



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“ CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA NA ÁREA DO DEPÓSITO
DE LIXO DO AURÁ – MUNICÍPIO DE ANANINDEUA-PA”**


TESE APRESENTADA POR

LÚCIO ARAÚJO MENEZES

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: **23 / 11 / 2000**

Comitê de Tese


.....
NORBERT FENZL (Orientador)


.....
FRANCISCO DE ASSIS MATOS DE ABREU


.....
ANTONIO CARLOS FELICE NICOLA SAVERIO TANCREDI

Belém

Dedico este trabalho:

A **Deus**, que tem sido e sempre será minha força maior,

A meus pais **Menezes e Nazaré**,

A minha irmã **Pollyanna**,

A minha namorada **Bianca**.

Pois no decorrer deste trabalho, eles foram as pessoas que mais me apoiaram, me deram carinho e me dirigiram palavras de força e incentivo, para que eu tivesse condições de superar todas as dificuldades, e assim conseguir concluir mais uma etapa em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Muitos foram os que direta e indiretamente colaboraram para a conclusão deste trabalho. A todos gostaria de demonstrar minha imensa gratidão.

Aos órgãos que contribuíram para a elaboração desta tese registro meu sincero agradecimento, em especial:

Ao Centro de Geociências CG da Universidade Federal do Pará – UFPa, pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão de bolsa de estudo.

Ao setor Administrativo do Complexo de Destino Final de Resíduos Sólidos de Belém, por permitir o acesso e a utilização de sua área, possibilitando assim a realização das pesquisas necessárias a esta tese.

Ao Centro de Pesquisas do Museu Emílio Goeldi, pelo empréstimo de equipamentos necessários à realização de determinadas etapas no trabalho de campo.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, através de seus diretores e técnicos pelo apoio na cessão de informações importantes para o enriquecimento desta dissertação.

À Secretaria Municipal de Saneamento – SESAN, pela importante cessão de material informativo sobre a área de pesquisa.

Merecem especial agradecimento os seguintes profissionais :

O Dr. Norbert Fenzl orientador desta tese, pelas valiosas sugestões metodológicas e estímulos durante sua realização.

O amigo e Msc. Gundy Salvo Piratoba Morales, pela sua valiosa colaboração nos trabalhos de campo, sugestões e auxílio na organização de informações.

O Prof. Dr. Maâmar El-Robrini, pela colaboração com empréstimo de equipamentos necessários a algumas etapas no trabalho de campo.

O Sr. Lopes, técnico do CG, pelo apoio e colaboração durante os trabalhos realizados no laboratório de sedimentologia.

Os funcionários da Divisão Administrativa do CG, em especial: Nemisa, Carlos, Nascimento, Afonso e Pompeu e às secretárias do CPGG Glays, Nilza e Aida, pela boa vontade demonstrada sempre que foram solicitados.

E finalmente os amigos (Eduardo, Marlis, Hebe Simone, Adriana, Marlene, Kátia, Ivanilce, Hemert e Tony) e demais colegas do curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, que sempre dispensaram palavras de estímulo à concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Pag.
.....
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1- INTRODUÇÃO	5
1.1- LOCALIZAÇÃO E ACESSO	6
1.2- OBJETIVOS	8
1.2.1- Geral	8
1.2.2- Específicos	8
1.3- JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO	8
1.4- TRABALHOS ANTERIORES	10
2- CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	12
2.1- ASPECTOS CLIMÁTICOS FISIAGRÁFICOS	12
2.1.1- Clima	12
2.1.1.1- Condições Hidrometeorológicas e Balanço Hídrico	13
2.1.1.2- Ciclo Hidrológico e Águas Subterrâneas	15
2.2- CONTEXTO GEOLÓGICO	18
2.2.1- Geologia Regional	18
2.2.1.1- Cobertura Sedimentar Recente ou Quaternária	18
2.2.1.2- Grupo Barreiras	19
2.2.1.3- Formação Pirabas	20
2.2.2- Tectônica e Geologia Estrutural	23
2.2.3- Geomorfologia	24
2.2.4- Estratigrafia	26
2.2.5- Sistema Hídrico	26

3- CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	28
3.1- CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	28
3.2- AQÜÍFEROS DO QUATERNÁRIO	29
3.3- AQÜÍFEROS DO GRUPO BARREIRAS	29
3.4- AQÜÍFEROS DA FORMAÇÃO PIRABAS	29
4- RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM	31
4.1- INTRODUÇÃO	31
4.2- ASPECTOS DA REDE DE DRENAGEM DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM.....	32
5- METODOLOGIA	33
5.1- DETERMINAÇÃO DA DIREÇÃO DOS FLUXOS SUBTERRÂNEOS	33
5.1.1- Cadastramento e Nivelamento	33
5.1.2- Determinação dos Níveis Estáticos nos Poços	33
5.1.3- Construção das Curvas de Equipotenciais Hidráulicos	34
5.1.4- Determinação do Gradiente Hidráulico	34
5.2- DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS	35
5.2.1- Análise Granulométrica	35
5.2.2- Condutividade Hidráulica (K)	36
5.2.2.1- Determinação da Condutividade Hidráulica através da Análise Granulométrica	37
5.2.2.2- Determinação da Condutividade Hidráulica através do Ensaio de Bombeamento	37
5.2.3- Transmissividade (T)	38
5.2.3.1- Determinação da Transmissividade através da Análise Granulométrica	38
5.2.3.2- Determinação da Transmissividade através do Ensaio de Bombeamento	38
5.2.4- Ensaio de Bombeamento	39
5.2.5- Ensaio de Porosidade (n)	39
5.2.6- Ensaio de Permeabilidade (k)	42
5.2.7- Coeficiente de Armazenamento (S)	43
5.3- DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO SUBTERRÂNEO	44
5.3.1- Velocidade Aparente de Escoamento (Vap)	44
5.3.2- Velocidade Real de Escoamento (Vr)	45
6- ESQUEMATIZAÇÃO GEOMÉTRICA DOS AQÜÍFEROS	46

7- INTEGRAÇÃO DOS DADOS	47
7.1- DETERMINAÇÃO DOS FLUXOS	47
7.1.1- Levantamento do Nível Altimétrico nos Poços	47
7.1.2- Georeferenciamento	49
7.1.3- Níveis Estáticos	50
7.1.3.1- Demonstração Gráfica do Comportamento dos Níveis Estáticos nos Poços	50
7.2- DETERMINAÇÃO DAS CONSTANTES HIDRODINÂMICAS	58
7.2.1- Condutividade Hidráulica e Transmissividade	58
7.2.2- Porosidade	58
7.2.3- Condutividade Hidráulica (Zonas Insaturada e Saturada)	58
7.2.4- Velocidades de Escoamento de Fluxo Subterrâneo	59
7.2.5- Ensaio de Bombeamento	63
8- CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	78
Figura 01- Verificação de Nível Estático com Medidor de Nível (Multímetro)	79
Figura 02- Verificação de Nível Estático com Medidor de Nível (Multímetro)	79
Figura 03- Medidor de Nível (Multímetro)	80
Figura 04- Verificação de Nível Estático utilizando “Trena”	80
Figura 05- Perfil dos Poços P1W e P2W, utilizados para análise granulométrica	81
Figura 06- Perfil do Poço P1N, utilizado para análise granulométrica	82
Figura 07- Ensaio de Bombeamento no Poço P0	83
Figura 08- Área de Deposição de Lixo	84
Figura 09- Lagoa de “Chorume”	84
Figura 10- Poço P2N	85
Figura 11- Poço P1N	85
Figura 12- Poço P1W	85
Figura 13- Gráfico de Histograma de Distribuição Granulométrica (Amostra 02- Poço P1W)....	86
Figura 14- Gráfico de Histograma de Distribuição Granulométrica (Amostra 03 – Poço P1W) ..	86
Figura 15- Gráfico de Histograma de Distribuição Granulométrica (Amostra 08 – Poço P1W) ..	87

Figura 15- Gráfico de Histograma de Distribuição Granulométrica (Amostra 09 – Poço P1W)...	87
Figura 17- Gráfico de Histograma de Distribuição Granulométrica (Amostra 07 – Poço P2W). .	88
Figura 18- Gráfico de Histograma de Distribuição Granulométrica (Amostra 08 – Poço P2W)...	88
Figura 19- Gráfico de Histograma de Distribuição Granulométrica (Amostra 02 – Poço P1N)....	89
Figura 20- Gráfico de Histograma de Distribuição Granulométrica (Amostra 04 – Poço P1N)....	89
Figura 21- Gráfico de Histograma de Distribuição Granulométrica (Amostra 06 – Poço P1N)....	89
Figura 22- Gráfico de Histograma de Distribuição Granulométrica (Amostra 07 – Poço P1N)....	89
Figura 23- Curvas de Percentagem de Areia Retida – Poço P1N	91
Figura 24- Curvas de Percentagem de Areia Retida – Poço P1W	92
Figura 25- Curvas de Percentagem de Areia Retida – Poço P2W	93

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1.1- Localização e Acesso	7
Figura 1.2- Histórico da Deposição de Resíduos no Aurá	11
Figura 2.1- Visualização Gráfica do Balanço Hídrico	15
Figura 2.2- O Ciclo Hidrológico	16
Figura 2.3- O Ciclo Hidrológico e as Águas Subterrâneas	17
Figura 2.4- Esboço Geológico da Região Metropolitana de Belém	22
Figura 2.5- Esboço Geomorfológico da Região Metropolitana de Belém	25
Figura 2.6- Sistema Hídrico	27
Figura 5.1- Gradiente Hidráulico	34
Figura 5.2- Série de Peneiras.	36
Figura 5.3- Método de Quarteamento de Amostras	36
Figura 5.4- Ilustração para entendimento dos conceitos de Condutividade Hidráulica e Transmissividade	38
Figura 5.5- Bombeamento de um Poço	39
Figura 5.6- Picnômetro e amostras utilizadas para a determinação da Porosidade Total	41
Figura 7.1- Esquema do Levantamento Altimétrico	47
Figura 7.2- Mapa da área e localização dos poços, construído a partir dos dados de nivelamento topográfico e informações de cadastro.....	48
Figura 7.3- Variação de Níveis Estáticos (Poço P0)	50
Figura 7.4- Variação de Níveis Estáticos (Poço P1W)	51
Figura 7.5- Variação de Níveis Estáticos (Poço P2W)	51
Figura 7.6- Variação de Níveis Estáticos (Poço P1N)	52
Figura 7.7- Variação de Níveis Estáticos (Poço P2N)	52
Figura 7.8- Variação de Níveis Estáticos (Poço P3)	53
Figura 7.9- Variação de Níveis Estáticos (Poço P4)	53
Figura 7.10- Variação de Níveis Estáticos (Poço P6)	54
Figura 7.11- Variação de Níveis Estáticos (Poço P7)	54
Figura 7.12- Variação de Níveis Estáticos (Poço P8)	55

Figura 7.13- Curvas de Equipotenciais Hidráulicos	56
Figura 7.14- Blocos Diagramas com visualização da Variação dos Níveis Estáticos nos períodos de Chuva e Estiagem	57
Figura 7.15- Curva de Infiltração Método “Slug Test”	59
Figura 7.16- Gráfico da Variação das Velocidades Aparente e Real de Fluxo Subterrânea – Março /99 (Pços: P1W e P2W; P1N e P1W; P1N e P2W)	60
Figura 7.17- Gráfico da Variação das Velocidades Aparente e Real de Fluxo Subterrânea – Novembro /99 (Poços: P1W e P2W; P1N e P1W; P1N e P2W)	60
Figura 7.18- Gráfico da Variação das Velocidades Aparente e Real de Fluxo Subterrâneo – Novembro/99 (Para os demais poços)	61
7.19- Gráfico da Variação das Velocidades Aparente e Real de Fluxo Subterrâneo- Novembro/99 (Para os demais poços)	62
Figura 7.20- Gráfico da Curva Rebaixamento X Tempo	64
Figura 7.21- Esquema Tridimensional visualizando o comportamento dos aquíferos presentes na área do Depósito do Aurá.	65
Figura 7.22- Esquema Geométrico traçado para os aquíferos na área do Aurá, visualizando os poços P1, P2, P3, P4 e P8.....	66
Figura 7.23- Esquema Geométrica traçado para os aquíferos na área do Aurá, visualizando os poços P4, P8, P7 e P6	67
Figura 7.24- Posicionamento dos Poços	68
Figura 7.25- Perfis dos poços monitorados	69
Figura 7.26- Perfis dos poços monitorados	70

TABELAS

Tabela 2.1- Balanço Hídrico da Região Metropolitana de Belém	14
Tabela 2.2- Coluna Estratigráfica da Região Metropolitana de Belém	19
Tabela 5.1- Valores do Coeficiente “C”	37
Tabela 7.1- Dados de Nível Altimétrico Obtidos para os Poços	47
Tabela 7.2- Dados de Georeferenciamento dos Poços	49
Tabela 7.3- Dados de Níveis Estatísticos	50

Tabela 7.4- Valores de Condutividade Hidráulica e Transmissividade Obtidos por Análise Granulométrica	58
Tabela 7.5- Valores de Condutividade Hidráulica e Transmissividade Obtidos através do Ensaio de Bombeamento	58
Tabela 7.6- Valores de Porosidade Total obtidos através de Ensaio com Picnômetro	58
Tabela 7.7- Valor de Porosidade Total obtido através de ensaio com Cilindro Metálico	58
Tabela 7.8- Dados obtidos para a Condutividade (Zona Insaturada)	58
Tabela 7.9- Dados obtidos para a Condutividade (Zona Saturada)	59
Tabela 7.10- Velocidade de Escoamento de Fluxo Subterrâneo para os poços em que foram executadas análises granulométricas	59
Tabela 7.13- Velocidades de Escoamento de Fluxo Subterrâneo para os demais poços	61
Tabela 7.14- Dados obtidos no Ensaio de Bombeamento do Poço P0	63

RESUMO

O presente trabalho tem como principal objetivo a caracterização hidrogeológica da área onde encontra-se instalado o Complexo de “Destino Final de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Belém”, mais conhecido como Depósito de Lixo do Aurá, com cerca de 2 km², situado na localidade de Santana do Aurá, pertencente ao município de Belém e cuja distância é de aproximadamente 13 km do centro de Belém.

Esta pesquisa enfoca inicialmente o problema que existe em torno da forma de disposição de resíduos praticada no local, bem como a ameaça potencial à qualidade dos solos e recursos hídricos superficiais e subterrâneos existentes na área onde está implantado o depósito de lixo. Posteriormente são mostrados os métodos, através dos quais foi possível a obtenção de dados utilizados para caracterização hidrogeológica, até chegar-se a resultados que possibilitaram caracterizar a área, e desta forma traçar um esquema que define o comportamento e geometria dos aquíferos ali presentes.

O levantamento altimétrico dos poços utilizados no trabalho, possibilitou observar que na Zona Norte do depósito de lixo, os poços P0 e P6 acompanham a curva de precipitação, indicando a existência de aquíferos freáticos e zona de recarga.

A semelhança do perfil estratigráfico dos construídos na área (Zonas Norte e Sul), permite dizer que há a predominância de um aquífero livre, o qual em alguns locais apresenta-se como aquífero confinado.

As variações mais significativas de nível estático foram observadas nos poços P0 e P6, os quais estão situados em zona de recarga.

Analisando a profundidade (aproximadamente 20 metros) dos poços utilizados durante o monitoramento, verifica-se que o aquífero destes poços pertence ao Grupo Barreiras, visto que esta formação é encontrada na região de Belém, até uma profundidade em torno de 100 metros. Este é composto basicamente por argilas, siltes, areias, argilitos, arenitos e concreções ferruginosas.

Amostras de sedimentos de calhas foram analisadas granulometricamente, tornando possível caracterizá-las como “Areia”, variando entre Média, Fina e Grossa. Foi observado que o Coeficiente de Uniformidade obtido para estas amostras, atingiu valores

inferiores a 3, possibilitando desta forma a aplicação do método de Hazen para determinação da Condutividade Hidráulica.

Os valores de Condutividade Hidráulica calculados para as camadas dos poços P1W, P2W e P1N, através da análise granulométrica, atingiram valores de $1,44$ a $4,4 \times 10^{-4}$ m/seg, enquanto a Condutividade Hidráulica determinada através do ensaio de bombeamento atingiu valor de $1,64 \times 10^{-4}$ m/seg. em relação à Transmissividade obtida para as mesmas amostras, observou-se que os valores determinados variaram de $2,88 \times 10^{-3}$ a $8,8 \times 10^{-3}$ m²/seg, enquanto que a Transmissividade estabelecida através do ensaio de bombeamento foi de $3,28 \times 10^{-3}$ m²/seg.

Os valores de porosidade obtidos para as amostras deformada e indeformada foram respectivamente 27% e 38,7%.

A Condutividade Hidráulica na zona insaturada atingiu valores de $1,2 \times 10^{-5}$ a $1,8 \times 10^{-4}$ cm/seg, enquanto para a zona saturada os valores variaram entre $4,4 \times 10^{-2}$ e $7,0 \times 10^{-2}$ cm/seg.

As Velocidades Aparente e Real de escoamento de fluxo subterrâneo para os poços em que foram feitas análises granulométricas variaram respectivamente de 6 a 43 m/ano, e 23 a 160 m/ano.

O valor do Coeficiente de Armazenamento obtido para o poço em que foi realizado o ensaio de bombeamento foi de $2,61 \times 10^{-3}$.

Este estudo permitiu a determinação de parâmetros hidrogeológicos, os quais possuem relevante importância, para que se possa avaliar a dinâmica dos contaminantes nas zonas insaturada e saturada do terreno e nos aquíferos da área. Portanto, todos os resultados, e considerações desta tese, são elementos que poderão contribuir para pesquisas e projetos, que apresentem relação com a preservação de mananciais subterrâneos existentes no local onde se desenvolveu a pesquisa e também em localidades que por ventura apresentem características semelhantes.

ABSTRACT

The aim of this work is hydrogeological characterization of the site where final destination of the Metropolitan Area of Belem Solid Residues Complex is installed. It is known as Aura Garbage Depository, comprising about 2 square kilometers, located at the place called Santana do Aura, part of the area of the municipality of Belem, 13 kilometers far from Belem. A secondary road stemming from the 5th km BR-316 Road leads to the Garbage Depository.

This research focuses the problem of the manner of disposition of residues practiced at the place, as well the potential threat to the quality of the soils and superficial and underground hydric resources existent in the area where the garbage deposit is implanted. Also, methods used in the hydrogeological characterization, are shown the through which it was possible to set data, which led to hydrogeological characterization of the area, and trace a model that defines the behavior and geometry of the aquifer present.

The altimetric survey of the wells used in the work, made possible to observe that in the North Zone of the garbage depository, the wells P0 and P6 follow the precipitation curve, indicating the existence of freatic aquifer and recharge zone.

The likeness of stratigraphy of the wells built in the area (North and South zones), allows to infer that there is the predominance of an unconfined aquifer, which behaves in some points as confined aquifer.

The most significant variations of static level were observed in the wells P0 and P6, which are placed in a recharge zone.

Analyzing the depth (approximately 20 meters) presented by the wells during the monitoring, it is verified that aquifer present in these wells belongs to the Barreiras Group, because this formation reaches in the area of Belem, a depth of about 100 meters, which is composed basically by clays, silts, sands, pebbles, argillites, arenites and ferruginous concretions.

Certain samples of sediments were collected from the gutters of profiles of wells built in the deposit, which were granulometrically analyzed, making it possible to characterize them as "Sand", varying among Medium, Fine and Thick. It was observed that the Coefficient of Uniformity obtained for these samples, reached values less than 3, making possible the application of the method of Hazen for determination of the Hydraulic Conductivity.

The values of Hydraulic Conductivity calculated for the layers of the wells P1W, P2W and P1N, through the granulometric nanalysis, reached values from 1,44 to $4,4 \times 10^{-4}$ m/seg., while the certain Hydraulic Conductivity through the pumping assay reached value of $1,64 \times 10^{-4}$ m/seg. in relation to Tranmissivity obtained for the same sasmples, it was observed that the certain values varied from $2,88 \times 10^{-3}$ to $8,8 \times 10^{-3}$ m²/seg.

The poriferous capacity values obtained for the samples deformed and indeformed were 27% and 38,7% respectively.

The Hydraulic Conductivity in the saturated zone reached values of $1,2 \times 10^{-5}$ to $1,8 \times 10^{-4}$ cm/s, while for the saturated zone the values varied among $4,4 \times 10^{-2}$ and $7,0 \times 10^{-2}$ cm/s.

The Apparent and Real Speed of drainage of underground flow for the wells were done granulometric analyses varied respectively from 6 to 43 m/year, and 23 to 160 m/year.

The value of the Coeficient of Storage obtained for the well where the pumping assay was accomplished was of $2,61 \times 10^{-3}$.

This study allowed the determination of hydrogeological parameters, that possess great importance, to evaluate the dynamics of the pollutants in the zones insaturated and saturated of the soil and in the aquifer of the area. Thereforre, all the results, and considerations of this thesis, are elements that may contribute to researches and projects, that present relationship with the preservation of existent undergroup spring waters in the place where the research was accomplished and also in places that present similar characteristics.

1- INTRODUÇÃO

A maioria dos habitantes das áreas rurais, 90% da indústria e quase 50% dos habitantes urbanos do Brasil usam água subterrânea. Nos Estados Unidos aproximadamente metade da população serve-se de água subterrânea para consumo e cerca de 95% da população rural depende de água subterrânea (Rebouças, 1988).

O relativo baixo custo e a sua excelente qualidade natural, na maioria dos casos, justificam sua exploração. Entretanto várias atividades urbanas, industriais e agrícolas têm gerado impactos ambientais expressivos que colocam em risco a qualidade das águas subterrâneas e, em alguns casos, levam até a sua degradação irreversível (MESTRINHO, 1997).

A água subterrânea constitui então uma reserva estratégica. Ela representa 95% do volume de água doce do globo, apesar da abundância em quantidade é extremamente susceptível à degradação de sua qualidade por focos de poluição.

Uma vez poluídos, a descontaminação dos aquíferos apresenta custos financeiros muito elevados, e geralmente os impactos não são completamente reversíveis.

O desafio, então, que enfrentam as municipalidades, no fornecimento de água de boa qualidade aos seus cidadãos é duplo: a) proteção de seus poços municipais e b) a remediação dos aquíferos que, acidentalmente ou por negligência, acabaram sofrendo contaminação (Cleary, 1991).

A proteção das águas subterrâneas envolve dois aspectos complementares: problemas associados à superexploração, ou seja, a retirada sem controle e danosa de água, que faz com que a extração seja superior à recarga em um aquífero, ou parte dele; e a contaminação do recurso hídrico subterrâneo, que leva, muitas vezes, à degradação irreversível da qualidade das águas do aquífero.

A contaminação das águas subterrâneas, por atividades antrópicas, tem gerado o abandono de muitos poços ou perda de áreas importantes do manancial. A limpeza de aquíferos é um procedimento caro, demorado e ainda com muitas restrições técnicas. A forte degradação das águas de um aquífero é encarada, ainda, como um fato irreversível, sobretudo em economias do Terceiro Mundo, devido aos custos que ultrapassam a milhares de dólares (HIRATA, 1997).

1.1- LOCALIZAÇÃO E ACESSO.

A área de trabalho situa-se na localidade de Santana do Aurá, município de Belém, ocupando uma área de 2 km², sendo limitada pelos paralelos de 1° 27'30" e 1°22'30" e os meridianos de 48°22'30" e 48°26'15". O acesso é feito pela BR-316 e dista 16 km do centro de massa de produção de resíduos sólidos de Belém e a 9 km do centro urbano de Ananindeua (Fig. 1.1).

A entrada para o complexo fica no km 5 da Rodovia BR-316. De acordo com o projeto elaborado em 1986 pela P.M.B, o local escolhido, abrangia, inicialmente, uma área de 3.140.000 m², dos quais 2.870.000 m² seriam destinados à implantação do aterro sanitário e 270.000 m² reservados para outras instalações previstas no projeto aprovado.

Atualmente, a área efetivamente ocupada pelo complexo é de 1.000.000 m², sendo que 80% estão destinados à execução do aterro sanitário e exploração das jazidas de material laterítico, e os 20% restantes destinados à implantação da usina de lixo de alto risco (já construída, porém desativada), à construção da usina de reciclagem e compostagem (em projeto) e das lagoas de estabilização (atualmente existem 4 lagoas), além de toda a infra-estrutura necessária para abrigar a administração do complexo.

Topograficamente, os terrenos apresentam cotas variando de 6 até 22 m, onde poderão ser explotados aproximadamente 4 milhões de toneladas de lateritas e aterro. Uma vegetação tipo capoeira, recobre a área não escavada (P.M.B, 1995).

Existem 2 cursos d'água nos limites da área; a leste, um córrego com extensão de 600 m e, a sul, outro curso d'água com extensão de 900 m, ambos desembocam no rio Aurá, a uma distância de 400 m da foz do rio Guamá, que por sua vez, se localiza a 250 m do ponto de captação de água da COSANPA, situada à jusante (P.M.B, 1995).

A Norte do depósito fica a estrada de acesso ao complexo e áreas de terras desocupadas. O conjunto habitacional mais próximo, encontra-se a 2700 m. A Sul, limita-se com as áreas de baixadas, despovoadas, cobertas com densa vegetação, em faixa de 4000 metros de largura, que se estende até o rio Guamá. A Leste limita-se com áreas despovoadas, onde predomina uma vegetação do tipo capoeira. A Oeste fica o manancial Água Preta, a uma distância de 1400 metros.

