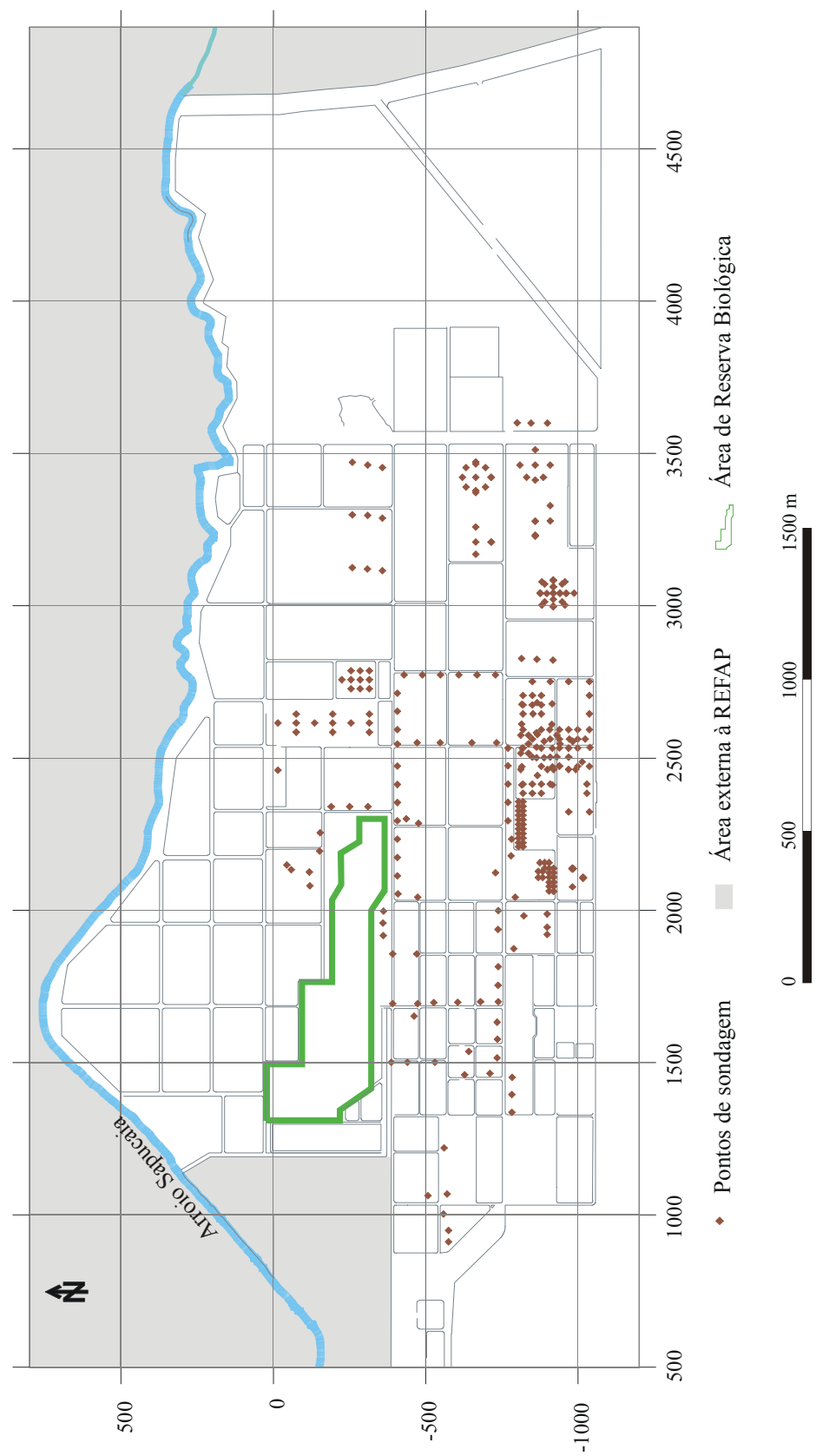


Figura 5.1. Distribuição das sondagens geotécnicas utilizadas na caracterização geológica da área da REFAP.

5.2. Cadastro de poços tubulares

Foram cadastrados poços tubulares no entorno da REFAP, através da consulta aos bancos de dados da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM). Adicionalmente, foi realizado levantamento em campo de residências, estabelecimentos comerciais e indústrias, aplicando-se um questionário de entrevista, onde constam informações sobre localização, o tipo de operação do poço, qualidade e uso da água, com a finalidade reconhecer a situação atual de exploração dos aquíferos nas adjacências da Refinaria.

5.3. Testes de *slug*

Testes de *slug* (Fetter, 1994) foram executados nos dez poços de monitoramento instalados para determinar a condutividade hidráulica dos aquíferos situados nos domínios da REFAP. Os ensaios foram realizados segundo o método de Hvorslev.

O método de Hvorslev (Fetter, 1994) é aplicado àqueles poços de monitoramento que apresentem também características de piezômetros, ou seja, que possuam segmento de filtro para um intervalo de profundidade específica definida por algum tipo de selo³. Aplicado apenas abaixo do nível freático, o método consiste na adição ou deslocamento de um volume d'água previamente conhecido. Após adicionado ou deslocado este volume d'água, registra-se o tempo de estabilização do nível estático (inicial), fazendo-se sempre leituras em intervalos de tempo pré-estabelecidos. À medida em que a recuperação se torna mais lenta, mais próxima do nível estático, estes intervalos de leituras são também maiores.

Para realização do ensaio é utilizado um sólido (*slug*) com diâmetro de 75mm e comprimento de 2000mm, construído com tubo de PVC selado nas duas extremidades. Com estas dimensões do *slug*, são deslocados aproximadamente 9,0 litros de água, o que provoca a elevação máxima de 90cm do nível d'água nos poços de monitoramento que apresentam 10mm de diâmetro nominal interno.

3 Selo – Obturador com função de vedar o espaço anular em torno do tubo de revestimento, acima do limite máximo de variação do nível do aquífero, evitando a contaminação do poço por líquidos percolados pelo espaço anular. O material vedante (bentonita e cimento) deve obstruir uma pequena parte do espaço anular, o suficiente para impedir a passagem de água de um nível para outro (ABNT, 1997).

Imediatamente após à imersão do *slug*, a primeira leitura é realizada para determinar a altura máxima atingida pelo deslocamento de água (h_0). Até a reestabilização do nível estático do aquífero certo tempo (T) decorre e quando reconstituído o nível, a última leitura é realizada (h).

O monitoramento do nível d'água (NA) foi efetuado com um medidor de interface sonora marca Jaciri. O rebaixamento do nível d'água foi medido com intervalos crescentes de tempo de 10, 30, 60, 300 e 600 segundos até a estabilização.

A condutividade hidráulica e transmissividade (K) dos aquíferos são determinadas através do método de Hvorslev. Os dados registrados em campo (Anexo A) são computados e as razões h/h_0 vs. tempo da leitura são plotadas em gráfico semilogarítmico. O índice K é calculado tomando-se o tempo (T_0) de rebaixamento da coluna d'água até 37% da altura inicial modificada (h_0). Após a determinação destes parâmetros e das condições construtivas do poço de monitoramento, o resultado final é obtido através da fórmula:

$$K = r^2 \ln(L/R) / 2LT_0$$

onde:

- K representa a condutividade hidráulica;
- r, o raio do tubo;
- R, o raio da perfuração;
- L, o comprimento do seguimento de filtro;
- T_0 , o tempo transcorrido até o rebaixamento à 37% da altura inicial modificada.

5.4. Amostragem

As campanhas de amostragem de solo e água foram registradas em cadeias de custódia, a fim de revelarem informações pertinentes ao momento de cada coleta (WDNR, 1996). Especificadas em cadeias distintas, amostras de solos e de águas tiveram anotadas a identificação de campo (poço de monitoramento – PM, ou sondagem a trado – T), data, hora, profundidade (intervalo), nível d'água, breve descrição da amostra e observações adicionais (presença e tipo de odor). Nas

amostras de água foram registradas, ainda, medidas de pH, temperatura local e da amostra e a condutividade elétrica.

5.4.1. Solos e sedimentos

A amostragem de solos e sedimentos foi realizada através de 40 sondagens a trado manual (Fig. 5.2), obtendo-se um total de 75 amostras para análises, como mostram os perfis descritos nas Figs. 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7. Via de regra, em cada perfuração foram coletadas duas amostras: uma em horizonte seco e outra junto ao nível freático. Este procedimento teve a finalidade de caracterizar o comportamento dos hidrocarbonetos e metais nos ambientes de zona vadosa e franja capilar, a fim de revelar possíveis fases adsorvida e livre, respectivamente. Apenas uma amostra foi coletada nas sondagens em que o nível freático é raso (próximo à superfície), enquanto até três foram coletadas naquelas onde o freático aparece em maior profundidade ou a mudança de estratos é sugestiva.

Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, fechados com fita adesiva, mantidas sob refrigeração e encaminhadas para o laboratório ALAC Porto Alegre para análises químicas de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) e metais (cromo, vanádio, chumbo, mercúrio, zinco, cádmio e cobre). Adicionalmente, oito amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS para determinação de teores de Carbono Orgânico e de Capacidade de Troca Catiônica (CTC). Nestas mesmas amostras foi identificada a assembléia de argilo-minerais, através de Difractometria de raios-X, ensaio este realizado no Laboratório do Instituto de Geociências da UFRGS.

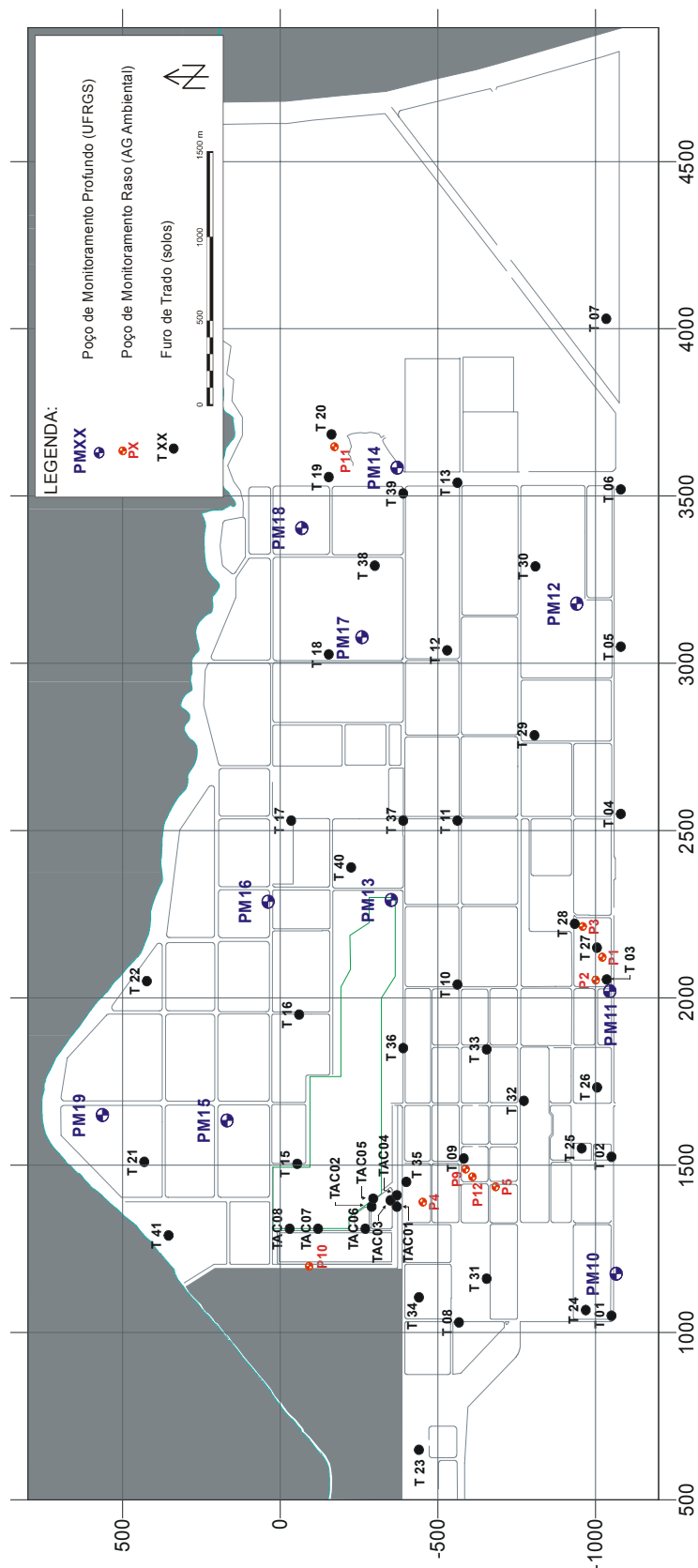


Figura 5.2. Localização dos poços de monitoramento e furos de trado.

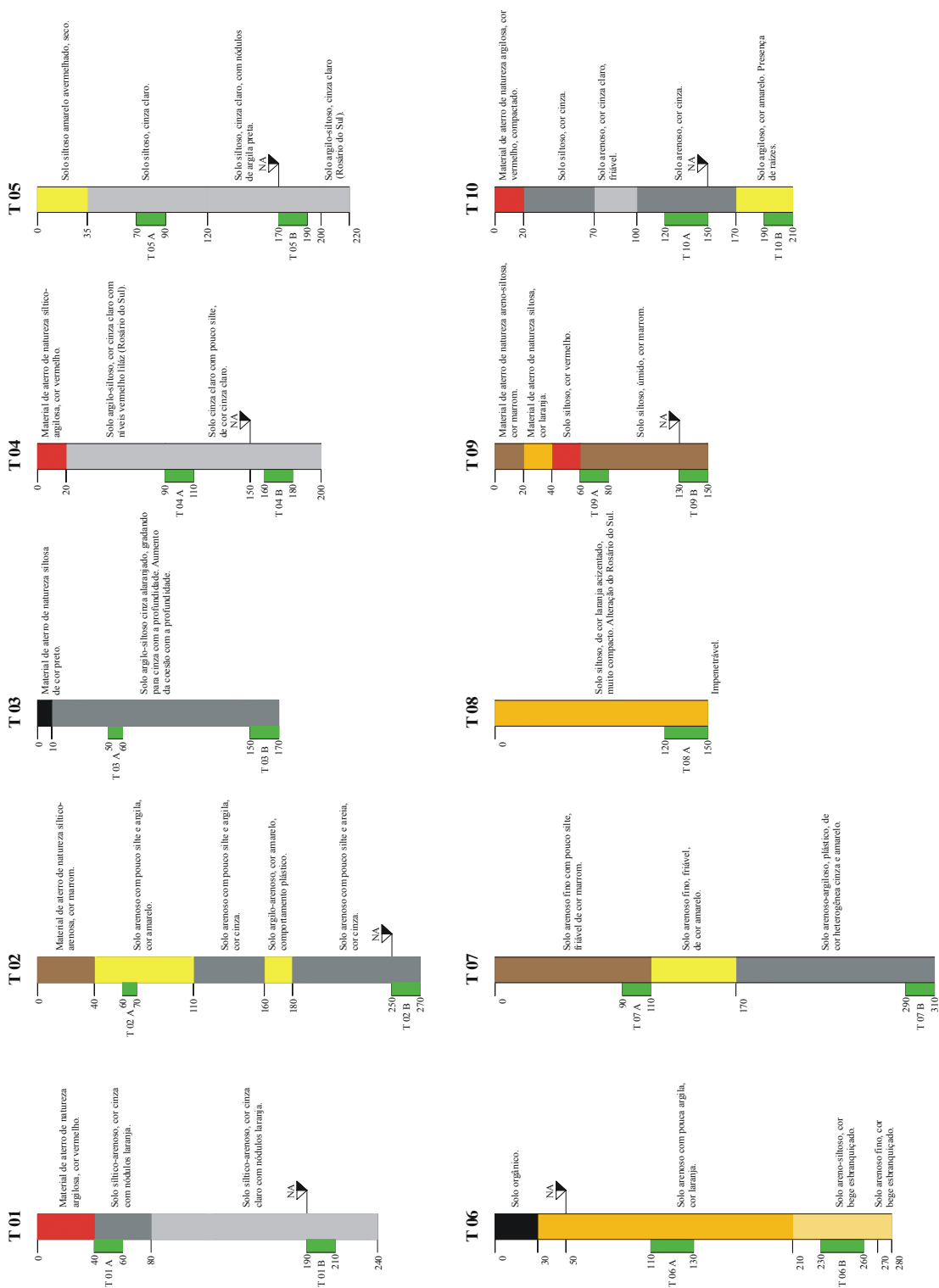


Figura 5.3. Boletins de sondagem a trado (T01 a T10).

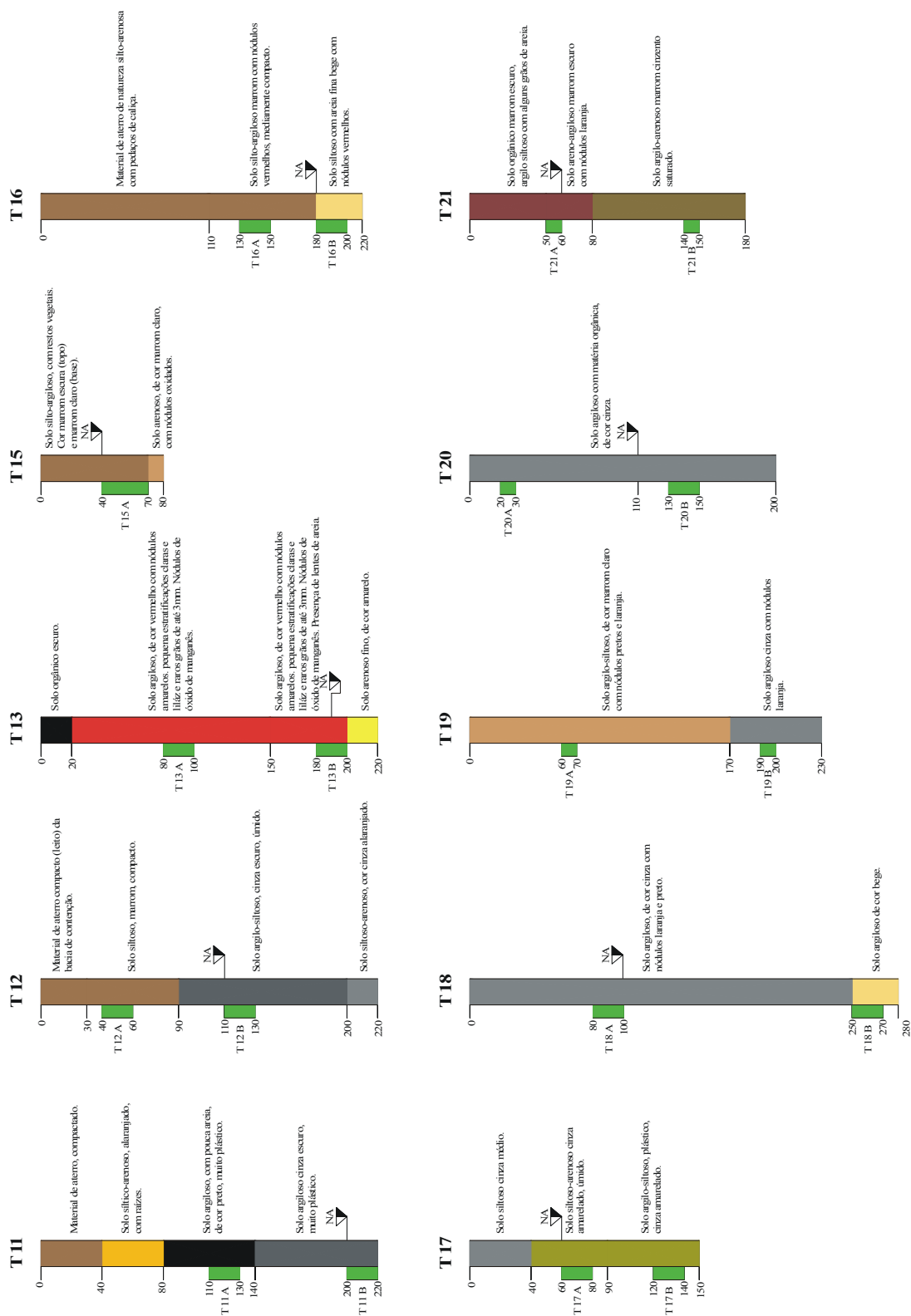


Figura 5.4. Boletins de sondagem a trado (T11 a T21).

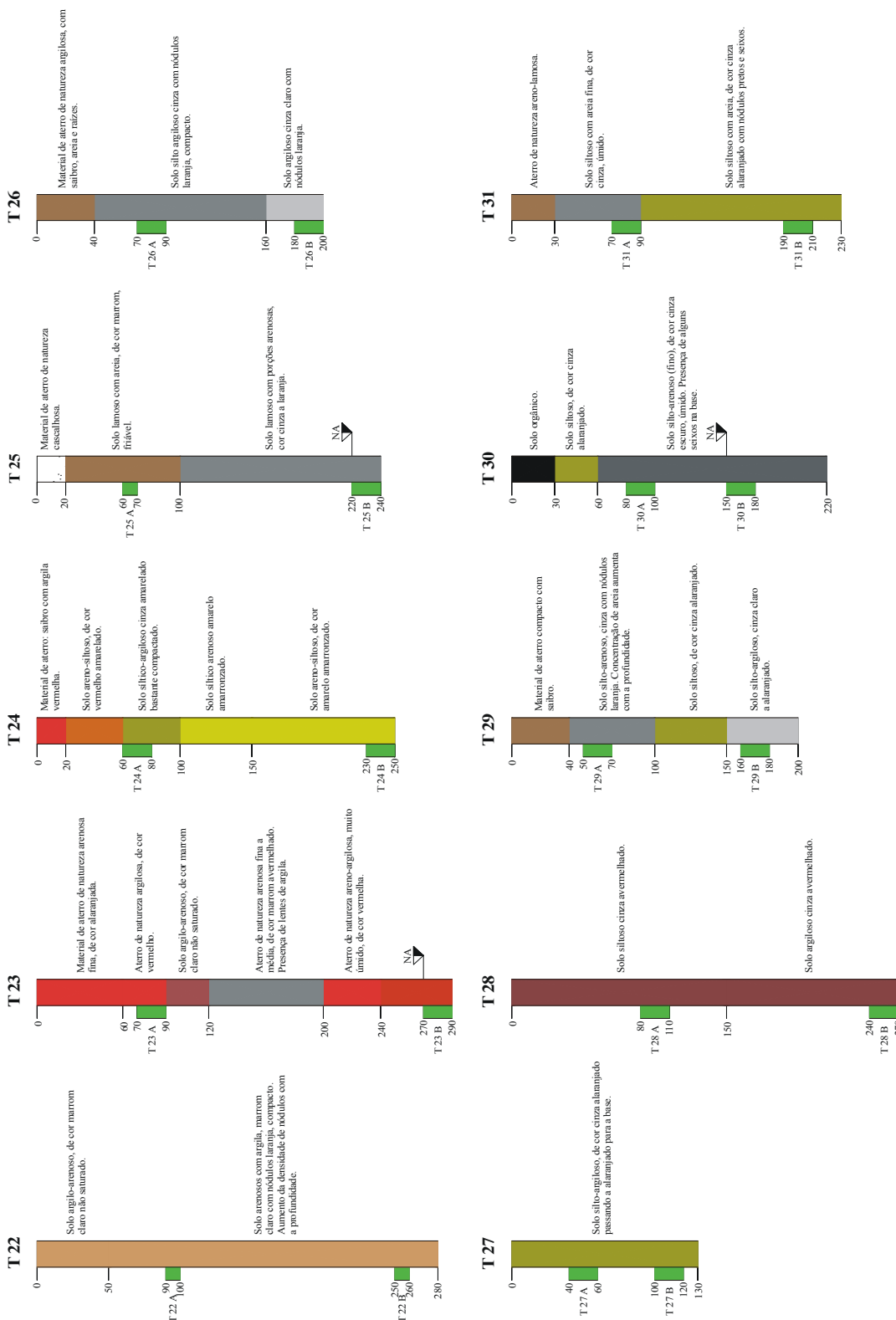


Figura 5.5. Boletins de sondagem a trado (T22 a T31).

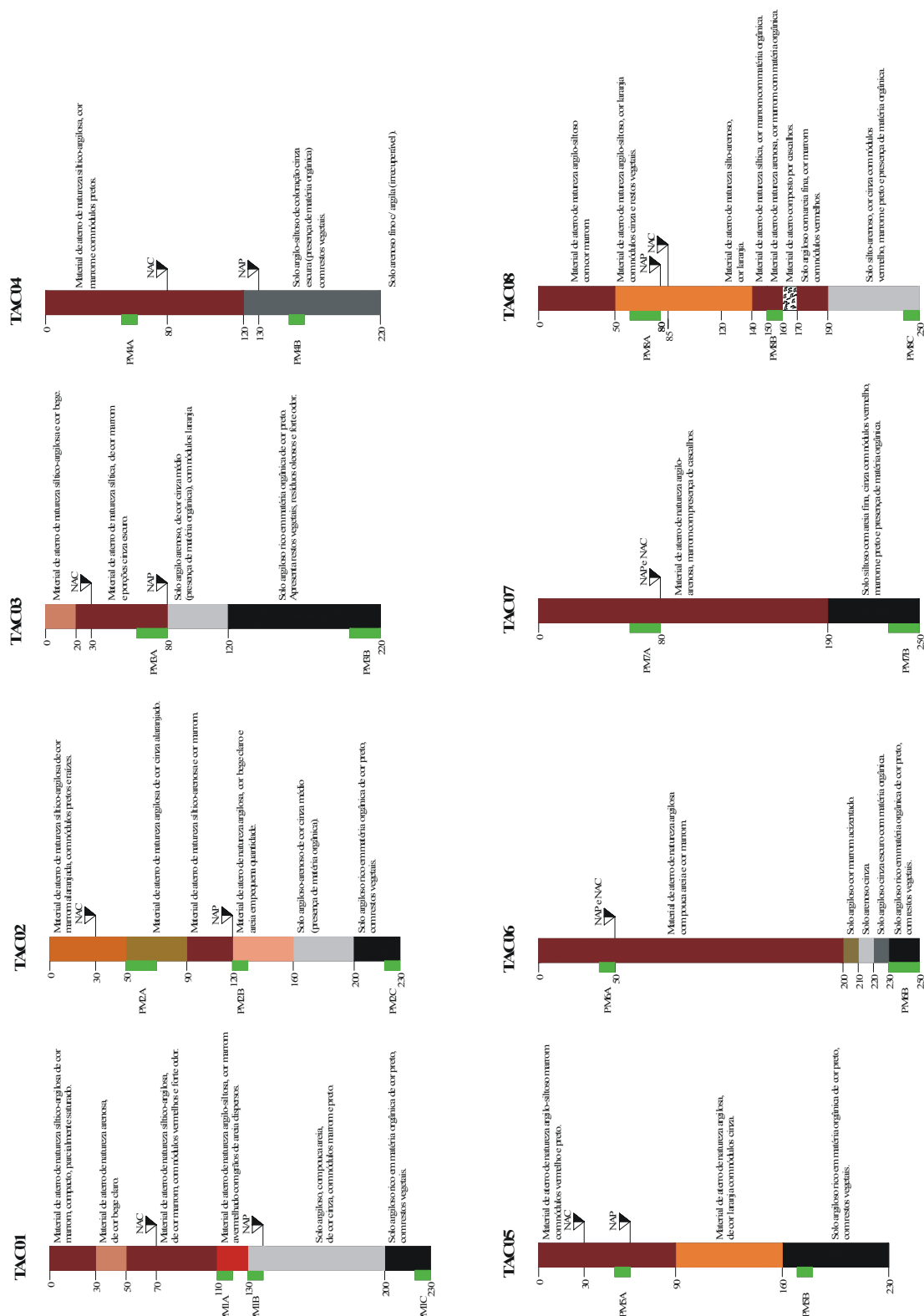


Figura 5.7. Boletins de sondagem a trado (TAC01 a TAC08).