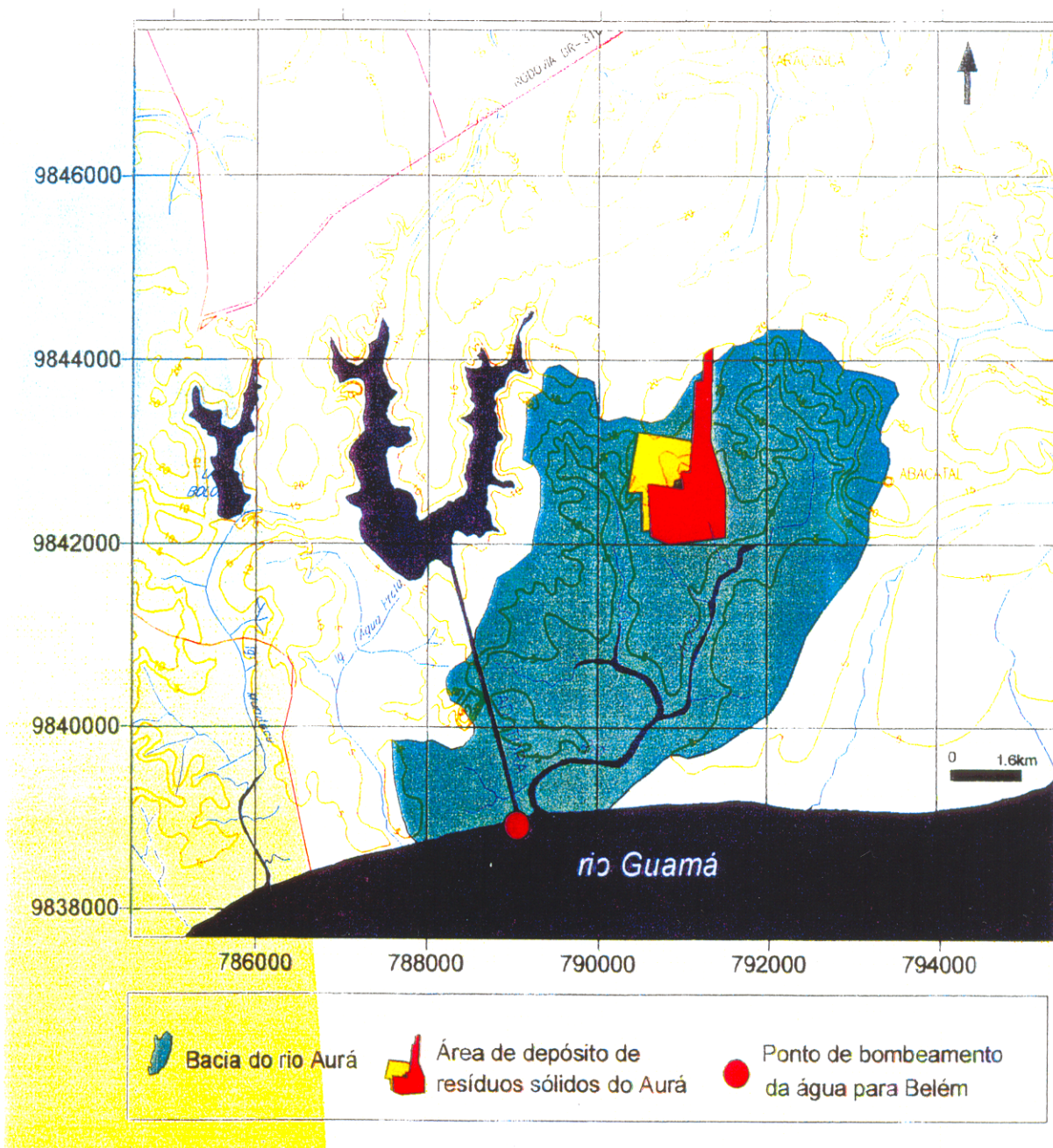


Figura 1.1- Localização e Acesso à Área de Trabalho, modificada de PIRATOBA MORALES, 2000.

1.2- OBJETIVOS:

1.2.2- Geral :

Caracterização hidrogeológica da área do Depósito de Lixo do Aurá, através da determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos seus aquíferos.

1.2.2- Específicos :

- ⇒ Determinar a geometria dos aquíferos
- ⇒ Determinar os parâmetros hidrogeológicos dos aquíferos, tais como:
 - Condutividade Hidráulica
 - Transmissividade
 - Coeficiente de Armazenamento
 - Porosidade Total
 - Velocidade Real e Aparente de Escoamento de Fluxo Subterrâneo

1.3- JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO:

Numerosos casos de contaminação das águas subterrâneas são decorrentes da disposição de resíduos de origem urbana. Em muitos casos, resíduos de alto risco que contendo metais pesados e poluentes orgânicos, são depositados em áreas destinadas à deposição apenas de resíduos domésticos (MESTRINHO, 1997; GUIGUER, 1987; HIRATA E BASTOS, 1992).

A destinação do lixo produzido na área urbana do município de Belém é um dos graves problemas que se defronta hoje a administração pública municipal. Estudos realizados pela Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN), em conjunto com a Universidade Federal do Pará – UFPA, indicam que o Município de Belém, incluindo continente e ilhas, produz cerca de 1900 toneladas de lixo por dia (P.M.B, 1997).

O acelerado ritmo de produção de resíduos sólidos na metrópole de Belém está relacionado com o intenso crescimento populacional ocorrido nos últimos 18 anos. Em 1978, a produção de lixo domiciliar era de 522 t/dia, para uma população urbana de 869.870 habitantes.

Em 1996, a produção de lixo domiciliar estava estimada em 840 toneladas diárias para uma população de 1.365.077 habitantes (Cf. Anuário Estatístico do Município de Belém).

A área que atualmente é utilizada para a disposição desses resíduos, foi inicialmente projetada para funcionamento de três unidades básicas de tratamento do lixo, formada por: uma usina de incineração de lixo considerado perigoso (a qual funcionou até 1994); uma usina de reciclagem (a qual não foi instalada) e um aterro sanitário elaborado para receber cinzas e escórias das usinas de incineração, reciclagem e compostagem (Cf. Anuário Estatístico do Município de Belém).

Em decorrência da desativação da usina de incineração e a ausência da instalação prevista para a usina de reciclagem e compostagem, o aterro sanitário passou a receber todos os tipos de resíduos, sem que houvesse nenhum tipo de tratamento preliminar, ocasionando a sua transformação em um imenso “lixão”. O histórico de deposição de resíduos no local pode ser verificado através da ilustração na figura 1.2. Nestas condições verifica-se que o principal impacto ambiental do aterro é a emissão de líquidos lixiviados, chamados de chorume.

O chorume é originado pela percolação das águas através dos resíduos, o que propicia a decomposição, originando este produto de cor escura, rico em matéria orgânica, metais pesados, compostos orgânicos, microorganismos patogênicos, derivados de resíduos domésticos, industriais e hospitalares depositados no aterro (LIMA, 1995).

A constante infiltração e percolação das águas pluviais através do aterro sanitário provoca a migração de determinados poluentes químicos de natureza orgânica e inorgânica através da zona insaturada, os quais podem atingir a zona saturada, contaminando o aquífero (PARISOT et al, 1985). Na época em que a incidência de chuvas é grande, ocorre a elevação do nível do lençol freático dentro da área onde está situado o depósito de lixo, fazendo com que ocorra o aumento da lixiviação dos resíduos, gerando nascentes em sua base, passando a fazer parte do escoamento superficial, e subterrâneo, acarretando um sério risco à saúde da população que se abastece por meio desses reservatórios.

Estudos e análises realizadas na área do Depósito de Lixo do Aurá, através de amostras de sedimentos obtidos na perfuração de 7 poços e também a interpretação de 10 sondagens geofísicas (utilizando o método da eletroresistividade), juntamente com 7 perfilagens geofísicas (utilizando perfilagens de raios-gama) em poços construídos na área, constataram que há evidentes e consideráveis riscos de contaminação dos aquíferos presentes na região.

Estas considerações estão fundamentadas na geometria e litologia das camadas, assim como em análises bacteriológicas e físico-químicas (BASTOS, 1991).

O depósito de lixo do Aurá, recebe os resíduos provenientes de Belém e adjacências, está situado às proximidades da área de preservação ambiental do Parque do Utinga, comprometendo desta forma alguns afluentes do Rio Aurá, que desemboca no Rio Guamá, a 250 m do ponto de captação de água da COSANPA. Assim os recursos hídricos subterrâneos daquela localidade podem estar sendo seriamente afetados, através da poluição e contaminação dos solos e águas superficiais, pelo chorume que é produzido no local.

Os estudos hidrogeológicos permitem a determinação da direção dos fluxos das águas subterrâneas, e também, a dinâmica dos contaminantes nas zonas insaturada e saturada do terreno nos aquíferos da área, logo, os resultados e considerações desta tese, servirão como importante fonte de contribuição para pesquisas e projetos, que tenham relação com a preservação de mananciais subterrâneos existentes no local onde se desenvolve a pesquisa ou em localidades que apresentem problemas semelhantes.

1.4- TRABALHOS ANTERIORES.

- BASTOS, Rui Guilherme Pastana; Mapeamento por método Geofísico, das camadas permeáveis na área do complexo de destino final de resíduos sólidos da região metropolitana de Belém., Belém – UFPa. Centro de Geociências, 1991. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação e Geologia) – Departamento de Geofísica, CG, UFPa, 1991.

Este foi um trabalho realizado na área do complexo de beneficiamento do lixo de Belém (localidade do Aurá), antes do início da deposição de resíduos, objetivando o mapeamento da sub-superfície do terreno, onde foram utilizados os métodos da eletroresistividade e da perfilagem de raios-gama.

De acordo com o trabalho executado e através da interpretação dos modelos traçados, foi possível verificar a existência de camadas concrecionadas de elevados valores de resistividade, nas partes superficiais, sucedendo-se camadas de areia, siltes e argilas sucessivamente.

Por meio dos modelos finais, chegou-se à conclusão de evidentes riscos de contaminação dos aquíferos da região, em virtude e com base na geometria e litologia das camadas, além das análises bacteriológicas e físico-químicas, que também foram realizadas na água do local.

LEGENDA:

- 1- INÍCIO DA DEPOSIÇÃO DE LIXO DOMICILIAR –1990/1991
- 2- DEPOSIÇÃO DE LIXO DOMICILIAR 1992
- 3- DEPOSIÇÃO DE LIXO DOMICILIAR 1992/1993
- 4- DEPOSIÇÃO DE LIXO DOMICILIAR 1994/1995
- 5- DEPOSIÇÃO DE LIXO DOMICILIAR 1996/1997
- 6- DEPOSIÇÃO DE LIXO HOSPITALAR

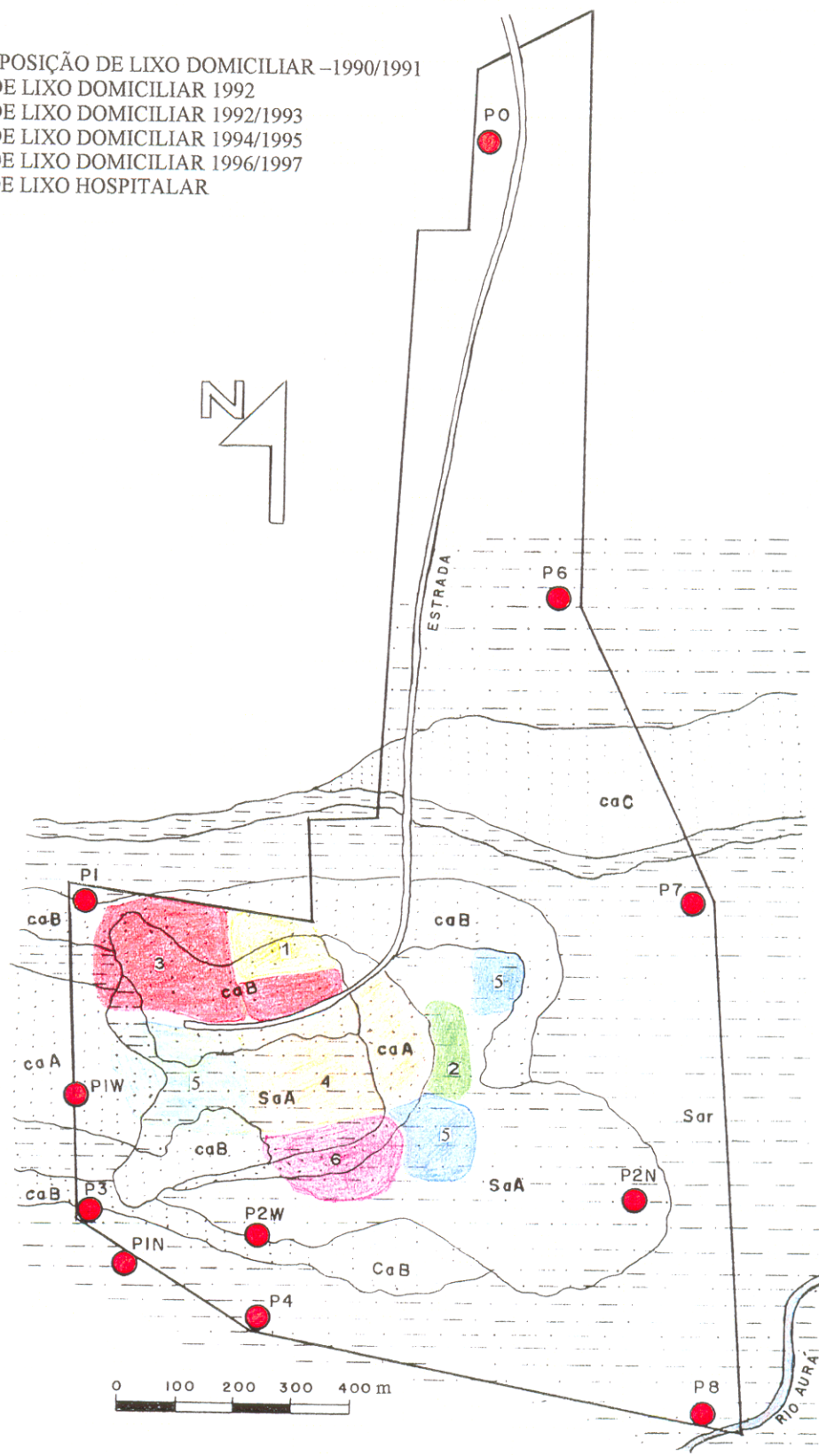


Figura 1.2- Histórico de Deposição de Lixo no Aurá, modificado de BASTOS, 1991.

2- CARACTERÍSTICAS DA ÁREA.

2.1- ASPECTOS CLIMÁTICOS E FISIOGRAFICOS.

2.1.1- Clima

Como a área de estudo, que compreende o local onde está instalado o Depósito de Lixo do Aurá, situa-se a 15 km de Belém, a região de estudo, apresenta as mesmas condições climáticas da Região Metropolitana de Belém.

Segundo CABRAL (1995), por sua posição geográfica, Belém pela classificação de Köppen, situa-se em uma região a qual pertence à categoria climática “equatorial úmido” do tipo Af, cujas características principais são: altas temperaturas (sempre acima de 18° C), ventos de baixa velocidade intercaladas com frequentes momentos de calmaria, altos índices de umidade relativa do ar e precipitação abundante com totais oscilando entre 1500 a 3000 mm anuais.

Estudos realizados por OLIVEIRA E SOUZA, 1997, mostraram que as características climáticas de Belém, no período de 1986, apresentaram a temperatura do ar com valores de 31,5°C e de 22° C, respectivamente.

OLIVEIRA et al., 1995, através de comparações de duas áreas com e sem urbanização, constataram que no ambiente sem arborização a temperatura é mais elevada que no ambiente arborizado, em função da superfície exposta receber aquecimento direto através da radiação solar, enquanto que na superfície urbanizada ocorre uma atenuação considerável de radiação solar.

Em regiões equatoriais, a precipitação é um elemento determinante do clima. A exemplo disso, pode-se observar que em Belém há o período chuvoso de dezembro a maio e o período seco (ou menos chuvoso) de junho a novembro. O mês de maior precipitação é geralmente o de março e o de menor precipitação é novembro, seguido de outubro, com pequena variação entre os dois.

Nos últimos 96 anos a média anual ficou em torno de 2745 mm/ano, sendo que na época chuvosa a precipitação é de 331,4 mm/ano e na estação seca de 126,2 mm/ano, OLIVEIRA et al., 1995.

NECHET (1984), mostrou que durante 28 anos (1963-1990) as maiores ocorrências de chuvas se dão à tarde e/ou início da noite, sendo que em junho e julho os picos ocorreram no início da noite entre 19:00 e 21:00 horas.

A elevada umidade relativa da cidade de Belém, apresenta uma variação média anual entre 82% e 93%. Belém fica submetida a um total de brilho solar de cerca de 35% a 60%, onde a insolação apresenta grande relação com o elemento hídrico (OLIVEIRA Esouza, 1997).

Outro aspecto importante na determinação das condições climáticas locais é a velocidade e direção do vento. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (normais de 1931/1960) as maiores frequências anuais dos ventos em Belém são de Nordeste (29%), Norte (10%) e Leste (9%). As frequências das demais direções são insignificantes. A velocidade média fica entre 2,6 e 2,9 m/s e a calmaria é de 45% nos 12 meses.

2.1.1.1- Condições Hidrometeorológicas e Balanço Hídrico:

as informações hidrometeorológicas foram levantadas para calcular o balanço hídrico e comparar as oscilações hidrometeorológicas com as variações de nível estático dos poços, durante os períodos chuvosos e de estiagem. Desta forma podemos determinar a dinâmica de recarga dos aquíferos da área.

As variáveis hidrometeorológicas registradas no ano de 1999, foram as seguintes:

⇒ Precipitação:

Os valores da precipitação foram tomados mediante leituras periódicas, utilizando para tal o pluviômetro convencional, com parâmetros previamente definidos. Os dados da precipitação registrados nos 12 meses do ano de 1999 foram obtidos na Estação Meteorológica de Belém, e publicados pelo INMET (1999).

⇒ Temperatura do Ar:

Os dados de temperatura média (máxima e mínima) mensal foram registrados pelo posto do INMET (do tipo evaporímetro simples) em Belém, a partir de janeiro, até dezembro de 1999.

⇒ Evaporação Potencial:

Os dados da evaporação registrados pelo INMET na Estação Meteorológica de Belém, foram medidos usando um Tanque Evaporimétrico “Classe A”. Os valores médios foram registrados de janeiro, até dezembro de 1999.

Balanço Hídrico

Segundo OLIVEIRA et al , 1995, o balanço hídrico (BH) é um sistema contábil que nos dá o saldo de água disponível para a infiltração no solo. Assim o balanço hídrico nos informa sobre os ganhos, perdas e o armazenamento da água no subsolo.

Nesse tipo de balanço, pode-se determinar para qualquer época desejada, os seguintes elementos:

- a) Deficiência de umidade
- b) Umidade armazenada na zona das raízes
- c) Excedente de água no solo
- d) Evapotranspiração potencial
- e) Evapotranspiração Real ou umidade verdadeiramente consumida pela vegetação

De posse dos dados de precipitação, temperatura e evaporação potencial, relacionados ao 1º e 2º semestres de 1999, foi possível representar graficamente o comportamento dos diferentes elementos hidrometeorológicos no decorrer do ano.

Tabela 2.1- Balanço Hídrico de acordo com dados hidrometeorológicos obtidos em 1999.

Localidade: Belém – Latitude: 1°28’S – Longitude: 48°28’W – Altitude: 10 m – Período: 1999

BALANÇO HÍDRICO MENSAL SEGUNDO THORNTHWAITE & MATTER (1995)											
MÊS	TEMP	ETP	P	P-ETP	NEG.	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC	BH
	(°C)	(mm)	(mm)	(mm)	ACUM(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
JAN	26.4	137	235	98	0	100	0	137	0	98	98
FEV	25.9	115	353	238	0	100	0	115	0	238	238
MAR	26.0	129	378	249	0	100	0	129	0	249	249
ABR	26.3	130	364	234	0	100	0	130	0	234	234
MAI	26.3	134	389	255	0	100	0	134	0	255	255
JUN	26.7	138	135	-3	-3	97	-3	138	0	0	0
JUL	26.8	143	47	-96	-99	37	-60	107	36	0	-36
AGO	27.1	146	79	-67	-166	19	-18	97	49	0	-49
SET	26.9	139	130	-9	-175	17	-2	132	7	0	-7
OUT	26.9	144	128	-16	-191	15	-2	130	14	0	-14
NOV	27.4	146	79	-67	-258	8	-7	86	60	0	-60
DEZ	26.9	145	363	218	0	100	92	145	0	126	126
ANO	26.6	1646	2680	1034	-	793	0	1480	166	1200	1034

Fonte: INMET - 1999

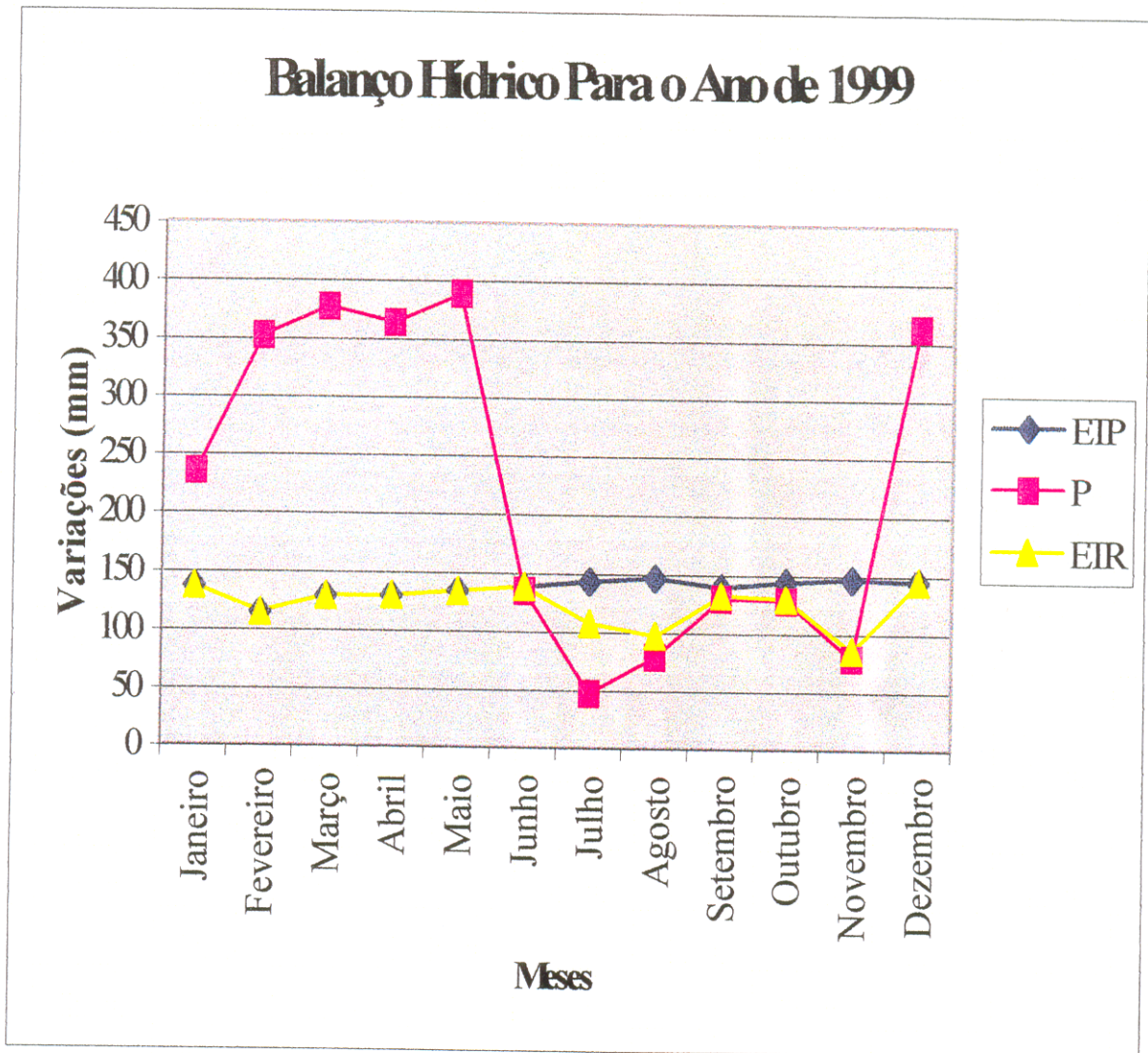


Figura 2.1 : Visualização Gráfica do Balanço Hídrico

2.1.1.2-Ciclo Hidrológico e Águas Subterrâneas.

Observa-se, no desenvolvimento desta dissertação, que uma das principais etapas de pesquisa foi a verificação dos níveis estáticos nos poços utilizados para monitoramento, a qual foi dividida em duas fases de medições (período chuvoso e período de estiagem), onde a variação hidrológica apresentou importante papel no que tange às mudanças de nível nos lençóis freáticos.

Desta forma é válido enfatizar o comportamento do ciclo hidrológico e a relação existente com as águas subterrâneas.

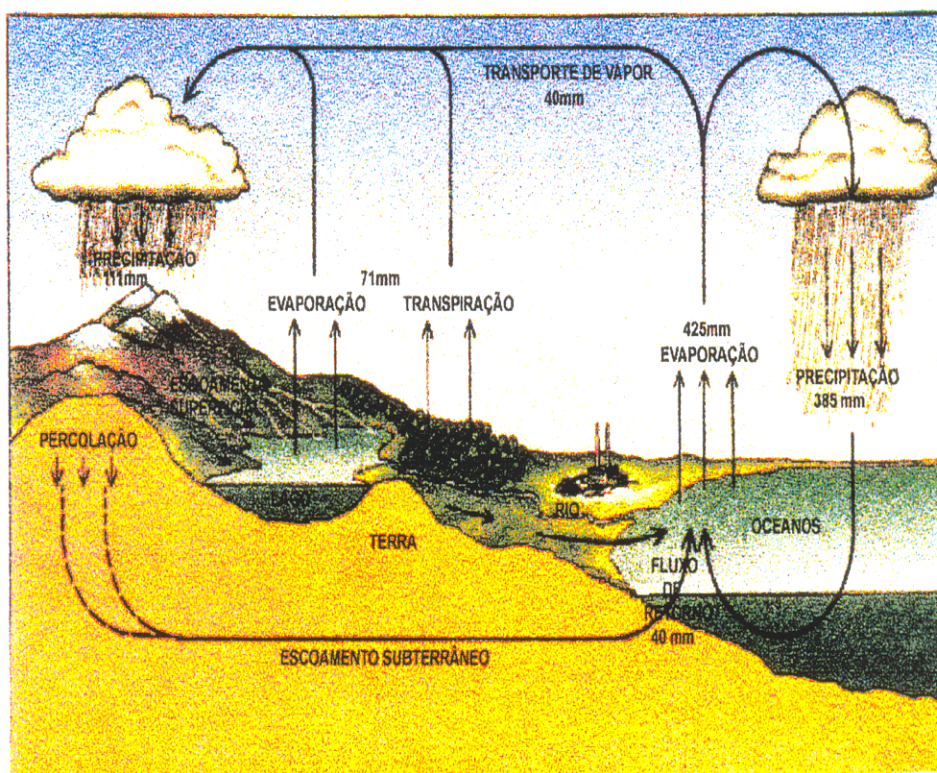
Segundo MESTRINHO (1997), o ciclo hidrológico representa o percurso da água desde a atmosfera, passando por várias fases que englobam a precipitação, o escoamento superficial, a

infiltração, o escoamento subterrâneo, a evaporação e a transpiração pelas plantas. A Figura 2.2 ilustra o ciclo hidrológico normalmente focado pela maioria dos autores, já a figura 2.3 ilustra o ciclo hidrológico considerando-se as principais vias de movimentos da água e as várias “entradas” e “saídas” nas águas subterrâneas que tem sido historicamente investigados ou assumidos.

Durante o movimento na superfície e através da zona não saturada, a água se enriquece em elementos lixiviados das rochas, dos componentes dos solos ou ainda, dos materiais de origem antrópica decorrentes de atividades industriais, agrícolas e urbanas.

Caindo sobre o solo com cobertura vegetal parte da água precipitada sofre interceptação pelas plantas as quais devolve-a para a atmosfera por transpiração.

Outra parte da precipitação se infiltra pelo meio poroso, rehidratando a zona não saturada e recarregando as reservas freáticas da zona saturada. O excesso não infiltrado gera o escoamento superficial que, ao lado da ressurgência de águas infiltradas, é responsável pela formação de córregos, rios e lagos.



Fonte: CNEN, 1996

Figura 2.2 – O Ciclo Hidrológico.

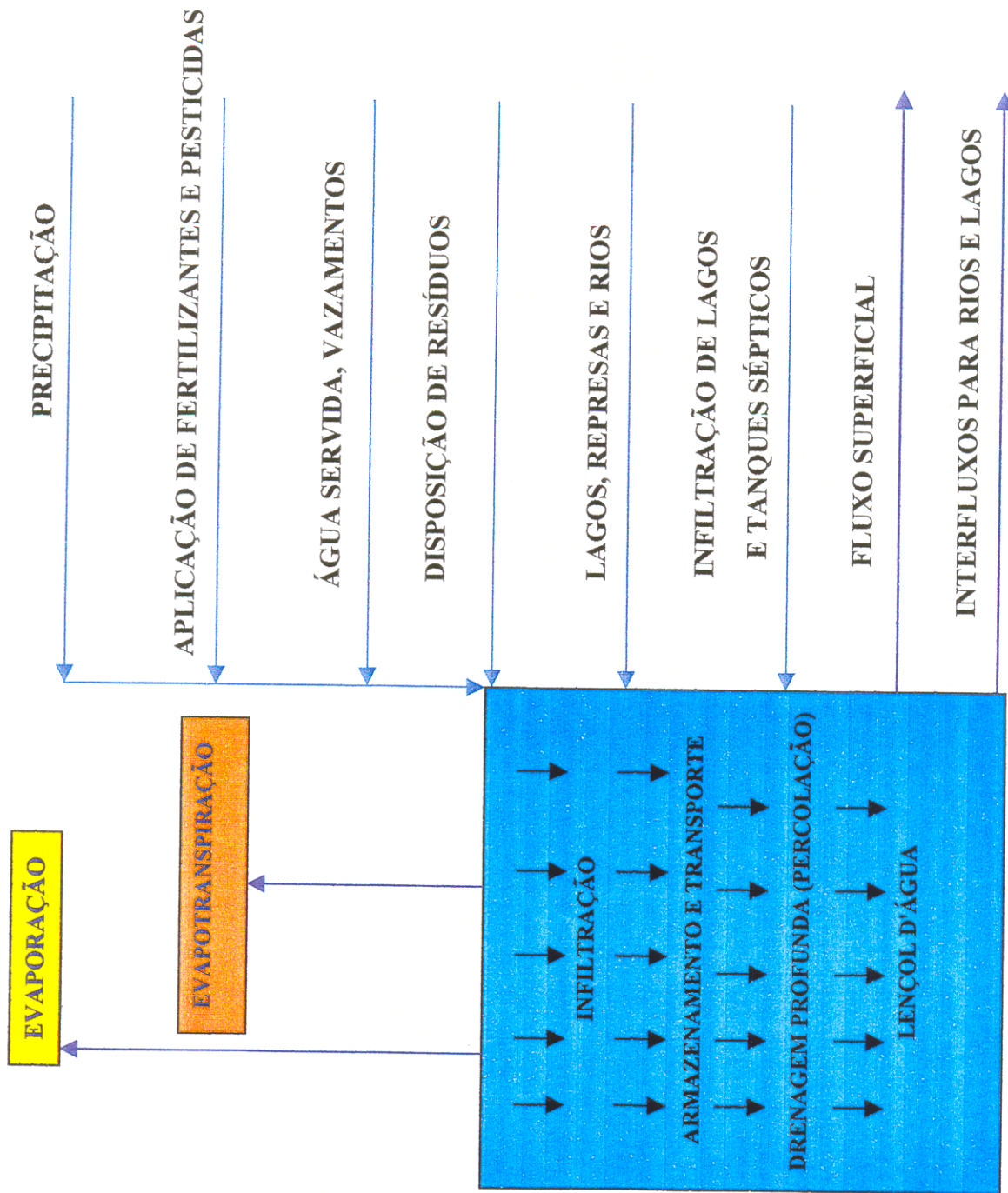


Figura. 2.3- O Ciclo Hidrológico e as Águas Subterrâneas (Modificado de GUYMON G.L. 1994).

2.2- CONTEXTO GEOLÓGICO.

2.2.1- **Geologia Regional.**

Na região de Belém há uma sequência sedimentar sobrejacendo a um embasamento cristalino granito-gnáissico. Na parte superior, a partir da superfície são encontrados sedimentos do Quaternário e do Terciário.

Os depósitos do Quaternário são formados de areias, siltes, argilas aluviais e areno-argilosos de coloração amarelada.

A sequência sedimentar do Terciário compreende o Grupo Barreiras, de origem essencialmente continental e a Formação Pirabas de origem marinha e/ou outras formações. Há uma certa reserva com relação a essa sequência na parte inferior, que poderia pertencer à Formação Marajó .

O Grupo Barreiras contém argilas, siltes, areias, seixos, argilitos, arenitos, concreções ferruginosas. São de coloração amarelo a vermelha, marron, cinza, com argilas multicoloridas. Sua espessura, variável, possui na região de Belém em torno de 100 m.

Subjacente ao Grupo Barreiras, a Formação Pirabas situa-se a partir de 80 m de profundidade, formada por calcários, areias, argilas, margas, arenitos, siltitos, argilitos, depositada em ambiente marinho durante o Mioceno, sendo ricamente fossilífera.

2.2.1.1- Cobertura Sedimentar Recente ou Quaternária.

O termo Pós-Barreiras foi uma denominação dada para os sedimentos amarelados que estão acima das camadas do Grupo Barreiras (Sauma Filho, 1996).

No nordeste do Pará ocorrem como grupos alongados de areia branca de granulação fina. O contato do Grupo Barreiras é reconhecido por um nível de paleo-pavimento composto por fragmentos lateríticos discóides (Sauma Filho, 1996).

A cobertura quaternária superior se distribui por toda a área, ocupando as cotas baixas, situando-se ao longo de igarapés e nas margens da Baía do Guajará. É caracterizada por sedimentos areno-argilosos inconsolidados, siltosos e de cores variegadas.

O Quaternário recente, ou Holoceno, é representado por areias, siltes, argilas e cascalhos, localizados principalmente nos vales dos rios e igarapés que drenam a região (baixadas).

Tab. 2.2- Coluna estratigráfica da Região Metropolitana de Belém.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	DESCRIÇÃO SUMÁRIA
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	SEDIMENTOS MODERNOS	Areias de granulometria fina a média, marrons, intercaladas a argilas escuras, com restos vegetais, distribuídos nas orlas dos rios e igarapés.
		PLEISTOCENO	PÓS-BARREIRAS	Sedimentos inconsolidados, areno-argilosos, finos a médios, com concreções ferruginosas.
	TERCIÁRIO	MIOCENO PLIOCENO	GRUPO BARREIRAS	Arenitos ferruginosos, areias finas a médias, siltosas e argilas.
		OLIGO MIOCENO	FORMAÇÃO PIRABAS	Calcários muito fossilíferos e margas, intercalados com folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos.

2.2.1.2- Grupo Barreiras.

Denomina-se de Série Barreiras os sedimentos que formam os tabuleiros da costa norte, nordeste e leste brasileiro, constituídos de argilas variegadas mosqueadas com areias inconsolidadas e concreções ferruginosas, com base na semelhança destes sedimentos com os dos baixos amazônicos.

Correlaciona-se a série Barreiras do Baixo Amazonas com os da região Bragantina, com base na presença de lateritas e “Grés do Pará”.

Góes (1980) assume os sedimentos conglomeráticos, argilo-arenoso da região Bragantina e Salgado como sendo do Grupo Barreiras.

Rossetti (1989), estudando a Região Bragantina do Estado do Pará, descreve os sedimentos Barreiras como depósitos terrígenos continentais terciários, constituídos por conglomerados polimíticos com intercalações de sedimentos arenosos e argilosos, com as frações arenosas apresentando uma grande diversidade faciológica.

Góes e Trunckenbrodt (1980) apud Sauma Filho (1996), propuseram uma divisão para os sedimentos Barreiras da Região Bragantina, em três fácies: argilosa arenosa, arenosa e conglomerática.

Fácies Argilo-arenosa

Aflora em meio as coberturas quaternárias, tendo sua melhor expressão na região entre Santa Maria do Pará e Capanema. É representada por camadas argilosas, argilo-arenosas, areno-argilosas e restritamente arenosas, interdigitadas. As argilas tem cores variadas e outros sedimentos padrões, mosqueados. Localmente ocorrem lentes de areia de granulação fina a grossa, com estratificação cruzada.

Fácies Arenosa

Geralmente capeia a anterior, em contato brusco, e ambas sustentam uma topografia de morros suaves, com baixas altitudes (aproximadamente 50 m) que se destaca dos sedimentos quaternários. É composta por arenitos amarelos de granulação média, com lentes de microconglomerados.

Fácies Conglomerática

ocorre restritamente na área de Ourém, Capitão Poço e arredores de Santa Luzia (forma morros arredondados e alongados com altitude entre 50 a 60 m). Os conglomerados são polimíticos, com abundante matriz de areia argilosa, e não apresentam estruturas sedimentares visíveis. Os níveis arenosos, acham-se intercalados de maneira irregular com horizontes argilosos, e intercalados às areias e argilas encontram-se níveis lateríticos formados pela migração de ferro para a superfície. As areias tem granulometria fina a média com níveis médios grosseiros, quartzosos.

2.2.1.3- Formação Pirabas.

Trata-se de uma formação de idade oligo-miocênica, que ocorre no Estado do Pará, desde o litoral até alguns quilômetros ao sul do Rio Guamá e sobre a plataforma continental norte brasileira, estendendo-se pela Plataforma Bragantina, sendo ainda registrada ao longo dos estados do Maranhão e Piauí. Tem como ocorrência-tipo a ilha de Fortaleza, no município de São João de

Pirabas, mas ocorre também ao longo da Faixa da costa do Pará, nas localidades de Salinópolis, Maracanã, Curuçá e nos arredores de Capanema.

É constituída litologicamente por margas, calcários micríticos, biohéricos e dolomicríticos, bem como biobiocalciruditos e biocalcarenitos, GÓES et al. (1980). Por vezes encontram-se intercalados arenitos, folhelhos cinzas esverdeados e negros, depositados em paleoambientes marinhos de águas rasas e quentes. Também ocorrem arenitos calcíferos.

Segundo TRUNCKBRODT, (1980) e SAUMA FILHO, (1996), a idade de Formação é atribuída ao Oligo-Mioceno e sua fauna relacionada a zonas bioestratigráficas internacionais. A divisão da unidade se faz em três fácies distintas e dispostas da base para o topo como descrito a seguir:

Fácies Castelo

Tem nome derivado de uma localidade na ilha de Fortaleza. Caracteriza-se litologicamente por calcários de diversas composições, com coquinas em destaque para os micritos, biohermitos e dolomicritos que afloram no litoral dos estados do Pará e Maranhão. A unidade foi depositada em mar aberto sobre a influência de águas agitadas e quentes, com salinidade normal (SAUMA FILHO, 1996).

Fácies Capanema

Tem bons afloramentos no município de Capanema, Estado do Pará, compreendendo litotipos representados por calcários argilosos (margas), micritos, bioclastos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos. Estes litotipos foram depositados em ambiente lagunar e de borda de bacia (ou estuário), com águas calmas e salinidade abaixo do normal.

Fácies Baunilha Grande

Constitui-se litologicamente por argilas negras com vegetais piritizados e nódulos de calcários escuros contendo fragmentos de crustáceos que refletem ambiente redutor, típico de mangue.

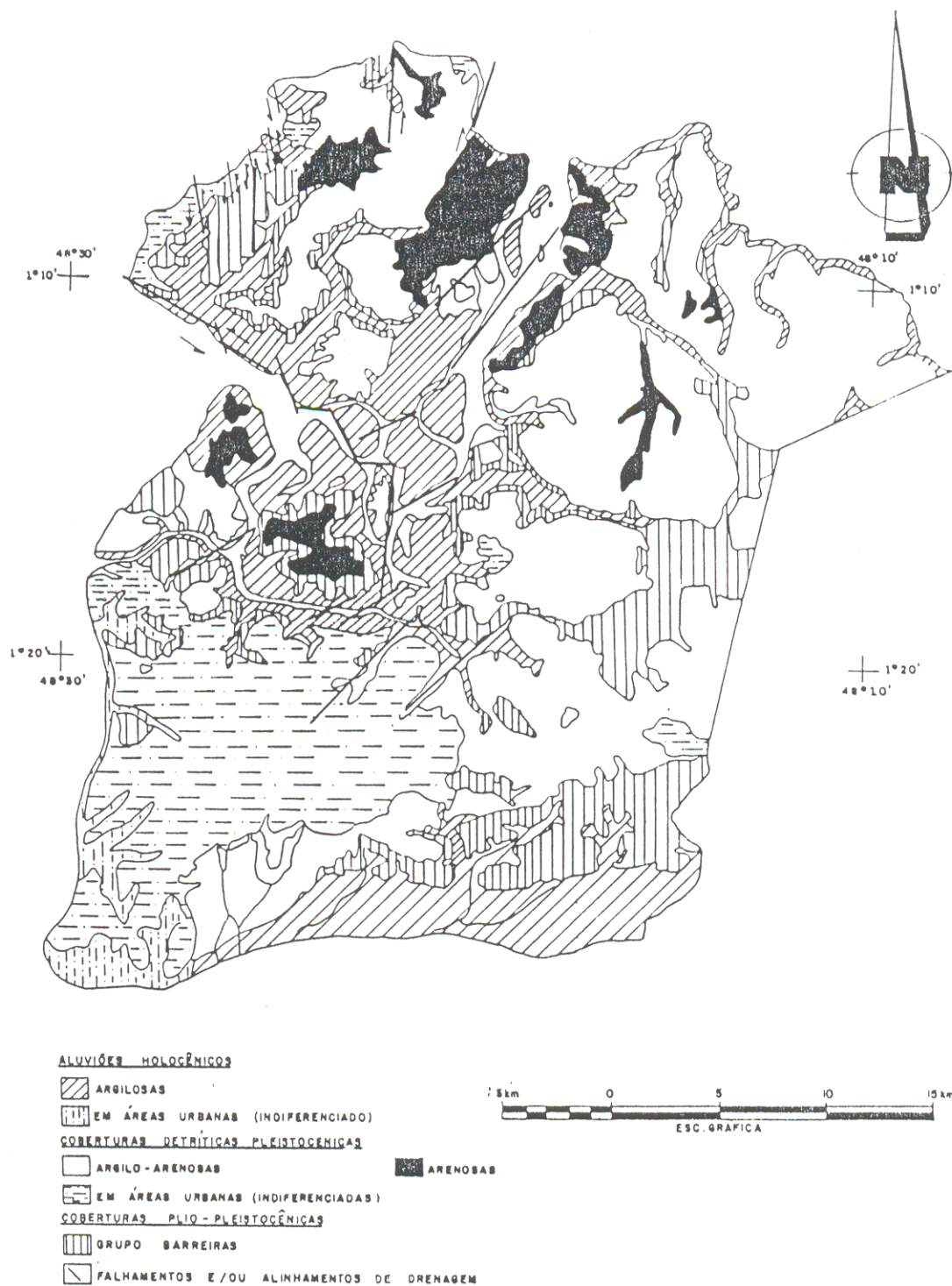


Figura 2.4- Esboço Geológico da Região de Belém (PARÁ-SEICOM, 1995).

2.2.2- Tectônica e Geologia Estrutural.

No Plioceno, toda a região de Belém encontrava-se submersa, onde um mar epicontinental se estendia por toda esta área e atingia porções elevadas a oeste, ocupadas por blocos emersos do Pediplano Terciário Inferior, ou mais antigo (PARÁ-SEICOM, 1995).

Os processos erosivos levaram significantes volumes de sedimentos para vales e depressões da nova superfície, e até a região costeira, onde ocorreu um recuo da linha de costa devido ao rebaixamento do mar (PARÁ-SEICOM, 1995 op. cit.).

No início do Pleistoceno houve uma emersão do pacote de sedimentos em resposta à movimentações tectônicas na fossa do Marajó, propiciando a percolação e a precipitação de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio em obediência às oscilações do lençol freático (PARÁ-SEICOM, op. cit.).

As elevações do nível dos mares relacionados a uma nova fase interglacial da Transgressão Flandriana, foram acompanhadas por movimentações neotectônicas relacionadas ao sistema distensivo do Atlântico Sul, acompanhado de deslocamentos verticais e horizontais de blocos crustais.

Movimentações causaram o basculamento de todo o bloco crustal a leste do Arco Gurupá. Entre os aspectos fisiográficos da área, temos a calha do rio Pará, onde se inclui o sistema hidrográfico da área, desenvolvida concomitantemente a separação da ilha do Marajó do continente. Evidências de movimentações neotectônicas encontram-se no traçado, mostrando um processo de extensão litosférica com direção NW-SE, que gerou falhas normais de direção N50°-N60°E, e mergulho NW, e falhas transferentes de direção NW de caráter transcorrente, responsáveis pelos deslocamentos em toda a linha de costa estuarina (IGREJA, 1990 apud PARÁ-SEICOM, 1995).

O reflexo causado pelo basculamento, vinculado aos falhamentos normais que afetaram a região, foi a geração em Mosqueiro, de bloco soerguido a nordeste onde ocorrem “falésias vivas”, um rebaixamento a sudeste onde se concentram as áreas inundáveis, as quais se estendem para sul, direção do provável prolongamento do bloco rebaixado. Em Outeiro, houve um basculamento para nordeste, onde se concentram planícies inundáveis e do lado oposto se desenvolvem imponentes falésias.

2.2.3- Geomorfologia.

A região Metropolitana de Belém é composta de duas regiões fisiográficas: a região de Terra Firme e a região de Várzeas (PARÁ-SEICOM, 1995).

A região de Terra Firme está relacionada ao Pediplano Neopleistocênico, onde predominam as unidades geomorfológicas do planalto rebaixado da Amazônia. Os litotipos predominantes fazem parte do Grupo Barreiras, em geral lateritizados, e de coberturas detríticas alúvio-colúviais Neo-pleistocênicas, parcial ou totalmente pedogeneizadas, adquirindo caráter de unidade edafoestratigráfica (PARÁ-SEICOM, 1995); (Fig. 04-em anexo). A região de Várzeas se localiza em três regiões diferentes na grande Belém:

- a) A primeira está localizada nas várzeas do Rio Guamá, apresentando-se sob forma de diques marginais, ou próximo à terra firme. A cobertura vegetal é caracterizada por espécies de grande porte. Geologicamente a várzea é composta de argilas inconsolidadas de coloração cinza azulada, com mosqueamento de óxido de ferro que retratam o impedimento da drenagem e variação do lençol freático (PARÁ-SEICOM, op. cit.).
- b) A Segunda faz parte do Estuário Guajarino, constituída por sedimentos aluviais holocênicos argilosos. A cobertura vegetal é composta por uma floresta de grande porte na Várzea Alta, e de pequeno porte na Várzea Baixa e no Igarapé (PARÁ-SEICOM, 1995).

Os mangues do Estuário representam as áreas de acumulação de depósitos aluviais holocênicos, ocorrendo descontinuamente ao longo das margens de rios, furos e igarapés do estuário, tanto na parte insular como na continental, bem como nas margens do Rio Guamá.

Segundo OLIVEIRA (1997), Belém se divide em três unidades geomorfológicas:

- Terrenos Sedimentares

Podem apresentar as maiores expressões topográficas e correspondem a superfícies pediplanas, mostrando em certos lugares, ondulações de vertentes suaves e topos arredondados, que quando se observam em cortes transversais, constata-se um suporte deste relevo por níveis de concreções.

- Terenos Sedimentares do Quaternário-Holoceno

Correspondem às áreas de baixadas da Região Metropolitana de Belém, como áreas adjacentes à baía do Guajará e ao rio Guamá.

- Zona Rebaixada e Terraços Fluviais Inundáveis

Na Região Metropolitana de Belém, as zonas de baixadas, são periodicamente inundadas durante a época chuvosa ou de maré lançante. Seu relevo é marcado por cotas topográficas abaixo de 4 m ou negativas, eventualmente parte de suas áreas são afetadas na preamar quando o fluxo das marés vem de encontro às águas dos igarapés, dificultando o escoamento natural destes (OLIVEIRA, 1997).

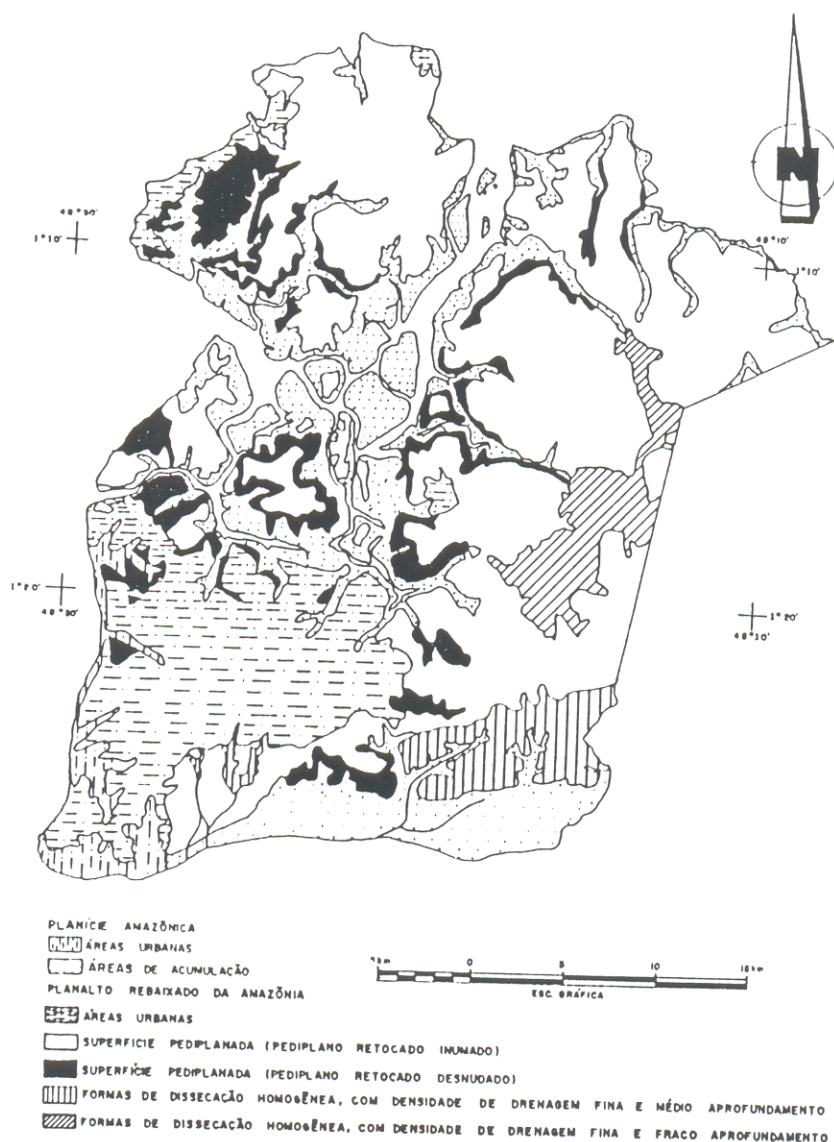


Figura 2.5- Esboço Geomorfológico da Região de Belém (PARÁ-SEICOM, 1995).

2.2.4- Estratigrafia:

Segundo BASTOS (1991), a estratigrafia preliminar da região de Santana do Aurá foi esboçada com informações litológicas de amostras de calha dos poços localizados na área, perfurado pela empresa FEMAC- Geosolo Engenharia Ltda, em janeiro de 1987.

A geologia da área constitui-se de sedimentos argilosos de coloração variegada, gradando para uma areia média, creme, com intercalações de argilas concrecionadas (concreções limoníticas) e níveis de areia fina vermelha e silte variegados. Acima desta sequência, temos intercalações de siltes argilosos, amarelados, siltes arenosos vermelhos, argila siltosa cinza escura com matéria orgânica e níveis de areia com seixos cremes e pedregulhos vermelhos.

2.2.5- Sistema Hídrico :

A região de Santana do Aurá, está localizada dentro do contexto do Sistema Hídrico do Utinga, que compreende o conjunto de bacias situadas na região dos lagos Bolonha e Água Preta, BASTOS (1991).