5.4.2. Águas subterrâneas

A amostragem de águas subterrâneas foi executada nos dez poços de monitoramento profundos instalados, distribuídos em arranjo mais ou menos regular, cobrindo toda a área da REFAP (Fig. 5.2). A construção dos poços obedeceu às determinações da norma NBR 13.895 (ABNT, 1997), sendo o perfil construtivo apresentado nas Figs. 5.8, 5.9 e 5.10.

Foram também amostrados outros dez poços rasos com profundidades de até 5m, instalados pela empresa AG Ambiental em 2000. Após inspeção, os poços foram esgotados com bomba manual 24 horas antes da coleta das amostras de água (RECAP, 2000). Nos poços de monitoramento profundos, por outro lado, foi efetuado bombeamento com bomba elétrica submersa, marca Grundfos, de 3” de diâmetro, em período de 24 horas antes da amostragem. Vazões de até 1.800 litros por hora foram registradas durante pelo menos 45 minutos, o que permitiu a extração de volumes de água no mínimo seis vezes superiores àqueles acumulados nos poços, correspondendo ao dobro indicado de três volumes (RECAP, 2000).

Em cada poço foi coletado um litro de água com amostradores transparentes e descartáveis do tipo *Bailer* (Foto 5.1), que permitem a visualização de fase livre de hidrocarbonetos. No momento da coleta, foram medidos o pH e a condutividade elétrica da água, utilizando-se peagâmetro e condutivímetro marca Quimis, a temperatura da água, a temperatura ambiente e a profundidade do nível d'água.

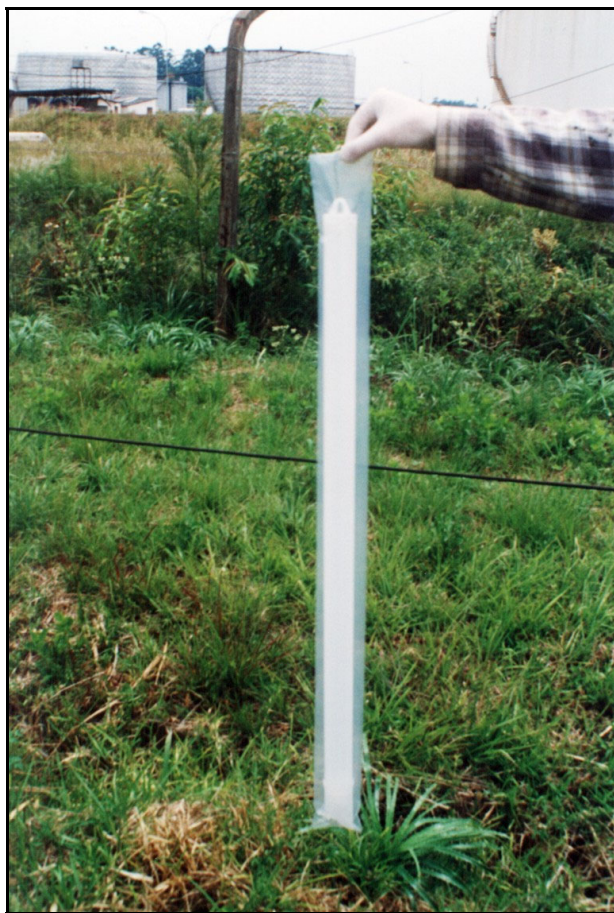


Foto 5.1. Amostrador do tipo Bailer utilizado na coleta das amostras de águas.

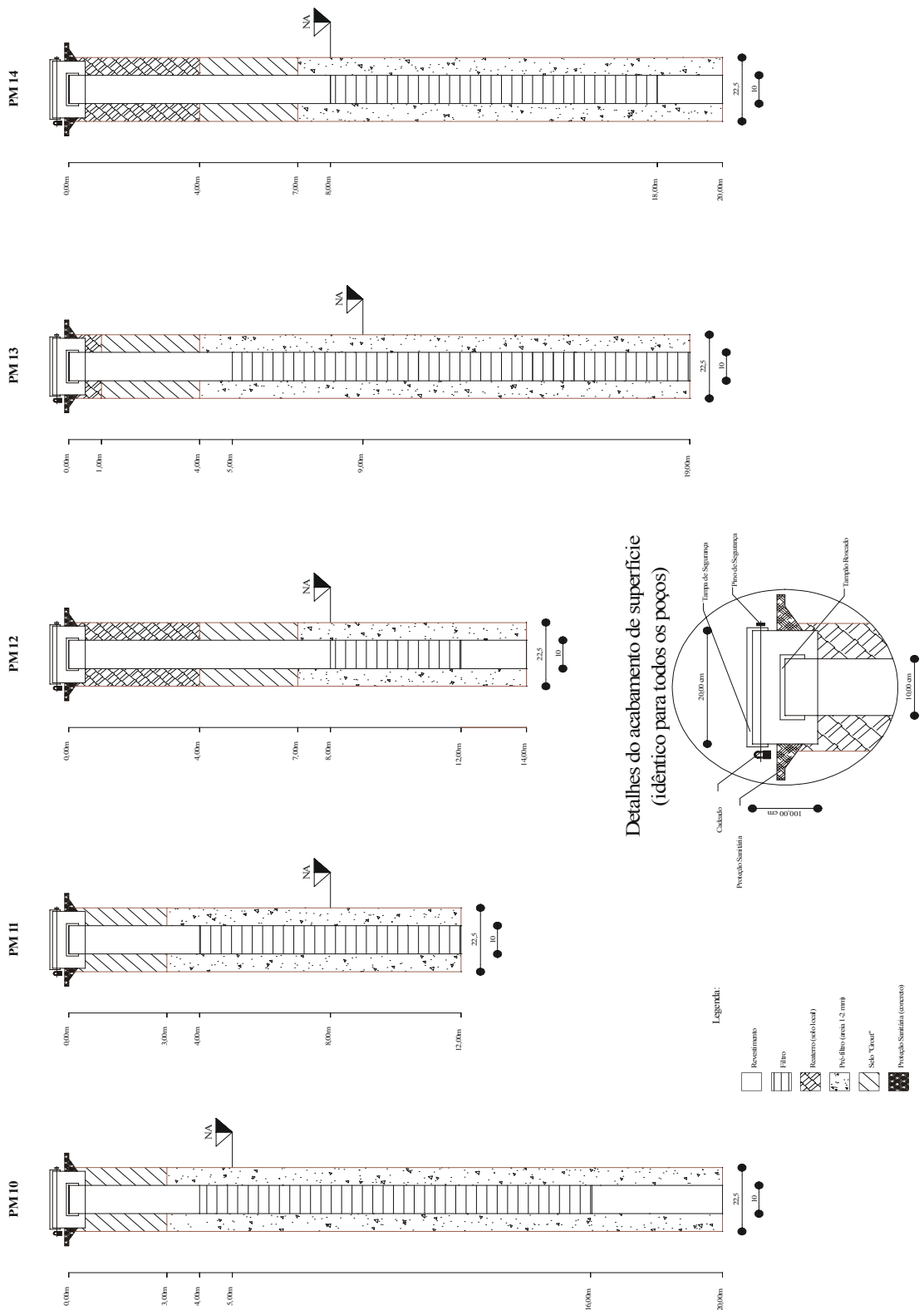


Figura 5.8. Detalhes construtivos dos poços de monitoramento (PM10 a PM14).

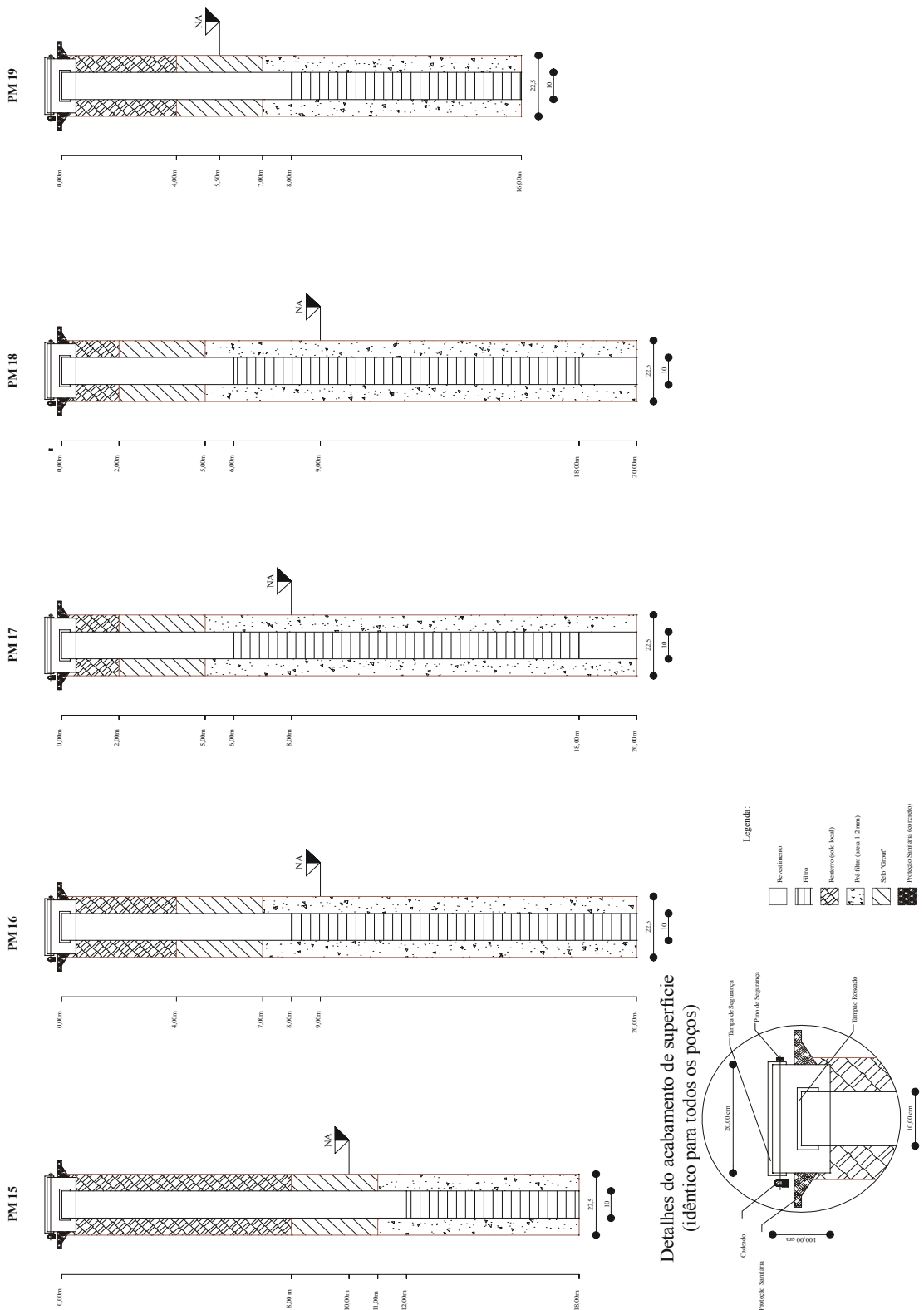


Figura 5.9. Detalhes construtivos dos poços de monitoramento (PM15 a PM19).

5.5. Análises químicas

As análises químicas de metais pesados e hidrocarbonetos em solos, sedimentos e água foram executadas no Laboratório ALAC Porto Alegre, segundo métodos analíticos preconizados pela USEPA.

5.5.1. Metais pesados

As análises de metais pesados (Cr, Cd, Hg, Zn, Cu, V e Pb) foram executadas por Espectrofotometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite e Chama de Geração de Hidretos (para o Hg) com digestão de microondas (Métodos EPA 200.7, 200.8, 200.13). O equipamento utilizado foi o Espectrofotômetro de Absorção Atômica de marca Perkin Elmer, modelo AAS Analyst 800. O limite de detecção para cada metal é apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Limites de detecção para águas e solos para metais e contaminantes orgânicos.

Parâmetro	Limite de detecção
Cromo	0.02*
Mercúrio	0.0005*
Cádmio	0.002*
Cobre	0.01*
Chumbo	0.005*
Vanádio	0.03*
Zinco	0.005*
TPH	0.1**
Benzeno	0.01***
Tolueno	0.01***
Etilbenzeno	0.01***
Xileno	0.01***
(*) mg/Kg e mg/L, (**) µg/L e µg/Kg, (***) µg/L	

5.5.2. Hidrocarbonetos de petróleo

Os hidrocarbonetos de petróleo (TPH, Benzeno, Tolueno, Xileno, Etilbenzeno) foram analisados por Cromatografia Gasosa com Detector de Massa (CG/MS) (Métodos EPA 502.2, 524.2, 502.1). O limite de detecção deste método é de 1 µg/L (1 ppb) e a linearidade de quantificação é 10 µg/L (10 ppb) com precisão de análise de 85%. O equipamento utilizado foi o Cromatógrafo de gás, marca Perkin Elmer, modelo Autosystem XL, adaptado com o acessório *Headspace*, modelo HS-40.

6. O MEIO FÍSICO

6.1. Geologia

6.1.1. Geologia da região metropolitana de Porto Alegre

A grande Porto Alegre é caracterizada por dois domínios geológicos distintos, o Embasamento Granítico-gnáissico Pré-Cambriano e a cobertura sedimentar, constituída pelo pacote gonduânico de idade Paleozóica à Mesozóica (Província Paraná) e os sedimentos quaternários (Província Costeira). A pilha vulcânica mesozóica basalto-riolítica da Formação Serra Geral ocorre ao norte da região e tem influência inexpressiva na área da refinaria.

O Embasamento Granítico-gnáissico Pré-Cambriano é representado por granitos, gnaisses graníticos e escassos diques riolíticos e basálticos, que fazem parte da unidade denominada Batólito Pelotas, uma associação de corpos intrusivos com extensão da ordem de 2.500 km² (Philipp, 1998). O Batólito Pelotas tem origem e evolução tectônica relacionada ao Ciclo Orogenético Brasileiro, com idades de 830 Ma a 536 Ma (Soliani Jr., 1986).

Lineamentos tectônicos de extensões regionais são freqüentes no embasamento pré-cambriano. Tais fraturas imprimem importante porosidade e permeabilidade secundárias às rochas, interferindo, de forma determinante, no regime

dinâmico das águas subterrâneas, no condicionamento hidrogeológico e na qualidade hidráulica dos aquíferos profundos.

A conformação do relevo na região responde aos caracteres litoestruturais dos domínios tectono-estratigráficos, sendo os altos topográficos representados por cristas e colinas emolduradas nas rochas granitóides. As zonas baixas correspondem aos terrenos sedimentares gonduânicos e quaternários, que constituem planícies e terraços. A cobertura sedimentar gonduânica correspondente à Província Paraná e a cobertura quaternária, preenchem as depressões do embasamento cristalino.

A Província do Paraná é representada na unidade geomorfológica denominada Depressão Central do Rio Grande do Sul, onde se insere a Refinaria, por uma cobertura sedimentar, depositada a partir do Paleozóico até o Triássico, somada a *sills* e diques de diabásio relacionados ao magmatismo Juro-Cretáceo basalto-riolítico da Formação Serra Geral. As rochas sedimentares da Província Paraná, de uma maneira geral, apresentam um relevo fracamente ondulado com cotas máximas de 140 metros. O vulcanismo basalto-riolítico, por sua vez, constitui um platô com profundos entalhes tectônicos na região Nordeste do Estado e recobre as duas unidades anteriores (Embasamento Cristalino Granito-Gnássico e Pacote Sedimentar Gonduânico).

A cobertura sedimentar gonduânica é subdividida, resumidamente, nas seguintes unidades estratigráficas (Holz & De Ros, 2000).

Litoestratigrafia	Associação de Fácies	Litologias
Formação Botucatu	Depósitos eólicos de dunas durante o Jurássico	Arenitos
Formação Sanga do Cabral	Depósitos fluviais e de inundação originados durante o Triássico	Arenitos, argilitos e siltitos
Formações Irati, Estrada nova e Rio do Rasto	Depósitos formados a partir de uma associação faciológica marinha a subaérea no final do Permiano.	Argilitos, siltitos e folhelhos(Irati e Estrada Nova); arenitos finos, folhelhos, argilitos e siltitos (Rio do Rasto)
Formação Palermo	Topo: marinho restrito Base: mar epicontinental	Siltitos e arenitos finos

Litoestratigrafia	Associação de Fácies	Litologias
Formação Rio Bonito	Depósitos fluviais deltaicos e estuarinos, que evoluíram a depósitos de <i>shoreface</i> e a depósitos de supramaré.	Siltitos e folhelhos carbonosos, arenitos finos
Grupo Itararé	Depósitos glaciais que evoluíram para depósitos marinhos.	Folhelhos, siltitos e arenitos finos

O Grupo Itararé é formado por folhelhos, argilitos, ritmitos, arenitos finos, tilitos, diamictitos e varvitos cinza escuros, com laminação *flaser*, plano-paralela, cruzada e rítmica com estruturas de escorregamento.

A Formação Rio Bonito é constituída de siltitos de cor cinza, folhelhos carbonosos com camadas de carvão e arenitos cinza-esbranquiçados, finos a grossos, localmente conglomeráticos, com estratificação paralela, cruzada ou acanalada.

A Formação Palermo é representada por siltitos arenosos cinza a amarelo-esverdeados, e arenitos finos na base e na parte superior. Os sedimentos apresentam intensa bioturbação, laminações cruzada e lenticular, ondulação *flaser* e cimento calcítico.

As Formações Irati e Estrada Nova contêm argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros a pretos, com abundante matéria orgânica. A primeira unidade apresenta freqüentes intercalações de lentes de marga nos folhelhos, enquanto a Formação Estrada Nova possui lentes arenosas calcíferas com laminação ondulada *flaser* e gretas de contração.

A Formação Rio do Rasto consiste em arenitos finos bem selecionados, intercalados com siltitos e argilitos esverdeados ou avermelhados, com laminações paralela, cruzada e acanalada.

As Formações Mesozóicas sedimentares da Bacia do Paraná são representadas pelas Formações Sanga do Cabral e Botucatu, depositadas em ambiente continental, durante o Permiano/Triássico, como resultado de um importante rebaixamento do nível de base da Bacia do Paraná.

Os arenitos fluviais da Formação Sanga do Cabral são quartzo-feldspáticos, de cor avermelhada, com granulometria média à fina, apresentando

estratificações cruzadas acanaladas e ondulações de médio a pequeno porte, apresentando óxidos de ferro e abundantes argilas intersticiais diagenéticas com predominância de esmectitas sobre illita, caulinita e clorita (Gamermann, 1979). Na base da seqüência e na região metropolitana de Porto Alegre aparece principalmente como argilitos e siltitos vermelhos maciços típicos.

Os arenitos eólicos da Formação Botucatu são rosados ou alaranjados, apresentando estratificação plano-paralela ou, mais comumente, cruzada de grande porte. Os arenitos apresentam normalmente pequeno teor de argilas diagenéticas intersticiais, com predomínio de esmectitas e cloritas em subsuperfície e de caulinita nas amostras de superfície (Gamermann, 1979). A alta permeabilidade e continuidade lateral fazem dos arenitos excelentes aquíferos, mas a heterogeneidade conferida pela estratificação pode promover padrões hidrodinâmicos complexos. As descrições litológicas dos perfis de poços e afloramentos indicam um aumento das frações argilosas em direção à base da formação, de modo que as características de permeabilidade e conseqüente condição de armazenamento e circulação das águas diminuam dramaticamente, alcançando valores limites a profundidades aproximadas de 50 metros.

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral possuem composição predominantemente basáltica, ocorrendo nos platôs localizados ao norte da área em questão, exibindo intenso fraturamento, predominantemente vertical. Derrames de composição ácida (riolítica) somente são encontrados nas cotas mais elevadas do platô vulcânico e possuem uma influência inexpressiva na área em estudo (Roisenberg & Viero, 2000).

A Província Costeira é representada pelos depósitos Cenozóicos e tem sua evolução diretamente relacionada aos eventos transgressivos e regressivos do nível do mar a partir do Período Terciário e, principalmente, do Quaternário. O relevo da Província Costeira é caracterizado por colinas muito suaves com cotas que não ultrapassam a 40 metros.

A REFAP está localizada na interface da Província do Paraná e da Província Costeira, onde é clara a ocorrência sedimentos aluvionares recentes, com espessura máxima de 10 metros, relacionados à evolução da rede de drenagem local e

sedimentos triássicos da Formação Sanga do Cabral, que afloram nas partes mais altas da área, e possuem espessura média de 40 metros. Em subsuperfície, ocorrem os sedimentos permianos do Grupo Passa Dois, representado pelas Formações Rio do Rasto (espessura média de 25 metros) e Estrada Nova. As Formações Irati, Estrada nova e Rio do Rasto não afloram na região, entretanto, sua descrição é importante no contexto da exploração hidrogeológica da região de Canoas.

6.1.2. Geologia local

A REFAP recobre 500 hectares no extremo Norte do município de Canoas, no limite com o município de Esteio, margeando o lado Sul do Arroio Sapucaia e o lado Leste da BR-116. No local afloram rochas sedimentares da Formação Sanga do Cabral (Grupo Rosário do Sul) e sedimentos cenozóicos bastante friáveis de natureza fluvial, compostos predominantemente por silte e areia fina. Nas áreas industrial, de tanques e administrativa, a superfície é recoberta por uma camada de aterro com espessura média da ordem de 2 metros, variando de 0,5 a 4,0 metros (Figs. 6.2 a 6.11). Um *sill* de diabásio intrusivo na Formação Sanga do Cabral é registrado no poço PM11 (Fig. 5.2), em profundidade de 12 metros.

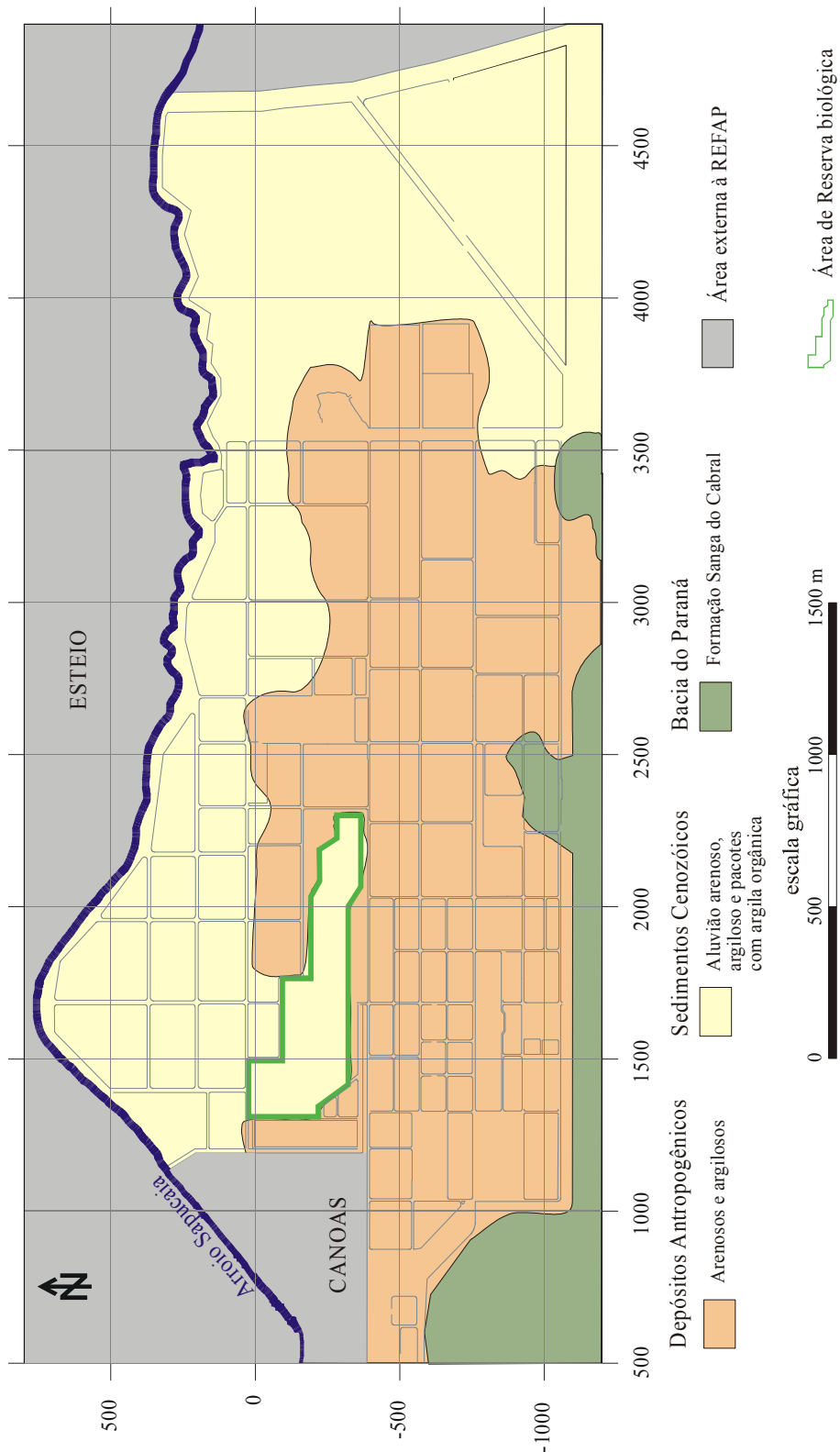
Os aterros são constituídos por material argiloso e arenoso mal selecionado, com grau de compactação variável e espessuras não uniformes. Estas características texturais conferem baixa permeabilidade ao sistema, determinando fluxo lento das águas subsuperficiais.

Análises laboratoriais apontam baixos teores de matéria orgânica e alta capacidade de troca catiônica (CTC) nos materiais do aterro, com valores que atingem a elevada cifra de 34,76 mol/Kg (Tab. 6.1). Em consequência, os aterros que capeiam a área da REFAP possuem boa capacidade de adsorção de metais pesados, o que resulta na imobilização de grande parte destes elementos em decorrência de contaminação.

Tabela 6.1. Capacidade de troca catiônica e composição da fração argilosa dos materiais de aterro (*) e dos sedimentos cenozóicos (**). (D): dominante; (E): escassa; (S): subordinada. Laudos laboratoriais de CTC e carbono orgânico no Anexo E.

Amostra	CTC cmol/kg	Carbono orgânico (%)	Argilo-minerais
T 01A*	13,7	0,34	-
T 05A*	4,22	0,44	-
T 11B*	34,76	0,39	Esmectita (D) Caolinita (S)
T 30A*	6,46	0,65	Caolinita (D) Esmectita (E)
T 35A*	5,82	0,44	Caolinita (D) Esmectita (E)
T 37B*	18,62	0,27	Esmectita e caolinita
T 38A**	4,42	0,41	Caolinita
T 41B**	11,25	1	Caolinita (D)Esmectita (E)

A composição mineralógica da fração argilosa dos materiais constitutivos do aterro, determinada por difração de raios-X, consiste em caolinita e esmectita (montmorilonita) em proporções variadas. Os materiais com caolinita dominante apresentam valores de CTC relativamente baixos, enquanto que a presença de montmorilonita abundante determina valores mais elevados de CTC. Os difratogramas são apresentados no Anexo B.



ura 6.1. Mapa geológico de superfície da área da REFAP.

Fig

Os sedimentos Cenozóicos são inconsolidados e aparecem sobrepostos à Formação Sanga do Cabral como material de preenchimento de paleo-depressões, ocupando mais de 90% da área superficial da REFAP, com espessura máxima de 14 metros. Esta unidade estratigráfica é representada por um pacote de sedimentos finos predominantemente silticos, com intercalações descontínuas e lenticulares de argilas silticas e areias finas (Figs. 6.4 a 6.11). As cores variam de castanho à amarelo com cinza e preto subordinados, sendo a coloração cinza escura à preta, reflexo da presença de matéria orgânica em quantidades apreciáveis. Merece registro a ocorrência uma camada de argila preta de elevada plasticidade, com topo na profundidade da ordem de 3 metros e espessura média de 2 metros, localizada ao Norte da Reserva Biológica. A não ocorrência dessa camada em outros pontos de amostragem aponta o caráter descontínuo da unidade, não permitindo determinação precisa de sua extensão lateral. Na base do pacote e em quase toda área da REFAP ocorre uma camada de areia de grão médio, de cor cinza, muito friável e com alta porosidade e permeabilidade, que constitui a principal entrada d'água em todos os poços construídos.

Análises de difração de raios-X em amostras de níveis argilosos apontam ampla dominância de caolinita, sendo a esmectita quase ausente (Anexo B), o que determina relativamente baixos valores de CTC. No caso da amostra T 41B, o significativo valor de CTC é decorrente do maior conteúdo de matéria orgânica (Tab. 6.1).

Esse pacote de sedimentos cenozóicos têm gênese relacionada à processos de deposição em banhados e planícies de inundação de antigos cursos d'água. É importante ressaltar que os níveis freáticos, em geral, não ultrapassam em profundidade as primeiras camadas de argilas cinzas a pretas observadas em subsuperfície.

O limite inferior dos depósitos aluviais é marcado pelo aparecimento de solos residuais, oriundos da alteração dos sedimentitos da Formação Sanga do Cabral, com espessuras que podem atingir vários metros. Estes solos residuais são facilmente identificados pela coloração cinza ou amarelada, onde a alteração é mais intensa, e tons bordô na rocha mais preservada (Foto 6.1). Outro critério marcante

para identificação destes solos residuais é o aparecimento de manchas esverdeadas, resultantes da formação de concentrações de argilas expansivas do grupo das esmectitas na interface dos depósitos aluviais com os sedimentos da Bacia do Paraná.

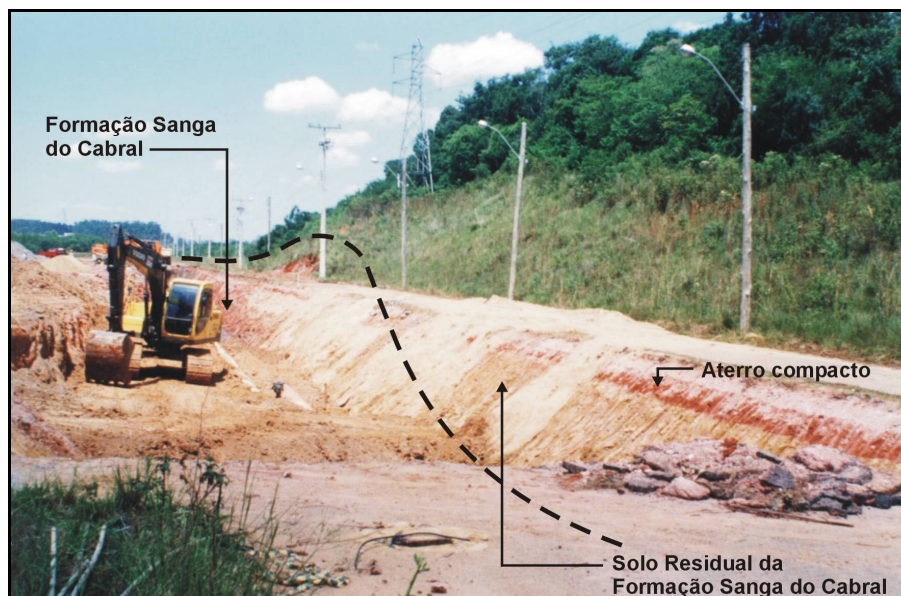


Foto 6.1: Interface entre horizontes de alteração na Fm. Sanga do Cabral.

A Formação Sanga do Cabral, que representa a unidade litoestratigráfica mais jovem da Bacia do Paraná na área da REFAP, aparece imediatamente abaixo dos sedimentos cenozóicos, sendo caracterizada por arenitos finos a muito finos, siltitos e argilitos avermelhados, com estratificação cruzada acanalada de pequeno a médio porte. Regionalmente, esta unidade possui, também, arenitos fluviais quartzo-feldspáticos, de cor avermelhada, com granulometria média à fina, estratificações cruzadas acanaladas e ondulações de médio a pequeno porte. Estes arenitos contêm óxidos de ferro e abundantes argilas intersticiais diagenéticas, com predominância de esmectita sobre illita, caulinita e clorita (Gamermann, 1979), sendo cimentado por carbonatos. Não são raras as concentrações de intraclastos argilosos, fragmentos de caliche, micas, minerais pesados, restos de vertebrados e madeira silicificada.

Os sedimentos da Formação Sanga do Cabral têm idade Triássica, tendo sido depositados em um ambiente fluvial ou flúvio-eólico. Na área da REFAP, especificamente, constitui um pacote com aproximadamente 40 metros de espessura (UNESP, 1998) e aflora em uma faixa estreita que se estende ao longo de toda a

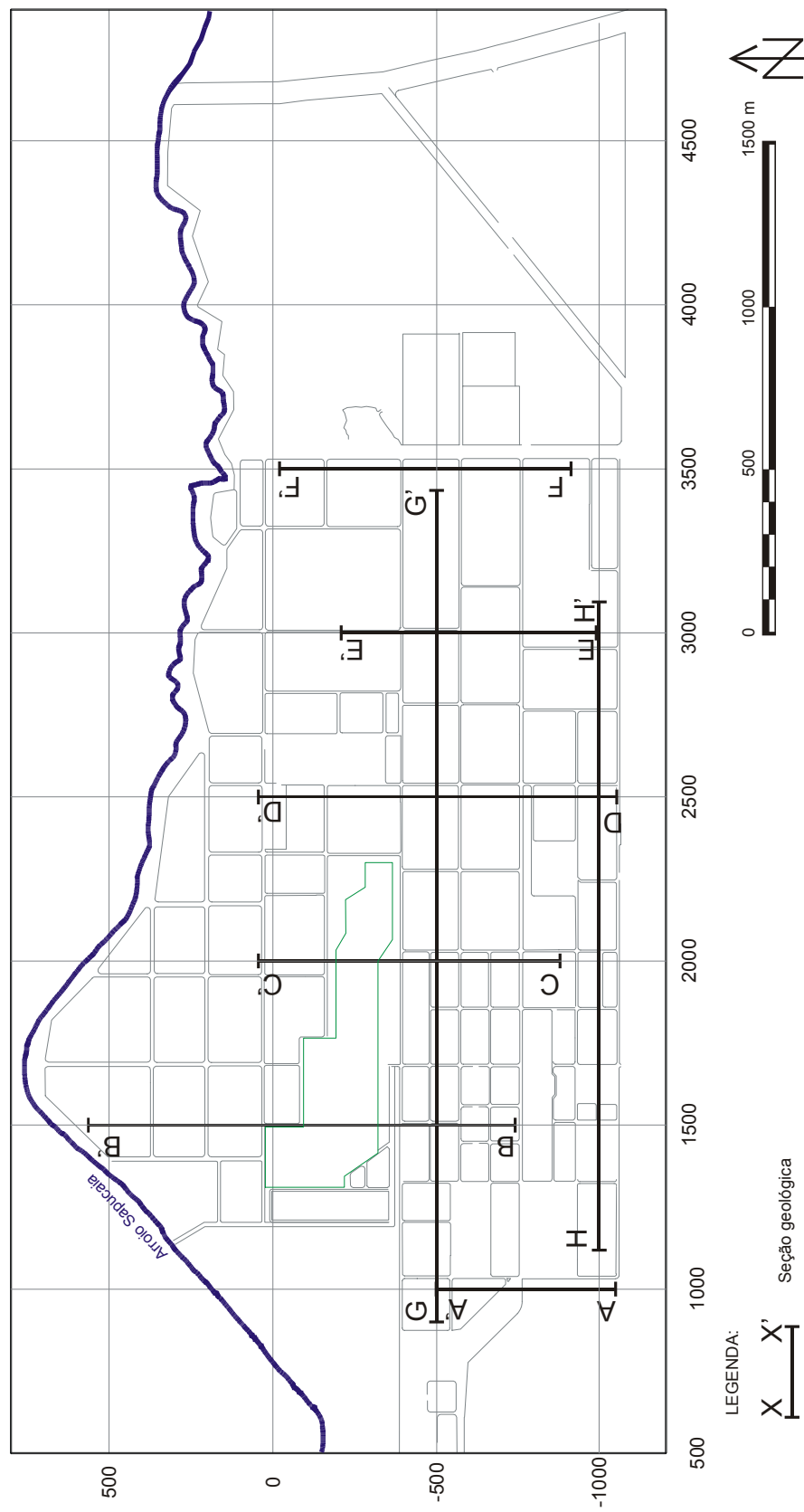
borda Sul, constituindo feições geomorfológicas características, marcadas por altos topográficos.

Além das unidades aflorantes citadas, outras duas são registradas em subsuperfície na área da REFAP, representadas pelas Formações Rio do Rasto e Estrada Nova (CPRM, 1997).

A Formação Rio do Rasto, de idade Paleozóica (Permiano Superior) encontra-se sobreposta pela Formação Sanga do Cabral com contato transicional. Essa unidade é caracterizada por folhelhos e lamitos esverdeados e avermelhados, com laminações do tipo plano paralela e *wavy*, intercalados com arenitos finos que se tornam mais comuns no topo da seqüência. O paleoambiente de sedimentação foi inicialmente marinho raso, passando à condição de planície costeira de ambiente flúvio-deltaico.

Sotoposta à Formação Rio do Rasto, ocorre a Formação Estrada Nova de idade Paleozóica (Permiano Médio). Esta unidade é composta por lamitos, folhelhos e siltitos cinzentos, maciços, com intercalações de lentes e concreções calcíferas depositados em ambiente marinho raso. O contato da Formação Estrada Nova com a Formação Rio do Rasto é transicional (CPRM, 1997).

Intrudidos às unidades sedimentares da Bacia do Paraná, são observados diques e *sills* de idade Cretácea, pertencentes à Formação Serra Geral.



ura 6.2. Seções geológicas.

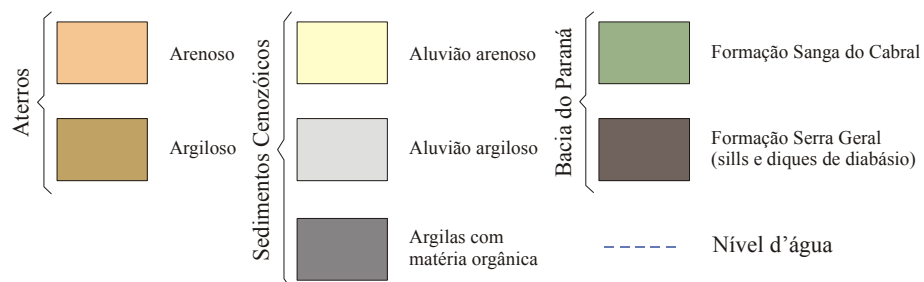


Figura 6.3. Legenda para as seções geológicas apresentadas nas figuras 6.4 a 6.11.

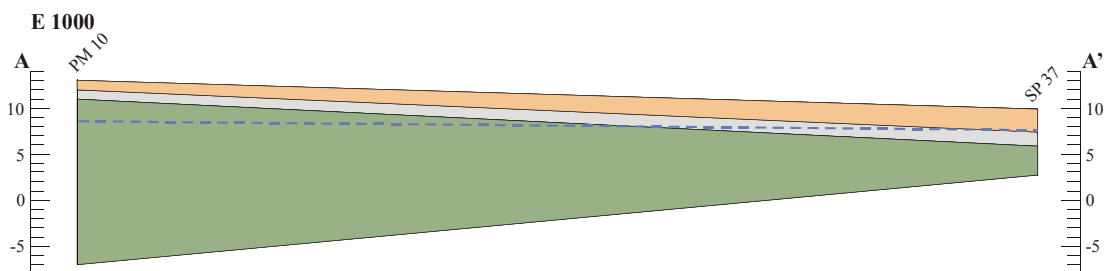


Figura 6.4. Seção geológica AA' - E1000.

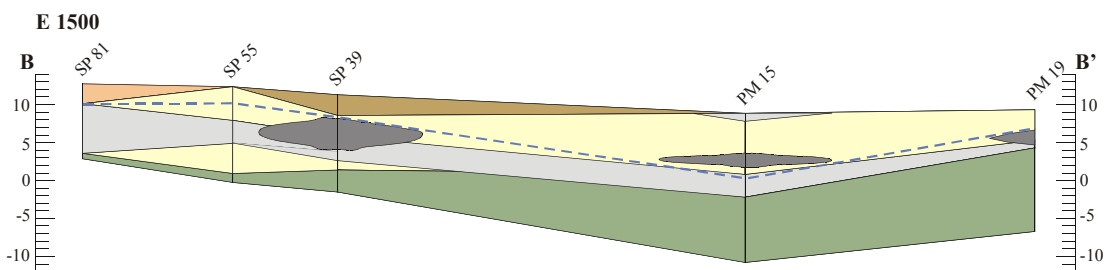


Figura 6.5. Seção geológica BB' - E1500.

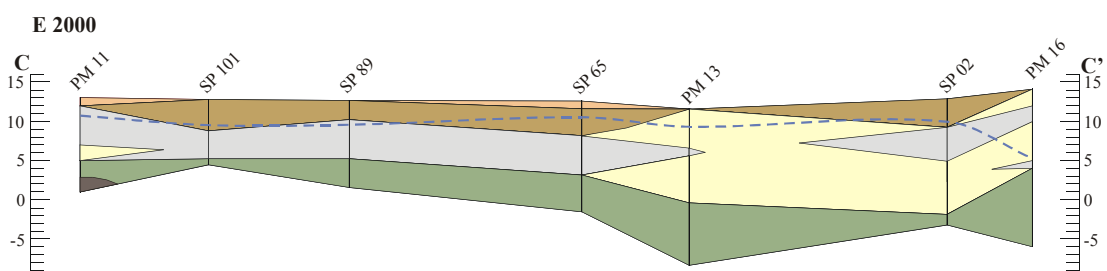


Figura 6.6. Seção geológica CC' - E2000.

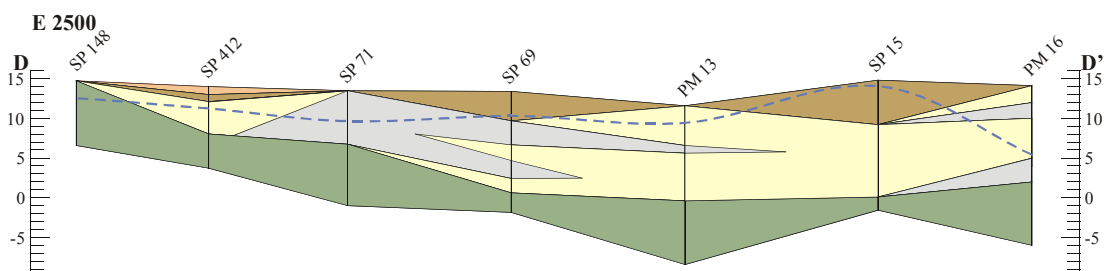
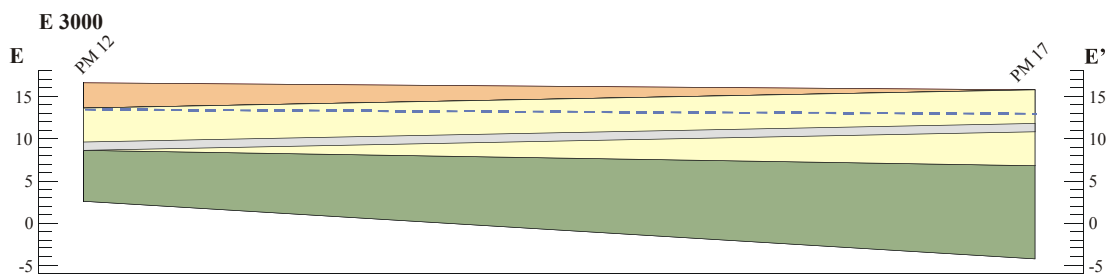
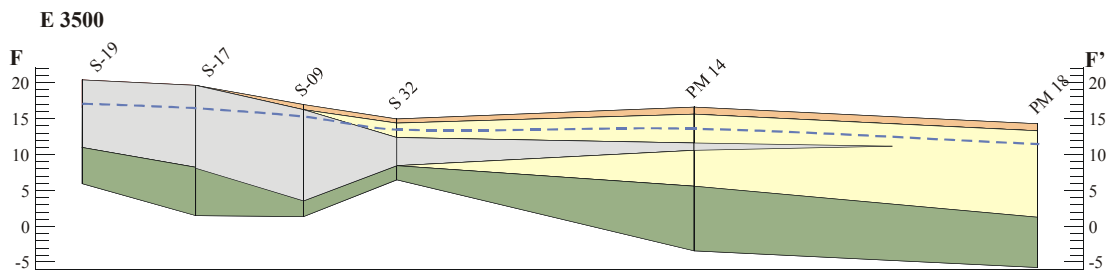


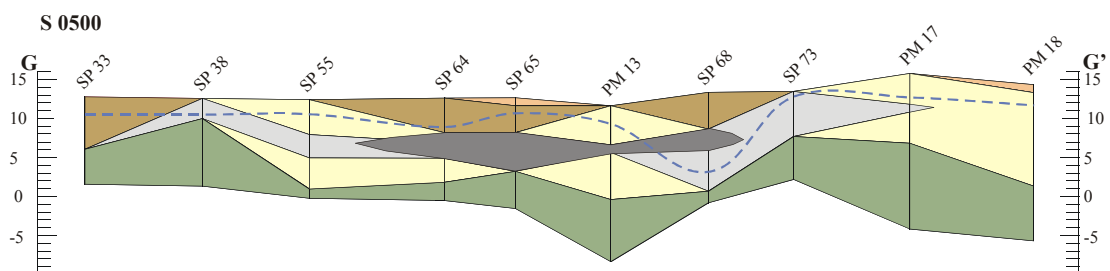
Figura 6.7. Seção geológica DD' - E2500.



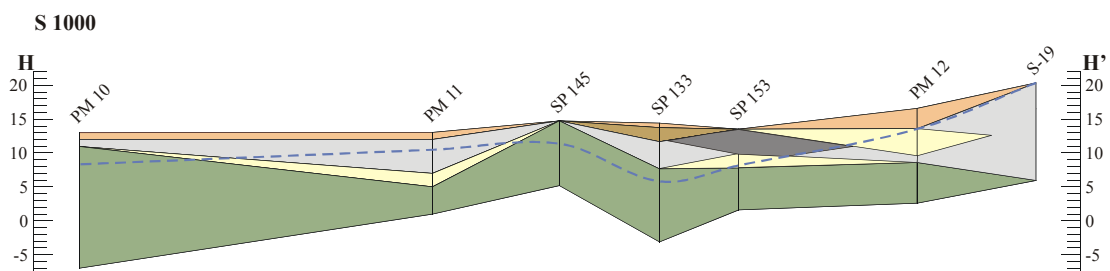
680 metros
Figura 6.8. Seção geológica EE' - E3000.



840 metros
Figura 6.9. Seção geológica FF' - E3500.



2500 metros
Figura 6.10. Seção geológica GG' - S500.



2300 metros
Figura 6.11. Seção geológica HH' - S1000.

6.2. Hidrogeologia

6.2.1. Generalidades

As propriedades hidráulicas dos sistemas aquíferos (transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento) estão relacionadas, fundamentalmente, com a porosidade e a permeabilidade das rochas. Em aquíferos granulares, a porosidade e a permeabilidade dependem de características texturais (granulometria, forma e arranjo dos grãos), bem como de estruturas primárias (estratificação, laminação) e tectônicas (fraturas). Nos aquíferos fraturados, por outro lado, a porosidade e a permeabilidade são determinadas pela densidade, extensão, abertura e rugosidade das paredes das fraturas, as quais podem ser de origem tectônica ou primária (fraturas de contração).

Na RMPA são registrados sistemas aquíferos pertencentes às duas categorias. Os tipos granulares compreendem o Aquífero Cenozóico e os Aquíferos da Bacia do Paraná, enquanto os tipos fraturados são representados pelo Aquífero Granítico-gnáissico Pré-Cambriano e Aquífero Serra Geral, este constituído pelo pacote vulcânico basalto-riolítico mesozóico e rochas hipabissais associadas.

6.2.2. Aspectos locais

Nos domínios da Refinaria são registrados dois sistemas aquíferos granulares: um constituído pelos sedimentos cenozóicos inconsolidados e, outro, pelas rochas sedimentares da Formação Sanga do Cabral, do Grupo Rosário do Sul.

6.2.2.1. Aquífero Sanga do Cabral

A percolação das águas subterrâneas na Formação Sanga do Cabral é condicionada pela distribuição das lentes areníticas, pelas discontinuidades físicas entre as camadas desta unidade e por fraturas tectônicas. O aquífero possui espessura da ordem de 40 metros na área da Refinaria (UNESP, 1998) e está sotoposto à Formação Rio do Rasto.

A geometria interna deste aquífero, marcada pela distribuição irregular de estratos arenosos, argilosos e sílticos, os dois últimos amplamente dominantes, determina forte variação das propriedades hidráulicas e características de semi-

confinamento. A presença de fraturas tectônicas confere a este sistema aquífero um caráter misto granular/fraturado.

6.2.2.2. Aquífero Serra Geral

Na área da REFAP, o aquífero Serra Geral é restrito a pequenos corpos intrusivos de diabásio (*sills* e diques), como o verificado no poço PM11 à profundidade de 11 metros. Estas intrusões modificam os padrões de circulação das águas do Aquífero Sanga do Cabral, propiciando a conexão entre diferentes níveis e camadas de baixa permeabilidade.

6.2.2.3. Aquífero Cenozóico

O Aquífero Cenozóico pode ser caracterizado como granular, descontínuo e semi-confinado, sendo constituído por um pacote de sedimentos inconsolidados com espessuras variáveis entre 4 e 14 metros e média da ordem de 10 metros (Fig. 6.12). As propriedades hidráulicas variam substancialmente em decorrência da heterogeneidade composicional e textural dos materiais constitutivos, sendo a circulação de água mais intensa nas camadas descontínuas de areia. Nos níveis síltico-argilosos, a condutividade hidráulica é mais baixa e o fluxo de água muito lento.

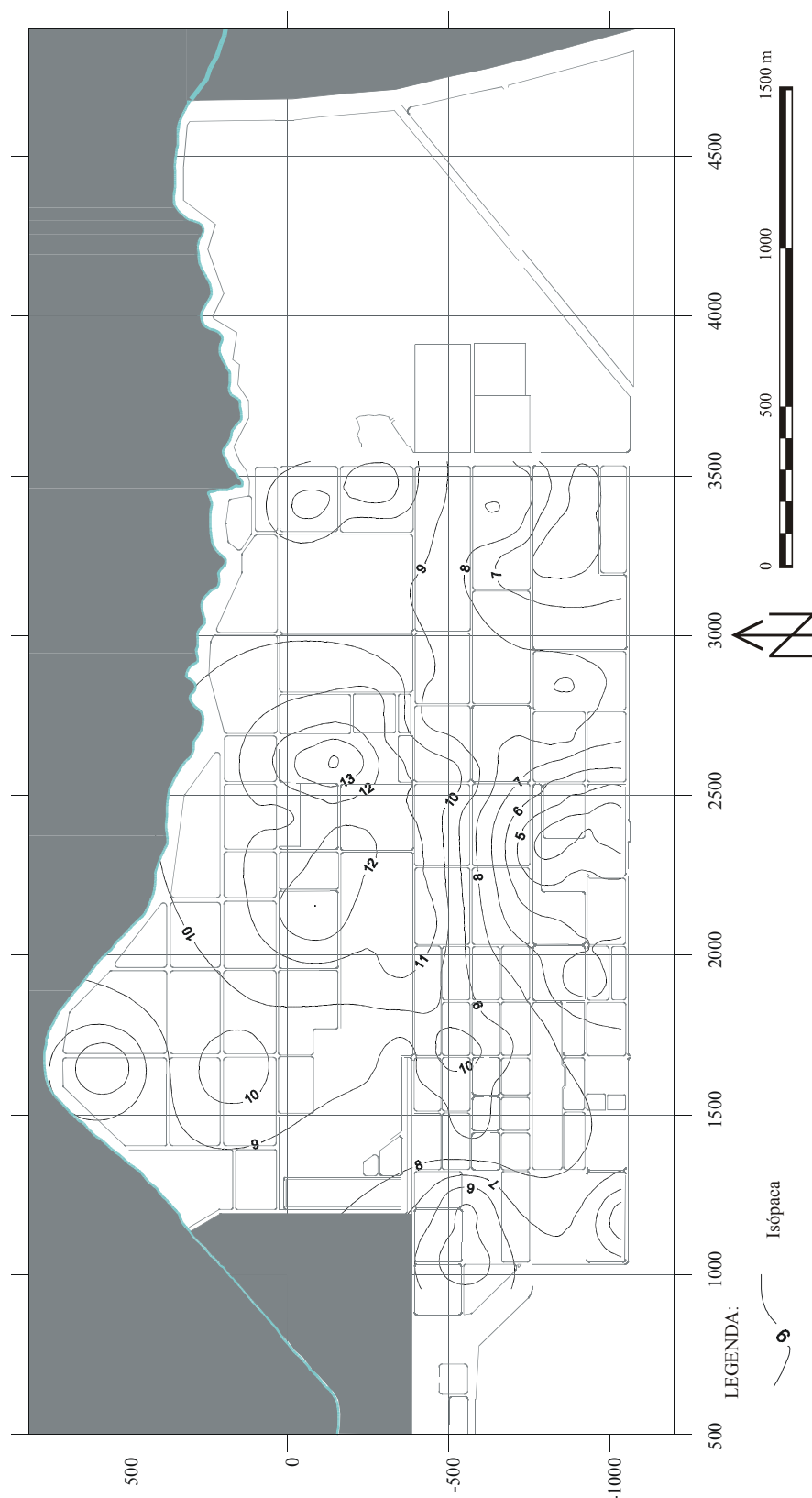


Figura 6.12. Isópaca dos pacotes de sedimentos Cenozóicos e aterros. Espessura total de sedimentos Cenozóicos e aterros (em metros), determinadas nas áreas de abrangência das sondagens geotécnicas e poços de monitoramento profundos.