Dentro do contexto de Santana do Aurá, mais precisamente no local da Usina de Lixo de Belém, tem-se como rio principal o rio Aurá, localizado na extremidade sudeste da área. O afluente localizado dentro da área sofre ação das marés, influenciado pelo rio Aurá, que por sua vez, sofre influência do rio Guamá (Figura 2.6). Os níveis estáticos das águas subterrâneas nos locais de cotas mais baixas, encontram-se muito próximo à superfície, cerca de 0,50 m, variando conforme a estação climática do ano, já que este nível sofre influência direta das águas pluviais.

De acordo com os trabalhos de BASTOS (1991), em caso de infiltração, o escoamento do chorume, dar-se-á em duas direções. No covão, o sentido do fluxo será de E para W, obedecendo o decaimento da depressão, em direção à drenagem que passa ao lado da área, caracterizado como o segundo afluente do rio Aurá, pelo seu lado direito. No setor noroeste do depósito, o fluxo pode dar-se no sentido Sul, em direção ao rio Aurá.

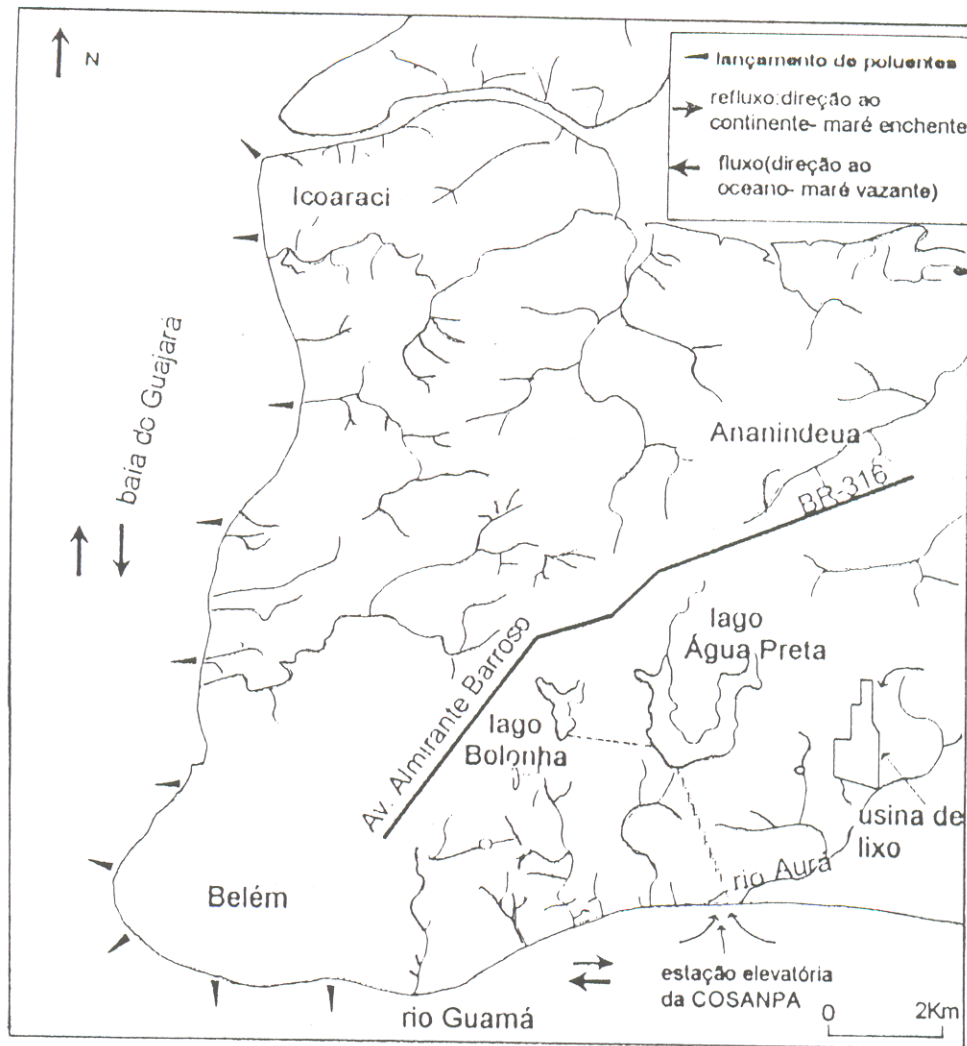


Figura 2.6-: Sistema Hídrico do Utinga. Modificado de Maltez (apud BASTOS, 1991).

3- CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.

3.1- CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES:

As águas subterrâneas circulam e se acumulam nos espaços intersticiais das rochas e sedimentos, constituindo assim os reservatórios de água subterrânea. Essas águas são provenientes da precipitação pluviométrica, através da infiltração.

A ocorrência de água subterrânea na região de Belém é controlada pelas características geológicas. O gradiente hidráulico e a velocidade de escoamento das águas subterrâneas são pequenos, devido ao relevo relativamente plano e à presença generalizada de sedimentos argilosos de baixa permeabilidade.

Os sedimentos arenosos de distribuição ampla e irregular constituem os principais mananciais de águas subterrâneas ou aquíferos, possíveis de exploração através de poços ou outras obras de captação.

Vale ressaltar que, conforme os dados do último censo, cerca de 61% da população de auto-abastece com água subterrânea, sendo 43% por meio de poços tubulares, 12% por meio de fontes ou nascentes e 6% por meio de poços escavados ou cacimbões IBGE (1991). Cidades como São Luís-MA, Natal-RN, Maceió-AL e cerca de 76% de outras do Estado de São Paulo, 90% das do Paraná e Rio Grande do Sul são abastecidas por água subterrânea.

Na região de Belém e adjacências, os principais aquíferos são constituídos pelos sedimentos clásticos arenosos do Quaternário, do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas e distribuídos irregularmente desde a superfície até a profundidade de 500 m ou mais, com um potencial significativo.

Um aquífero é definido pelos seus limites, sua geometria, pelas características hidrodinâmicas, fluxo de água, bem como pelas variedades de estado que descrevem a situação do aquífero a cada instante.

As variações de fácies dessas formações refletem-se na irregular distribuição espacial desses aquíferos, com profundidades e espessuras variáveis.

As características hidrodinâmicas desses aquíferos também apresentam variações, sendo que essas características permitem definir, em alguns casos, prever a resposta de um aquífero a

uma determinada perturbação externa, como um bombeamento. Os parâmetros mais importantes são os Coeficientes de Armazenamento, Transmissividade e Condutividade Hidráulica.

3.2- AQUÍFEROS DO QUATERNÁRIO:

Os aquíferos do Quaternário são constituídos por areias finas a médias, quartzosas, de origem continental, em geral de planícies aluviais. Suas espessuras atingem pouco mais de 10 m e em alguns locais as profundidades podem atingir mais de 20 m.

Esses aquíferos em geral são alcançados por poços perfurados com baixos recursos técnicos, e poucas informações geológicas.

Esses aquíferos têm pequena distribuição espacial na área e apresentam grande vulnerabilidade à poluição ou à contaminação, principalmente de fossas e esgotos, devido a sua proximidade da superfície.

3.3- AQUÍFEROS DO GRUPO BARREIRAS:

Os aquíferos do Grupo Barreiras são os mais explorados na Região Metropolitana de Belém. São constituídos por areias finas a médias, às vezes grossas, conglomeráticas, quartzosas, de origem continental. Os horizontes lateríticos podem apresentar em alguns locais cavidades, constituindo aquíferos comunicantes.

Os aquíferos do Grupo Barreiras têm distribuição espacial irregular, sendo muito variáveis em espessura, profundidade, continuidade lateral e características hidrodinâmicas.

Estão intercalados com camadas argilosas e atingem a profundidade máxima em torno de 100 m. O aquífero de maior continuidade lateral, com ampla extensão na região de Belém, situa-se a uma profundidade entre 60 e 90 metros, com espessuras variando de 10 m a mais de 30 m.

3.4- AQUÍFEROS DA FORMAÇÃO PIRABAS:

De acordo com o **Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Belém**, os aquíferos da Formação Pirabas são constituídos por areias e arenitos de granulometria fina, média e grossa e seixos arredondados a subarredondados de quartzo.

Estão intercalados com argilas, folhelhos, margas e argilitos, suas profundidades situam-se em geral a partir de uma centena de metros. A exploração desses aquíferos vem aumentando na região de Belém, por poços que captam águas subterrâneas da parte superior da Formação Pirabas.

4- RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM.

4.1- INTRODUÇÃO.

De acordo com (PARÁ-SEICOM), a grande demanda de água na Região Metropolitana de Belém, a exploração de água subterrânea e a carência de pesquisas que possam fornecer subsídios para utilização racional desses mananciais têm despertado o interesse de órgãos governamentais.

Entretanto, a perfuração de poços para captação de água subterrânea tem sido bastante incrementada na região de Belém.

As águas subterrâneas, em geral, não contêm materiais em suspensão e bactérias. É via de regra límpida e incolor, isso devido à eficiente filtração a que são submetidas no subsolo, e não necessitam na maioria das vezes de tratamento específico para consumo.

As pesquisas hidrogeológicas na Região Metropolitana de Belém ainda são esparsas e em nível de reconhecimento. O Instituto de Desenvolvimento Econômico-Social do Pará (IDESP) realizou algumas pesquisas, havendo efetuado um reconhecimento hidrogeológico na ilha de Caratateua com aplicação do método da resistividade elétrica. Mais recentemente alguns trabalhos da Universidade Federal do Pará (UFPA), como os de conclusão de curso de alunos de geologia, tem abordado alguns temas hidrogeológicos da área de Belém (LUÍS & VERMA, 1990; BASTOS, 1991; SOUZA, 1993).

Nestes trabalhos, a partir da coleta de dados hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém apresenta-se grande parte de um inventário hidrogeológico e inclui-se um levantamento de poços tubulares, com suas fichas de sondagem e suas respectivas localizações em mapa. É apresentada a hidrogeologia dessa região com a caracterização dos principais aquíferos e seus potenciais.

4.2- ASPECTOS DA REDE DE DRENAGEM DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM.

A Região Metropolitana de Belém possui uma rede de drenagem bem distribuída, do tipo dentrítico nas regiões sedimentares, que deságua tanto baía do Guajará a Oeste e Norte, e no rio Guamá ao Sul.

A Região Metropolitana de Belém possui 20 micro-bacias hidrográficas na região continental e 30 na região insular, 15 na ilha do Mosqueiro e 15 na ilha de Outeiro (FADESP, 1998).

De acordo com os dados do IDESP, as micro-bacias hidrográficas da região continental contém uma média de 1/3 de suas áreas abaixo da cota 5 m e baixa densidade de drenagem que varia de 0,57 a 4,34 km/km². Somente uma delas apresenta esse índice do limite superior, a micro-bacia dos canais da área EMBRAPA/FCAP, mostrando-se assim ser a única excepcionalmente bem drenada, já que depois dela existe o rio Catu, que drena o Lago Bolonha, com 1,97 km/km².

O estudo das micro-bacias, mostra que a maioria possui problemas de drenagem, tendo a característica de apresentar cheias rápidas e danosas. Esta conclusão é embasada em três características físicas que são:

- a) Cota Altimétrica
- b) Fator de Forma (Kf) e Coeficiente de Compacidade (Kc)
- c) Densidade de Drenagem (Dd)

Cota Altimétrica : Como citado anteriormente a cidade de Belém é relativamente plana, tendo uma altitude máxima de 15 m acima do nível do mar. A maior parte da área da Região Metropolitana de Belém tem altitude inferior a 5 m de cota, que é alagada ou possível de ser alagada por marés lançantes (EPIA do Projeto de Prolongamento da Avenida 1º de Dezembro – FADESP).

A ocupação desordenada destas áreas causa três tipos de fenômenos nas vias de drenagem, que são:

- I – O estreitamento das vias principais, por ocupação das margens;
- II- O assoreamento do leito, tornando-o menos profundo;
- III- O aprisionamento, sem limites definidos, do lençol líquido, consequência da saturação do aterro em áreas que eram anteriormente alagadas.

5-METODOLOGIA:

5.1-DETERMINAÇÃO DA DIREÇÃO DOS FLUXOS SUBTERRÂNEOS:

5.1.1- Cadastramento e Nivelamento:

Obtido através do levantamento dos poços existentes na área do trabalho, onde o setor administrativo do aterro forneceu orientações relativas ao número e à localização destes poços.

Os poços na área de trabalho foram nivelados pelo método de nivelamento geométrico ou de gravidade, também chamado de levantamento altimétrico, o qual consiste em determinar um plano horizontal e as interseções dele com uma série de verticais tiradas pelos pontos a nivelar, e em seguida determinar as distâncias desses pontos a esse plano, o qual toma o nome de plano de referência.

Segundo ESPARTEL,(1975), a altimetria tem por finalidade a medida da distância vertical ou diferença de nível entre diversos pontos. O método utilizado necessitou de dois tipos de equipamentos:

- 1- Aparelho de Nivelamento ou Nível (tipo Luneta com tripé): Utilizado para determinar o plano horizontal.
- 2- Mira Falante (modelo Casela): Utilizada para medir as linhas retas verticais.

Na área do estudo, o último poço nivelado, sempre foi tomado como referência para a próxima medida. As coordenadas geográficas de cada poço, foram determinadas por um GPS do tipo MAGELLAN (CE-12000 XL).

5.1.2- Determinação dos Níveis Estáticos nos poços:

A determinação dos níveis estáticos nos poços teve como objetivo a análise do comportamento do nível do lençol freático de acordo com as oscilações das variáveis hidrometeorológicas, que puderam ser verificadas no decorrer do ano de 1999.

Para efeito de comparação, as medidas de nível estático foram executadas em duas etapas: a primeira nos meses de Fevereiro, Março, Abril, Maio e Junho , a segunda nos meses de Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro, permitindo assim a verificação de variações provenientes de mudanças sazonais e a comparação com dados de precipitação nestes períodos. As medições foram feitas uma vez a cada mês, pois foi observado que as mudanças semanais de nível freático eram desprezíveis.

A determinação dos níveis estáticos nos poços, foi realizada com um Multímetro de Agulha do tipo SUNWA YX-360 TRn (Figura 03- em anexo), cuja sonda foi introduzida nos poços, possibilitando a determinação da altura do nível do lençol freático (Figuras 01 e 02 – em anexo).

Em alguns poços, a utilização do multímetro não foi necessária, visto que o nível freático estava muito próximo à superfície, permitindo a simples utilização de uma trena (Figura 04 – em anexo).

5.1.3- Construção das Curvas de Equipotenciais Hidráulicos:

utilizando-se valores de posicionamento dos poços (obtidos através do georeferenciamento destes) e dados de níveis estáticos do lençol freático nos períodos de chuva e estiagem, foi possível determinar as curvas de equipotenciais hidráulicos no 1º e 2º semestres, e desta forma verificar tanto o sentido como a direção do fluxo subterrâneo na área do Depósito do Aurá.

5.1.4- Determinação do Gradiente Hidráulico:

Os dados obtidos no levantamento topográfico, georeferenciamento dos poços e medição de níveis estáticos, permitiram determinar o gradiente hidráulico. Para efeito de comparação foram determinados os valores dos gradientes hidráulicos nos períodos de chuva e estiagem, nos meses de março e novembro. Os gradientes hidráulicos foram calculados utilizando os poços P0 e P6; P6 e P1W; P0 e P4; P6 e P7; P0 e P8; P6 e P1N, através da fórmula: $\Delta h / L$

Onde: $\Delta h = (h_2 - h_1) \Rightarrow$ Diferença de nível estático entre os poços

$L =$ Distância entre os poços

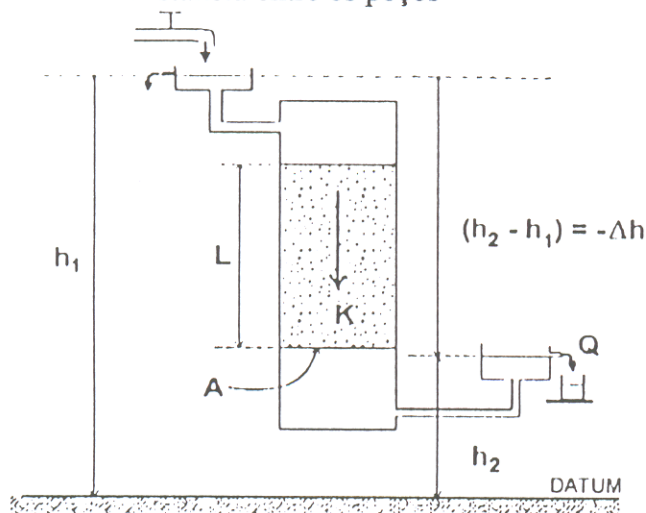


Figura 5.1: Gradiente Hidráulico, de acordo com o modelo proposto por DARCY, 1856.

5.2- DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS:

As etapas a seguir foram necessárias para a determinação da Condutividade Hidráulica, Transmissividade, Porosidade e Coeficiente de Armazenamento.

5.2.1- Análise Granulométrica :

De acordo com SUGUIO (1973), “ análise granulométrica” é a análise que permite estabelecer uma expressão quantitativa da distribuição granulométrica, a qual é conhecida também como análise mecânica. As finalidades das análises granulométricas variam de acordo com o campo de atividades no qual elas são empregadas. Na geologia podem ser consideradas as seguintes aplicações relacionadas à análise granulométrica:

- a) Caracterizar e classificar os sedimentos com o mínimo de subjetividade.
- b) Correlacionar sedimentos de áreas diferentes por meio de tratamentos estatísticos adequados.
- c) Dar idéias relativas aproximadas sobre os diferentes valores de permeabilidade e porosidade dos sedimentos.
- d) Inferir idéias relativas à gênese dos sedimentos, no que diz respeito ao modo de transporte e deposição nos casos de sedimentos clásticos (detríticos).
- e) Preparar os sedimentos para outros tipos de estudos, tais como minerais pesados, textura superficial dos grãos, estudo de argilominerais, etc.

As amostras analisadas resultaram de amostragens de calhas de perfis pertencentes a três poços: P1W, P2W e P1N (Figuras: 05 e 06-em anexo), os quais foram perfurados nas adjacências do Depósito do Aurá, com a finalidade de serem utilizados para estudos e monitoramento. Estas amostras foram coletadas em intervalos variáveis (cm e m), de acordo com as mudanças litológicas encontradas. As amostras recolhidas em sacos plásticos, indicando os respectivos intervalos de amostragens (profundidades), foram transportadas para o laboratório de sedimentologia do CPGG, para análise.

O primeiro passo foi executar o quarteamento da amostra total de cada intervalo de amostragem e retirar de 100 a 150 gramas de material para análise. Amostras com grande quantidade de material argiloso, foram lavadas para eliminar as argilas, possibilitando a análise granulométrica apenas com o material arenoso contido na amostra.

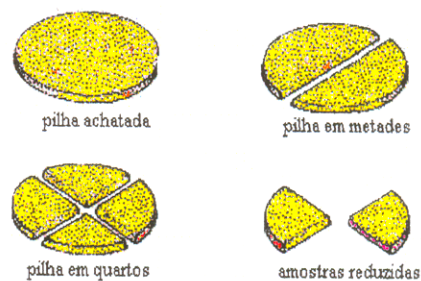
O registro dos pesos inicial (antes da lavagem) e final, permitiu estimar o teor de argilas e matéria orgânica nos sedimentos arenosos. Após a lavagem, o material foi levado à estufa, e exposto a uma temperatura de 50 °C durante 24 horas.

Após a secagem, o material foi peneirado em uma série de peneiras, empilhadas em um peneirador automático. Foram utilizadas as peneiras (abertura em mm): 2,0 ; 1,410 ; 1,0 ; 0,710 ; 0,5 ; 0,35 ; 0,25 ; 0,177 ; 0,125 ; 0,088 e 0,062. A coluna de peneiras foi acionada durante 10 minutos, e o material retido em cada uma delas foi devidamente pesado em uma balança de precisão, obtendo-se assim diretamente as percentagens relativas de abundância.

A análise granulométrica é um método que permite determinar a granulometria do sedimento, e a partir daí torna-se possível a determinação de parâmetros hidrodinâmicos, tais como: Condutividade Hidráulica, Transmissividade e Coeficiente de Armazenamento.



Figura 5.2



O método do quarteamento permite reduzir o tamanho da amostra de forma precisa.

Figura 5.3

Figuras 5.2 e 5.3 mostram respectivamente a Série de Peneiras e o Método de Quarteamento de Amostras utilizados em análises granulométricas. Fonte: SUGUIC

5.2.2- Condutividade Hidráulica (K):

Em um meio isotrópico a Condutividade hidráulica pode ser definida como a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário. Refere-se à facilidade da formação aquífera de exercer a função de um condutor hidráulico.

Neste trabalho a Condutividade Hidráulica foi determinada através da análise granulométrica e também por meio do ensaio de bombeamento.

5.2.2.1- Determinação da Condutividade Hidráulica através da Análise Granulométrica.

A Condutividade Hidráulica depende das características do meio poroso e das propriedades do fluido. A Condutividade Hidráulica pode ser expressa em função dos parâmetros do meio e do fluido.

De acordo com FETTER (1993), a Condutividade Hidráulica de sedimentos arenosos pode ser estimada através da curva de distribuição do tamanho efetivo dos grãos pelo método de Hazen. O método é aplicado quando o tamanho efetivo estiver dentro do intervalo compreendido entre 0,1 e 3,0 mm. Neste trabalho foram construídos gráficos de Histograma de Distribuição Granulométrica (Figuras 13 a 22- em anexo) e de Curvas de Percentagens de Areia Retida (Figuras 23 a 25 – em anexo), que possibilitaram a determinação deste parâmetro.

A fórmula de Hazen utilizada para calcular os valores de Condutividade Hidráulica foi:

$$K = C \cdot (d_{10})^2$$

Onde: K \Rightarrow Condutividade Hidráulica

D10 \Rightarrow Tamanho Efetivo do Grão (mm)

C \Rightarrow Coeficiente baseado em valores verificados no exemplo de FETTER, 1993, de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 5.1- Valores do Coeficiente “C”

Valor de C	Tipo de Areia
40 – 80	Areia muito fina, mal selecionada
40 – 80	Areia Fina a Muito Fina
80 – 120	Areia Grossa, bem selecionada
80 – 120	Areia Grosseira, mal selecionada
120 - 150	Areia Grosseira, bem selecionada

5.2.2.2- Determinação da Condutividade Hidráulica através do Ensaio de Bombeamento.

Foi obtida através da utilização do programa computacional “Aquifer Test”, o qual de posse dos valores de Transmissividade e espessura da camada aquífera, possibilitou a determinação deste parâmetro.

5.2.3- Transmissividade (T):

A transmissividade T de um aquífero é a vazão da água que escoar através de uma área unitária por um metro de camada saturada, quando o gradiente hidráulico é igual a 1.

Neste trabalho a Transmissividade foi determinada através da análise granulométrica e também pelo ensaio de bombeamento.

5.2.3.1- Determinação da Transmissividade através da análise granulométrica:

De posse dos valores de Condutividade hidráulica e espessura da camada aquífera, utilizou-se a seguinte fórmula: $T = K \times b$

Onde: T = Transmissividade (m^2/min); K = Condutividade Hidráulica(m/min); b = Espessura da camada aquífera (m).

5.2.3.2- Determinação da Transmissividade através do Ensaio de Bombeamento:

De posse dos valores da vazão(Q) e variação do rebaixamento(ΔS), foi utilizado o programa computacional “Aquifer Test”, o qual possibilitou a determinação deste parâmetro:

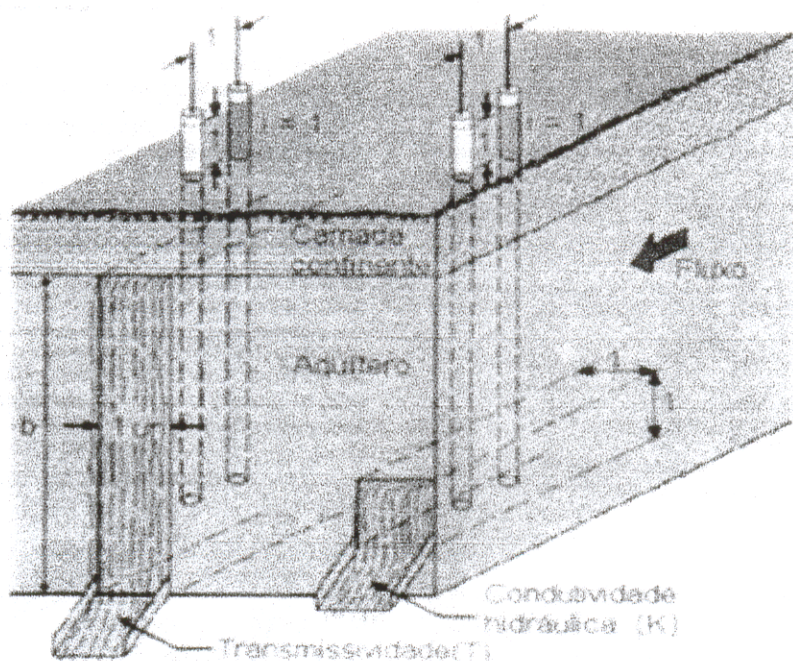


Figura.5.4: Ilustração para entendimento dos conceitos de Condutividade Hidráulica e Transmissividade (modificada de Driscoll, 1986).

5.2.4- Ensaio de Bombeamento.

O ensaio de bombeamento é um método eficaz para determinar os parâmetros hidrodinâmicos de um aquífero, tais como: Condutividade Hidráulica, Transmissividade e Coeficiente de Armazenamento. Este ensaio é importante para que se possa comparar com os valores obtidos através da análise granulométrica.

Nesta pesquisa, foi realizado o bombeamento do poço P0 (Figura 20 – em anexo), o qual teve duração de 6 horas com vazão constante, onde observou-se sobretudo os rebaixamentos do nível do lençol d'água. Durante o bombeamento foram anotados todos os dados relativos a tempo (min), nível dinâmico (m), rebaixamento (m), vazão (m^3/h) e vazão específica ($m^3/h/m$), a partir de 1 (um) minuto de bombeamento.

A vazão do poço foi determinada através da utilização de um barril com volume conhecido (220 litros), onde foram feitas 10 (dez) medições. Em cada medição foram anotados os valores de tempo necessários para que o recipiente ficasse totalmente cheio. Ao fim da série de medições, foi então tirada uma média dos tempos, a fim de se determinar a vazão do poço bombeado.