6.2.2.4. Superfície Potenciométrica

A superfície potenciométrica das águas subterrâneas do aquífero semi-confinado na área da refinaria foi desenhada a partir da cota do nível estático (NA) nos poços de monitoramento construídos na presente etapa e do poço PM01, construído pela Concremat em 1988. A localização dos poços e a cota absoluta no terreno foram determinados através de levantamento plani-altimétrico de precisão realizado pela equipe do Instituto de Geociências da UFRGS (Tab. 6.2).

Tabela 6.2: Localização e cotas do terreno e do nível estático dos poços de monitoramento. As coordenadas E e N tem como referência o sistema interno da REFAP. O poço PM01* foi construído pela Concremat.

Poço	E	N	Cota terreno (m)	Prof. do NA (m)	Cota do NA (m)
PM10	1175,56	-1065,24	13,03	4,3	8,73
PM11	2019,9	-1045,13	13,06	2,1	10,96
PM12	3178,64	-940,38	16,61	3,1	13,51
PM13	2292,79	-352,13	11,60	2,2	9,40
PM14	3585,03	-370,82	16,59	2,9	13,69
PM15	1633,62	168,58	8,84	3,1	5,74
PM16	2287,69	38,35	14,10	8,5	5,60
PM17	3078,25	-259,26	15,76	2,9	12,86
PM18	3404,37	-68,41	14,31	2,4	11,91
PM19	1649,95	563,73	9,30	2,6	6,70
PM01*	3750	-1070	20,74	1,7	18,74

O modelo numérico da superfície potenciométrica, construído a partir das informações da Tabela 6.2, demonstra uma tendência geral de fluxo das águas subterrâneas no aquífero semi-confinado de Sudeste para Noroeste, constituindo o Arroio Sapucaia uma zona de descarga (Fig. 6.13).

Os estudos geofísicos da UNESP (1998) também apontam o mesmo sentido geral de fluxo, registrando variações locais com inflexões para Norte e Nordeste. Os resultados, entretanto, não são comparáveis com os presentemente obtidos, pois são relacionados ao aquífero freático livre. Este possui comportamento distinto em relação ao aquífero semi-confinado, mantendo uma superfície potenciométrica concordante com a superfície topográfica.

A cota do nível estático varia entre 5,7 e 18,7 metros numa distância horizontal de 2.452 metros, resultando em gradiente hidráulico médio da ordem de 0,5%.

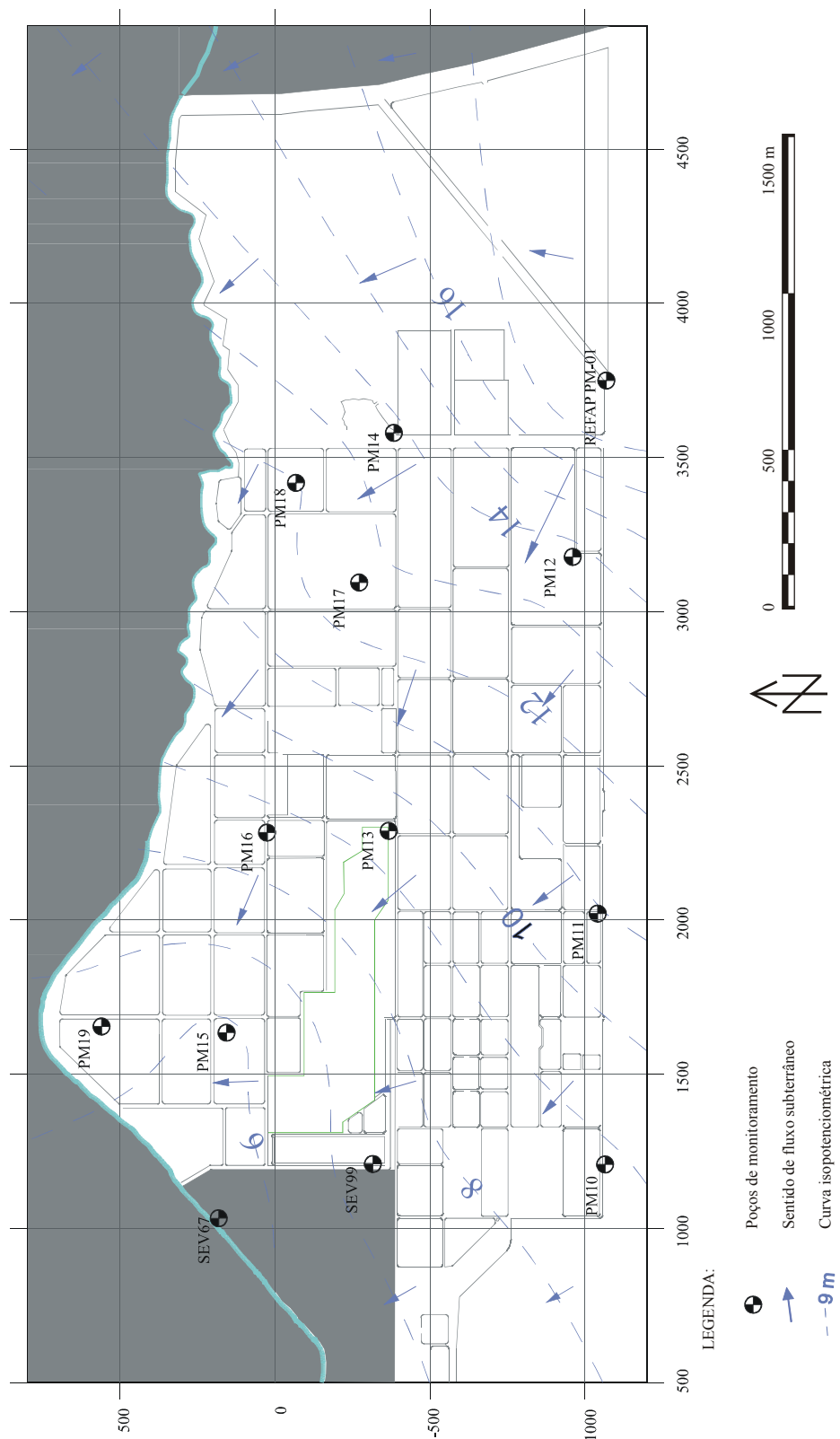


Figura 6.13. Superfície potenciométrica do aquífero.

6.2.2.5. Testes de *slug*

Ensaio para determinação dos coeficientes de condutividade hidráulica (*slug tests*) foram realizados nos dez poços de monitoramento instalados para o estudo. Os resultados são comparáveis com aqueles obtidos em estudo anterior (UNESP, 1998) realizado nos poços PM01, PM03, PM04, PM07, PM08 e PM09. Os valores de condutividade hidráulica, calculados pelos métodos de Hvorslev (Fetter, 1994), são apresentados na Tabela 6.3. As planilhas com registros de campo (variação do nível dinâmico com o tempo) são apresentadas no Anexo A.

Tabela 6.3: Condutividade hidráulica (K) calculada a partir de testes de *Slug*. (1998).

Poço	Hvorslev	
	K (cm/s)	K (m/dia)
PM01 *	$8,9 \times 10^{-4}$	0,769
PM03 *	$1,97 \times 10^{-4}$	0,170
PM04 *	$1,41 \times 10^{-4}$	0,122
PM07 *	$2,09 \times 10^{-4}$	0,181
PM08 *	$9,72 \times 10^{-5}$	0,840
PM09 *	$1,44 \times 10^{-4}$	0,124
PM10	$1,79 \times 10^{-5}$	0,016
PM11	$4,16 \times 10^{-4}$	0,359
PM12	$4,37 \times 10^{-4}$	0,378
PM13	$3,98 \times 10^{-4}$	0,344
PM14	$4,66 \times 10^{-4}$	0,403
PM15	$1,41 \times 10^{-3}$	1,218
PM16	$2,80 \times 10^{-4}$	0,242
PM17	$4,65 \times 10^{-4}$	0,402
PM18	$6,02 \times 10^{-5}$	0,052
PM19	$2,23 \times 10^{-4}$	0,193
K máximo	$8,9 \times 10^{-4}$	0,769
K mínimo	$1,79 \times 10^{-5}$	0,016
* Dados de UNESP		

Os resultados obtidos apontam baixos valores de condutividade hidráulica, que variam entre $1,08 \times 10^{-3}$ e $2,31 \times 10^{-5}$ cm/s e são compatíveis com materiais sedimentares de granulometria siltico-argilosa. Desta forma, o fluxo das águas subterrâneas é lento e os íons dissolvidos podem sofrer retardo significativo no transporte, permanecendo adsorvidos nas partículas finas.

Nas Figs. 6.14 e 6.15 são apresentados gráficos resultantes dos ensaios para cada um dos poços avaliados.

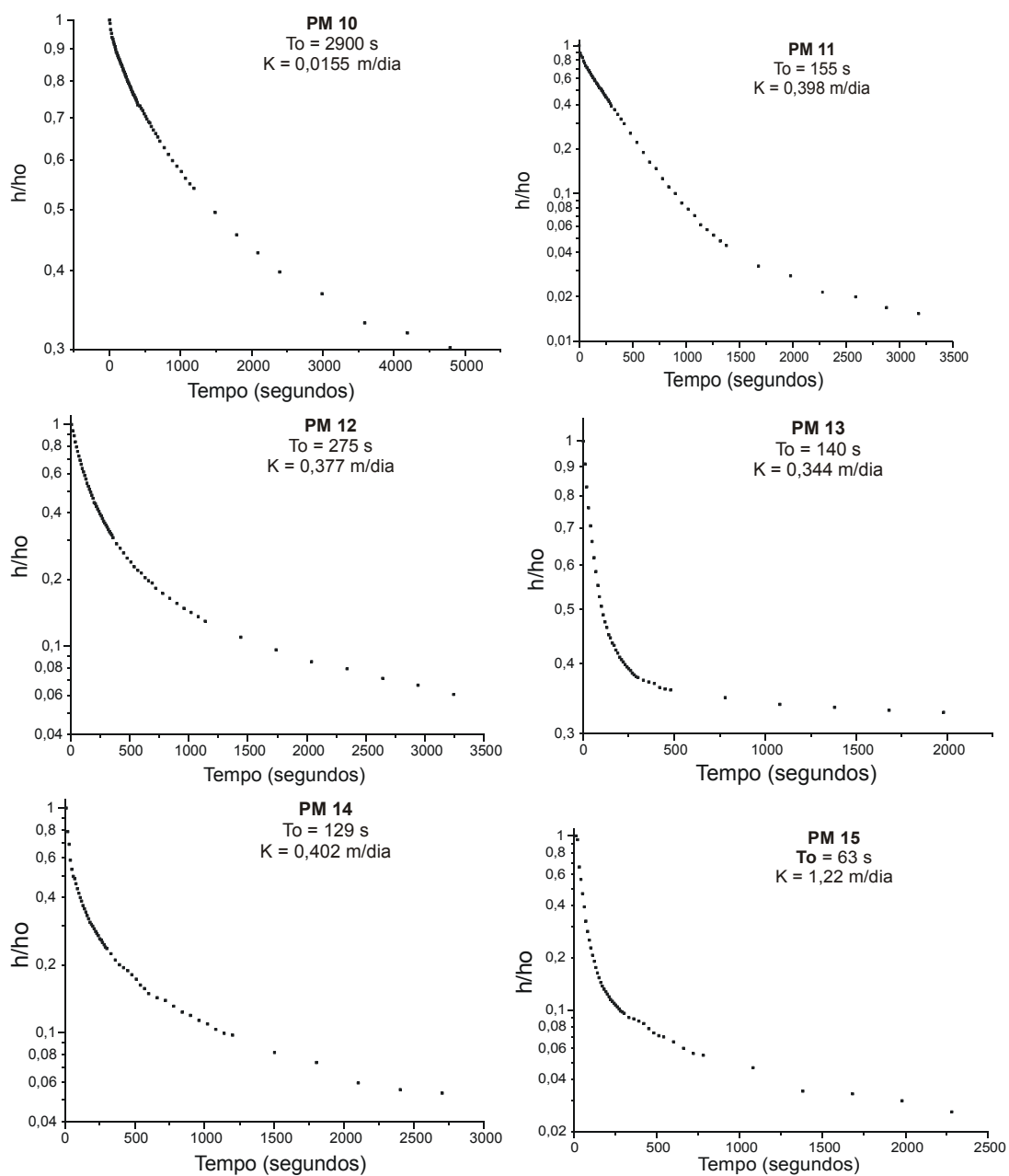


Figura 6.14: Gráficos h/h_0 vs. t para os poços de monitoramento PM10 a PM15.

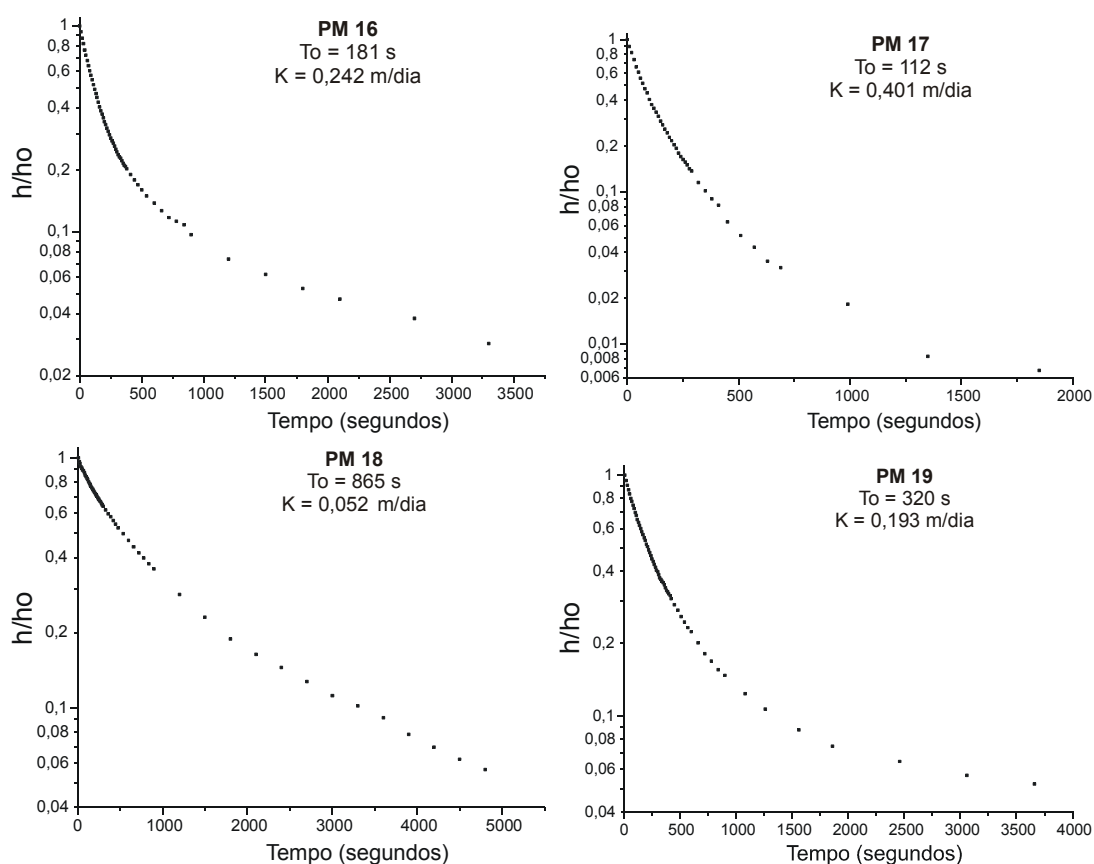


Figura 6.15: Gráficos h/h_0 vs. t para os poços de monitoramento PM16 a PM19.

6.3. Utilização das águas subterrâneas nas adjacências da Refinaria

A melhor compreensão dos diversos usos das águas subterrâneas nos enfoques qualitativos e quantitativos, possibilita uma melhor avaliação sobre o comportamento dos aquíferos na região.

O reconhecimento do uso das águas extraídas é de vital importância do ponto de vista de saúde pública, pois pouco se sabe sobre a qualidade das águas fornecidas nos poços e a que finalidade servem.

O cadastro de pontos de exploração de águas subterrâneas foi construído com dados obtidos na CORSAN e CPRM. Um total de **3.182** pontos, entre poços tubulares e cacimbas, foram cadastrados nos municípios de Canoas e Esteio, estando **569** inseridos num raio de 2.000 metros em torno da Refinaria.

Os dados fornecidos pela CORSAN apresentam endereço do ponto de exploração e os usos da água, divididos em quatro categorias:

- **uso público** – compreende aqueles poços tubulares instalados em repartições públicas que servem apenas para limpeza de instalações;
- **uso industrial** – compreende poços instalados em indústrias, que servem para limpeza de instalações, resfriamento de caldeiras e, localizadamente, ao consumo humano;
- **uso comercial** – poços existentes em estabelecimentos comerciais, utilizados para limpeza de instalações e consumo humano;
- **uso residencial** – em operação para usos residenciais variados, inclusive consumo humano.

Como se pode observar (Fig. 6.16), a maioria dos poços têm como finalidade principal o abastecimento doméstico e, subordinadamente, industrial e comercial. Uma proporção significativa possui uso misto das águas, que compreende utilização para dois ou mais fins (industrial e/ou residencial e/ou comercial).

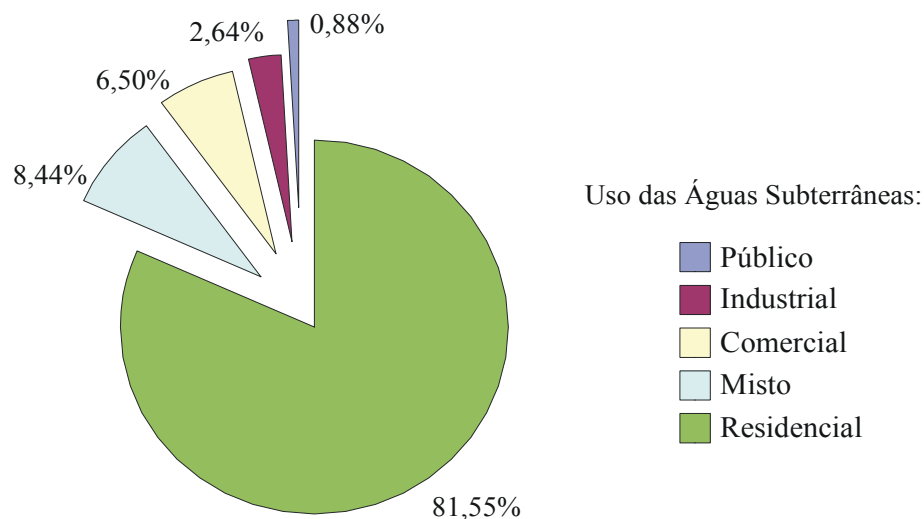


Figura 6.16: Distribuição do uso das águas subterrâneas exploradas nos 569 poços cadastrados no entorno da REFAP.

A permanente exploração de águas subterrâneas pode acarretar diversas conseqüências aos sistemas aquíferos da região, dentre as quais destacam-se:

- alteração nos vetores de fluxo das águas subterrâneas e criação de cones de rebaixamento;
- aceleração da velocidade de migração das águas;
- diminuição da capacidade exploratória dos sistemas aquíferos.

7. RESULTADOS OBTIDOS

7.1. Distribuição de metais e hidrocarbonetos nos solos

7.1.1. Considerações gerais

A avaliação da contaminação de solos na área da REFAP compreende a análise química de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) e de metais (Cr, Cd, Hg, Zn, Cu, V e Pb) em 75 amostras coletadas em 40 sondagens e distribuídas em toda extensão da área da refinaria (Fig. 7.1). São também utilizados dados analíticos de Cr, Cd, Hg e TPH de 19 amostras coletadas em oito sondagens nas proximidades da Bacia de Aeração (BAE- Fig 2.5), em estudo prévio realizado para outro diagnóstico (UNESP, 1998).

É realizada, ainda, a determinação estimada dos produtos de petróleo presentes nos alvos amostrados, o que é conveniente pelo grande número de derivados de petróleo refinados na área da REFAP. Esta determinação é obtida nos cromatogramas pelo número de carbonos, permitindo diferenciar hidrocarbonetos oriundos de gasolina, óleo diesel e óleo queimado (Tab. 7.1).

Tabela 7.1: Identificação de origem de produtos pelo número de carbonos (RECAP, 2000).

Produto	Número de carbonos
Gasolina	C ₆ - C ₁₂
Óleo diesel	C ₁₀ - C ₂₀
Óleo queimado	C ₂₀ - C ₂₈

A presença de metais no solo e na água é relacionada à herança da contaminação por hidrocarbonetos de petróleo e/ou às características intrínsecas do solo residual.

Os resultados analíticos, as coordenadas locais dos pontos de coleta e a profundidade das amostras de solo são apresentados a seguir (Tab. 7.2).

Tabela 7.2: Concentrações de metais e TPH em solos da área da Refap. Amostras assinaladas com asterisco (*) foram coletadas em estudo prévio.

Amostra	Localização da amostra			Concentrações de metais em mg/Kg e TPH em µg/Kg							
	X (m)	Y (m)	Prof. de coleta (m)	Cr	Hg	Cd	Cu	Pb	V	Zn	TPH
T 01A	1050	-1050,5	0,4	1,76	N.D.	1,17	3	9	N.D.	14	N.D.
T 01B			1,9	2	N.D.	0,89	1,89	5,97	N.D.	10,8	0,4 ^d
T 02A	1525	-1050,5	0,6	1,29	N.D.	N.D.	1,39	N.D.	N.D.	13,9	N.D.
T 02B			2,5	1,57	N.D.	0,98	1,17	N.D.	N.D.	20	N.D.
T 03A	2040	-1050,5	0,5	0	N.D.	N.D.	3,92	N.D.	N.D.	10,8	N.D.
T 03B			1,35	0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7,37	N.D.
T 04A	2550	-1080	0,9	9,56	N.D.	N.D.	3,48	N.D.	N.D.	28,2	N.D.
T 04B			1,6	4,5	N.D.	N.D.	2,15	N.D.	N.D.	22,2	N.D.
T 05A	3050	-1080	0,7	3,27	N.D.	2,87	1,39	N.D.	N.D.	7,34	1,34 ^d
T 05B			1,7	5,75	N.D.	4,26	2,67	N.D.	N.D.	17,5	N.D.
T 06A	3520	-1080	1	0,69	N.D.	3,65	1,38	4,94	N.D.	15,2	N.D.
T 06B			2,3	0,79	N.D.	N.D.	1,68	N.D.	N.D.	16	N.D.
T 07A	4030	-1034	0,9	1,19	N.D.	1,49	1,58	N.D.	N.D.	18	N.D.
T 07B			2,9	2,7	N.D.	1,2	1,5	N.D.	N.D.	16,2	N.D.
T 08A	1030	-567	1,2	1,49	N.D.	N.D.	1,59	N.D.	N.D.	15,4	N.D.
T 09A	1520	-582,1	0,6	3,47	N.D.	1,09	1,38	7,24	N.D.	10,2	N.D.
T 09B			1,3	4,9	N.D.	0,8	3,6	9,1	N.D.	10,6	0,7 ^d
T 10A	2040	-562,1	1,2	1,8	N.D.	N.D.	1,8	N.D.	N.D.	18,2	N.D.
T 10B			1,9	8,75	N.D.	2,23	2,82	N.D.	N.D.	15	2,14 ^{ne}
T 11A	2530	-562,1	1,1	20,2	N.D.	N.D.	19,3	N.D.	N.D.	25,3	N.D.
T 11B			2	3	N.D.	N.D.	2,41	N.D.	N.D.	16,8	N.D.

Amostra	Localização da amostra			Concentrações de metais em mg/Kg e TPH em µg/Kg							
	X (m)	Y (m)	Prof. de coleta (m)	Cr	Hg	Cd	Cu	Pb	V	Zn	TPH
T 12A	3039	-529,3	0,4	1,7	N.D.	1,49	2,1	N.D.	N.D.	15,4	N.D.
T 12B			1,2	5,95	N.D.	N.D.	5,65	4,96	N.D.	18,4	N.D.
T 13A	3540	-562,1	0,8	3,28	N.D.	N.D.	3,28	N.D.	N.D.	5,28	N.D.
T 13B			1,8	2,75	N.D.	N.D.	3	N.D.	N.D.	27,2	N.D.
T 15A	1504	-54	0,4	11	N.D.	N.D.	2,76	4,54	N.D.	8,5	N.D.
T 16A	1950	-60	1,3	3,9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4,29	N.D.
T 16B			1,8	0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5,18	N.D.
T 17A	2530	-35	0,6	0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7,22	N.D.
T 17B			1,2	0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2	N.D.
T 18A	3027	-154	0,8	9,6	N.D.	N.D.	3,2	N.D.	N.D.	15,8	4,97 ^d
T 18B			2,5	0	N.D.	N.D.	6,32	8,9	N.D.	10,8	N.D.
T 19A	3557	-154	0,6	7,67	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	N.D.
T 19B			1,9	9,49	N.D.	N.D.	5,31	3,93	N.D.	7,28	N.D.
T 20A	3667	-172	0,2	15,7	N.D.	N.D.	13	8,96	N.D.	28	N.D.
T 20B			1,3	16	N.D.	N.D.	33,6	12	N.D.	25,5	N.D.
T 21A	1510	430,9	0,5	4,34	N.D.	N.D.	4,34	N.D.	N.D.	13,6	N.D.
T 21B			1,5	0	N.D.	N.D.	50,7	N.D.	N.D.	5,42	N.D.
T 22A	2050	423	0,9	3	N.D.	N.D.	1,91	N.D.	N.D.	10,3	N.D.
T 22B			2,5	0	N.D.	N.D.	3,55	N.D.	N.D.	6,12	N.D.
T 23A	649	-440	0,7	5,16	N.D.	0,5	4	7,49	N.D.	11,8	0,3 ^d
T 23B			2,7	10,1	N.D.	1,48	4,74	14,8	N.D.	13,3	N.D.
T 24A	1066,8	-969	0,6	8,23	N.D.	0,59	4,56	11,4	N.D.	8,43	1,4 ^d
T 24B			2,3	27	N.D.	0,99	4,98	12,1	N.D.	13,5	N.D.
T 25A	1550,5	-956	0,6	0	N.D.	N.D.	0,6	N.D.	N.D.	12	N.D.
T 25B			2,2	3,17	N.D.	N.D.	1,98	N.D.	N.D.	12,8	N.D.
T 26A	1732,5	-1005	0,7	58,4	N.D.	N.D.	4,8	9,8	N.D.	8	N.D.
T 26B			1,8	0	N.D.	N.D.	2,16	N.D.	N.D.	13,4	N.D.
T 27A	2150	-1004,5	0,4	0	N.D.	N.D.	N.D.	7,57	N.D.	11,1	N.D.
T 27B			1	0	N.D.	N.D.	21	N.D.	N.D.	5,2	N.D.
T 28A	2221,5	-934	0,8	2	N.D.	2,27	2	N.D.	N.D.	16,1	N.D.
T 28B			2,4	0,5	N.D.	1,3	3	N.D.	N.D.	21,1	N.D.
T 29A	2785	-806,3	0,5	4	N.D.	N.D.	2,79	2,69	N.D.	31,6	N.D.
T 29B			1,6	2	N.D.	N.D.	2,39	N.D.	N.D.	15	N.D.
T 30A	1160,8	-654,6	0,8	1,39	N.D.	N.D.	1,58	N.D.	N.D.	11,7	N.D.
T 30B			1,5	1,48	N.D.	N.D.	1,48	N.D.	N.D.	16,3	N.D.

Amostra	Localização da amostra			Concentrações de metais em mg/Kg e TPH em µg/Kg							
	X (m)	Y (m)	Prof. de coleta (m)	Cr	Hg	Cd	Cu	Pb	V	Zn	TPH
T 31A	1692,5	-772,8	0,7	3,4	N.D.	0,5	1	N.D.	N.D.	6,9	N.D.
T 31B			1,9	7,3	N.D.	N.D.	4,5	7,6	N.D.	13,2	N.D.
T 32A	1846,2	-654,6	1,6	1,89	N.D.	2,99	1,69	N.D.	N.D.	4,98	N.D.
T 33A	1105	-440	0,5	0,39	N.D.	N.D.	2,85	N.D.	N.D.	10,7	N.D.
T 33B			2	5,97	N.D.	1,19	3,98	4,98	N.D.	12,5	N.D.
T 34A	1450	-400	0,4	7,9	N.D.	N.D.	2,27	6,52	N.D.	9	N.D.
T 34B			2,4	5,7	N.D.	N.D.	N.D.	7,18	N.D.	11	2,01 ^g
T 35A	1850	-390	0,6	4,1	N.D.	N.D.	2,4	7	N.D.	9,4	N.D.
T 35B			1,8	3,85	N.D.	0,59	1,97	3,85	N.D.	8,7	N.D.
T 35C			2,8	4,38	N.D.	0,79	2,69	10,7	N.D.	12	N.D.
T 36A	3290	-809,2	1,9	0,49	N.D.	N.D.	3	N.D.	N.D.	22,6	N.D.
T 37A	2530	-390	0,4	5,23	N.D.	N.D.	4,44	N.D.	N.D.	30,1	N.D.
T 37B			1,2	0,88	N.D.	N.D.	5,31	7,84	N.D.	20,2	N.D.
T 38A	3292	-300	0,6	2,88	N.D.	N.D.	N.D.	3,28	N.D.	7,96	N.D.
T 39A	3507,8	-390	2	6,6	N.D.	1,2	1,5	5,2	N.D.	9,4	1,79 ^d
T 40A	2390	-225	0,8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2,18	N.D.	4,96	N.D.
T 40B			2	N.D.	N.D.	N.D.	2,75	N.D.	N.D.	46,6	N.D.
T 41A	1290	353,9	0,6	15,1	N.D.	N.D.	12,1	44,2	N.D.	25,5	N.D.
T 41B			2,7	3	N.D.	N.D.	31,2	31,2	N.D.	10,8	1,37 ^d
TAC01A*	1376	-370	1,1	12,3	N.D.	N.D.	-	-	-	-	0,02
TAC01B*			1,3	14,2	N.D.	N.D.	-	-	-	-	0,01
TAC01C*			2,2	27	0,07	N.D.	-	-	-	-	-
TAC02A*	1376	-290	0,5	11,4	N.D.	N.D.	-	-	-	-	0,01
TAC02B*			1,2	22,2	N.D.	N.D.	-	-	-	-	0,03
TAC02C*			2,2	40,2	0,15	N.D.	-	-	-	-	-
TAC03A*	1300	-338	0,6	27,8	N.D.	N.D.	-	-	-	-	0,03
TAC03B*			1,9	201	0,07	0,03	-	-	-	-	27802
TAC04A*	1410	-370	0,5	25	N.D.	N.D.	-	-	-	-	0,01
TAC04B*			1,5	34	0,07	0,02	-	-	-	-	0,01
TAC05A*	1400	-295	0,5	34	0,02	N.D.	-	-	-	-	0,01
TAC05B*			1,7	34	0,08	0,04	-	-	-	-	0,01
TAC06A*	1310	-270	0,5	25	0,02	N.D.	-	-	-	-	0,01
TAC06B*			2,3	33	0,05	0,02	-	-	-	-	0,08
TAC07A*	1310	-120	0,6	23	N.D.	N.D.	-	-	-	-	0,02
TAC07B*			2,3	30	N.D.	N.D.	-	-	-	-	0,01

Amostra	Localização da amostra			Concentrações de metais em mg/Kg e TPH em µg/Kg							
	X (m)	Y (m)	Prof. de coleta (m)	Cr	Hg	Cd	Cu	Pb	V	Zn	TPH
TAC08A*	1310	-30	0,6	32	N.D.	N.D.	-	-	-	-	0,24
TAC08B*			1,5	31	0,02	N.D.	-	-	-	-	0,09
TAC08C*			2,4	34	N.D.	N.D.	-	-	-	-	0,01

Resultados de TPH: ^d - faixa do óleo diesel; ^g - faixa da gasolina; ^{ne} - não especificado.

7.1.2. Interpretação dos resultados

Os resultados químicos apontam que o vanádio encontra-se com teores inferiores ao limite de detecção (0,03 mg/Kg) do método analítico utilizado em todas as amostras, enquanto o mercúrio registrou ocorrência restrita ao sedimento argiloso rico em matéria orgânica nas adjacências da BAE (localização e descrição das amostras que contêm mercúrio nos perfis de sondagem da Fig. 5.7).

Os demais metais analisados (Cr, Cd, Pb, Cu, Zn) possuem distribuição irregular e concentrações que variam desde valores inferiores aos limites de detecção até valores expressivos, podendo estes serem decorrentes de processos de contaminação. A definição das concentrações representativas do *background* natural da área e aquelas resultantes de processos de contaminação foi realizada através de análise estatística de comparação de múltiplas médias de populações distintas, segundo método de Duncan.

Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) são registrados em teores detectáveis em dez das amostras coletadas, com concentrações relativamente baixas. A presença de TPH é decorrente de contaminação, independentemente do teor.

O termo **contaminação**, assim, é considerado neste trabalho para qualquer alteração das características geoquímicas naturais dos solos e das águas subterrâneas, decorrente de atividades antrópicas, sem considerar-se os efeitos que possam causar à saúde e ao meio ambiente.

O tratamento estatístico dos dados químicos dos metais realizado através do Teste de Duncan (Sudentized Range), consiste na comparação das médias das diferentes populações de amostras determinadas em histogramas de frequência simples e acumulada. O teste permite a determinação da significância das diferenças

entre as médias, e, por consequência, a ocorrência, ou não, de mais de uma população. Os resultados estatísticos obtidos definem intervalos de concentrações de metais no solo da área da REFAP decorrentes de processos naturais (*background*) e de contaminação.

7.1.3. Cromo

O conteúdo de cromo no solo é menor que o limite de detecção do método analítico (0,02 mg/Kg) em 21,3% das amostras e varia de 0,39 a 58,4 mg/Kg (Tab. 7.2) em 77,7% das amostras. O valor máximo registrado é 201,0 mg/Kg e pode ser considerado anômalo, correspondendo à concentração em amostra de argila preta, rica em matéria orgânica, localizada nas adjacências da BAE.

Histogramas de frequência simples e frequência acumulada, apontam a discriminação de três grupos de amostras (Fig. 7.1) que apresentam concentrações em intervalos característicos (Grupo 1 - <0,02 a 5,97 mg/Kg; Grupo 2 - 6,60 a 12,30 mg/Kg; Grupo 3 - >14,20 mg/Kg).

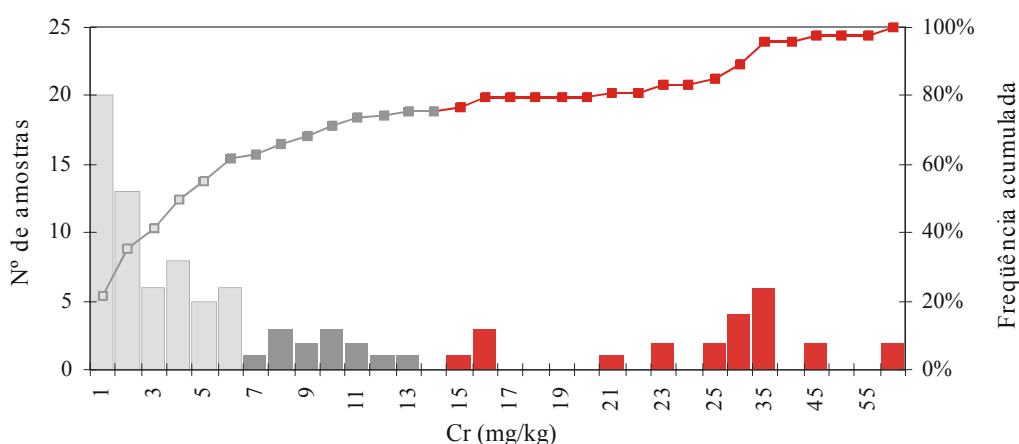


Figura 7.1: Diagrama de frequência simples e acumulada do conteúdo de cromo nos solos.

O teste de Duncan indicou que os Grupos 1 (<5,97 mg/Kg) e 2 (6,60 a 12,30 mg/Kg) pertencem à mesma população.

Da análise estatística é possível estabelecer as seguintes considerações:

- O conteúdo de cromo na **População 1** mostra distribuição contínua e em estreito intervalo de valores (Fig. 7.1), possuindo origem natural. As variações do *background* refletem a diversidade geológica do local, que é

marcada pela presença de materiais de aterro de proveniências diversas, sedimentos cenozóicos siltico-argilosos, siltico-arenosos e arenosos e sedimentos Triássicos siltico-argilosos da Formação Sanga do Cabral.

- O conteúdo de cromo da **População 2** demonstra distribuição descontínua e grande variação (Fig. 7.1), sendo a origem provavelmente relacionada a processos de contaminação. O comportamento do cromo nesta população é marcado por variações bruscas, descontínuas e não regulares, inconsistentes com processos naturais.

O resumo estatístico de cada grupo e os intervalos abrangidos pelas distintas populações é apresentado na Tab. 7.3.

Tabela 7.3: Resumo estatístico do conteúdo de cromo (mg/Kg) dos três grupos identificados nos histogramas de frequência simples e acumulada. A média do grupo 1 foi arbitrada em 0,01 mg/Kg, tendo em vista que os teores são menores que 0,02 mg/Kg (limite de detecção). No grupo 3, foi descartada a amostra TAC3B, com 201 mg/Kg de cromo, o que levaria a distorções.

População 1				População 2	
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
Média	2,19	Média	9,22	Média	28,58
Mediana	-	Mediana	9,49	Mediana	27,4
Desvio padrão	1,88	Desvio padrão	1,69	Desvio padrão	10,41
Variância	3,55	Variância	2,87	Variância	108,34
Teor mínimo	0	Teor mínimo	6,6	Mínimo	14,2
Teor máximo	5,97	Teor máximo	12,3	Máximo	58,4
Número de amostras	58	Número de amostras	13	Número de amostras	22
Confiança (95,0%)	0,5	Confiança (95,0%)	1,02	Confiança (95,0%)	4,62

A contaminação de solo com cromo na área da REFAP aparece nas proximidades da BAE e borreiro, sendo também registrada nos pontos de amostragem T24, T11 e T26 (Fig. 7.2).

É importante notar que a contaminação ocorre tanto nas adjacências do nível freático como a poucos centímetros de profundidade (Tab. 7.2). Esta distribuição indica que o transporte do cromo pelas águas subterrâneas é pouco expressivo, ficando a contaminação dos solos restrita às proximidades das áreas-fonte.

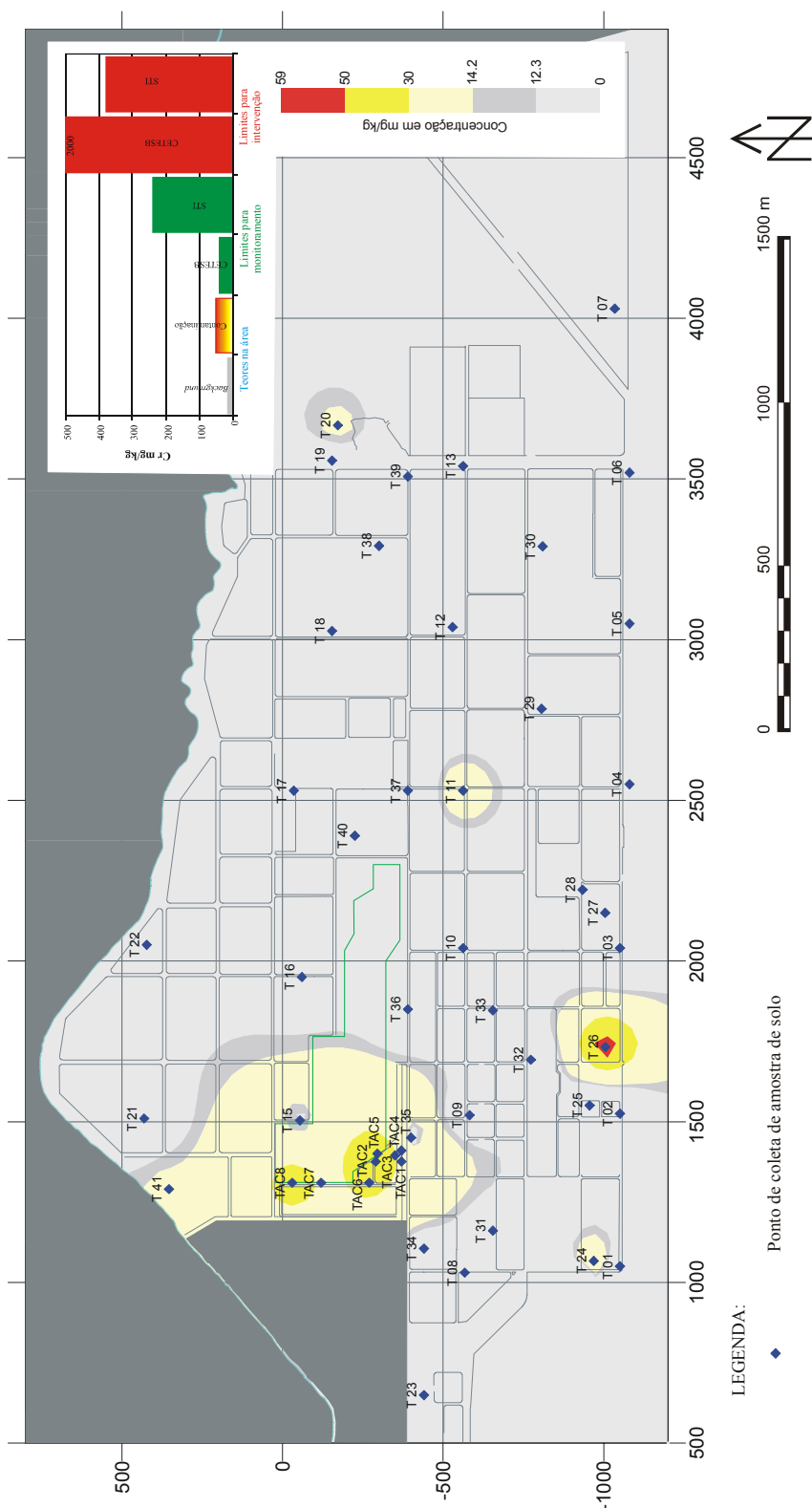


Figura 7.2. Concentrações de cromo em solos da área da REFAP. Níveis de *background* representados em cinza claro e de contaminação em tons de amarelo a vermelho. A tonalidade cinza escuro corresponde ao intervalo entre o limite superior do *background* e o limite inferior dos teores de contaminação.

7.1.4. Zinco

Os teores de zinco oscilam entre 2,01 e 31,6 mg/Kg, havendo registro de uma única amostra anômala com 46,6 mg/Kg (Tab. 7.2). Os histogramas de frequência simples e frequência acumulada (Fig. 7.3) sugerem a existência de dois grupos de amostras com teores distribuídos de forma contínua (Grupo 1 - 2,0 a 18,4 mg/Kg; Grupo 2 - 20,0 a 31,6 mg/Kg).

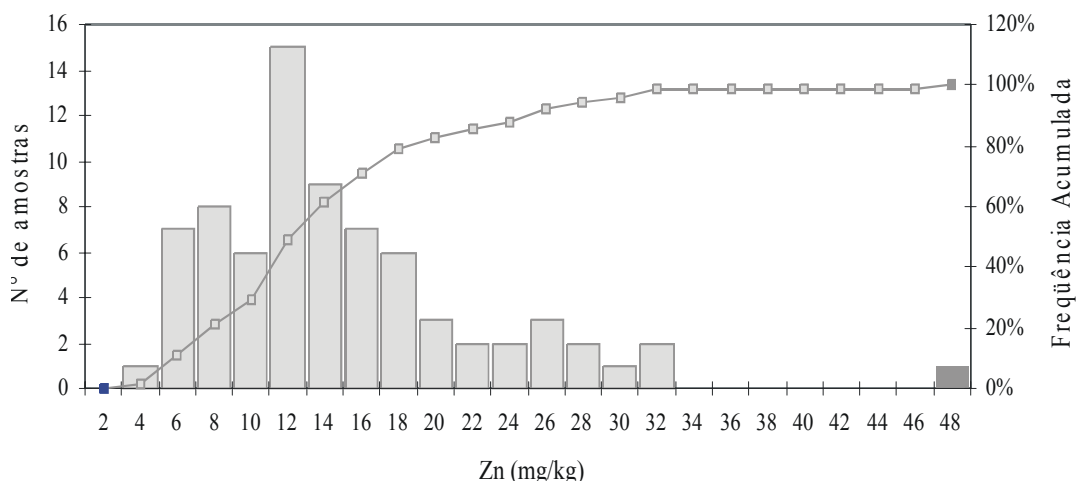


Figura 7.3. Diagrama de frequência simples e acumulada do conteúdo de zinco nos solos. Os dois grupos visualizados no diagrama, com limite em 20 mg/Kg, pertencem à mesma população.

O teste de Duncan demonstra que a diferença das médias dos grupos é pouco significativa, o que sugere serem pertencentes a uma única população de amostras. Os teores de zinco desta população são representativos do *background* da área, sem possuir relações com mecanismos de contaminação antropogênica. A amostra (T40B) que possui uma concentração anômala de 46,6 mg/Kg de zinco, não apresenta relações evidentes com a população principal.

No caso do zinco, à semelhança do cromo, a ampla variação de valores do *background* reflete a heterogeneidade geológica da área e do terreno amostrado, como registra o mapa de isotores (Fig. 7.4).

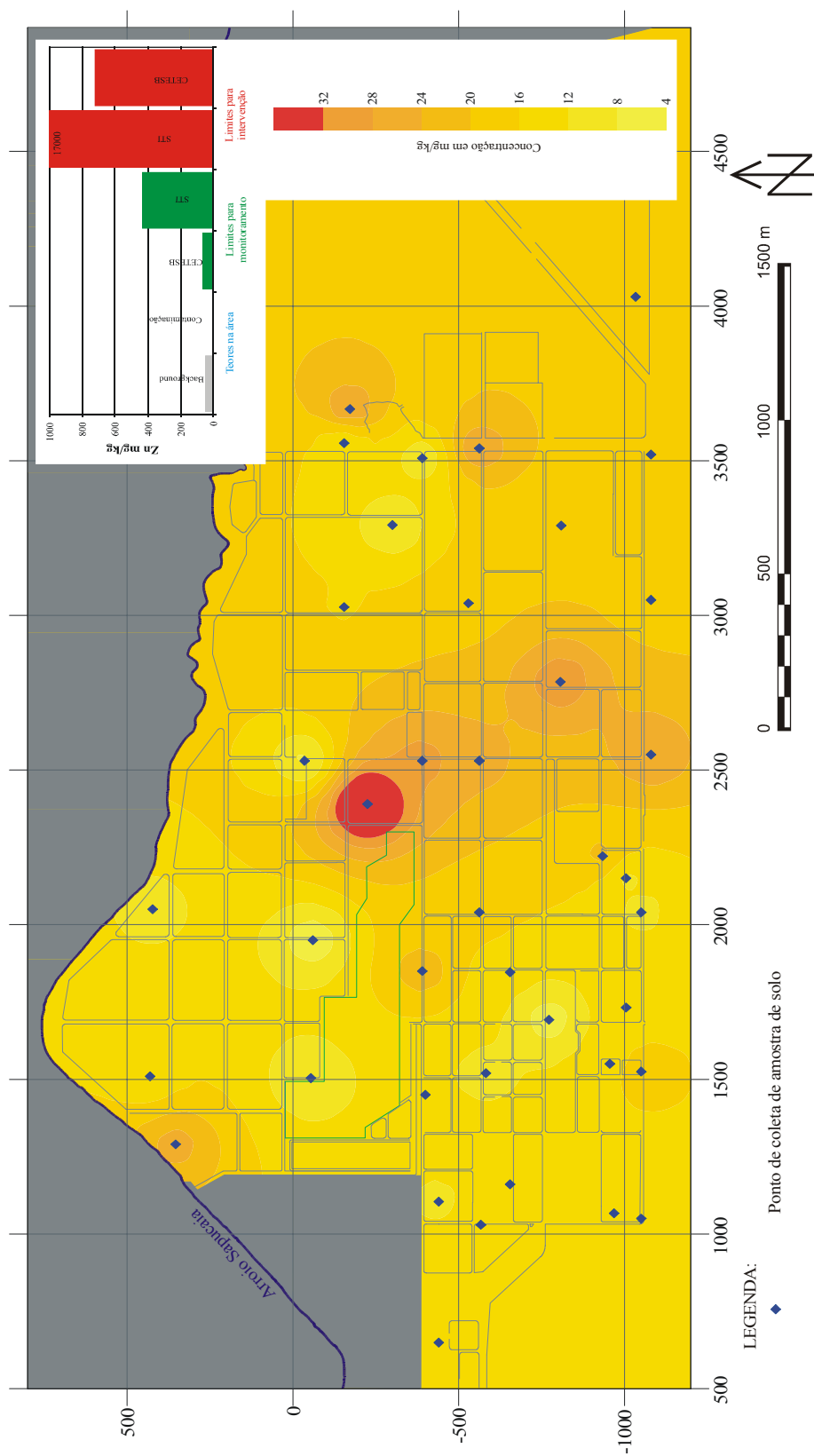


Figura 7.4. Concentrações de zinco em solos da área da REFAP. Concentrações de *background* representadas em tons de amarelo a laranja. A área em vermelho corresponde a uma amostra anômala cujo teor de Zn tem significado indeterminado.

7.1.5. Cádmio

O conteúdo de cádmio nos solos da área da REFAP é menor que o limite de detecção do método (0,002 mg/Kg) em 68,2% das amostras, atingindo uma concentração máxima de 4,26 mg/Kg na amostra T05B (Tab. 7.2). Três grupos de amostras são identificados em histogramas de frequência simples e de frequência acumulada (Fig. 7.5; Grupo 1: < 0,02 mg/Kg de cádmio; Grupo 2: 0,5 a 1,49 mg/Kg; Grupo 3: 2,23 a 4,26 mg/Kg).

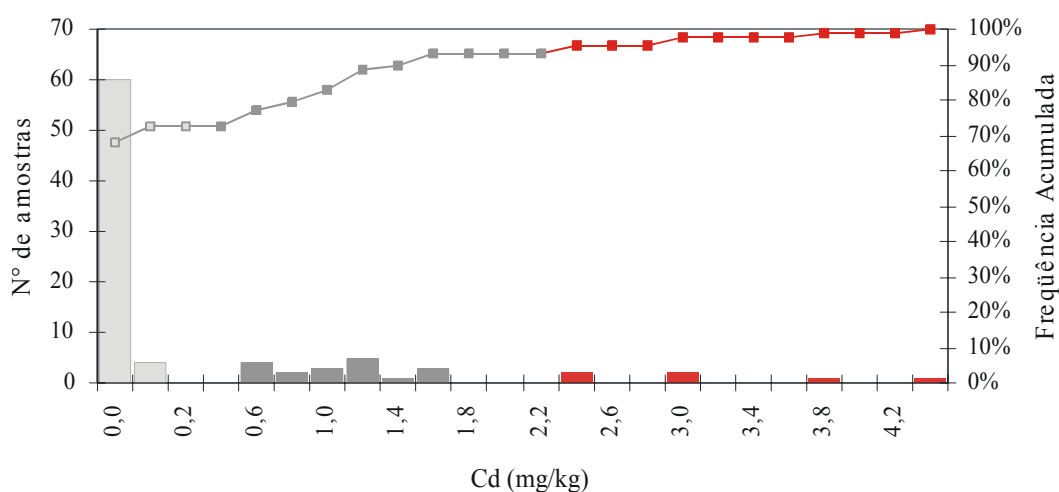


Figura 7.5. Diagrama de frequência simples e acumulada do conteúdo de cádmio nos solos nos três grupos de amostras.

O teste de Duncan aponta diferenças significativas nas médias dos três grupos de amostras, confirmando a existência de três populações distintas.

- **População 1** - Representa solos do **Grupo 1**, não afetados por processos de contaminação antropogênica e possuindo teores muito baixos de cádmio, característicos do *background* da área;
- **População 2** - Corresponde aos solos do **Grupo 2**, com concentrações de até 1,49 mg/Kg de cádmio, que também refletem conteúdos naturais do terreno, o que é demonstrado pela boa correlação positiva com o zinco (Fig. 7.6). Este comportamento decorre da semelhança geoquímica desses metais no meio físico natural;
- **População 3** - Corresponde às amostras do **Grupo 3**, caracterizadas pelos teores mais elevados, o que resulta, provavelmente, de processos de contaminação antropogênica, afirmação esta corroborada pela falta de

correlação com o zinco (Fig. 7.6). A contaminação de cádmio é registrada principalmente na porção centro-Sul da área da REFAP (Fig. 7.7).