Encerrado o bombeamento, teve início então a medição da recuperação até a reintegração do nível original.

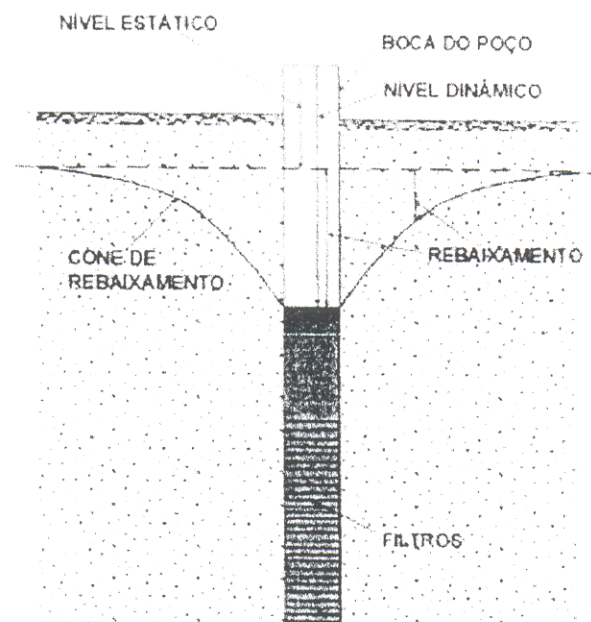


Figura 5.5: Bombeamento de um Poço (GEILSON, 1997)

5.2.5- Ensaio de Porosidade (n):

A porosidade é um parâmetro que depende do tamanho dos grãos e do arranjo dos mesmos. Se os grãos são de tamanho variado, a porosidade tende a ser menor do que no caso de grãos uniformes, porque os grãos pequenos ocupam os espaços vazios entre os maiores. Ao extrair-se água de um aquífero, parte do líquido é retido pelas forças moleculares e pela tensão superficial e apenas parte do total armazenado é liberado. A porosidade também é expressa em percentagem do volume total.

A determinação da porosidade dos sedimentos na área do depósito de lixo do Aurá, foi realizada de duas formas:

1-Utilizando-se amostras de calhas de perfis de poços construídos no local, adotando o método do picnômetro em laboratório.

2-Utilizando-se testemunhos de amostras (indeformadas) coletadas com amostrador (cilindro metálico).

Na determinação da Porosidade Total empregando o Método do Picnômetro (Fig. 18), foram escolhidas duas amostras de sedimento coletadas praticamente nas mesmas profundidades, uma referente ao poço P1W (Amostra 10- Prof.: 4,80 – 5,40 m) e outra ao poço P1N(Amostra 03- Prof.: 4,00-5,00 m).

Foram utilizados dois picnômetros, um para cada amostra, onde inicialmente foi realizada a aferição destes recipientes vazios, em seguida os mesmos foram preenchidos cada um com sua respectiva amostra, sendo anotado o peso.

Posteriormente foi adicionada água em cada um dos picnômetros, até o momento em que observou-se a saturação completa das amostras, daí então fez-se nova pesagem. De posse dos valores anotados nas três etapas (frasco vazio, frasco+amostra e frasco+amostra+água), foi possível determinar a porosidade total das amostras selecionadas para este ensaio, empregando-se a fórmula a seguir descrita:

$$\eta = V_v / V_t$$

Onde:

η = porosidade total

V_v = volume de vazios

V_t = volume total

Neste ensaio observou-se que as amostras analisadas apresentaram os mesmos valores de porosidade total.

Para a determinação da porosidade da amostra indeformada, executou-se as seguintes etapas:

- a) A mostra foi levada ao laboratório, onde foi pesada e colocada na estufa para secagem. Depois de seca foi novamente pesada.
- b) Logo depois escolheu-se uma proveta com volume conhecido, e encheu-se esta com água.
- c) Despejou-se a amostra indeformada (seca) dentro da proveta contendo água.
- d) Anotou-se o volume de água deslocado após o acréscimo da amostra.
- e) Calculou-se os valores dos volumes de amostra (indeformada e real), e desta forma determinou-se a porosidade total do sedimento, através da fórmula:

$$PT = V_{ind.} - V_{real}$$

Onde: PT = Porosidade Total do solo

$V_{ind.}$ = Volume de amostra indeformada

V_{real} = Volume de água deslocado, o qual corresponde ao volume de amostra colocada no becker .

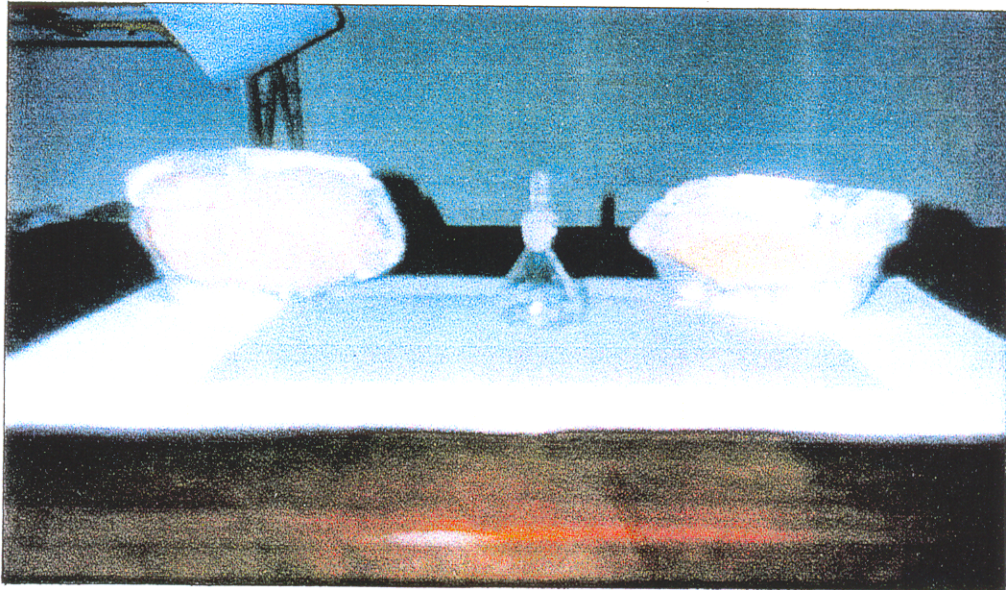


Figura 5.6: Picnômetro e amostras de sedimentos utilizados no ensaio para determinação da Porosidade Total.

5.2.6- Ensaio de Permeabilidade.

Os ensaios de permeabilidade da zona insaturada são frequentemente executados em furos de sondagens a percussão, onde são conhecidos, de forma genérica, como “ensaios de infiltração”. Com menor frequência têm sido aplicados em poços de inspeção e cavas abertas em solos. Estes ensaios não utilizam sistema de observação da variação das cargas piezométricas nas imediações do furo onde se realiza o ensaio. Por esta razão os ensaios deste tipo são também conhecidos como “ensaios pontuais”.

Neste aspecto, assemelham-se aos “ensaios de perda d’água sob pressão”, também pontuais. Estes “ensaios de perda d’água sob pressão” aplicados em geral nos maciços rechosos (OLIVEIRA, 1975), juntamente com os “ensaios de infiltração”, completam o conjunto de ensaios de permeabilidade comumente usados, pela Geologia de Engenharia, para a caracterização hidrogeotécnica da zona insaturada.

Neste trabalho, a permeabilidade do solo, foi obtida utilizando-se dois métodos de observação:

- ⇒ O primeiro método foi realizado através da camada insaturada, onde utilizou-se o ensaio de rebaixamento.
- ⇒ O segundo método foi executado através da camada saturada, onde foi empregado o ensaio conhecido como “Slug test”.

1º Método (Ensaio de Rebaixamento)

Este é um ensaio de nível variável, onde inicialmente escolheu-se três locais diferentes nas adjacências do depósito de lixo, em seguida executou-se a perfuração de furos no solo, em cada um dos pontos pré-selecionados, utilizando-se um trado manual, onde registrou-se a profundidade em cada um deles. Foi feita também a escarificação das paredes dos furos, a fim de evitar qualquer vedação provocada pela perfuração.

Logo depois, os furos foram encheidos com água, até a boca tomando-se este instante como zero. De acordo com recomendações da ABGE (1996), este tipo de ensaio deve ser concluído quando o rebaixamento atingir 20% da carga inicial aplicada, ou 30 minutos de ensaio.

Neste ensaio, como foram executados três furos, em dois deles optou-se por concluir o ensaio ao final de trinta minutos, enquanto no outro ponto finalizou-se o ensaio quando o rebaixamento atingiu 20% da carga inicial.

De posse dos valores de variação de tempo, rebaixamento, diâmetro do trado, diâmetro dos furos, e profundidades destes, aplicou-se os dados obtidos na fórmula a seguir, a qual permitiu calcular o valor da condutividade hidráulica através do ensaio de rebaixamento realizado acima do nível d'água.

$$K = (\Delta h / \Delta t) \times (d1^2 / 8 \cdot h0 \cdot \sqrt{d \cdot L})$$

Fonte: ABGE (1996)

Onde: K= Permeabilidade, Δh = Variação da profundidade

Δt = Variação do tempo, d = Diâmetro do trado

$d1$ = Diâmetro do furo, $H0$ = Profundidade do furo

L = Profundidade com desconto de 5 a 10 cm a partir da boca do furo

2º Método (Slug test):

Este também é um ensaio de nível variável, onde foi aplicada uma carga (água) instatânea e fez-se o acompanhamento da estabilização do nível d'água.

No ensaio realizado em campo, foi escolhido um dos poços de monitoramento, e inicialmente foi verificada a profundidade do nível estático, em seguida introduziu-se água até a boca do poço, observando-se os rebaixamentos e os respectivos intervalos de tempo, até o momento em que foi possível constatar a estabilização do nível d'água, de acordo com o que foi inicialmente verificado (antes da injeção de água).

De posse dos valores obtidos no decorrer do ensaio, foi possível determinar a condutividade hidráulica da zona saturada do solo, empregando-se a fórmula proposta por PARISOT et al, (1985):

$$Kh = (r^2 / 2LT_0) \times \ln(m \cdot L / rs)$$

Onde:

r = Raio da tubulação do poço

L = Comprimento do filtro

$m = \sqrt{Kh/Kv}$, relação de permeabilidade vertical e horizontal

rs = Raio do furo

T_0 = Tempo de resposta básico correspondente a $\Delta H = 0,37 \cdot \Delta H_0$

Kh = Coeficiente de permeabilidade horizontal

5.2.7- Coeficiente de Armazenamento (S):

O Coeficiente de Armazenamento é definido como o volume de água que sai ou que entra no aquífero, por unidade de área horizontal deste e por unidade de variação de abaixamento.

Nos aquíferos livres (pressão igual à pressão atmosférica), S tem o mesmo significado que o suprimento específico do material esvaziado durante o bombeamento.

Nos aquíferos confinados (pressão superior à pressão atmosférica), S é o resultado de dois efeitos elásticos – compressão do aquífero e expansão da água nele contida – quando a carga ou pressão é reduzida com o bombeamento. Os valores de S para aquíferos livres variam de 0,01 a 0,35; para aquíferos confinados variam de (10^{-5} a 10^{-3}).

O coeficiente de armazenamento indica a quantidade de água disponível de um aquífero que poderá ser removida por drenagem ou por bombeamento. No caso de aquíferos livres, o coeficiente de armazenamento e a porosidade efetiva têm o mesmo significado.

O coeficiente de armazenamento e a transmissividade de um aquífero permitem fazer importantes previsões, como por exemplo:

⇒ O rebaixamento do nível dinâmico, a diversas distâncias do poço bombeado;

⇒ O abaixamento do nível dinâmico, a um instante qualquer, após o início do bombeamento no poço.

Neste trabalho, o coeficiente de armazenamento foi determinado através do ensaio de bombeamento realizado no poço P0, onde por meio deste foi possível obter os valores de vazão e rebaixamento, aplicando-se posteriormente estes dados ao programa computacional “Aquifer Test”, através do qual foi possível determinar este coeficiente:

5.3- DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO SUBTERRÂNEO:

5.3.1- Velocidade Aparente de Escoamento (V_{ap}):

Para determinar a velocidade aparente de escoamento de fluxo da água subterrânea, foi empregada a fórmula também chamada de Velocidade de Darcy, a qual pode ser assim expressada :

$$V_{ap} = K \times \Delta H / \Delta X$$

Onde :

K = Condutividade Hidráulica

$\Delta H / \Delta X$ = Gradiente Hidráulico

5.3.2- Velocidade Real de Escoamento (V_r):

A velocidade real de escoamento de fluxo de água subterrânea pôde ser determinada com o emprego da seguinte equação: $V_r = V / \eta_{ef}$

Onde:

V_r = Velocidade Real

V = Velocidade Aparente

η_{ef} = Porosidade Efetiva

6-ESQUEMATIZAÇÃO GEOMÉTRICA DOS AQÜÍFEROS:

De acordo com os dados obtidos no desenvolvimento desta pesquisa, aliados às informações verificadas no trabalho realizado por BASTOS (1991), foi possível elaborar esquemas tridimensionais utilizando o programa computacional "SURFER", o qual possibilitou a melhor compreensão e visualização do perfil geológico da área (Depósito de Lixo do Aurá), bem como o comportamento dos aquíferos ali presentes.

7- INTEGRAÇÃO DOS DADOS.

7.1- DETERMINAÇÃO DOS FLUXOS.

7.1.1- Levantamento do Nível Altimétrico dos Poços.

$$\text{Elevação} = R_{ni} - V_{vac} + V_{rac}$$

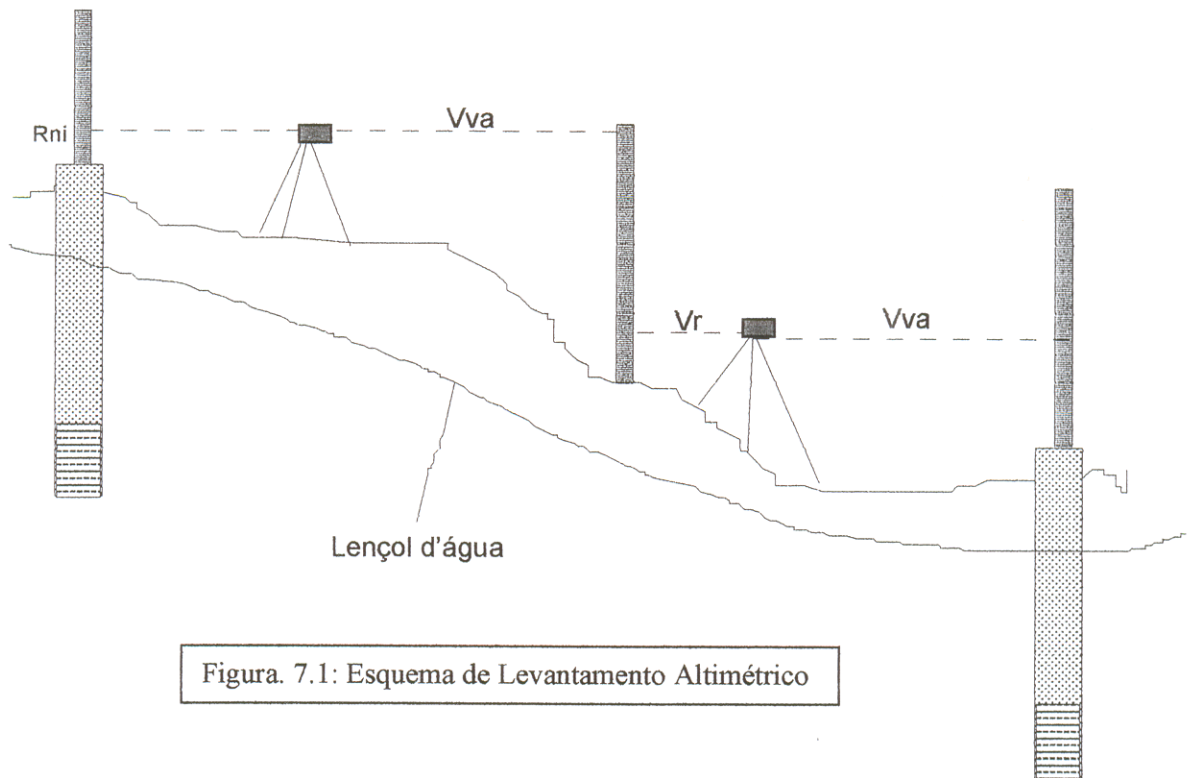


Figura. 7.1: Esquema de Levantamento Altimétrico

Tabela 7.1: Dados de nível altimétrico obtidos para os poços.

		Poços de Monitoramento utilizados no Depósito do Aurá									
Altura	P0	P1	P1W	P2W	P1N	P2N	P3	P4	P6	P7	P8
(m)	24.85	15	8.11	8.30	7.61	6.27	7.16	6.51	12.43	8.79	5.87

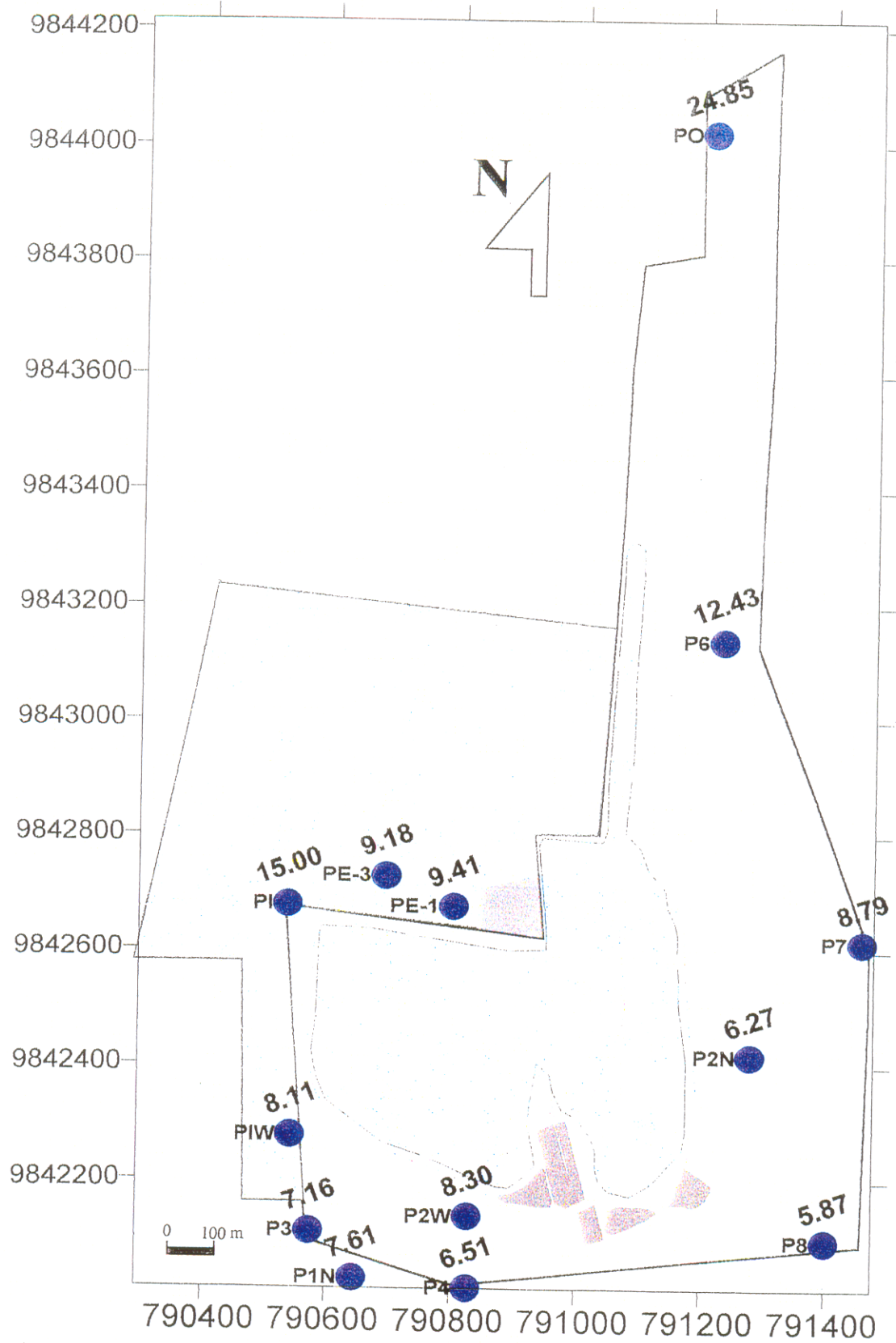


Figura 7.2- Esquema de Localização dos poços, construído a partir de dados de nivelamento topográfico e informações de cadastro destes poços (PIRATOBA MORALES,2000).

7.1.2- Georeferenciamento:

Estes dados foram obtidos com o objetivo de localizar os poços de monitoramento, de forma mais exata e eficiente, a fim de possibilitar a construção do Bloco Diagrama com posicionamento dos poços e também traçar o “Mapa de Isolinhas” com os respectivos níveis topográficos.

Tabela 7.2: Dados de Georeferenciamento dos Poços

Poço	Valores	Coordenada
P0	22 791287	X
	98 44066	Y
P1	22 790501	X
	98 42708	Y
P1W	22 790607	X
	98 42333	Y
P3	22 790630	X
	98 42197	Y
P4	22 790869	X
	98 42154	Y
P1N	22 790609	X
	98 42042	Y
P2W	22 790771	X
	98 42190	Y
P2N	22 791159	X
	98 42496	Y
P6	22 791347	X
	98 43238	Y
P7	22 791606	X
	98 42694	Y
P8	22 791625	X
	98 42090	Y

7.1.3- Níveis Estáticos.

Valores de variação de níveis estáticos e diferentes elevações topográficas relacionados aos poços de monitoramento do Depósito de Lixo do Aurá.

Tabela 7.3: Dados de Níveis Estáticos

Níveis Estáticos nos Poços de Monitoramento do Aurá (m)											
Data	P0	P1 *	P1W	P2W	P1N	P2N	P3	P4	P6	P7	P8
11/02	5.44	-	0.89	1.44	1.23	0.51	0.61	0.16	2.18	2.00	0.72
19/03	4.40	-	0.84	1.26	1.28	0.50	0.65	0.22	1.55	1.86	0.68
29/04	3.67	-	0.70	1.32	1.35	0.54	0.70	0.26	1.39	1.97	0.58
26/05	3.30	-	0.63	1.33	1.26	4.46	0.63	0.21	1.24	1.81	0.58
25/06	4.75	-	0.65	1.37	1.40	-	0.78	0.32	1.77	2.29	0.74
19/08	7.10	-	0.69	1.49	1.57	0.74	0.99	0.51	3.41	2.51	1.15
17/09	7.90	-	0.74	1.84	1.57	0.75	1.00	0.51	3.90	2.79	1.13
20/10	8.37	-	0.73	1.84	1.54	0.76	0.99	0.50	4.13	2.86	1.07
22/11	8.72	-	0.71	2.01	1.71	0.78	1.22	0.66	4.57	2.96	1.23
17/12	8.75	-	1.72	2.88	1.75	0.86	1.25	0.69	4.73	3.02	1.40
Altura	24.85	15	8.11	8.30	7.61	6.27	7.16	6.51	12.43	8.79	5.87

* Não foi possível realizar medições de nível estático no poço P1, em virtude de Ter sido obstruído.

7.1.3.1- Demonstração Gráfica do Comportamento dos Níveis Estáticos nos Poços.