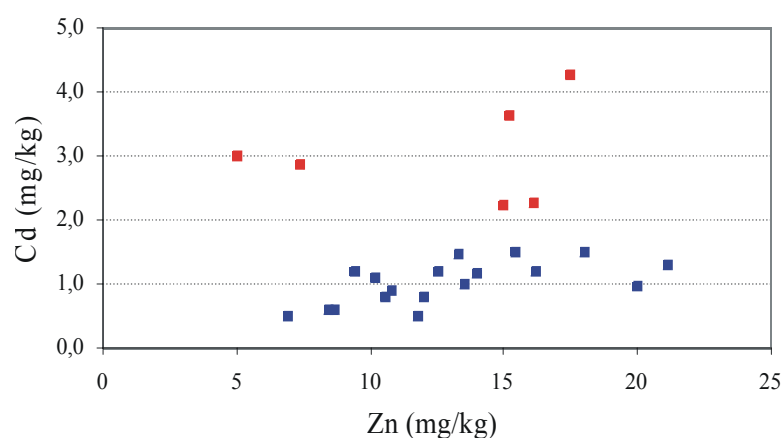


Figura 7.6. Diagrama binário de variação Cd vs. Zn. Amostras do Grupo 2 do Cd (símbolos azuis) possuem boa correlação, não verificada no Grupo 3 (símbolos vermelhos).

A Tab. 7.4 apresenta um resumo das concentrações de cádmio nos três grupos identificados.

Tabela 7.4. Resumo estatístico dos grupos de amostras de solo identificados pelo conteúdo de **cádmio** (mg/Kg). A média do Grupo 1 foi arbitrada em 0,001 mg/Kg, o que equivale à metade do limite de detecção do método analítico.

População 1		População 2		População 3	
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
Média (X_1)	0,001	Média (X_2)	1,01	Média (X_3)	3,05
Desvio padrão	-	Desvio padrão	0,33	Desvio padrão	0,79
Mínimo	<0,002	Mínimo	0,5	Mínimo	2,23
Máximo	0,02	Máximo	1,49	Máximo	4,26
Nº de amostras	64	Nº de amostras	18	Nº de amostras	6
Confiança (95,0%)	-	Confiança (95,0%)	0,17	Confiança (95,0%)	0,83

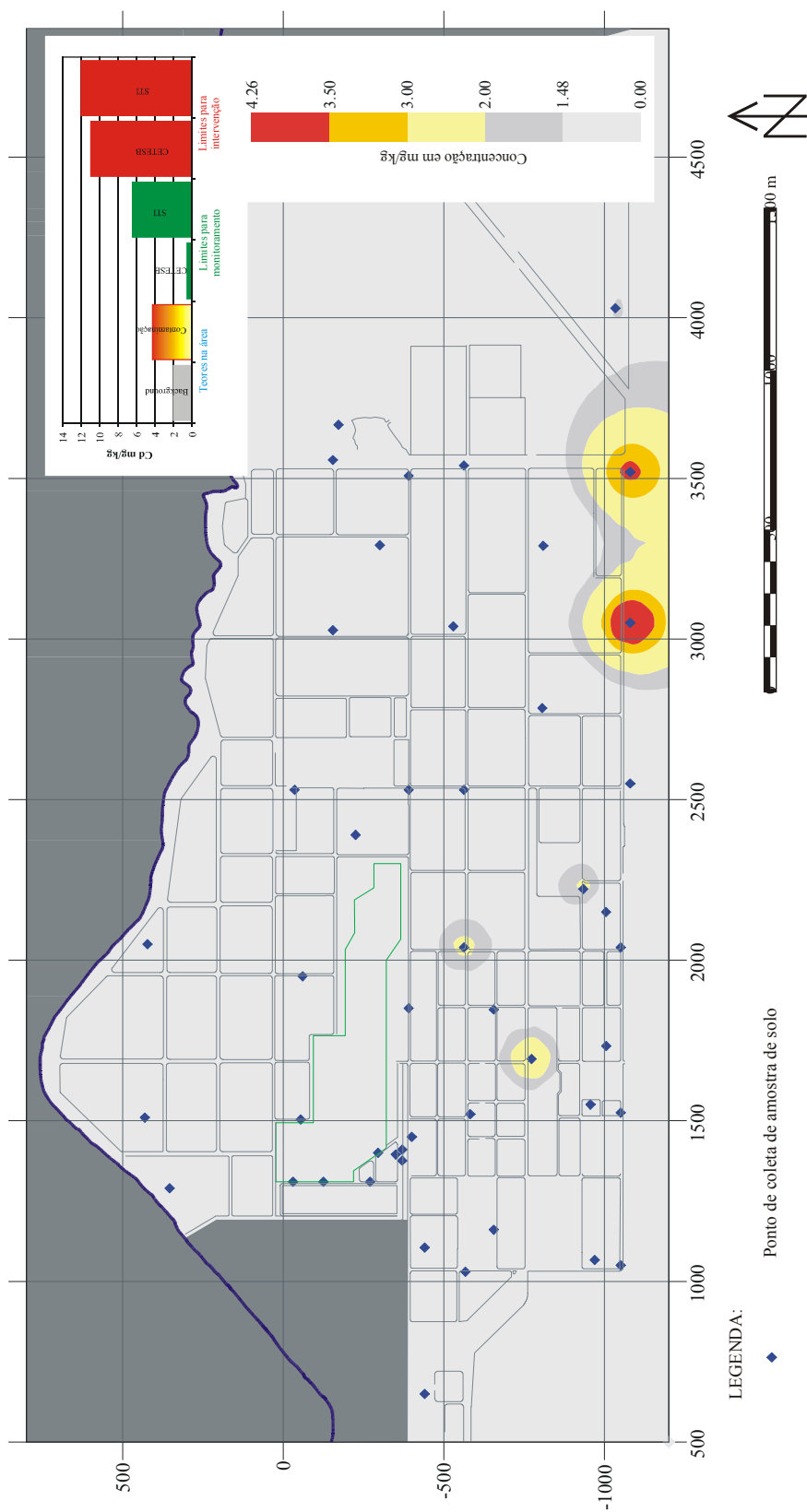


Figura 7.7. Concentrações de cádmio em solos da área da Refap Teores de *background* representadas em cinza claro e de contaminação em tons de amarelo a vermelho. Cinza escuro corresponde ao intervalo entre o limite superior do *background* e o limite inferior dos teores de contaminação.

7.1.6. Chumbo

O chumbo possui concentrações menores que o limite de detecção do método analítico (0,05 mg/Kg) em 58,7% das amostras analisadas, sendo de 44,2 mg/Kg o maior teor encontrado na área (Tab. 7.2). Histogramas de frequência simples e frequência acumulada (Fig. 7.8) sugerem três grupos de amostras (Tab. 7.5) no que tange ao conteúdo deste metal (Grupo 1 - <0,05 mg/Kg; Grupo 2 - 2,18 a 5,97 mg/Kg; Grupo 3 - 6,52 a 44,20 mg/Kg).

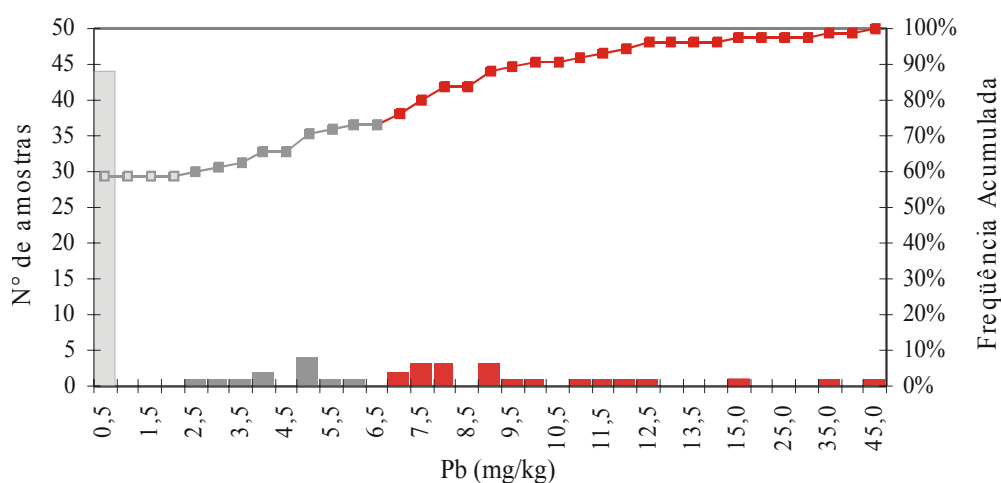


Figura 7.8. Diagrama de frequência simples e acumulada do conteúdo de chumbo nos solos, mostrando três grupos de amostras. O Grupo 1 (<0,05 mg/Kg) e o Grupo 2 (2,18 a 5,97 mg/Kg) pertencem à mesma população.

O teste de Duncan demonstra que o conteúdo de chumbo está distribuído em apenas duas populações. Como a diferença das médias dos grupos 2 e 3 é maior que a diferença da média dos grupos 1 e 2, estes últimos foram agrupados na mesma população.

O conteúdo de chumbo das amostras da **População 1** representa o *background* da área da REFAP, enquanto os valores registrados na **População 2** decorrem, provavelmente, de contaminação antropogênica. A variação significativa dos valores do *background* na **População 1** é determinada pela heterogeneidade geológica do local, da mesma forma como é verificado no comportamento de outros metais.

Tabela 7.5. Resumo estatístico do conteúdo de chumbo (mg/Kg) nos grupos de amostras de solo identificados em histogramas de frequência simples e frequência acumulada. A média do Grupo 1 foi arbitrada em 0,02 mg/Kg, equivalente à metade do limite de detecção do método analítico. No Grupo 3, não foram consideradas no cálculo as amostras T41A e T41B, por apresentarem teores anômalos de Pb, o que levaria a distorções.

População 1				População 2	
Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
Média (X_1)	0,02	Média (X_2)	4,23	Média (X_3)	9,18
Desvio padrão	-	Desvio padrão	116	Desvio padrão	2,24
Mínimo	0	Mínimo	2,18	Mínimo	6,52
Máximo	0,02	Máximo	5,97	Máximo	14,8
Nº de amostras	11	Nº de amostras	11	Nº de amostras	18
Confiança (95.0%)	-	Confiança(95.0%)	0,78	Confiança(95,0%)	1,11

O chumbo possui comportamento geoquímico similar ao zinco em sistemas naturais, tendo afinidade com as mesmas fases minerais. Em consequência, quando ambos estão presentes num sistema natural, a concentração destes metais deve apresentar correlação positiva, o que é registrado na População 1 (Fig. 7.9). Na População 3, por outro lado, a correlação dos dois metais é fraca, sugerindo a probabilidade de contaminação.

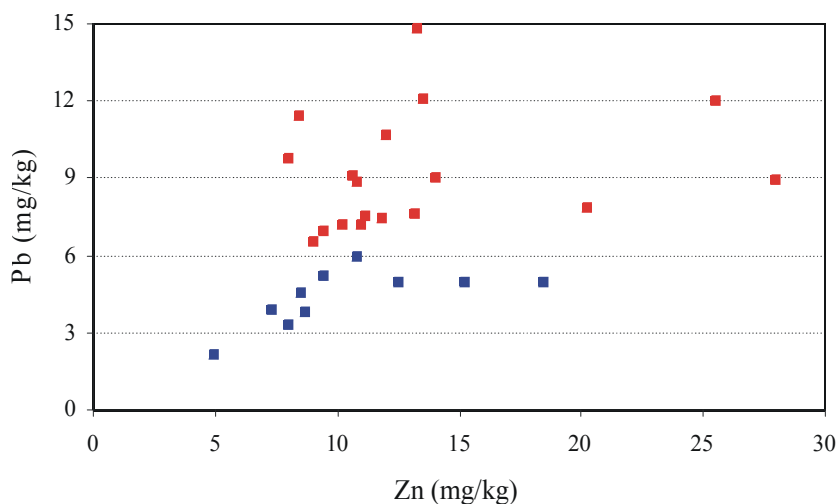


Figura 7.9. Diagrama binário de variação zinco vs. chumbo, mostrando boa correlação dos dois metais nas amostras pertencentes à População 1 (símbolos azuis) e fraca correlação na População 2 (símbolos vermelhos). Não foram representadas amostras com teores de chumbo abaixo dos limites de detecção analítico.

São registradas contaminações de chumbo (Fig. 7.10) nas adjacências do borreiro (T20), nos pontos de amostragem T01, T09, T18, T23, T24, T26, T27, T35 e T37 e ao Norte da BAE (T41). Este último ponto é o mais crítico e registra

forte contaminação nas duas amostras da mesma sondagem, coletadas a 0,6 e 2,7 metros de profundidade (T41A e T41B, respectivamente).

É importante destacar que a contaminação de chumbo possui maior incidência nas amostras coletadas junto ao nível freático, o que identifica uma provável mobilização deste metal pelas águas subterrâneas.

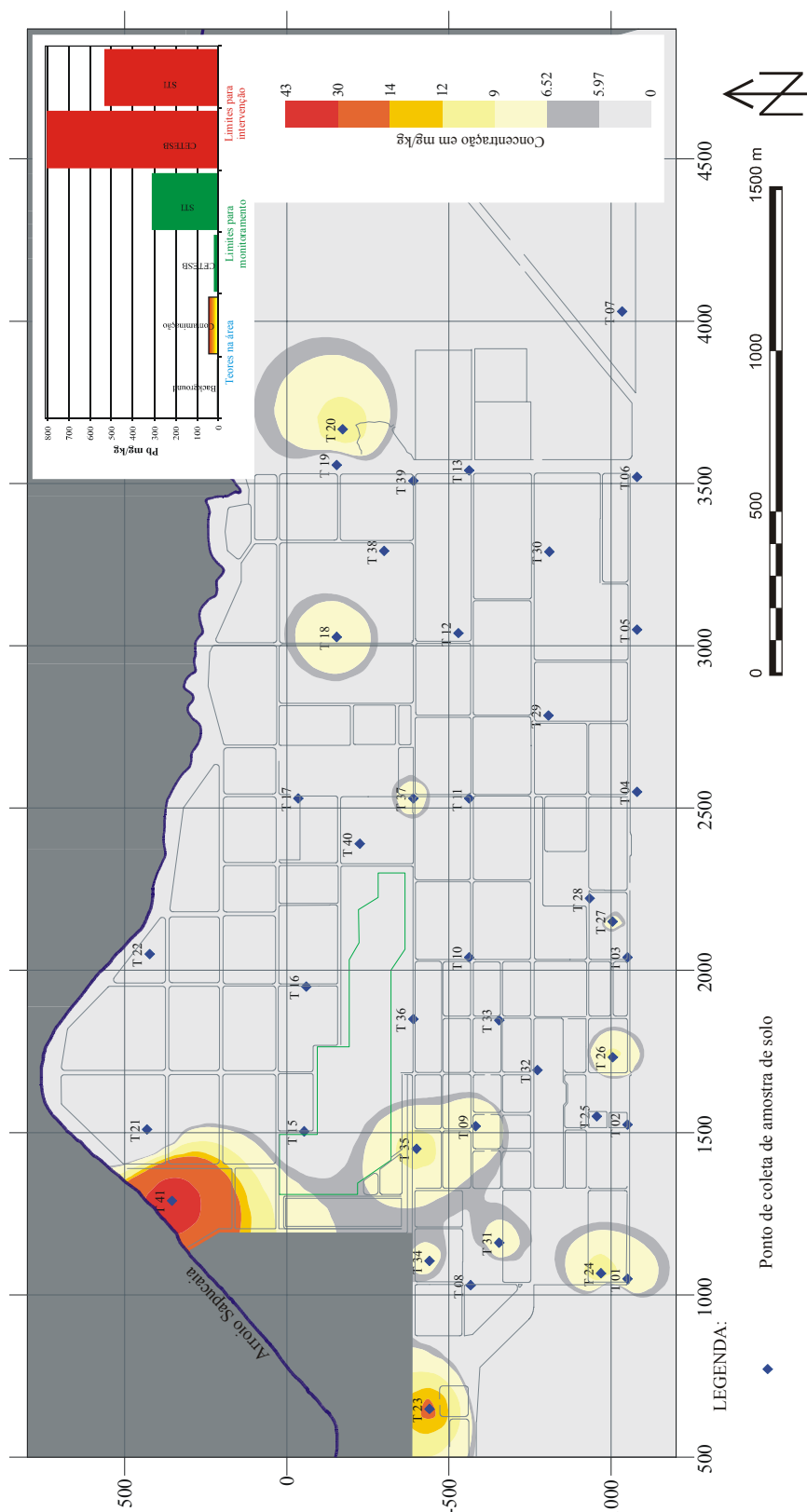


Figura 7.10. Concentrações de chumbo na área da REFAP. Teores de *background* representadas em cinza claro e de contaminação em tons de amarelo a vermelho. Cinza escuro corresponde ao intervalo entre o limite superior do *background* e o limite inferior dos teores de contaminação.

7.1.7. Cobre

O cobre registra teor máximo de 50,70 mg/Kg (Tab. 7.2), sendo que valores menores que o limite de detecção do método analítico (0,01 mg/Kg) ocorrem em 16,6% das amostras analisadas. Histogramas de frequência simples e frequência acumulada (Fig. 7.11) sugerem dois grupos de amostras (Tab. 7.6) , no que tange ao conteúdo de cobre nos solos (Grupo 1: < 6,32 mg/Kg; Grupo 2: 12,10 a 50,70 mg/Kg).

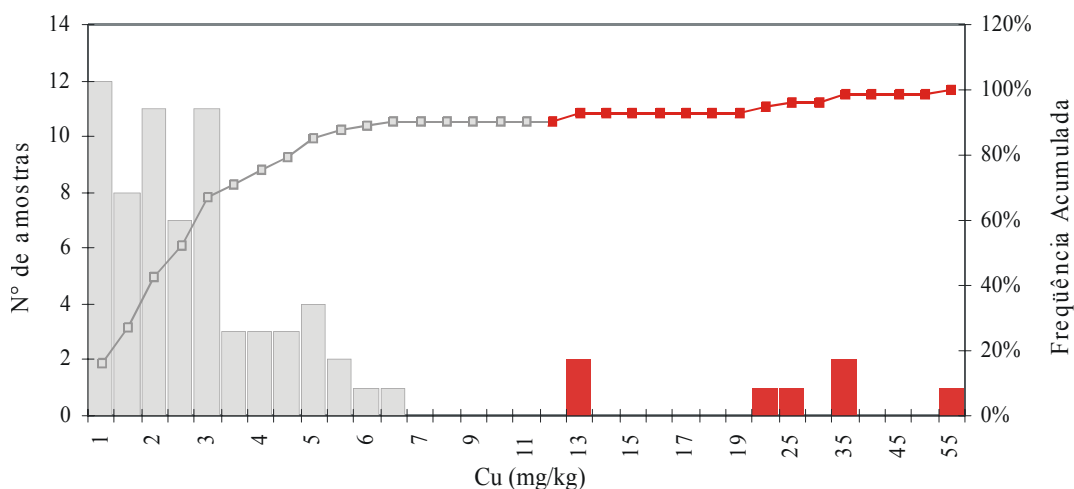


Figura 7.11. Diagrama de frequência simples e acumulada do conteúdo de cobre nos solos, identificando dois grupos de amostras.

Tabela 7.6. Resumo estatístico dos grupos de amostras de solo identificados em histogramas de frequência simples e frequência acumulada de conteúdo de cobre (mg/Kg).

População 1		População 2	
Grupo 1		Grupo 2	
Média (X_1)	2,36	Média (X_2)	25,84
Desvio padrão	1,59	Desvio padrão	13,7
Variância	2,51	Variância	187,8
Mínimo	<0,01	Mínimo	12,1
Máximo	6,32	Máximo	50,7
Nº de amostras	66	Nº de amostras	7
Confiança (95,0%)	0,39	Confiança (95,0%)	12,67

O teste de Duncan confirmou que os dois grupos pertencem a duas populações distintas, uma vez que a diferença entre as médias tem valor estatisticamente significativo.

A **população 1** possui teores de cobre contidos num estreito intervalo de valores ($< 6,32$ mg/Kg) que representam o *background* da área. A origem natural do cobre nesta população de amostras encontra respaldo na correlação positiva que mantém com o zinco (Fig. 7.12), pois, em geral, o comportamento dos dois metais é similar em processos naturais.

A **população 2** é representada por amostras com concentrações de cobre compreendidas entre 6,32 e 50,70 mg/Kg, mostrando descontinuidade de distribuição com a população 1. A ausência de correlação com o zinco sugere que esta população é oriunda de contaminação antrópica.

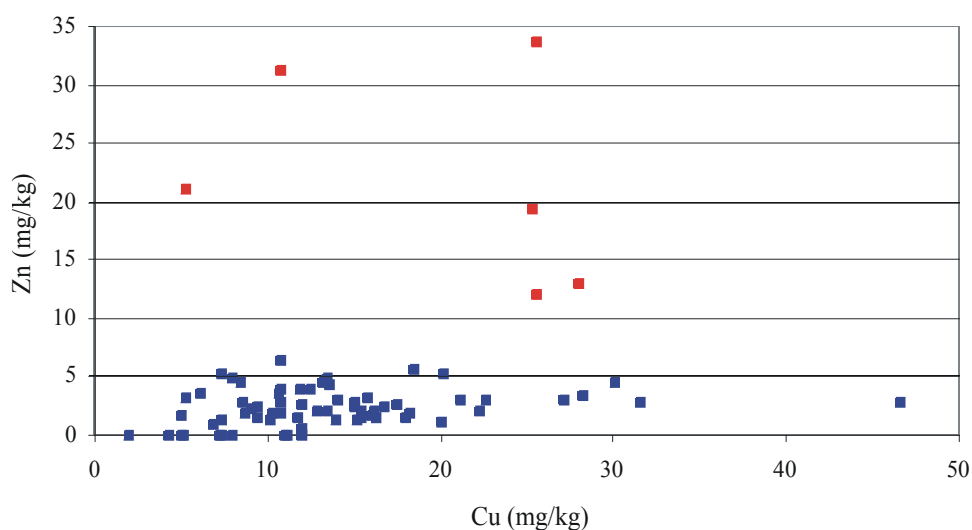


Figura 7.12. Diagrama de variação cobre vs zinco, mostrando boa correlação dos dois metais nas amostras do grupo 2 (símbolos azuis) e que representam o *background* de cobre na área. É importante destacar que no grupo 1 (símbolos vermelhos) não há correlação entre os metais.

A contaminação de cobre nos solos na REFAP está presente nos pontos de amostragem T27, T11, T21 e T41 (Fig. 7.13).

7.1.8. Mercúrio

O mercúrio é registrado em sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica nas proximidades da BAE, com teores baixos (Fig. 7.14). O valor máximo é de 0,154 mg/Kg (Tab. 7.2). Em estudo mais recente, concentrações de até 21 mg/Kg foram determinadas para solos presentes na área do borreiro (FAURGS, 2002b). A presença de mercúrio decorre de contaminação, independentemente do valor, pois o *background* da área é caracterizado pela ausência deste metal.

7.1.9. Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH)

Hidrocarbonetos totais de petróleo estão presentes em 22,3% das amostras analisadas, registrando teores que variam de 0,01 a 5,0 µg/Kg (Tab. 7.2). Merece destaque uma amostra próxima à BAE que apresenta concentração anômala de 27,39 µg/Kg. Em 80% das amostras onde foram detectados, os hidrocarbonetos totais de petróleo têm composição na faixa do óleo diesel e, o restante, na faixa da gasolina.

Independente do valor, a ocorrência de hidrocarbonetos de petróleo decorre de contaminação. A contaminação aparece nas adjacências da BAE e no borreiro (Fig. 7.15). Estudos recentes, cujos resultados analíticos não estão disponibilizados no presente estudo, mostram que as maiores concentrações (13.990 mg/Kg) de TPH são registradas no borreiro.

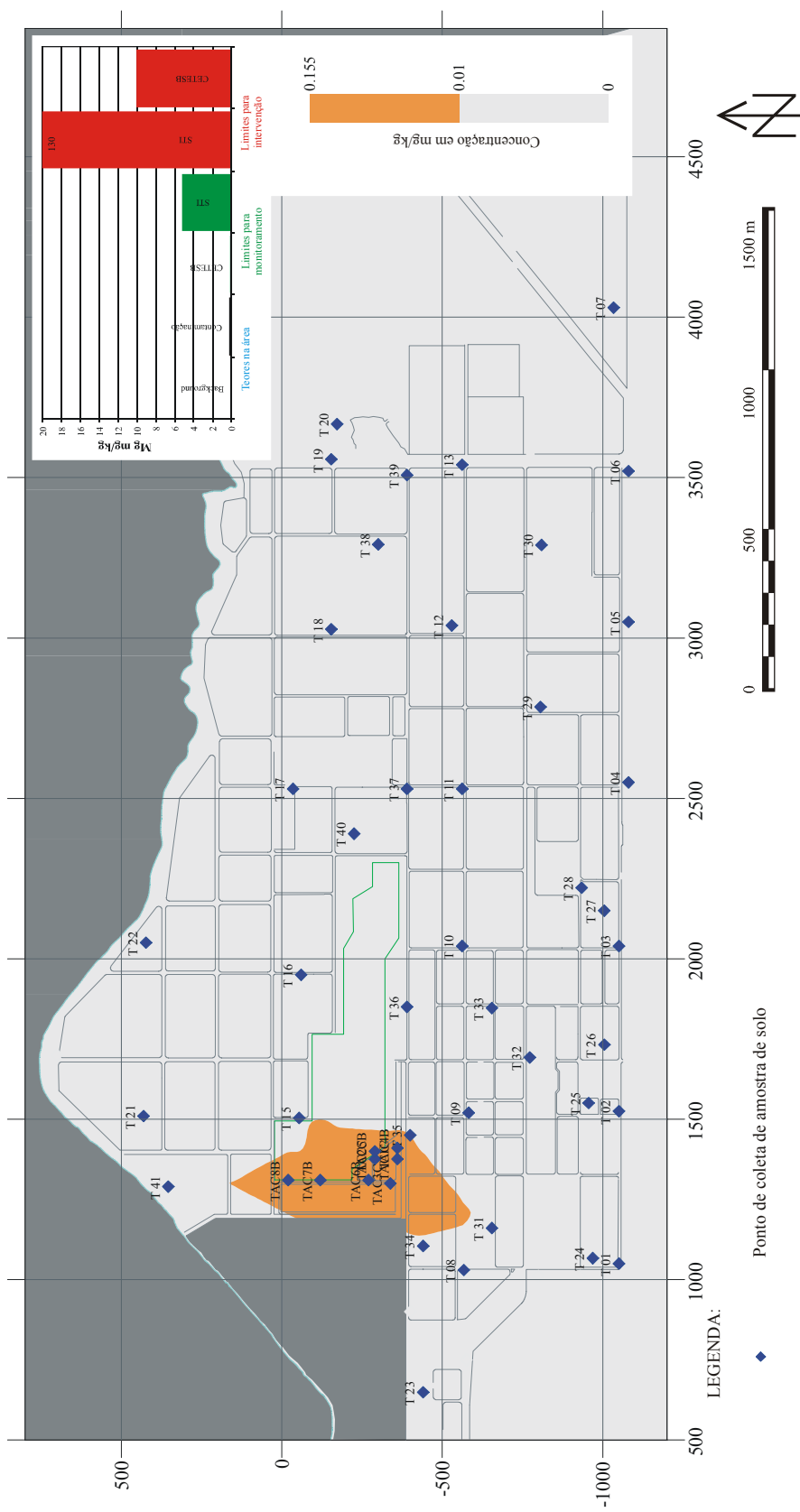


Figura 7.14. Concentrações de mercúrio nos solos da REFAP. Concentrações de background representadas em cinza claro e de contaminação em tom laranja.

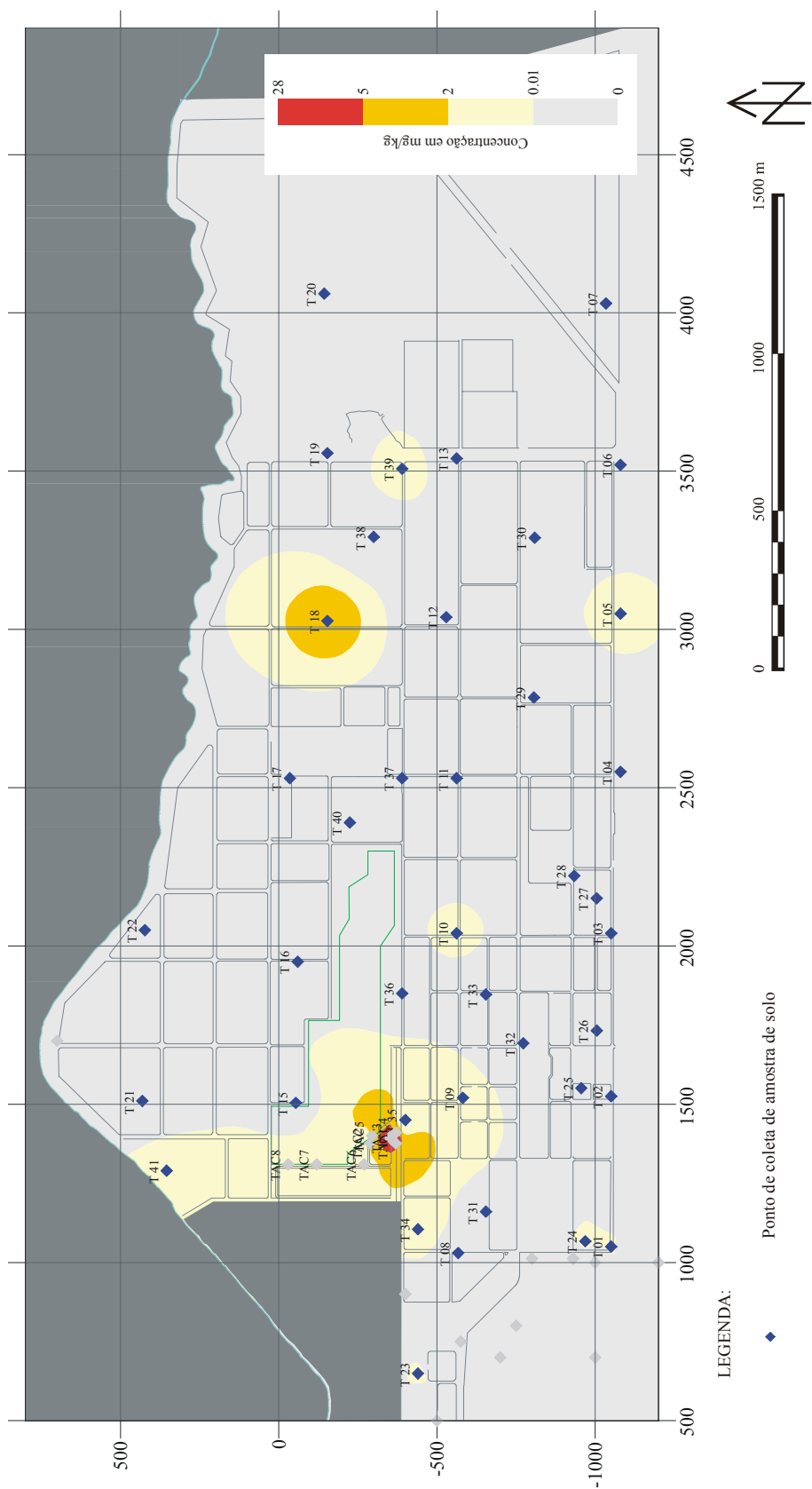


Figura 7.15. Concentração de TPH nos solos da REFAP. Teores de *background* representados em cinza claro e de contaminação em tons de amarelo a vermelho.

7.1.10. Carbono orgânico

O conteúdo de carbono orgânico foi determinado em 21 amostras representativas dos solos da área da REFAP, sendo oito correspondentes ao presente estudo e 13 coletadas junto à BAE em estudo anterior (FAURGS, 2001). Os resultados apontam baixos teores de matéria orgânica, com exceção de solos argilosos pretos, localizados nas adjacências da BAE, que contêm até 11% de carbono orgânico (Tab. 7.7).

Tabela 7.7. Carbono Orgânico em amostras de solo. Amostras assinaladas com asterisco (*) são localizadas nas adjacências da BAE.

Amostra	Carbono Orgânico (%)	Tipo de solo
T01A	0,34	Silto-arenoso
T05A	0,33	Siltoso
T11B	0,39	Argila
T30A	0,65	Silto-arenoso
T35A	0,44	Siltoso
T37B	0,27	Argilo-siltoso
T38A	0,41	Areno-siltoso
T41B	1,00	Argila preta
TAC1C *	3,20	Argila preta
TAC3B *	2,10	Argila preta
TAC4A *	0,66	Silto-argiloso
TAC4B *	4,20	Argila preta
TAC5A *	0,26	Argilo-siltoso
TAC5B *	11,00	Argila preta
TAC6A *	0,68	Argiloso
TAC6B *	5,40	Argila preta
TAC7A *	0,35	Argilo-arenoso
TAC7B *	0,25	Silte c/ areia
TAC8A *	0,20	Argilo-siltoso
TAC8B *	0,49	Arenoso
TAC8C *	0,14	Silto-arenoso

7.2. Enquadramento do conteúdo de metais e TPH dos solos segundo normas de controle ambiental

7.2.1. Aspectos gerais

A Norma Holandesa (STI) “*Soil Remediation Intervention Values*” (VROM, 1994) estabelece três categorias, intervalos de concentrações para diferentes elementos ou substâncias, que determinam se as contaminações são consideradas aceitáveis para o meio ambiente, se exigem monitoramento ou, ainda, intervenção com medidas reparadoras:

- **target value (S)** - representa a concentração máxima de áreas sem contaminação ou com contaminação insignificante;
- **further investigation value (T)** – representa a concentração a partir da qual a área deve ser monitorada;
- **intervention value (I)** – representa a concentração a partir da qual a área contaminada necessita medidas de intervenção, ou seja, projeto de remediação.

Os valores de referência de concentrações de hidrocarbonetos totais de petróleo em solos são apresentados na Tab. 7.8, na qual constam, também, os teores máximos de metais registrados na área da REFAP.

Tabela 7.8. Valores de referência para TPH e metais em solos de áreas industriais propostos pela Norma Holandesa (STI) e concentrações máximas em solos da REFAP.

Compostos	Valores de Referência (mg/Kg)			Teor máximo na área da REFAP (mg/Kg)
	S	T	I	
TPH	50	2525	5000	27,39
Cromo	100	240	380	201
Chumbo	85	308	530	44,2
Cádmio	0,8	6,4	12	4,26
Cobre	36	113	190	50,7
Zinco	140	430	720	46,6
Mercúrio	0,3	5,2	10	0,15
Vanádio	-	-	-	N.D.

7.2.2. Hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH)

Os resultados analíticos apontam concentrações de TPH menores que os valores de referência **I**, o que determina uma boa condição ambiental em relação a este contaminante. É importante destacar que os dados analíticos obtidos representam os teores de TPH do solo no momento da coleta da amostra e podem sofrer variações significativas com o tempo, devido à atenuação natural do contaminante.

7.2.3. Metais

As concentrações obtidas nas análises de metais em solos foram enquadradas à luz dos critérios da Norma Holandesa (Tab. 7.8) e da Proposta de Valores Orientadores para o Estado de São Paulo (Tab. 7.9).

Tabela 7.9. Valores de referência (R,I) de metais em solos (CETESB, 2001) e teores máximos registrados na área da REFAP.

Metal	Valores de referência (mg/Kg)		Teor máximo na área da REFAP (mg/Kg)
	R	I (solo industrial)	
Cromo	40	2000	201
Chumbo	17	800	44,2
Cádmio	<0,5	11	4,26
Cobre	35	7000	50,7
Zinco	60	17000	46,6
Mercúrio	0,05	130	0,15
Vanádio	274	-	N.D.

No caso da Proposta de Valores Orientadores para o Estado de São Paulo (CETESB, 2001), os valores de **R** indicam níveis de qualidade para solos isentos de contaminação, sendo estabelecido com base em resultados de análises químicas e físicas em amostras representativas. Os valores de **I**, por outro lado, indicam níveis de contaminação de metais acima dos quais existem riscos à saúde pública, o que exige alguma forma de intervenção na área. Estes valores são derivados de modelo matemático de exposição humana para análise de risco.

Os dados químico obtidos no presente estudo, em suma, revelam a presença de contaminação por metais no solo em grande parte das amostras analisadas. Entretanto, os níveis de contaminação dos metais são baixos e inferiores aos limites de intervenção, tanto em relação à Norma Holandesa (STI) quanto aos Valores Orientadores da CETESB.

7.3. Distribuição de metais e hidrocarbonetos de petróleo nas águas subterrâneas

7.3.1. Aspectos gerais

O grau de contaminação das águas subterrâneas na área em foco foi avaliado com base no conteúdo de metais pesados e de hidrocarbonetos de petróleo (TPH e BTEX) nos dez poços de monitoramento profundos construídos, que permitem a investigação da composição química de águas subterrâneas do aquífero semi-confinado (sedimentos cenozóicos e rochas sedimentares da Formação Sanga do Cabral). Os estudos foram complementados com análises adicionais dos mesmos parâmetros, com exceção de BTEX, em amostras de água coletadas em nove poços rasos de monitoramento construídos pela AG Ambiental (Fig. 5.2) que fornecem informações sobre o aquífero freático em escala local. Por se tratarem de sistemas aquíferos distintos, os dados químicos serão tratados em separado.

7.3.2. Aquífero semi-confinado

Os resultados analíticos apontam que o conteúdo de mercúrio, cádmio, cobre e vanádio na água de todos os poços profundos é menor que os limites de detecção dos métodos utilizados (Tab. 7.10).

Tabela 7.10. Conteúdo de metais e de TPH nas águas subterrâneas dos poços profundos.

Amostras	Cromo (mg/L)	Mercúrio (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Cobre (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Vanádio (mg/L)	Zinco (mg/L)	TPH (µg/L)
PM 10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,11	n.d.
PM 11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,12	n.d.
PM 12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,04	n.d.	0,1	n.d.
PM 13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,03	n.d.	0,11	n.d.
PM 14	0,02	n.d.	n.d.	n.d.	0,01	n.d.	0,09	3,1
PM 15	0,02	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	0,09	n.d.
PM 16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.
PM 17	0,01	n.d.	n.d.	n.d.	0,03	n.d.	0,07	n.d.
PM 18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,01	n.d.	0,07	n.d.
PM 19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,08	n.d.
Limites de Detecção	0,02	0,0005	0,002	0,01	0,005	0,03	0,005	0,1

O **cromo** aparece com teores de até 0,02 mg/L nos poços PM14 (borreiro) e PM15 (Fig. 7.16). A presença de cromo na água subterrânea destes

poços, provavelmente possui origem natural, já que os teores são muito baixos e o *background* dos solos da área alcança 12,30 mg/Kg.

O **chumbo** possui uma distribuição mais ampla, sendo registrado nos poços PM12, PM13, PM14, P15, PM17 e PM18 com teores variáveis entre 0,01 e 0,05 mg/L (Fig. 7.16). É importante destacar que a distribuição de chumbo nas águas subterrâneas não coincide com a ocorrência de contaminação em solos. Assim, sua origem, aparentemente, está relacionada a processos naturais de interação água/sedimento, considerando-se que o *background* dos solos na área atinge cerca de 6,0 mg/Kg de chumbo. Deve-se destacar que, sob o ponto de vista geoquímico, o chumbo possui maior mobilidade em relação ao cromo, o que justifica sua maior distribuição areal.

O **zinco** aparece em todos poços profundos em concentrações variáveis entre 0,07 e 0,12 mg/L (Fig. 7.16). Sua distribuição nas águas subterrâneas reflete o *background* dos solos da área, não estando relacionada com contaminação. A concentração de zinco na água do poço PM13 é dos maiores valores (0,11 mg/L) e coincide espacialmente com o ponto de maior concentração de zinco no solo (T40-46,6 mg/Kg), o que corrobora a hipótese de origem natural.

Hidrocarbonetos totais de petróleo com composição na faixa da gasolina foram detectados unicamente no poço PM14, localizado junto ao borreiro, onde atingem concentrações de 3,1 µg/L.

A ocorrência de contaminação por hidrocarbonetos dissociada da contaminação por metais pesados decorre da maior mobilidade dos compostos orgânicos, que sofrem menor adsorção pelos constituintes argilosos e orgânicos dos solos, em razão da condição neutralidade elétrica.

7.3.3. Aquífero freático

As análises químicas revelam, em todos os poços amostrados, teores de cromo, mercúrio, cádmio e vanádio menores que o limite de detecção do método analítico utilizado (Tab. 7.11).

Tabela 7.11: Concentrações de metais e TPH das águas subterrâneas dos poços da AG Ambiental.

Amostras	Cromo (mg/L)	Mercúrio (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Cobre (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Vanádio (mg/L)	Zinco (mg/L)	TPH (µg/L)
P1	n.d.	n.d.	n.d.	0,01	n.d.	n.d.	0,17	n.d.
P2	n.d.	n.d.	n.d.	0,14	n.d.	n.d.	0,14	n.d.
P3	n.d.	n.d.	n.d.	0,04	0,04	n.d.	0,17	n.d.
P4	n.d.	n.d.	n.d.	0,02	n.d.	n.d.	0,16	3,5 ^d
P5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,16	6,2 ^g
P9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,17	3,1 ^g
P10	n.d.	n.d.	n.d.	0,04	n.d.	n.d.	0,12	n.d.
P11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,21	n.d.
P12	n.d.	n.d.	n.d.	0,04	n.d.	n.d.	0,14	1,44 ^d

TPH: ^g faixa da gasolina; ^d faixa do óleo diesel.

O **chumbo** ocorre unicamente no poço P3, onde atinge concentração de 0,4 mg/L (Fig. 7.16). Este valor representa provável resultado de contaminação, já que no mesmo local foi registrada, também, contaminação de solo.

O **cobre** é detectado nos poços P1, P2, P3, P4, P10 e P12 com teores variáveis entre 0,01 e 0,14 mg/L (Fig. 7.16) aparentemente sem relações com a contaminação dos solos e sugerindo provável origem natural.

O **zinco** exibe um comportamento similar ao cobre com teores relativamente homogêneos em todos os poços amostrados, variando entre 0,12 e 0,21 mg/L (Fig. 7.16). Como mencionado anteriormente, os teores de zinco registrados nos solos e sedimentos da área enquadram-se no intervalo de *background*, sugerindo que a presença deste elemento nas águas subterrâneas não está relacionado a processos de contaminação.

Hidrocarbonetos totais de petróleo da faixa da gasolina aparecem nos poços P4 (3,5 mg/L) e P12 (1,44 mg/L) e da faixa do diesel, nos poços P5 (6,2 mg/L) e P9 (3,1 mg/L). Todos os poços contaminados estão localizados na área de tancagem e pátio de bombas.

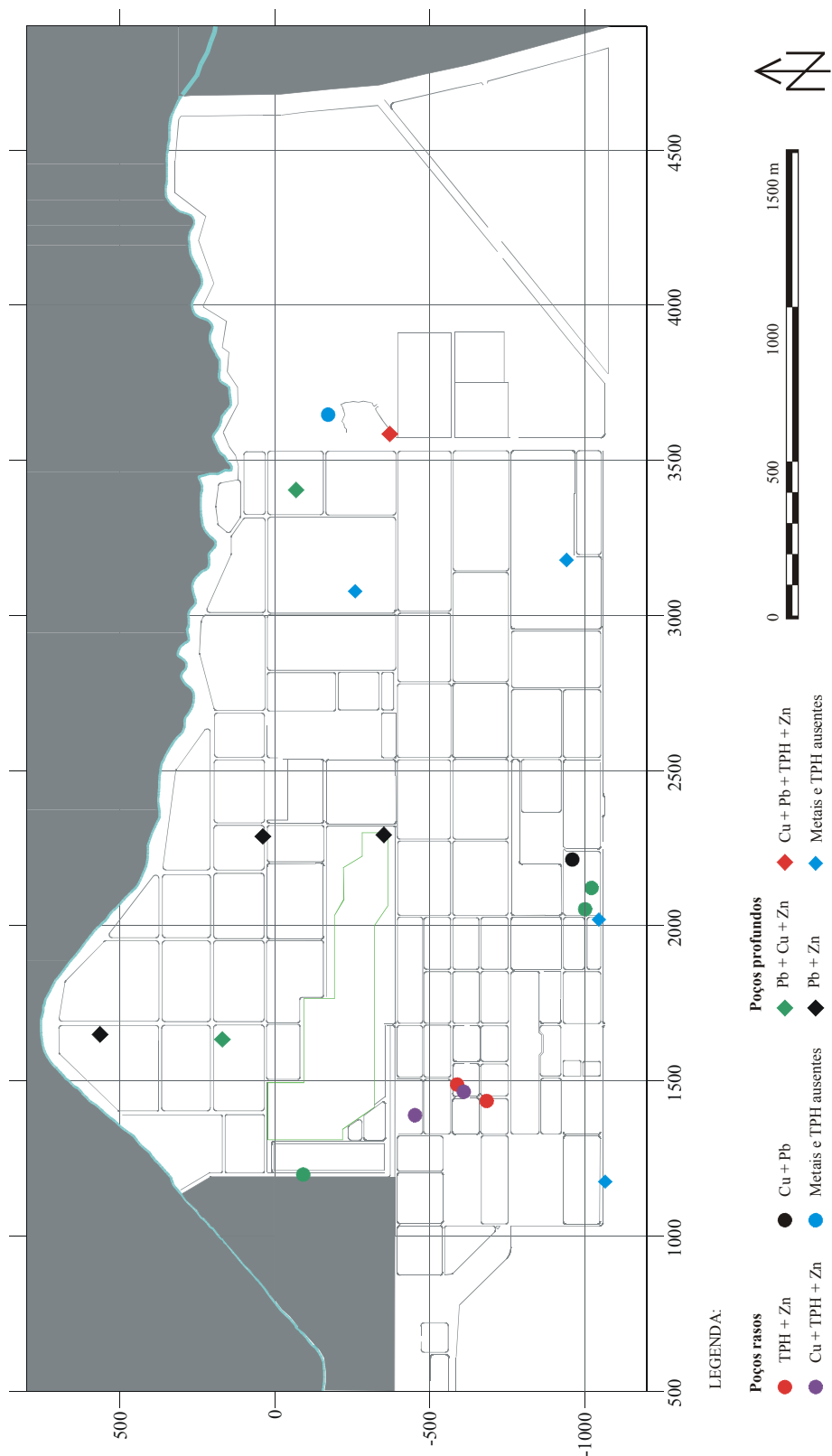


Figura 7.16. Ocorrência de metais e hidrocarbonetos nas águas subterrâneas.

7.4. Enquadramento do conteúdo de metais, TPH e BTEX das águas subterrâneas segundo normas de controle ambiental

A análise do conteúdo de metais nas águas subterrâneas foi procedida em conformidade com a Norma Holandesa STI (VROM, 1994) e com a Proposta de Valores Orientadores para o Estado de São Paulo (CETESB, 2001), cujos princípios de avaliação foram discutidos nos itens anteriores, referentes ao enquadramento dos solos.

Os teores de referência para enquadramento de TPH e metais em águas recomendados pela Norma Holandesa são apresentados na Tab. 7.12. Nas Tabs. 7.13 e 7.14 são, respectivamente, registrados os valores de referência de BTEX e de metais em águas propostos pela CETESB.

Tabela 7.12. Valores referência de TPH e metais propostos pela norma holandesa e maiores teores registrados nas águas subterrâneas da REFAP.

	Teores de referência			Maior teor das águas subterrâneas da REFAP
	S	T	I	
TPH (µg/L)	50	325	600	6,2
Cromo (µg/L)	1	16	30	20
Cádmio (µg/L)	0,4	3,2	6	n.d
Cobre (µg/L)	15	45	75	40
Chumbo (µg/L)	15	45	75	50
Mercúrio (µg/L)	0,05	0,18	0,3	n.d.
Zinco (µg/L)	65	433	800	210
Vanádio (µg/L)	-	-	-	n.d.

Tabela 7.13. Valores BTEX em águas propostos pela CETESB.

Elemento	Valores de Referência de Qualidade (µg/L)	Valores de Intervenção Derivados (µg/L)	Maiores teores (µg/L) encontrados nas águas subterrâneas da área da REFAP
Benzeno	1	5 ⁽¹⁾	0,49
Tolueno	1	170 ⁽²⁾	0,13
Xilenos	1	300 ⁽¹⁾	0,09
Etilbenzeno ⁽³⁾	0	150	0,21

1 - Padrão de Potabilidade da Portaria 1.469 do Ministério da Saúde para Substâncias que apresentam risco à saúde.
2 - Padrão de Potabilidade da Portaria 1.469 do Ministério da Saúde para aceitação de consumo (critério organoléptico).
3 - Valores de S e I para Etilbenzeno propostos pela Norma Holandesa.

Tabela 7.14. Valores de referência de metais em água subterrânea propostos pela CETESB.

Elemento	Valores de Referência de Qualidade ($\mu\text{g/L}$)	Valores de Intervenção Derivados ($\mu\text{g/L}$)	Maiores teores das águas subterrânea da REFAP ($\mu\text{g/L}$)
Cromo	-	50*	20
Chumbo	-	10*	50
Cádmio	-	5*	n.d.
Cobre	-	2000*	40
Zinco	-	5000*	210
Mercúrio	-	1*	n.d.
Vanádio	-	-	n.d.

*Valores de potabilidade da Portaria 1469 do Ministério da Saúde

Os resultados químicos de metais demonstram a virtual ausência de mercúrio, cádmio e vanádio e a presença de cromo, chumbo, cobre e zinco em baixos teores nas águas subterrâneas da área da REFAP. A origem das baixas concentrações de metais nas águas é provavelmente natural e as concentrações registradas são inexpressivas, bem menores que os limites de intervenção estabelecidos pela Norma Holandesa e pela Proposta de Valores Orientadores da CETESB, com exceção do chumbo que possui teor acima do limite proposto pela CETESB, mas em apenas um poço.

Da mesma forma que os metais, os hidrocarbonetos também estão presentes nas águas subterrâneas da área da REFAP em teores muito baixos, o que acusa contaminação em níveis pouco expressivos. O conteúdo de TPH, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno são muito inferiores aos limites de intervenção estabelecidos pelas Norma Holandesa e pela Proposta de Valores Orientadores da CETESB.

8. CONCLUSÕES

A análise dos levantamentos geológicos de superfície e de subsuperfície na área da Refinaria Alberto Pasqualini, cotejada com a caracterização hidrogeológica dos aquíferos e com a distribuição de hidrocarbonetos e de metais pesados nos solos e na água subterrânea, permite tecer as seguintes considerações:

- A geologia da área consiste em sedimentos quaternários inconsolidados com espessura variável entre 1 e 14 metros, predominantemente siltico-arenosos, com registro de camadas descontínuas de areia. Esta unidade aparece sobreposta a camadas de argilitos e siltitos da Formação Sanga do Cabral. Em parte expressiva da área é verificado um aterro argiloso de regularização, localizadamente arenoso, com espessura de até 3 metros e que possui baixa permeabilidade, desempenhando importante papel na proteção dos aquíferos.
- Dois aquíferos com conexão hidráulica são registrados na área, constituídos pelos sedimentos quaternários e pela Formação Sanga do Cabral. Os dois aquíferos possuem baixa condutividade hidráulica com valores variáveis entre $1,12 \times 10^{-6}$ cm/s e $1,08 \times 10^{-3}$ cm/s.
- Os aquíferos possuem caráter semi-confinado com profundidade do nível estático variável entre 1,7 e 8,5 metros.

- Curvas da superfície potenciométrica indicam que o fluxo da água subterrânea se dá de Sudeste para Noroeste, tendo como exutório o Arroio Sapucaia e área de recarga distribuída em toda a área da Refinaria e sua adjacência ao Sul.
- Análises químicas de solos e de água subterrânea acusam concentrações relativamente baixas de metais pesados e hidrocarbonetos, menores que os limites de intervenção estabelecidos pelas normas nacionais e internacionais de controle ambiental adotadas.
- Estudos estatísticos demonstram que os solos e produtos de alteração que compõem o meio físico apresentam conteúdo natural de metais (*background*) compreendido abaixo dos seguintes limites: cromo - 12,3 mg/Kg; cádmio - 1,48 mg/Kg; chumbo - 5,97 mg/Kg; cobre - 6,32 mg/Kg; mercúrio - 0,0 mg/Kg e zinco - 31,6 mg/Kg. Desta forma, a presença de metais não indica, necessariamente, contaminação do meio.
- A contaminação por TPH nos solos alcança até 27,39 µg/Kg, sendo representada por diesel (80%) e gasolina (20%), fazendo-se acompanhar de metais.
- As águas subterrâneas do aquífero semi-confinado registram teores baixos de cromo (três poços), chumbo (seis poços) e zinco (todos os poços). Hidrocarbonetos de petróleo (TPH e BTEX) aparecem em baixas concentrações unicamente nas águas do poço de monitoramento PM14, localizado junto ao borreiro, a área mais afetada por contaminação na Refinaria. Os poços rasos que captam água do freático registram cobre (60% dos poços), zinco (todos os poços) e chumbo (10% dos poços), sempre em baixos níveis de concentração. Hidrocarbonetos totais de petróleo ocorrem em 40% dos poços rasos.
- Os processos de atenuação natural dos hidrocarbonetos no meio físico são complexos e abrangem mecanismos biológicos e físico-químicos variados que minimizam os efeitos da contaminação ao longo do tempo. Entretanto, a fraca mobilidade de alguns metais associados com o petróleo e seus derivados, e fixados nos solos, constituem registro indelével da contaminação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AG AMBIENTAL. **Análisis de riesgos derivados de la carga contaminante encontrada en la refinería Alberto Pasqualini (REFAP) situada en Canoas.** Relatório Técnico. 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **O que é refino?.** 2002. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Construção de poços de monitoramento e amostragem.** 1997.

ATMADJA J. AND BAGTZOGLU, A. C. **State of the Art Report on Mathematical Methods for Groundwater Pollution Source Identification,** September 2001. Disponível em: <http://www.idealibrary.com>.

BEDIENT, P. B.; RIFAI, H. S.; NEWELL, C. J. **Ground Water Contamination: transport and remediation.** 1994.

CODUTO, DONALD P. **Geotechnical Engineering: principles and pratices.** 1998.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Porto Alegre. Folha SH.22-Y-B. Estado do Rio Grande de Sul.** 1997.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo.** 2001. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aspectos básicos para o atendimento emergencial em postos de serviços.** 2000.