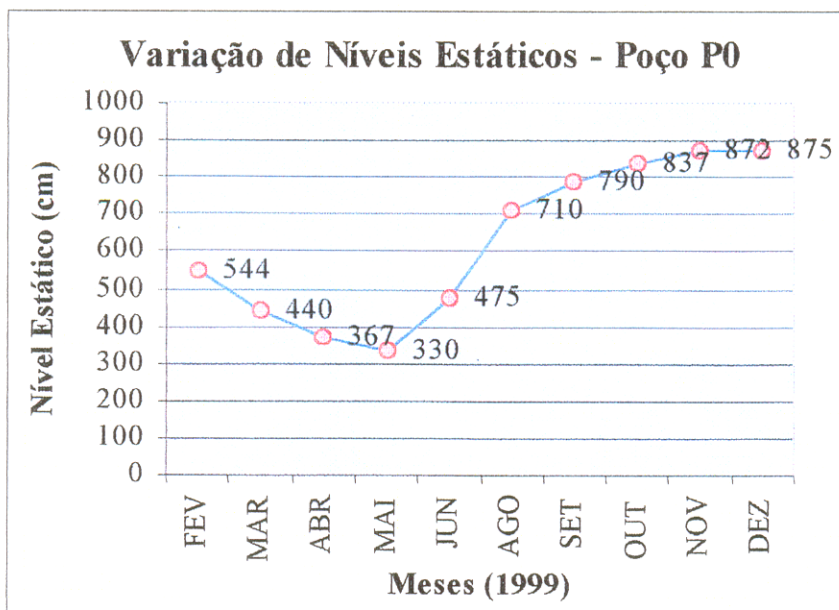


Figura 7.3

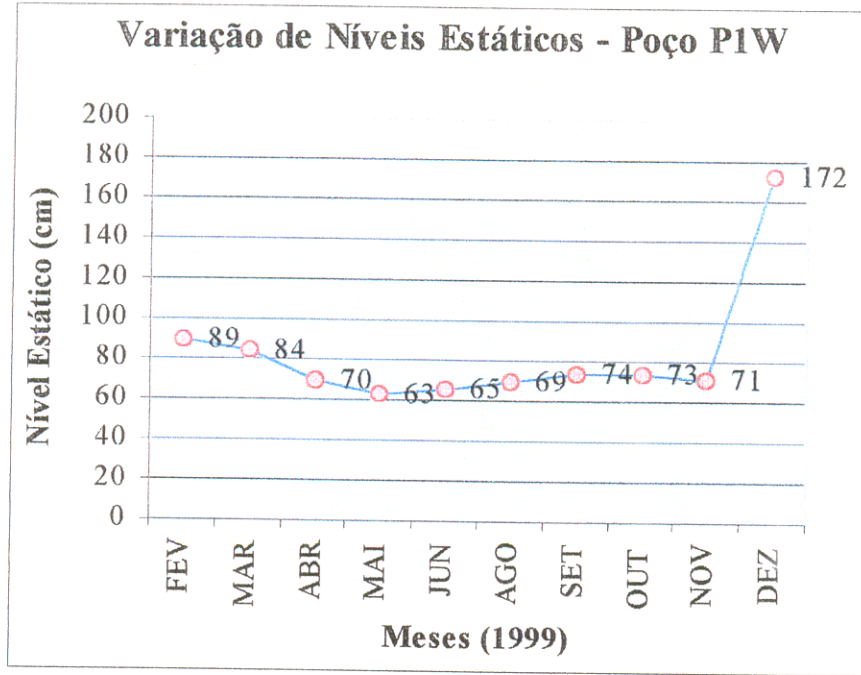


Figura 7.4

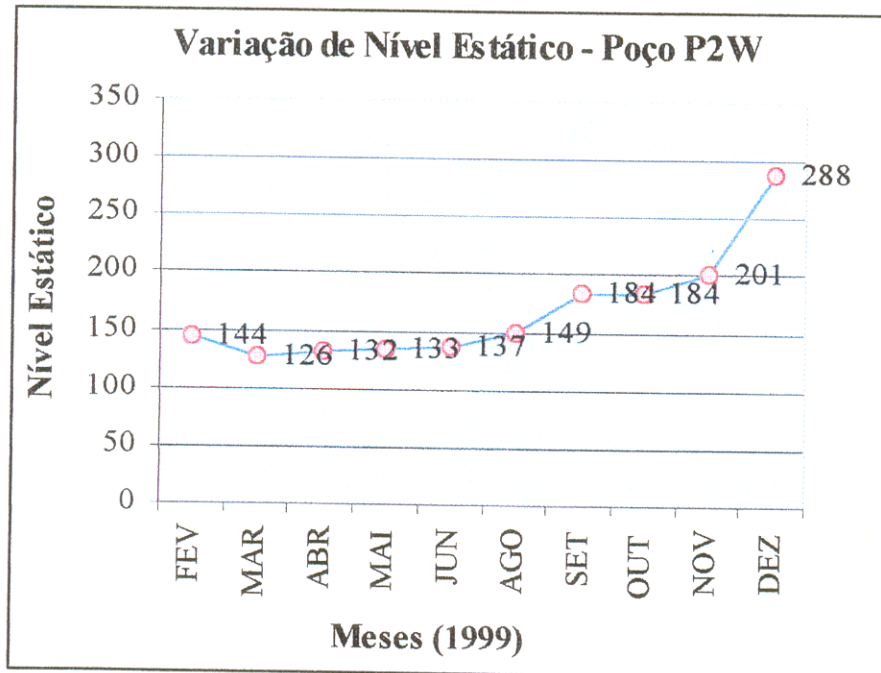


Figura 7.5

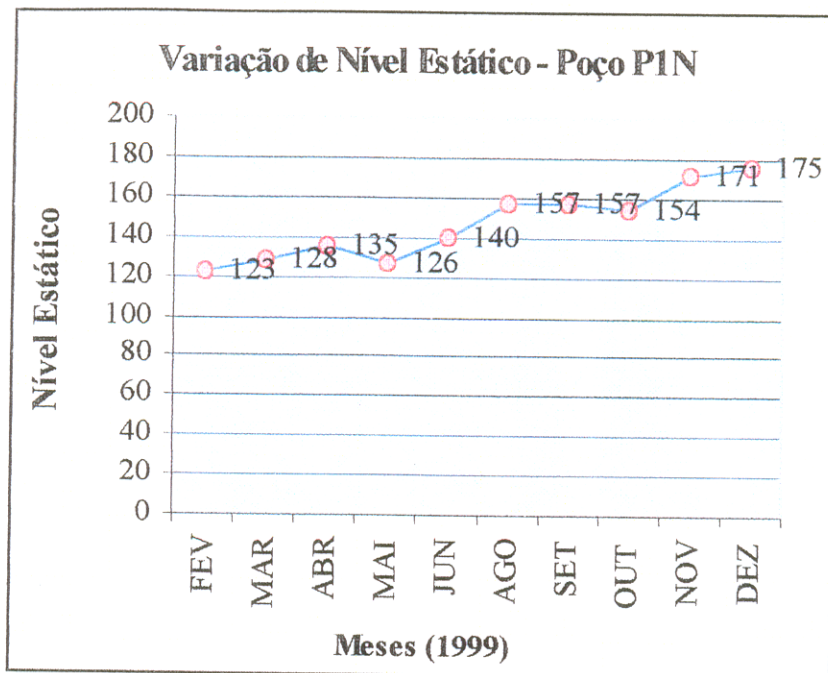


Figura 7.6

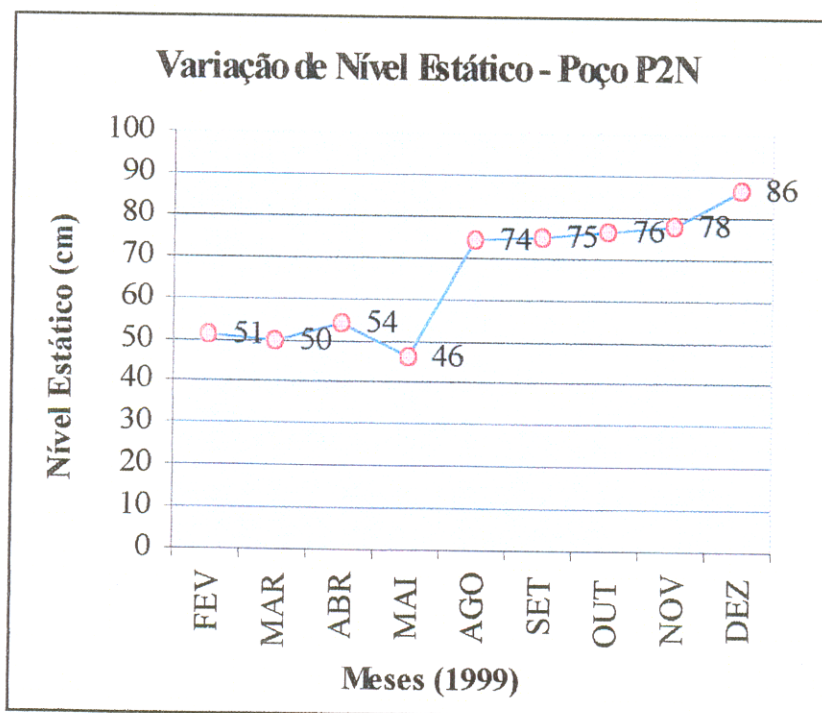


Figura 7.7

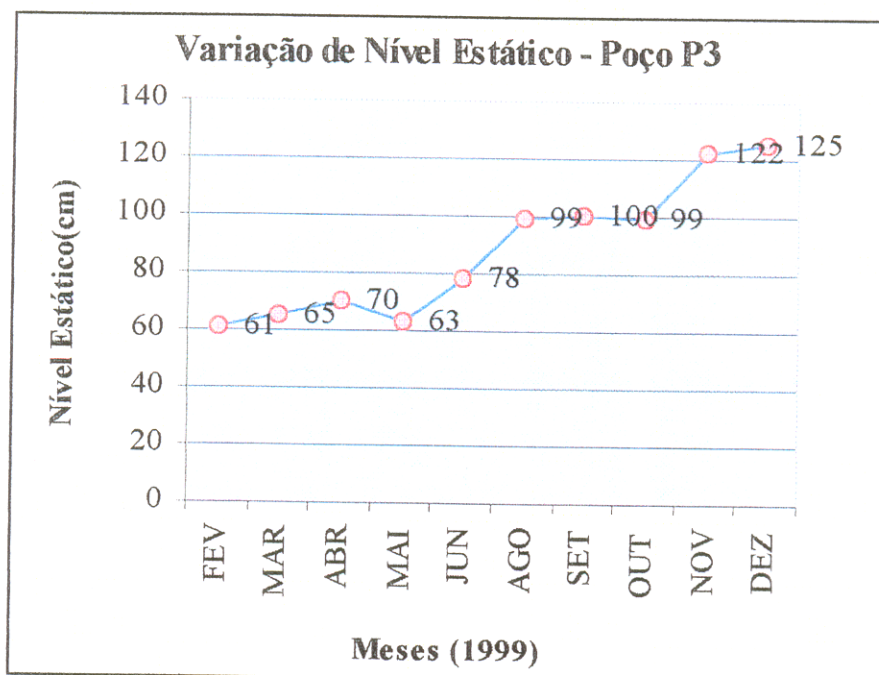


Figura 7.8

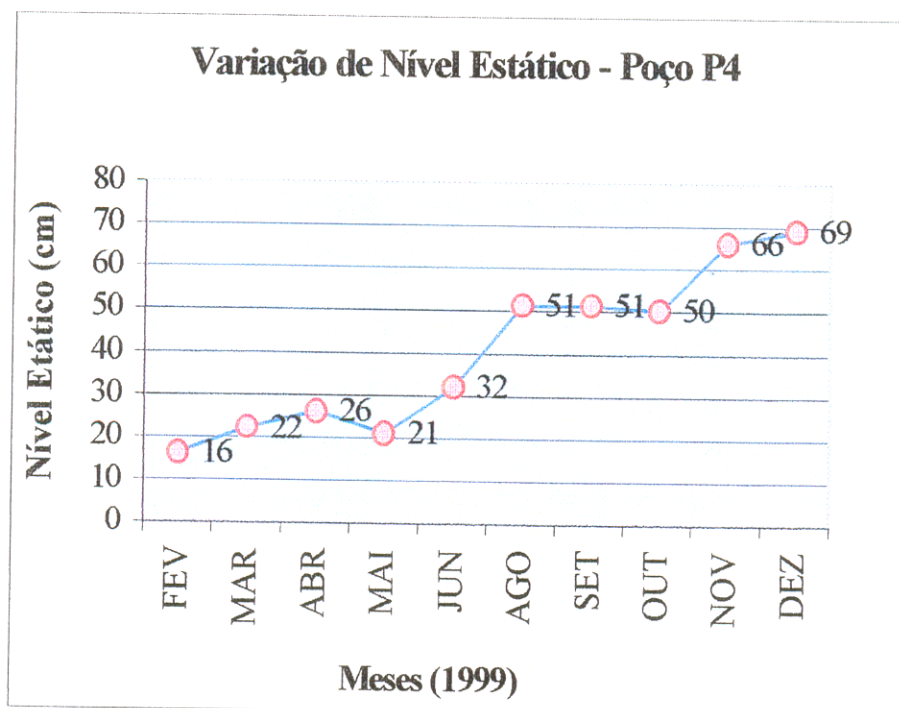


Figura 7.9

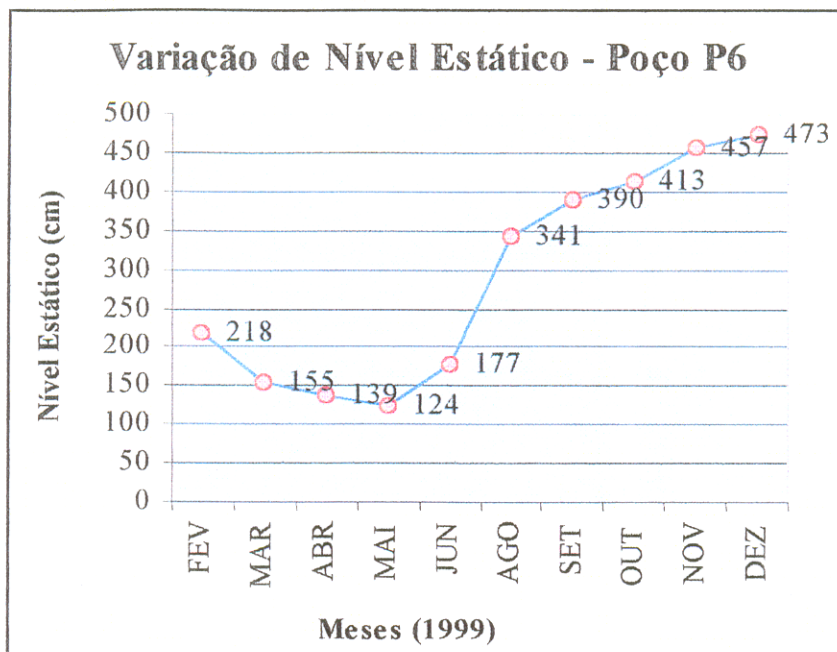


Figura P6

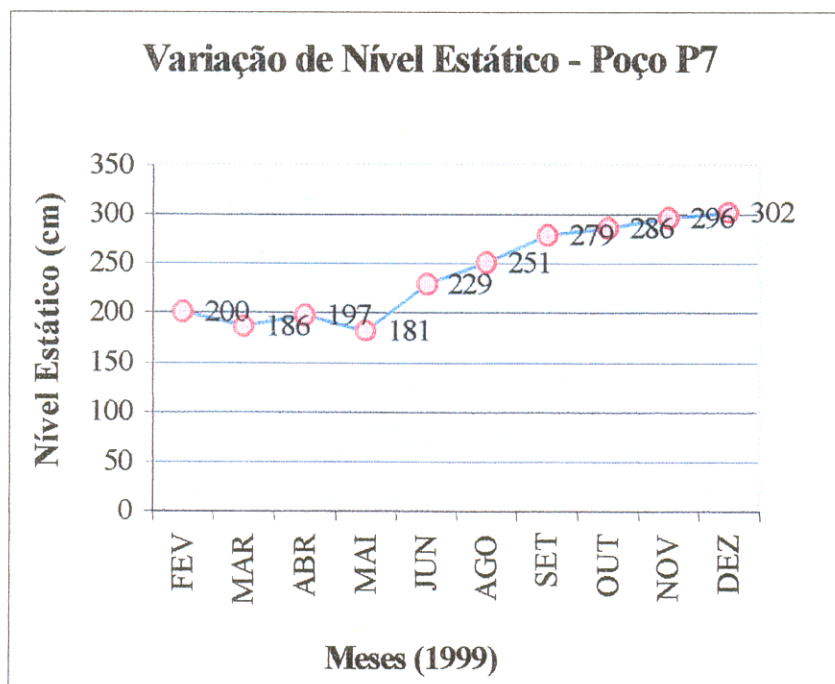


Figura 7.11

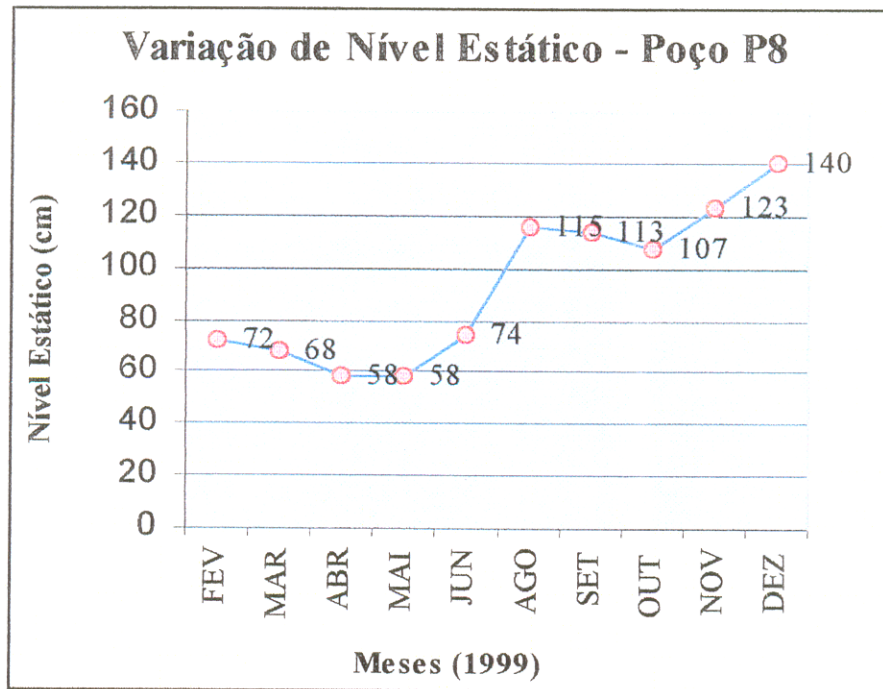


Figura 7.12

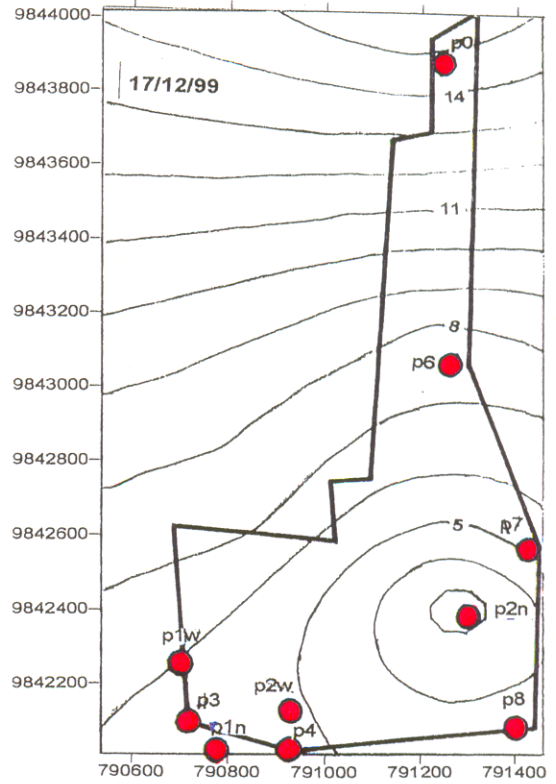
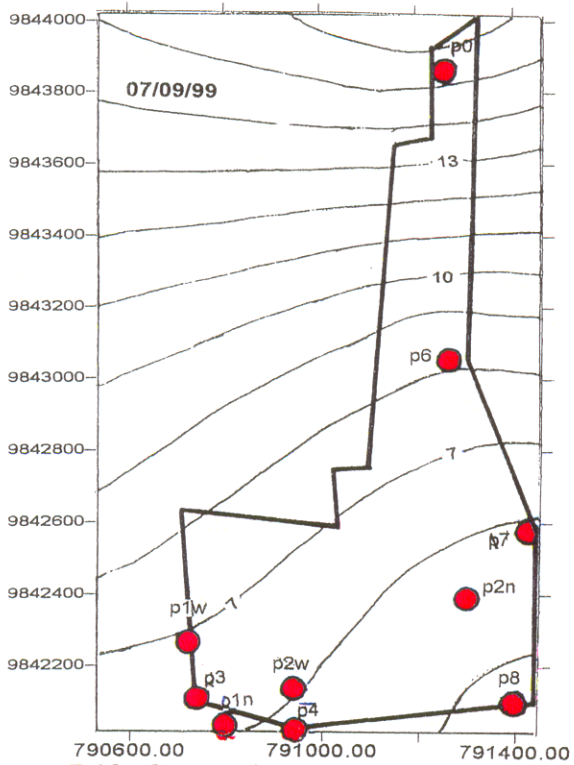
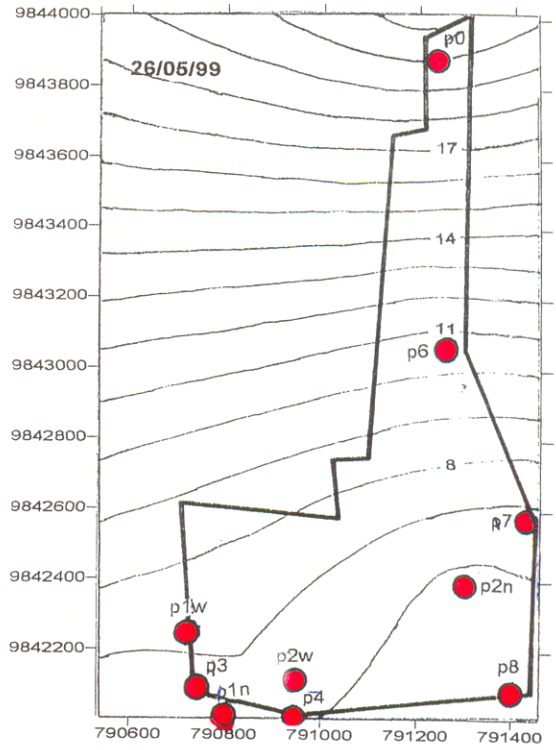
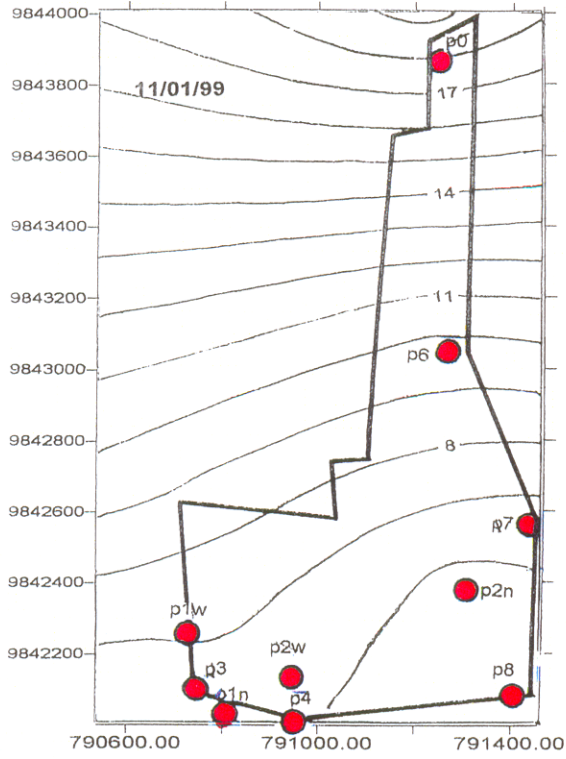


Figura 7.13- Curvas de Equipotenciais Hidráulicos.

1º Semestre: Meses de Janeiro e Maio
2º Semestre: Meses de Setembro e Dezembro

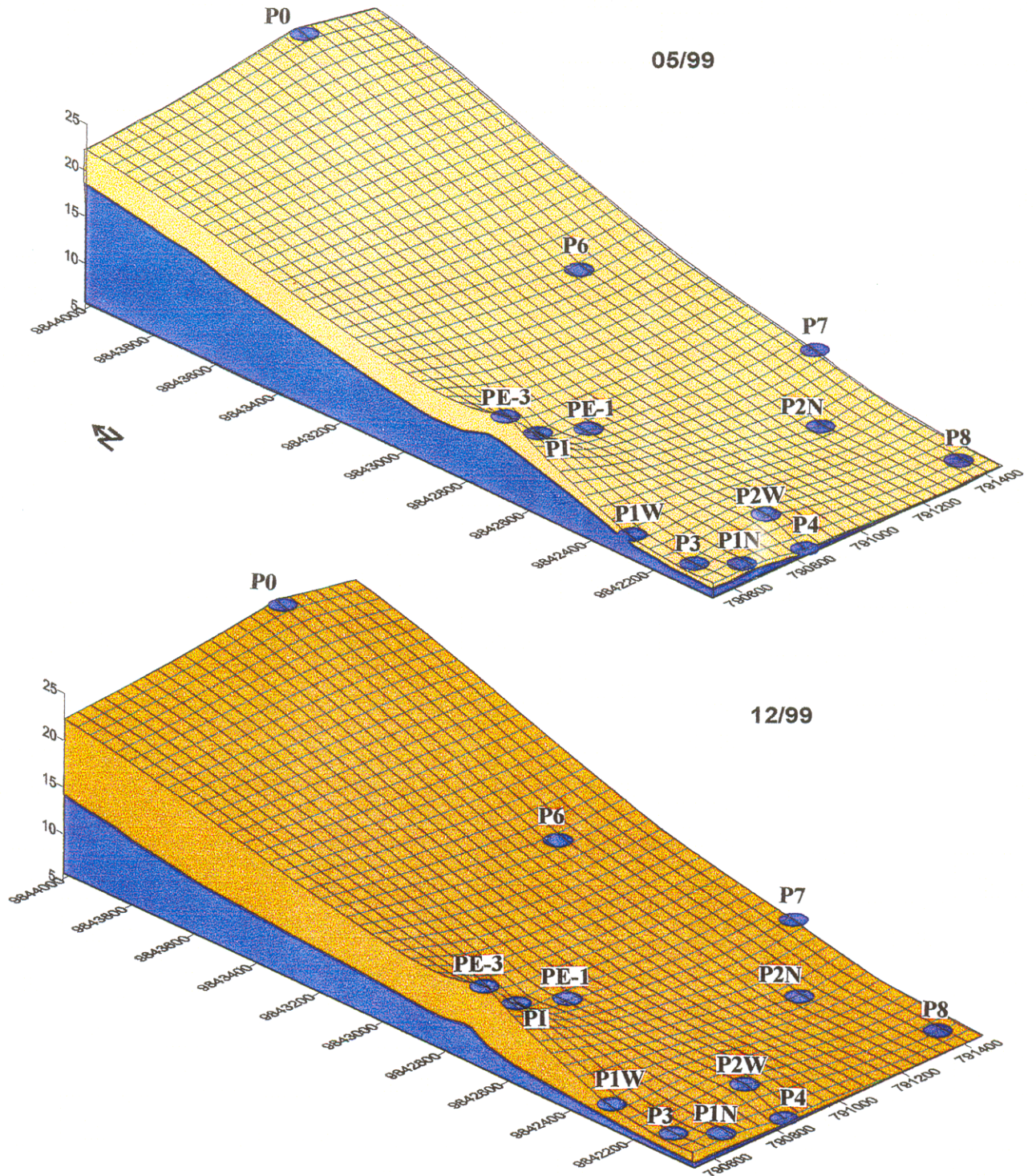


Figura 7.14 : Blocos Diagramas Tridimensionais - Visualização da variação de níveis estáticos nos poços monitorados, relativos aos períodos de chuva (Maio/99) e estiagem (Dezembro/99), modificado de PIRATOBA MORALES, 2000.

7.2- DETERMINAÇÃO DAS CONSTANTES HIDRODINÂMICAS.

7.2.1- Condutividade Hidráulica e Transmissividade.

Tabela 7.4: Valores obtidos através de Análise Granulométrica.

Amostra	Prof.(cm)	D40 %retido	D90 %retido	C.U D40/D90	D10	K (10^{-4} m/s)	T (10^{-3} m ² /s)
P1W	20-70	0.40	0.14	2.85	0.14	1.96	3.92
P1W	70-240	0.67	0.14	4.78	0.14	1.96	3.92
P1W	370-420	0.33	0.12	2.75	0.12	1.44	2.88
P1W	570-600	0.34	0.14	2.45	0.14	1.96	3.92
P1N	300-400	0.42	0.21	2.00	0.21	4.4	8.8
P1N	500-600	0.48	0.27	1.77	1.77	3.1	6.2
P1N	900-110	0.46	0.29	1.58	1.58	2.4	4.8
P1N	110-130	0.47	0.29	1.62	1.62	2.6	5.2
P2W	350-400	0.34	0.13	2.61	0.13	1.6	3.2
P2W	450-550	0.22	0.12	1.83	0.12	1.44	2.88

Tabela 7.5- Valores obtidos através do Ensaio de Bombeamento:

Poço	Condutividade (K) - m/s)	Transmissividade (T) (m ² /s)
P0	1.64×10^{-4}	3.28×10^{-3}

7.2.2- Porosidade:

Tabela 7.6: Valores de Porosidade Total obtidos através do ensaio com Picnômetro, utilizando amostras deformadas coletadas dos poços P1W E P1N.

Amostra	Porosidade Total
P1W	27%
P1N	27%

Tabela 7.7: Valores de Porosidade Total obtidos através do ensaio com Cilindro Metálico, utilizando amostra indeformada coletada na área do depósito de lixo do Aurá .

Volume de amostra indeformada	163,36 cm ³
Volume Real	100 cm ³
Porosidade Total	38.7%

7.2.3 - Condutividade Hidráulica.

Tabela 7.8 : Para a Zona Insaturada:

Furos	Cond. Hidráulica (cm/s)
01	$1,5 \times 10^{-5}$
02	$1,2 \times 10^{-5}$
03	$1,8 \times 10^{-4}$

Tabela 7.11: Para a Zona Saturada:

Poço	L (m)	To (s)	Kh (m/s) (m= $\sqrt{100}$)	Kh (m/s) (m= $\sqrt{10}$)
P2W	200	104	7.0×10^{-4}	4.4×10^{-4}

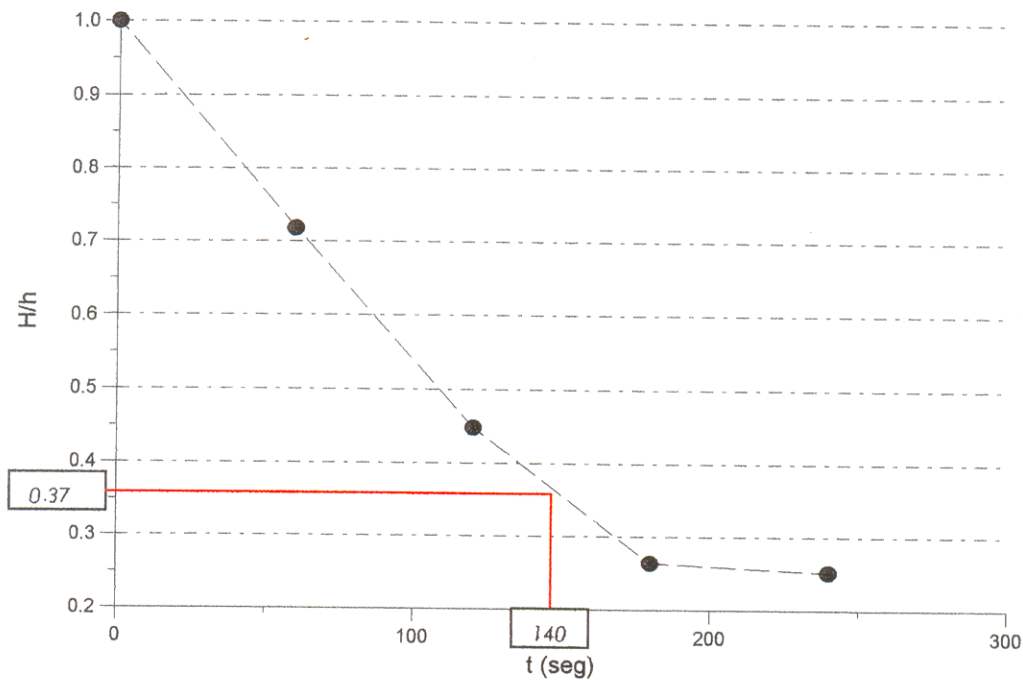


Figura 7.15: Gráfico da Curva de Infiltração – Método “ Slug-test ” (Condutividade em Zona Saturada)

7.2.4- Velocidades de Escoamento de Fluxo Subterrâneo.

Tabela 7.12: Para os poços em que foram executadas análises granulométricas.

Poços	Gradiente	Mês	Vap (m/a)	Vr (m/a)
P1W e P2W	0.2	Março	12	45
	0.7	Novembro	43	160
P1N e P1W	0.3	Março	18	68
	0.7	Novembro	43	160
P1N e P2N	0.1	Março	6	23
		Novembro	12	45

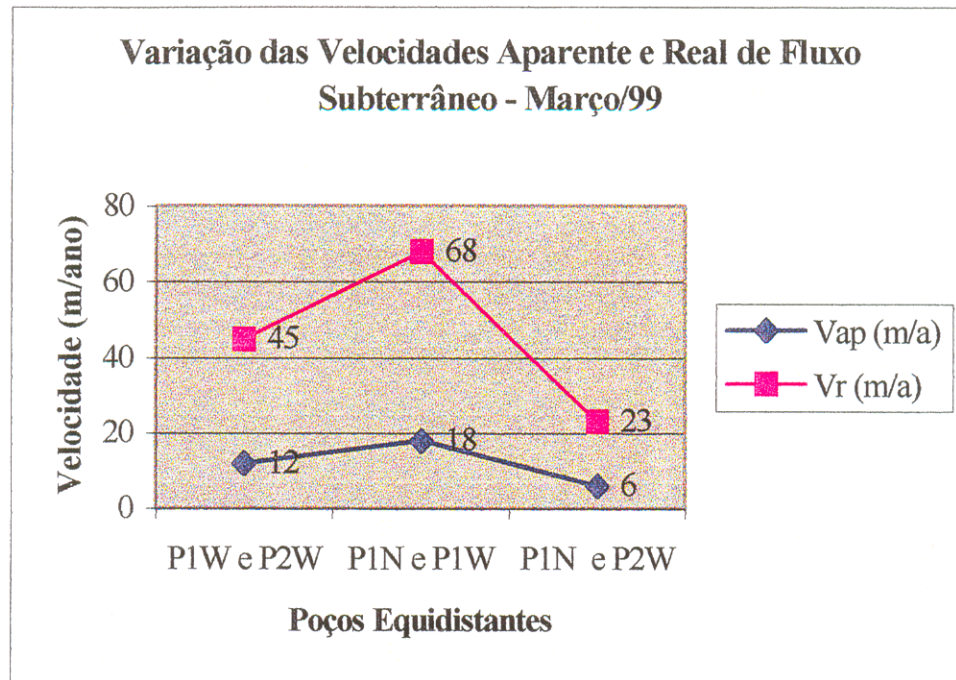


Figura 7.16

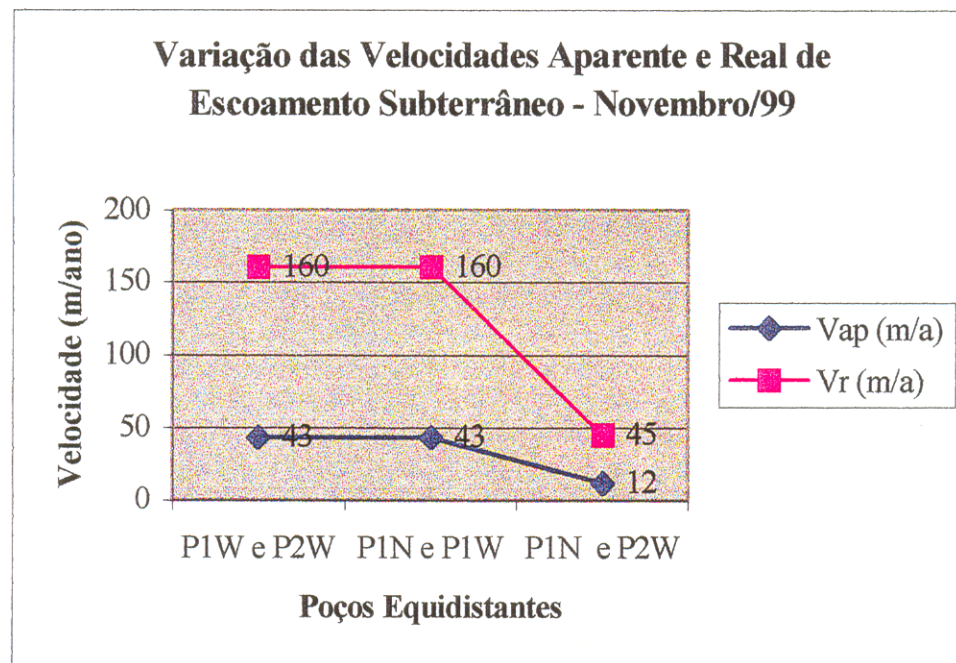


Figura 7.17

Tabela 7.13: Para os demais poços.

Poços	Gradiente	Mês	Vap (m/a)	Vr (m/a)
P0 e P6	0.5	Março	31	113
	0.9	Novembro	54	206
P6 e P1W	0.1	Março	6	23
	0.6	Novembro	37	137
P0 e P4	0.3	Março	18	68
	0.7	Novembro	43	160
P6 e P7	0.1	Março	6	23
	0.5	Novembro	31	114
P0 e P8	0.3	Março	18	68
	0.7	Novembro	43	160
P6 e P1N	0.4	Março	24	91
	0.4	Novembro	24	91

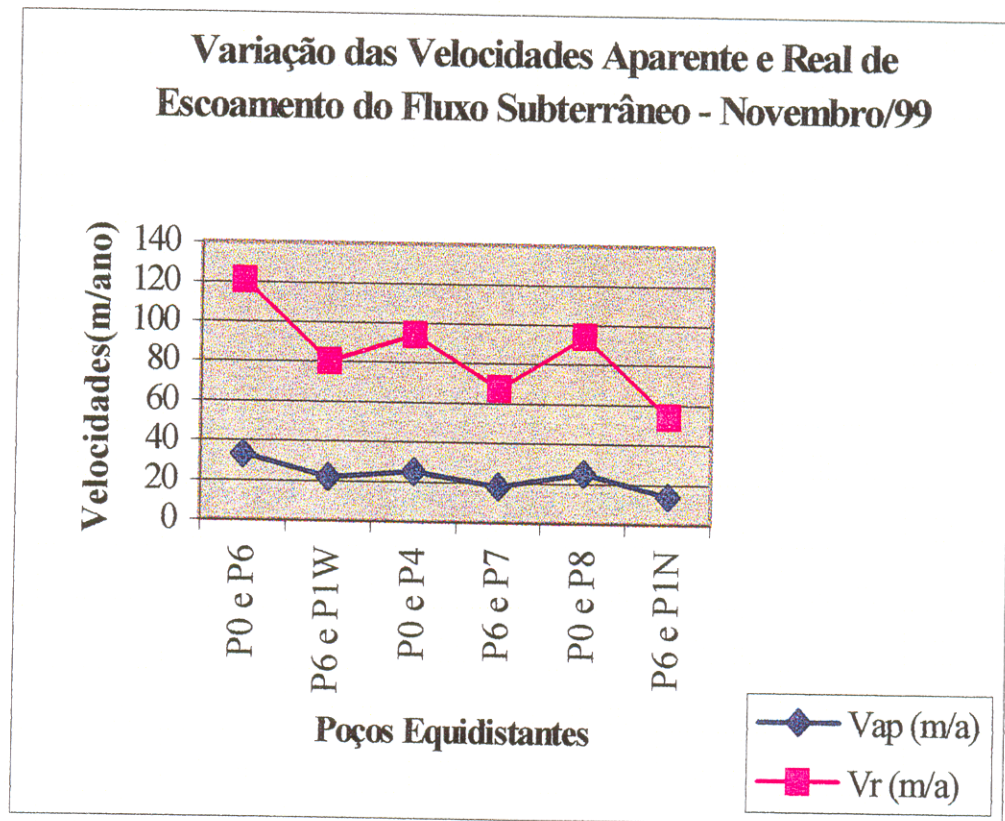


Figura 7.18

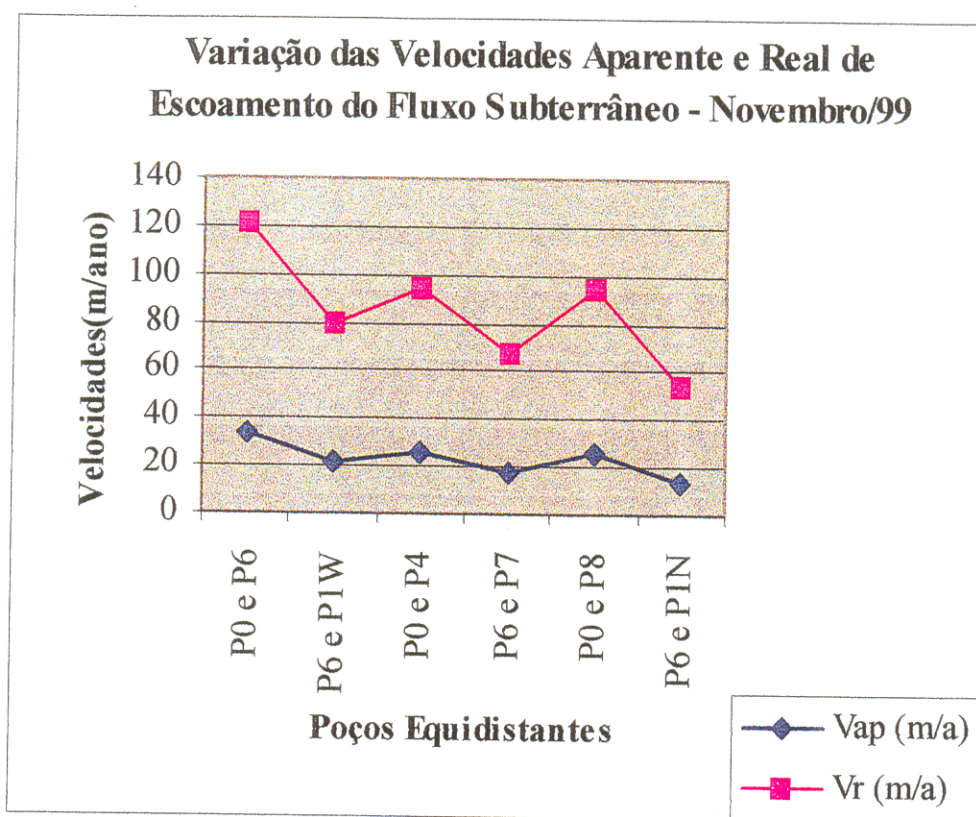


Figura 7.19

7.2.5- Ensaio de Bombeamento.

Tabela 7.14 : Dados btidos no bombeamento do Poço P0.

Ensaio de Bombeamento – Poço P0		
Vazão: 4.28 m ³ /h		
Nível Estático: 6.10 m		
Distância do Poço Bombeado: 0.1 m		
Tempo de Bombeamento (min)	Nível Dinâmico (m)	Rebaixamento (m)
1.00	7.08	0.98
2.00	7.10	1.00
3.00	7.13	1.03
4.00	7.13	1.03
5.00	7.12	1.02
10.00	7.13	1.03
15.00	7.13	1.03
20.00	7.13	1.03
30.00	7.12	1.02
40.00	7.12	1.02
50.00	7.13	1.03
60.00	7.13	1.03
70.00	7.14	1.04
80.00	7.17	1.07
90.00	7.17	1.07
105.00	7.16	1.06
120.00	7.16	1.06
135.00	7.16	1.06
155.00	7.16	1.06
175.00	7.16	1.06
195.00	7.16	1.06
215.00	7.15	1.05
240.00	7.14	1.04
265.00	7.14	1.04
295.00	7.14	1.04
325.00	7.12	1.02
365.00	7.13	1.03

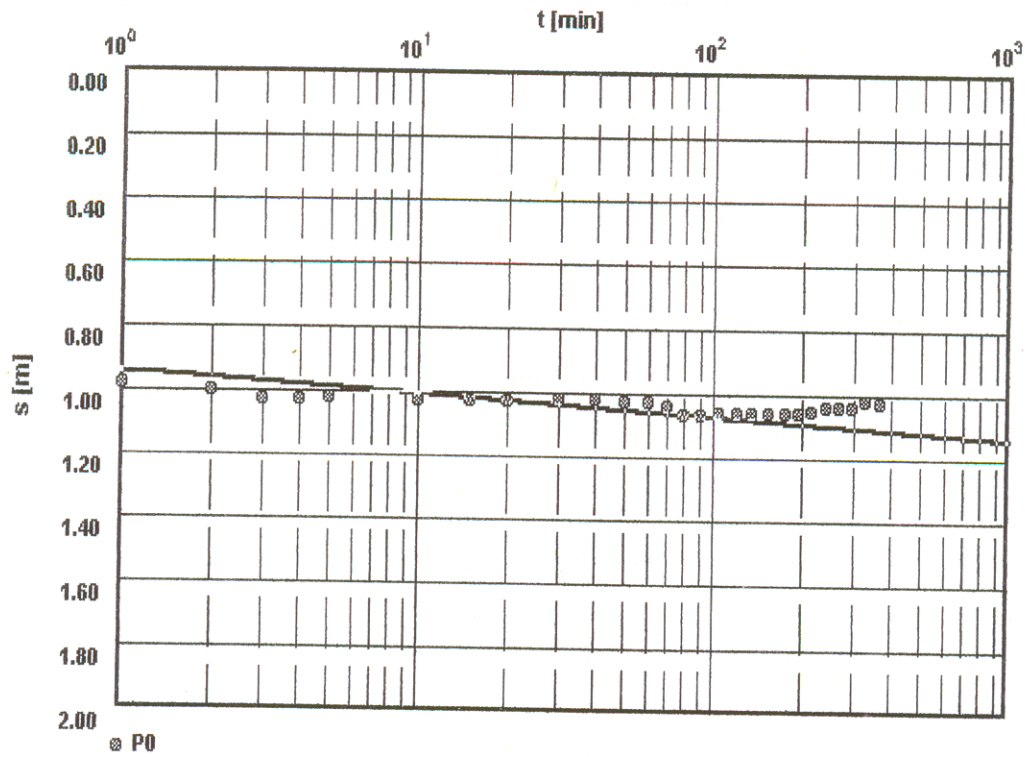


Figura 7.20: Gráfico da Curva de Rebaixamento x Tempo (obtida no ensaio)

PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS OBTIDOS

Transmissividade Hidráulica = 1.97×10^{-1} (m²/min) = 3.28×10^{-3} (m²/seg)

Condutividade Hidráulica = 9.89×10^{-3} (m/min) = 1.64×10^{-4} (m/seg)

Espessura da Camada Aqüífera (m) = 20

Coefficiente de Armazenamento: 2.61×10^{-3}

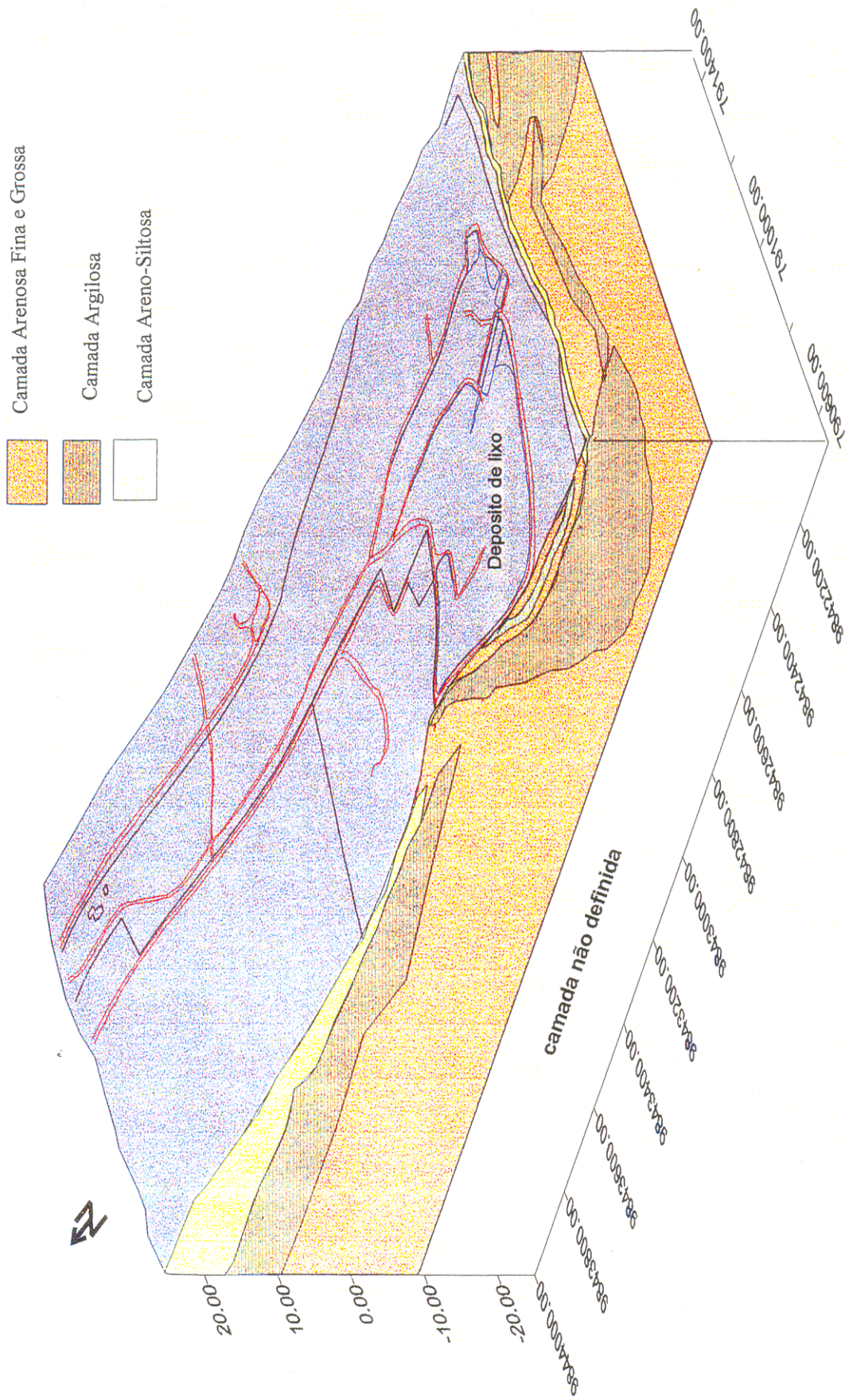


Figura 7.21 : Esquema Tridimensional visualizando o comportamento dos aquíferos presentes na área do “Depósito de Lixo do Aurá”, modificado de PIRATOBA, 2000.

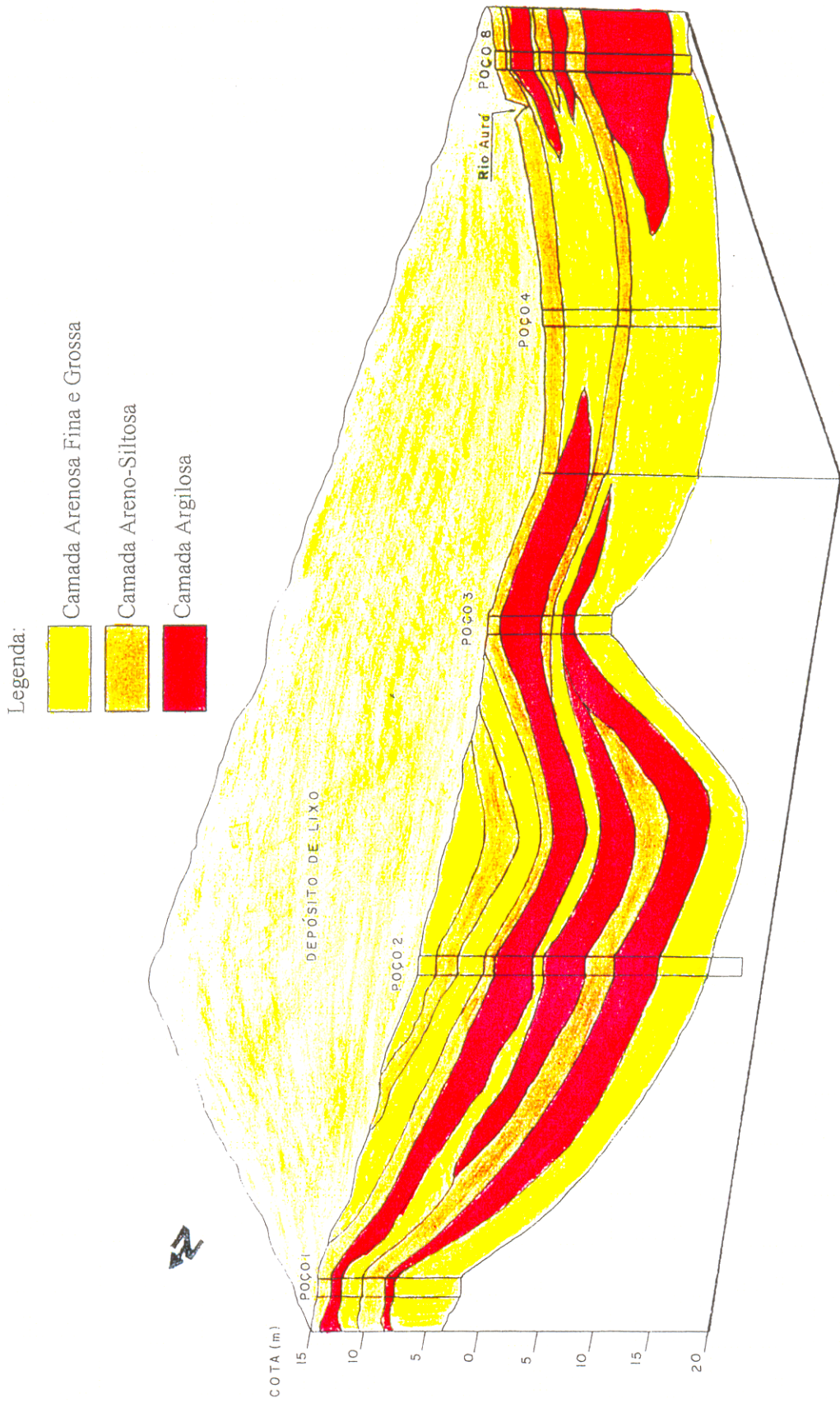


Figura 7.22- Esquema Geométrico traçado para os Aquíferos na área do Aurá, a partir dos dados de análise geofísica, obtidos no trabalho realizado por BASTOS, 1991, visualizando os poços P1; P2; P3; P4 e P8

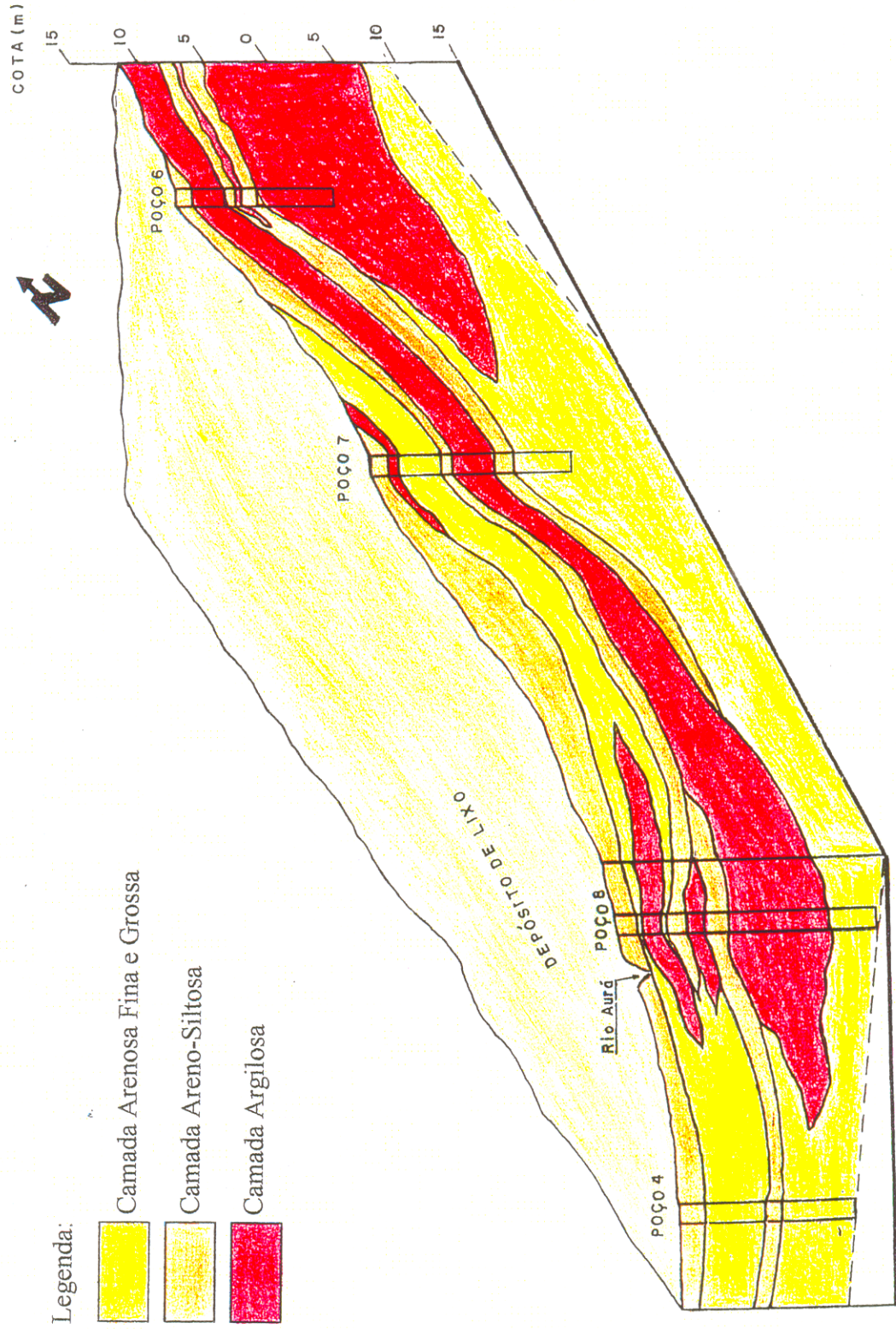


Figura 7.23- Esquema Geométrico traçado para os Aquíferos na área do Aurá, a partir dos dados de análise geofísica, obtidos no trabalho realizado por BASTOS, 1991, visualizando os poços P4; P8; P7 e P6

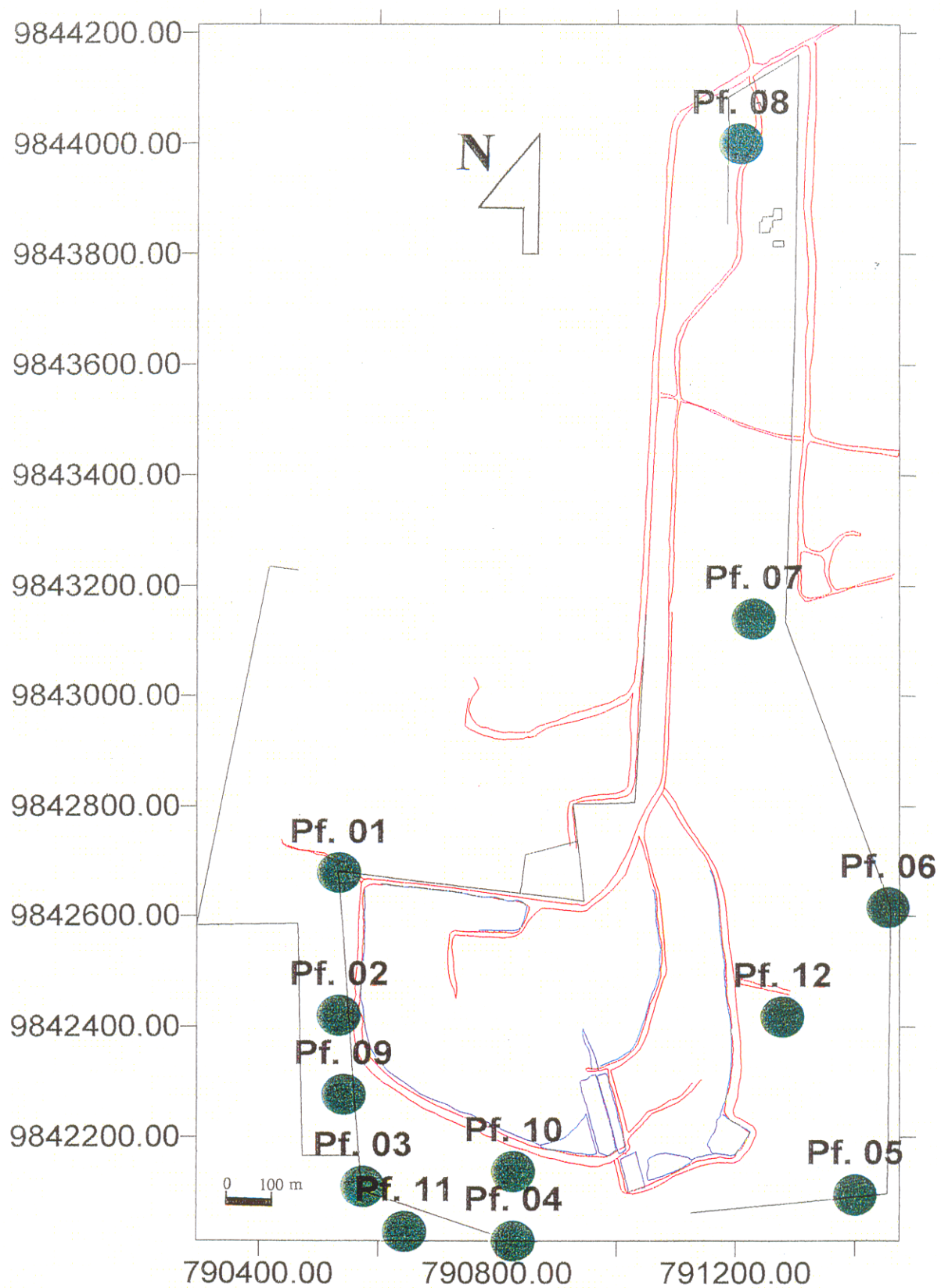


Figura 7.24 : Posicionamento dos Poços (PIRATOBA MORALES, 2000)

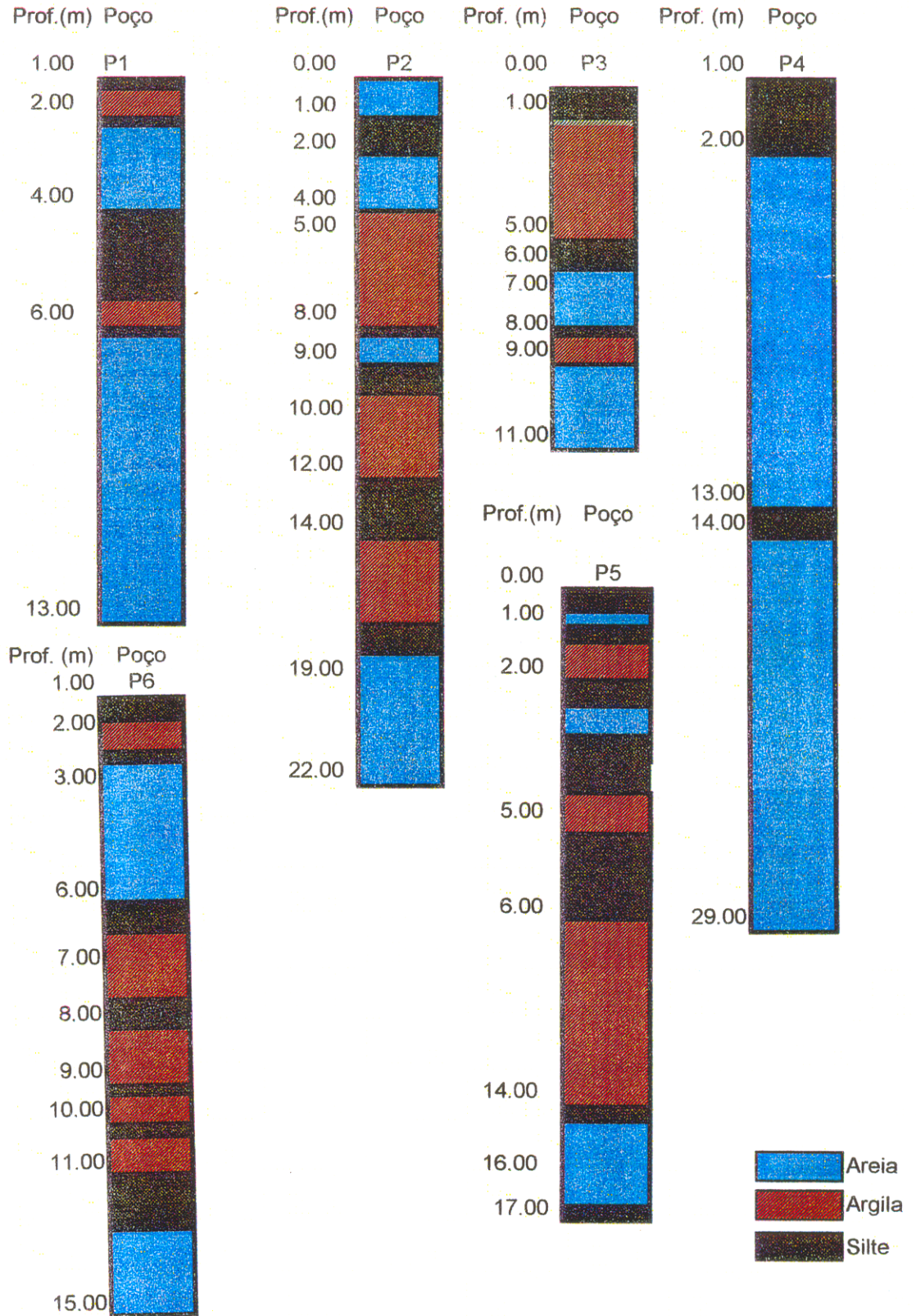


Figura 7.25- Perfis dos Poços Monitorados

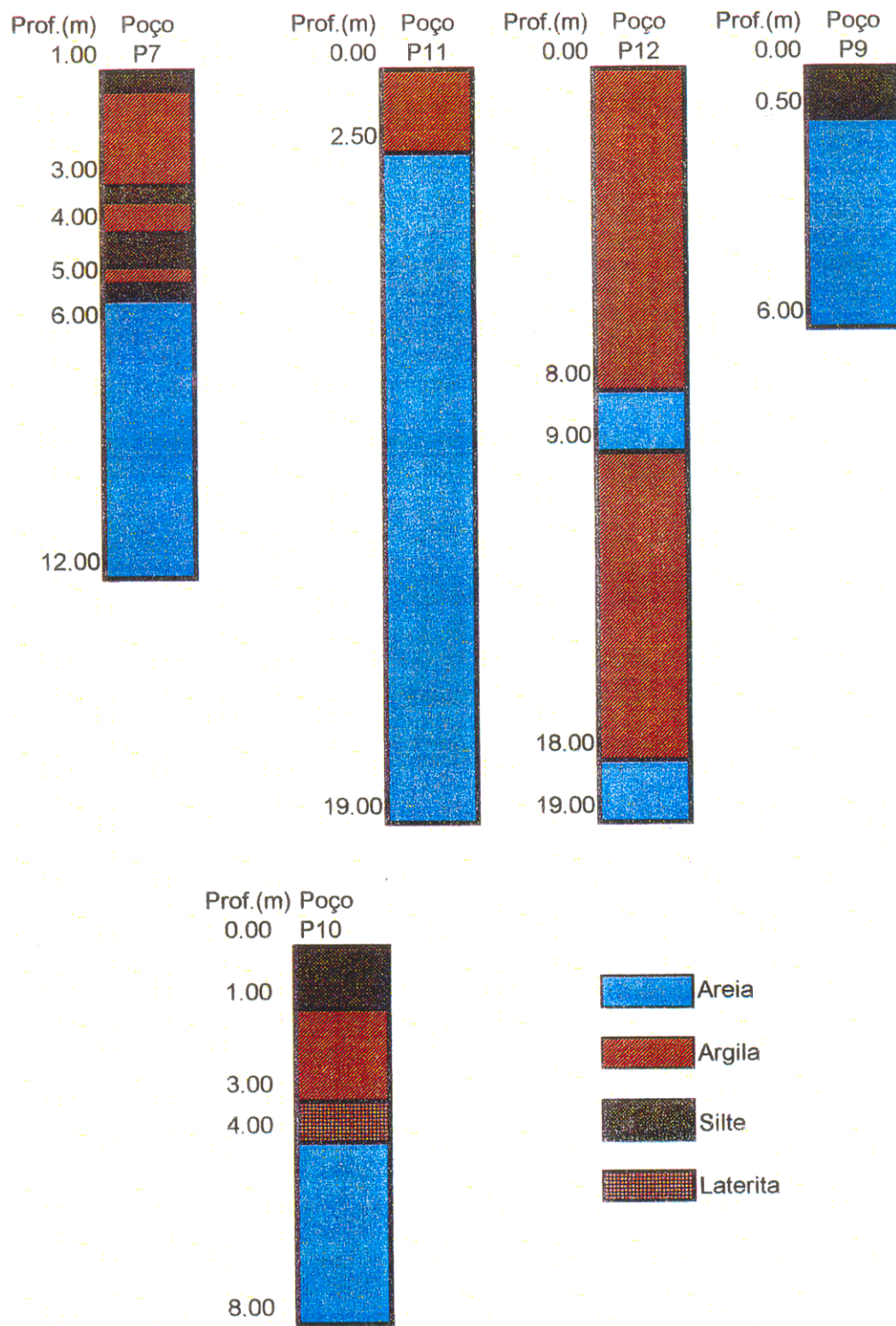


Figura 7.26- Perfis dos Poços Monitorados

9- CONCLUSÕES.

- 1- De acordo com os resultados obtidos no levantamento altimétrico e variações de níveis estáticos, que puderam ser observados nos poços monitorados, verifica-se que os poços P0 e P6, situados na zona Norte do depósito de lixo, têm correlação com a curva de precipitação, possibilitando mostrar que nesta área existem aquíferos livres e também a ocorrência de uma zona de recarga.
- 2- As variações mais significantes de nível estático foram constatadas nos poços P0 e P6, o que pode ser relacionado aos maiores valores altimétricos que são verificados nestes poços e também em virtude de suas localizações em zona de recarga.
- 3- Nos demais poços foi observado que existe uma relevante relação entre o nível estático e as condições pluviométricas, visto que foram verificadas elevações significantes de valores de níveis estáticos no período chuvoso, ocorrendo um decréscimo no período de estiagem.
- 4- Foi observado que a cota 20 metros é a mais elevada na área em que estão situados os poços P0 e P6, onde não há outro tipo de recarga além da precipitação.
- 5- Analisando a profundidade (20 metros) apresentada pela maioria dos poços utilizados no monitoramento, é possível verificar que o aquífero presente nestes poços pertence ao Grupo Barreiras, visto que esta formação atinge na região de Belém uma profundidade de aproximadamente 100 metros, o qual é composto basicamente por areias, argilas, siltes, argilitos, arenitos e concreções ferruginosas.
- 6- A semelhança estratigráfica observada na área, a qual foi analisada através dos perfis de poços construídos nas adjacências do depósito (zonas Norte e Sul), juntamente com os esquemas tridimensionais desenvolvidos para facilitar a visualização do comportamento das camadas do terreno, permitem constatar que há a predominância de um aquífero livre, o qual apresenta-se em alguns locais como aquífero confinado.

- 7- De acordo com o mapa de equipotenciais hidráulicos traçado para a área do Depósito de Lixo do Aurá, é possível afirmar que o fluxo das águas subterrâneas ocorre no sentido de Norte para Sul, em direção aos igarapés.
- 8- Os valores de Condutividade Hidráulica (K) obtidos para os aquíferos da área, tanto na análise granulométrica (onde esta constante variou de 1,44 a $4,4 \times 10^{-4}$ m/s), quanto no ensaio de bombeamento (o qual obteve valor de $1,64 \times 10^{-4}$ m/s), possibilitam fazer uma comparação, onde pode-se afirmar que há compatibilidade entre os valores obtidos, embora tenham sido determinados através de diferentes metodologias. Logo, é possível confirmar a existência de aquíferos com características hidrodinâmicas bastante semelhantes na área do Depósito de Lixo do Aurá.
- 9- Ainda em relação aos valores de Condutividade Hidráulica determinados na pesquisa, verifica-se que estes estão dentro dos parâmetros citados pela bibliografia (FETTER, 1988), que os classifica como sendo “areia bem distribuída”.
- 10- Os valores de Transmissividade obtidos para as amostras analisadas granulometricamente variam de $2,88 \times 10^{-3}$ a $8,8 \times 10^{-3}$ m²/s, enquanto que o valor obtido para este mesmo parâmetro no ensaio de bombeamento foi de $3,28 \times 10^{-3}$ m²/s. Portanto, verifica-se que o valor obtido no ensaio de bombeamento está dentro do intervalo de valores determinados na análise granulométrica, possibilitando mostrar que existe compatibilidade nos resultados, os quais podem ser constatados através dos valores obtidos para os dois ensaios.
- 11- A permeabilidade encontrada para a zona insaturada do solo obteve valores que variaram de 4,4 a $7,0 \times 10^{-2}$ cm/s, enquanto para a zona saturada houve variação de $1,2 \times 10^{-5}$ a $1,8 \times 10^{-4}$ cm/s.
- 12- As velocidades Aparente e Real de escoamento de fluxo subterrâneo relacionadas aos poços em que foi realizada análise granulométrica, apresentaram as respectivas variações: Vap. (6 a 43 m/ano) e Vr. (23 a 160 m/ano).

- 13- As velocidades Aparente e Real de escoamento de fluxo subterrâneo relacionadas aos demais poços existentes na área, apresentaram as seguintes variações: Vap. (6 a 54 m/ano) e Vr. (23 a 206 m/ano).
- 14- Os valores de Porosidade Total calculados para as amostras deformadas (n= 27%) e indeformada (n=38,7%), permitem classificar estes sedimentos como areia argilosa, de acordo com os dados referenciados pela bibliografia.

Areia = 25% e Argila = 50%
(United States geological Survey)

- 15- O valor obtido para o Coeficiente de Armazenamento ($S = 2,61 \times 10^{-3}$) no ensaio de bombeamento realizado no poço P0, possibilita dizer que o aquífero utilizado no ensaio é do tipo confinado.
- 16- Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos no ensaio de bombeamento realizado no poço P0, os quais apresentaram os seguintes valores: $Q = 4,28 \text{ m}^3/\text{h}$; $K = 1,64 \times 10^{-4} \text{ m/s}$; $T = 3,28 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e $S = 2,61 \times 10^{-3}$, indicam tratar-se de um aquífero que apresenta boas condições de produtividade para exploração de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ABGE, 1996. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.
- BASTOS, R. P. G. 1991. Mapeamento por método Geofísico, das camadas permeáveis na área do complexo de destino final de resíduos sólidos da Região Metropolitana de Belém. – UFPA. Centro de Geociências. (Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Geologia).
- BELÉM. Prefeitura. Plano Diretor Urbano do Município de Belém. 1993. 325 p.
- CABRAL, J. J. S. P. 1995. Simulação Computacional de Água Subterrânea Utilizando Métodos de Elementos de Contorno. Revista da Associação Brasileira de Água Subterrânea. Vol. I, n. 14, dez.
- CABRAL, C. 1995. Clima e Morfologia Urbana em Belém – Belém, UFPA.
- CASTRO NETO et al. (1984). Aterro Sanitário da Cyanamid Química do Brasil Ltda. (fábrica de Resende). In CONG. BRAS. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 3, Fortaleza, 1984, Anais. Fortaleza, ABAS, p 144 – 156.
- CETESB. 1978. 3º Edição S. Paulo/Brasil – Traduzida de Ground Water and Wells. (Johnson Division Co.). p. 147 – 151.
- CLEARY, R. W. 1991. Qualidade da Água Subterrânea: Hidrologia Ambiental, São Paulo: ABRH. V.3, p.211 – 296.
- CNEN. 1996. Comissão Nacional de Energia Nuclear.
- CUSTÓDIO, E. e LLAMAS, M. R (1976). Hidrologia Subterrânea. Ed. Omega, S. A., Casanova, 220, Barcelona – 11, España, 1: 565-575 e 2: 1929 –1930.
- DARCY, H. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris: V. Dalmont, 1856.
- DRISCOLL, G. Groundwater and Wells. 2 ed. St. Paul: Johnson Division, 1986. 1089 p.
- FADESP. 1998. Estudo Prévio de Impacto Ambiental do Projeto de Prolongamento da Avenida 1º de Dezembro. Universidade Federal do Pará – UFPA.
- ESPARTEL, L. . 1975. Curso de Topografia; Editora Globo; Porto Alegre, 1ª Edição. 4ª Impressão.
- FEITOSA, F. A. . C .1995. “Hidráulica de Poços”, Apostila do 2º Curso de Tecnologia Hidrogeológica Aplicada, UFPE/CPRM, Recife.
- FEITOSA, F. A. . C . e MANOEL, F. J. (1997). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 1ª Edição. Fortaleza: Editora Gráfica CLR.

- FETTER, C. V. 1993. Contaminant Hydrogeology, Macmillan, Publishing Company, New York. 458 p.
- FETTER, C. V. 1988. Applied Hydrogeology, Macmillan, Publishing Company, New York.
- GEILSON, J. A. D. 1997. Hidráulica e Construção de Poços. In: Curso de Especialização em Hidrogeologia. UFPA – p. 1-67.
- GUINGUER, N. 1987. Poluição das Águas Subterrâneas Causadas por Aterros Sanitários: uma abordagem matemático-experimental. (Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica – USP, inédita).
- GUYMON, G. L. 1994. Hydrology of the saturated zone. Irvine, CA. 200 p.
- GÓES, A. M. e TRUNCKENBRODT, W. 1980. Caracterização Faciológica e Interpretação Ambiental dos Sedimentos Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. In: CONG. BRAS.GEOL., 31. Camboriú, 1980, SBG., Vol. 2, p. 766-771.
- HIRATA, R. & BASTOS, C. (coords).(1992). Mapa de Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Relatório Final, IG, CETESB, DAEE. S. Paulo, 4V.
- HIRATA, R. 1997. Vulnerabilidade e Risco de Contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Brasil – Rio de Janeiro; 1 a 3 de Outubro/1997. p 26.
- HUTTER & FREESTON, R. (1990). Hydrothermal potential and trends. Intl. Symp., Hawaii, p. 56 – 62.
- IBGE. 1984. Anuário Estatístico do Município de Belém.
- IBGE. 1991. Pesquisa Agrícola Municipal. Rio de Janeiro, IBGE, listagem.
- IGREJA, H.S.L.; BORGES, M.S & ALVES, R. J.(1990). Estudos Neotectônicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro, Nordeste do Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990, SBG., Vol. 5, p. 2110-2123.
- L.C. BACAICOA et al. (1999). Depósitos de Lixos Urbanos: Caso do Lixão de Cana Brava - Salvador – BA. Anais do V Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa & VII Congresso Brasileiro de Geoquímica. UFBA. Porto Seguro – Bahia – Brasil. p. 26-27.
- LIMA, L.M.Q.1995. Lixo: Tratamento e Biorremediação. São Paulo: Hemus.
- LUIS, J. G & O . P. Verma. 1990 – Levantamento Geofísico, Ilha do Mosqueiro – Pará. FADESP, 9 p.
- MENEZES, L. B. 1985. Estudo de águas destinadas ao consumo da população das baixadas da cidade de Belém – PA (Bairro da Sacramento). Avaliação da qualidade sob os aspectos físico-

- químicos, bioquímico e bacteriológico. Belém. Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará. 145 p. (Tese de