DAHMANI, M. A.; FOSTER, K., AHLFELD, D. P.; HOAG, G. E.; CARLEY, R. J.; CHEN, J. **Measurement of fuel contaminated soil leachate.** 1993.

DAY, M. J.; REINKE, R. F.; THOMSON, J. A. M. **Fate and Transport of Fuel Components Below Slightly Leaking Underground Storage Tanks,** 2001. Disponível em: <http://www.idealibrary.com>.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Dispõe sobre a adição de álcool etílico anidro combustível a gasolina,** 29/05/1998.

DUCTH MINISTRY OF HOUSING. **Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and the Environment, Soil Remediation Intervention Values,** 1994.

EATON, P.B., A.G. GRAY, P.W. JOHNSON AND E. HUNDERT. **State of the Environment in the Atlantic Region.** 1994.

ELLIOTT, M.. **Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Redox Parameters in a Creosote-Contaminated Aquifer**. Dissertation - Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. 2001. Disponível em: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-02102001-114258/unrestricted/ETDVersion.pdf>.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. 1994.

FETTER, C. W. **Contaminant Hydrogeology**. 1993.

FUNDAÇÃO DE AMPARO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos e metais pesados das águas subterrâneas e instalação de poços de monitoramento na REFAP S.A.** Relatório Técnico. 2002.

FUNDAÇÃO DE AMPARO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Diagnóstico da Contaminação na Área do TAC, adjacências da BAE e Cursos de Água do Borreiro**. Relatório Técnico. 2001.

FUNDAÇÃO DE AMPARO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos e metais pesados no solo e água subterrânea na área do borreiro da Refinaria Alberto Pasqualini - REFAP, Canoas, RS**. Relatório Técnico. 2002.

GAMERMANN, N. **Contribution a l'Etude de la diagenese des gres: couleur rouge, argiles authigenes et induration. Formations d'Estrada Nova, de Rosário do Sul et de Botucatu (Bresil) et Bundsandstein des Vosges (France)**. 1979.

HOLZ, M. & DE ROS, L.F. (ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base de informações municipais**. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tendências demográficas: uma análise a partir dos resultados do censo demográfico 1991**. 1996.

IRWIN, R. J.; VANMOUWERIK, M.; STEVENS, L.; SEESE, M. D.; BASHAM, W. **Environmental Contaminants Encyclopedia**. National Park Service, Water Resources Division. 1998. Disponível em: <http://www.nps.gov>.

LOUISIANA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY'S. **Risk Evaluation / Corrective Action Program (RECAP)**. 2000. Disponível em: <http://www.deq.state.la.us/technology/recap/2000/appb.pdf>.

NADIM, F.; HOAG, G. E.; LIU, S.; CARLEY, R. J.; ZACK, P. **Detection and remediation of soil and aquifer systems contaminated with petroleum products: an overview.** 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VDW-412RX3K-M/1/0f415feb9323a519d767a75783e6c76a>.

NEMEROW, NELSON L. AND DASGUPTA, AVIJIT. **Industrial and Hazardous Waste Treatment.** 1991.

PHILLIP, R. P. **A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas, Rio Grande do Sul.** 1998. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

ROBBINS, E. A.; ROBERTSON, M.; STEBE, G. **False identification of BTEX compounds using EPA Method 8020.** 1993.

ROISENBERG & VIERO. **O Vulcanismo Mesosóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul.** In: HOLZ, M. & DE ROS, L.F. (ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul.** 2000.

SAUCK, W. A. **A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments.** Journal of Applied Geophysics. Vol. 44. p.151–165. 2000. disponível em: www.elsevier.nl/locate/jappgeo.

SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **BHBRASIL - Balanços Hídricos Climatológicos de 500 Localidades Brasileiras.** 1998. Disponível em: <http://ce.esalq.usp.br/dce/nurma.htm>.

SOLIANI JR., E. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica.** 1986. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Use of Monitored Natural Attenuation at Superfund, RCRA Corrective Action, and Underground Storage Tank Sites.** 1999. Disponível em: <http://www.epa.gov/swerust1/directiv/d9200417.htm>.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Leaking underground storage tanks and health: Understanding health risks from petroleum contamination.** EPA/530/UST-91/018. Office of Underground Storage Tanks. 1992. Disponível em: www.epa.gov.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Diagnóstico do Lençol Freático da Refinaria Alberto Pasqualini - REFAP.** Relatório Técnico. 1998.

WISCONSIN DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES BUREAU OF DRINKING WATER AND GROUNDWATER. **Groundwater Sampling Desk Reference.** 1996. Disponível em: <http://www.dnr.state.wi.us/org/water/dwg/gw/sample.htm>.

Anexo A - Testes de slug

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM10	HVORSLEV	9,585 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
1	0	374,0	59,0	1,0
2	10	374,7	58,3	1,0
3	20	376,0	57,0	1,0
4	30	376,8	56,2	1,0
5	40	377,6	55,4	0,9
6	50	378,0	55,0	0,9
7	60	378,6	54,4	0,9
8	70	379,0	54,0	0,9
9	80	379,5	53,5	0,9
10	90	380,0	53,0	0,9
11	100	380,5	52,5	0,9
12	110	380,8	52,2	0,9
13	120	381,2	51,8	0,9
14	130	381,6	51,4	0,9
15	140	381,9	51,1	0,9
16	150	382,3	50,8	0,9
17	160	382,6	50,4	0,9
18	170	382,9	50,1	0,8
19	180	383,2	49,8	0,8
20	190	383,6	49,4	0,8
21	200	383,9	49,1	0,8
22	210	384,2	48,8	0,8
23	220	384,6	48,4	0,8
24	230	384,9	48,1	0,8
25	240	385,1	47,9	0,8
26	250	385,5	47,5	0,8
27	260	385,8	47,2	0,8
28	270	386,1	46,9	0,8
29	280	386,4	46,6	0,8
30	290	386,7	46,3	0,8
31	300	386,9	46,1	0,8
32	310	387,2	45,8	0,8
33	320	387,5	45,5	0,8
34	330	387,7	45,3	0,8
35	340	388,0	45,0	0,8

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM10	HVORSLEV	9,585 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
36	350	388,2	44,8	0,8
37	360	388,5	44,5	0,8
38	370	388,7	44,3	0,8
39	380	389,0	44,0	0,7
40	390	389,3	43,7	0,7
41	400	389,7	43,3	0,7
42	430	389,9	43,1	0,7
43	450	390,3	42,7	0,7
44	470	390,6	42,4	0,7
45	490	391,1	41,9	0,7
46	510	391,5	41,5	0,7
47	530	391,9	41,1	0,7
48	550	392,3	40,7	0,7
49	570	392,5	40,5	0,7
50	590	393,0	40,0	0,7
51	620	393,5	39,5	0,7
52	650	394,0	39,0	0,7
53	680	394,5	38,5	0,7
54	710	395,1	37,9	0,6
55	770	396,0	37,0	0,6
56	830	396,9	36,1	0,6
57	890	397,7	35,3	0,6
58	950	398,4	34,6	0,6
59	1010	399,1	33,9	0,6
60	1070	399,9	33,1	0,6
61	1130	400,6	32,4	0,5
62	1190	401,1	31,9	0,5
63	1490	403,8	29,2	0,5
64	1790	406,1	26,9	0,5
65	2090	407,8	25,2	0,4
66	2390	409,5	23,5	0,4
67	2990	411,3	21,7	0,4
68	3590	413,5	19,5	0,3
69	4190	414,2	18,8	0,3
70	4790	415,2	17,8	0,3

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM11	HVORSLEV	10,640 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
1	0	177,0	65,0	1,0
2	10	184,2	57,8	0,9
3	20	186,6	55,4	0,9
4	30	188,0	54,0	0,8
5	40	190,8	51,2	0,8
6	50	192,4	49,6	0,8
7	60	194,5	47,5	0,7
8	70	195,8	46,2	0,7
9	80	197,0	45,0	0,7
10	90	198,0	44,0	0,7
11	100	199,2	42,8	0,7
12	110	200,5	41,5	0,6
13	120	201,5	40,5	0,6
14	130	202,4	39,6	0,6
15	140	203,5	38,5	0,6
16	150	204,5	37,5	0,6
17	160	205,6	36,4	0,6
18	170	206,2	35,8	0,6
19	180	207,2	34,8	0,5
20	190	208,0	34,0	0,5
21	200	208,7	33,3	0,5
22	210	209,5	32,5	0,5
23	220	210,4	31,6	0,5
24	230	211,3	30,7	0,5
25	240	212,0	30,0	0,5
26	250	212,7	29,3	0,5
27	260	213,4	28,6	0,4
28	270	214,0	28,0	0,4
29	280	214,8	27,2	0,4
30	290	215,7	26,3	0,4
31	300	216,5	25,5	0,4
32	330	218,0	24,0	0,4
33	360	219,7	22,3	0,3
34	390	221,3	20,7	0,3
35	420	222,7	19,3	0,3

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM11	HVORSLEV	10,640 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
36	480	225,4	16,6	0,3
37	540	227,6	14,4	0,2
38	600	229,7	12,3	0,2
39	660	231,4	10,6	0,2
40	720	232,4	9,6	0,1
41	780	233,8	8,2	0,1
42	840	234,8	7,2	0,1
43	900	235,5	6,5	0,1
44	960	236,4	5,6	0,1
45	1020	236,9	5,1	0,1
46	1080	237,4	4,6	0,1
47	1140	238,0	4,0	0,1
48	1200	238,3	3,7	0,1
49	1260	238,6	3,4	0,1
50	1320	238,9	3,1	0,0
51	1380	239,1	2,9	0,0
52	1680	239,9	2,1	0,0
53	1980	240,2	1,8	0,0
54	2280	240,6	1,4	0,0
55	2590	240,7	1,3	0,0
56	2880	240,9	1,1	0,0
57	3180	241,0	1,0	0,0

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM12	HVORSLEV	13,501 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
1	10	230,0	81,0	1,0
2	20	235,0	76,0	0,9
3	30	238,9	72,1	0,9
4	40	243,2	67,8	0,8
5	50	246,9	64,1	0,8
6	60	249,8	61,2	0,8
7	70	252,6	58,4	0,7
8	80	255,1	55,9	0,7
9	90	257,4	53,6	0,7
10	100	259,6	51,4	0,6
11	110	261,5	49,5	0,6
12	120	263,3	47,7	0,6
13	130	265,0	46,0	0,6
14	140	266,9	44,1	0,5
15	150	268,3	42,7	0,5
16	160	269,6	41,4	0,5
17	170	270,9	40,1	0,5
18	180	272,1	38,9	0,5
19	190	273,4	37,6	0,5
20	200	275,0	36,0	0,4
21	210	275,4	35,6	0,4
22	220	276,4	34,6	0,4
23	230	277,3	33,7	0,4
24	240	278,1	32,9	0,4
25	250	279,0	32,0	0,4
26	260	279,7	31,3	0,4
27	270	280,5	30,5	0,4
28	280	281,3	29,7	0,4
29	290	281,9	29,1	0,4
30	300	282,5	28,5	0,4
31	310	283,1	27,9	0,3
32	320	283,7	27,3	0,3
33	330	284,4	26,6	0,3
34	340	284,9	26,1	0,3
35	350	285,3	25,7	0,3

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM12	HVORSLEV	13,501 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
36	360	286,0	25,0	0,3
37	390	287,5	23,5	0,3
38	420	288,6	22,4	0,3
39	450	289,7	21,3	0,3
40	480	290,8	20,2	0,2
41	510	291,6	19,4	0,2
42	540	292,5	18,5	0,2
43	570	293,2	17,8	0,2
44	600	293,7	17,3	0,2
45	630	294,5	16,5	0,2
46	660	295,0	16,0	0,2
47	690	295,4	15,6	0,2
48	720	296,2	14,8	0,2
49	780	297,0	14,0	0,2
50	840	297,7	13,3	0,2
51	900	298,4	12,6	0,2
52	960	299,0	12,0	0,1
53	1020	299,5	11,5	0,1
54	1080	300,0	11,0	0,1
55	1140	300,5	10,5	0,1
56	1440	302,1	8,9	0,1
57	1740	303,2	7,8	0,1
58	2040	304,1	6,9	0,1
59	2340	304,6	6,4	0,1
60	2640	305,2	5,8	0,1
61	2940	305,6	5,4	0,1
62	3240	306,1	4,9	0,1

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM13	HVORSLEV	8,948 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
1	0	192,0	73,0	1,0
2	10	198,5	66,5	0,9
3	20	204,5	60,5	0,8
4	30	209,5	55,5	0,8
5	40	213,5	51,5	0,7
6	50	216,7	48,3	0,7
7	60	219,8	45,2	0,6
8	70	222,3	42,7	0,6
9	80	224,7	40,3	0,6
10	90	226,5	38,5	0,5
11	100	228,0	37,0	0,5
12	110	229,3	35,7	0,5
13	120	230,3	34,7	0,5
14	130	231,1	33,9	0,5
15	140	232,1	32,9	0,5
16	150	232,5	32,5	0,4
17	160	233,2	31,8	0,4
18	170	233,5	31,5	0,4
19	180	234,1	30,9	0,4
20	190	234,5	30,5	0,4
21	200	235,0	30,0	0,4
22	210	235,3	29,7	0,4
23	220	235,6	29,4	0,4
24	230	235,9	29,1	0,4
25	240	236,2	28,8	0,4
26	250	236,4	28,6	0,4
27	260	236,6	28,4	0,4
28	270	236,9	28,1	0,4
29	280	237,1	27,9	0,4
30	290	237,3	27,7	0,4
31	300	237,4	27,6	0,4
32	330	237,7	27,3	0,4
33	360	237,9	27,1	0,4
34	390	238,1	26,9	0,4
35	420	238,5	26,5	0,4

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM13	HVORSLEV	8,948 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
36	450	238,7	26,3	0,4
37	480	238,8	26,2	0,4
38	780	239,6	25,4	0,3
39	1080	240,3	24,7	0,3
40	1380	240,6	24,4	0,3
41	1680	240,9	24,1	0,3
42	1980	241,1	23,9	0,3

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM14	HVORSLEV	13,225 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
1	10	285,7	50,3	1,0
2	20	296,4	39,6	0,8
3	30	301,3	34,7	0,7
4	40	306,5	29,5	0,6
5	50	309,1	26,9	0,5
6	60	311,0	25,0	0,5
7	70	311,6	24,4	0,5
8	80	312,8	23,2	0,5
9	90	314,0	22,0	0,4
10	100	315,0	21,0	0,4
11	110	315,9	20,1	0,4
12	120	316,6	19,4	0,4
13	130	317,5	18,5	0,4
14	140	318,1	17,9	0,4
15	150	318,7	17,3	0,3
16	160	319,3	16,7	0,3
17	170	319,8	16,2	0,3
18	180	320,4	15,6	0,3
19	190	320,7	15,3	0,3
20	200	321,0	15,0	0,3
21	210	321,4	14,6	0,3
22	220	321,8	14,2	0,3
23	230	322,1	13,9	0,3
24	240	322,4	13,6	0,3
25	250	322,8	13,2	0,3
26	260	323,0	13,0	0,3
27	270	323,3	12,7	0,3
28	280	323,6	12,4	0,2
29	290	323,9	12,1	0,2
30	300	324,1	11,9	0,2
31	330	324,7	11,3	0,2
32	360	325,4	10,6	0,2
33	390	325,9	10,1	0,2
34	420	326,2	9,8	0,2
35	450	326,5	9,5	0,2

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM14	HVORSLEV	13,225 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
36	480	326,9	9,1	0,2
37	510	327,3	8,7	0,2
38	540	327,8	8,2	0,2
39	570	328,1	7,9	0,2
40	600	328,5	7,5	0,1
41	660	328,8	7,2	0,1
42	720	329,0	7,0	0,1
43	780	329,4	6,6	0,1
44	840	329,8	6,2	0,1
45	900	330,0	6,0	0,1
46	960	330,3	5,7	0,1
47	1020	330,5	5,5	0,1
48	1080	330,8	5,2	0,1
49	1140	331,0	5,0	0,1
50	1200	331,1	4,9	0,1
51	1500	331,9	4,1	0,1
52	1800	332,3	3,7	0,1
53	2100	333,0	3,0	0,1
54	2400	333,2	2,8	0,1
55	2700	333,3	2,7	0,1

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM15	HVORSLEV	5,401 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
1	10	271,0	73,0	1,0
2	20	274,5	69,5	1,0
3	30	295,6	48,4	0,7
4	40	303,0	41,0	0,6
5	50	310,0	34,0	0,5
6	60	315,5	28,5	0,4
7	70	320,4	23,6	0,3
8	80	323,4	20,6	0,3
9	90	325,6	18,4	0,3
10	100	327,4	16,6	0,2
11	110	328,9	15,1	0,2
12	120	330,1	13,9	0,2
13	130	331,2	12,8	0,2
14	140	332,1	11,9	0,2
15	150	332,8	11,2	0,2
16	160	333,5	10,5	0,1
17	170	334,0	10,0	0,1
18	180	334,4	9,6	0,1
19	190	334,7	9,3	0,1
20	200	335,0	9,0	0,1
21	210	335,3	8,7	0,1
22	220	335,6	8,4	0,1
23	230	335,8	8,2	0,1
24	240	336,0	8,0	0,1
25	250	336,2	7,8	0,1
26	260	336,4	7,6	0,1
27	270	336,6	7,4	0,1
28	280	336,8	7,2	0,1
29	290	336,9	7,1	0,1
30	300	337,0	7,0	0,1
31	330	337,4	6,6	0,1
32	360	337,5	6,5	0,1
33	390	337,7	6,3	0,1
34	420	337,9	6,1	0,1
35	450	338,3	5,7	0,1

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM15	HVORSLEV	5,401 m	25/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
36	480	338,6	5,4	0,1
37	510	338,8	5,2	0,1
38	540	338,9	5,1	0,1
39	600	339,2	4,8	0,1
40	660	339,6	4,4	0,1
41	720	339,9	4,1	0,1
42	780	340,0	4,0	0,1
43	1080	340,6	3,4	0,0
44	1380	341,5	2,5	0,0
45	1680	341,6	2,4	0,0
46	1980	341,8	2,2	0,0
47	2280	342,1	1,9	0,0

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM16	HVORSLEV	8,172 m	26/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
1	0	506,0	87,0	1,0
2	10	511,5	81,5	0,9
3	20	517,3	75,7	0,9
4	30	521,7	71,3	0,8
5	40	526,5	66,5	0,8
6	50	530,3	62,7	0,7
7	60	533,9	59,1	0,7
8	70	537,3	55,7	0,6
9	80	540,3	52,7	0,6
10	90	543,0	50,0	0,6
11	100	545,4	47,6	0,5
12	110	548,0	45,0	0,5
13	120	550,2	42,8	0,5
14	130	552,2	40,8	0,5
15	140	554,0	39,0	0,4
16	150	556,0	37,0	0,4
17	160	557,9	35,1	0,4
18	170	559,4	33,6	0,4
19	180	560,6	32,4	0,4
20	190	561,9	31,1	0,4
21	200	563,2	29,8	0,3
22	210	564,2	28,8	0,3
23	220	565,3	27,7	0,3
24	230	566,3	26,7	0,3
25	240	567,3	25,7	0,3
26	250	568,2	24,8	0,3
27	260	569,0	24,0	0,3
28	270	569,6	23,4	0,3
29	280	570,3	22,7	0,3
30	290	571,1	21,9	0,3
31	300	571,7	21,3	0,2
32	310	572,4	20,6	0,2
33	320	572,9	20,1	0,2
34	330	573,2	19,8	0,2
35	340	573,8	19,2	0,2

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM16	HVORSLEV	8,172 m	26/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
36	350	574,3	18,7	0,2
37	360	574,7	18,3	0,2
38	370	575,0	18,0	0,2
39	380	575,4	17,6	0,2
40	410	576,5	16,5	0,2
41	440	577,5	15,5	0,2
42	470	578,3	14,7	0,2
43	500	579,1	13,9	0,2
44	540	580,0	13,0	0,1
45	600	581,0	12,0	0,1
46	660	582,0	11,0	0,1
47	720	582,8	10,2	0,1
48	780	583,2	9,8	0,1
49	840	583,6	9,4	0,1
50	900	584,6	8,4	0,1
51	1200	586,6	6,4	0,1
52	1500	587,6	5,4	0,1
53	1800	588,4	4,6	0,1
54	2100	588,9	4,1	0,0
55	2700	589,7	3,3	0,0
56	3300	590,5	2,5	0,0

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM17	HVORSLEV	12,365 m	26/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
1	0	279,0	60,0	1,0
2	10	285,0	54,0	0,9
3	20	289,7	49,3	0,8
4	30	294,7	44,3	0,7
5	40	299,4	39,6	0,7
6	50	302,3	36,7	0,6
7	60	305,5	33,5	0,6
8	70	308,0	31,0	0,5
9	80	310,5	28,5	0,5
10	90	312,2	26,8	0,4
11	100	314,8	24,2	0,4
12	110	316,6	22,4	0,4
13	120	317,8	21,2	0,4
14	130	319,0	20,0	0,3
15	140	320,2	18,8	0,3
16	150	321,5	17,5	0,3
17	160	322,5	16,5	0,3
18	170	323,5	15,5	0,3
19	180	324,4	14,6	0,2
20	190	325,3	13,7	0,2
21	200	326,0	13,0	0,2
22	210	326,8	12,2	0,2
23	220	327,4	11,6	0,2
24	230	328,2	10,8	0,2
25	240	328,8	10,2	0,2
26	250	329,2	9,8	0,2
27	260	329,6	9,4	0,2
28	270	330,0	9,0	0,2
29	280	330,5	8,5	0,1
30	290	330,8	8,2	0,1
31	320	332,1	6,9	0,1
32	350	332,9	6,1	0,1
33	380	333,6	5,4	0,1
34	410	334,1	4,9	0,1
35	450	335,2	3,8	0,1

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM17	HVORSLEV	12,365 m	26/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
36	510	335,9	3,1	0,1
37	570	336,4	2,6	0,0
38	630	336,9	2,1	0,0
39	690	337,1	1,9	0,0
40	990	337,9	1,1	0,0
41	1350	338,5	0,5	0,0
42	1850	338,6	0,4	0,0

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM18	HVORSLEV	11,369 m	26/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
1	10	225,6	68,9	1,0
2	20	227,9	66,6	1,0
3	30	229,2	65,3	0,9
4	40	230,9	63,6	0,9
5	50	231,7	62,8	0,9
6	60	232,8	61,7	0,9
7	70	233,4	61,1	0,9
8	80	234,5	60,0	0,9
9	90	235,6	58,9	0,9
10	100	236,5	58,0	0,8
11	110	237,4	57,1	0,8
12	120	238,1	56,4	0,8
13	130	239,2	55,3	0,8
14	140	240,0	54,5	0,8
15	150	240,7	53,8	0,8
16	160	241,5	53,0	0,8
17	170	242,2	52,3	0,8
18	180	242,8	51,7	0,8
19	190	243,5	51,0	0,7
20	200	244,2	50,3	0,7
21	210	244,9	49,6	0,7
22	220	245,5	49,0	0,7
23	230	246,1	48,4	0,7
24	240	246,8	47,7	0,7
25	250	247,3	47,2	0,7
26	260	248,0	46,5	0,7
27	270	248,5	46,0	0,7
28	280	249,1	45,4	0,7
29	290	249,7	44,8	0,7
30	300	250,3	44,2	0,6
31	330	251,8	42,7	0,6
32	360	253,3	41,2	0,6
33	390	254,4	40,1	0,6
34	420	255,8	38,7	0,6
35	450	257,0	37,5	0,5

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM18	HVORSLEV	11,369 m	26/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
36	480	258,3	36,2	0,5
37	540	260,2	34,3	0,5
38	600	262,3	32,2	0,5
39	660	264,1	30,4	0,4
40	720	265,8	28,7	0,4
41	780	267,1	27,4	0,4
42	840	268,5	26,0	0,4
43	900	269,7	24,8	0,4
44	1200	274,9	19,6	0,3
45	1500	278,6	15,9	0,2
46	1800	281,5	13,0	0,2
47	2100	283,2	11,3	0,2
48	2400	284,5	10,0	0,1
49	2700	285,7	8,8	0,1
50	3000	286,8	7,7	0,1
51	3300	287,5	7,0	0,1
52	3600	288,2	6,3	0,1
53	3900	289,1	5,4	0,1
54	4200	289,7	4,8	0,1
55	4500	290,2	4,3	0,1
56	4800	290,6	3,9	0,1

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM19	HVORSLEV	6,695 m	26/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
10	226,1	88	1	68,9
20	228,4	83,5	0,95	66,6
30	229,7	80	0,91	65,3
40	231,4	76,5	0,87	63,6
50	232,2	73,5	0,84	62,8
60	233,3	70,5	0,8	61,7
70	233,9	68,5	0,78	61,1
80	235	66	0,75	60
90	236,1	64	0,73	58,9
100	237	61,5	0,7	58
110	237,9	59,8	0,68	57,1
120	238,6	57,5	0,65	56,4
130	239,7	56	0,64	55,3
140	240,5	54,5	0,62	54,5
150	241,2	52,8	0,6	53,8
160	242	51,3	0,58	53
170	242,7	49,8	0,57	52,3
180	243,3	48,3	0,55	51,7
190	244	47,2	0,54	51
200	244,7	45,5	0,52	50,3
210	245,4	44,4	0,5	49,6
220	246	43	0,49	49
230	246,6	42	0,48	48,4
240	247,3	40,8	0,46	47,7
250	247,8	39,5	0,45	47,2
260	248,5	38,5	0,44	46,5
270	249	37,5	0,43	46
280	249,6	36,5	0,41	45,4
290	250,2	35,5	0,4	44,8
300	250,8	35	0,4	44,2
310	252,3	34	0,39	42,7
320	253,8	33	0,38	41,2
330	254,9	32,5	0,37	40,1
340	256,3	32	0,36	38,7
350	257,5	31,5	0,36	37,5

Leitura	Teste de <i>SLUG</i>	Método:	Cota NA absoluto:	Data:
	Poço: PM19	HVORSLEV	6,695 m	26/02/2002
	Tempo (s)	ND (cm)	Varição ND (cm)	h/ho
360	258,8	30,8	0,35	36,2
370	260,7	30	0,34	34,3
380	262,8	29,3	0,33	32,2
390	264,6	28,8	0,33	30,4
400	266,3	28,3	0,32	28,7
410	267,6	27,8	0,32	27,4
420	269	27	0,31	26
450	270,2	25,5	0,29	24,8
480	275,4	24,2	0,28	19,6
510	279,1	22,8	0,26	15,9
540	282	21,6	0,25	13
570	283,7	20,5	0,23	11,3
600	285	19,7	0,22	10
660	286,2	17,7	0,2	8,8
720	287,3	16	0,18	7,7
780	288	14,9	0,17	7
840	288,7	13,7	0,16	6,3
900	289,6	13	0,15	5,4
1080	288,6	10,9	0,12	6,4
1260	287,6	9,4	0,11	7,4
1560	286,6	7,7	0,09	8,4
1860	285,6	6,6	0,08	9,4
2460	284,6	5,7	0,06	10,4
3060	283,6	5	0,06	11,4
3660	282,6	4,6	0,05	12,4

**Anexo B - Difractogramas de
raios-X**

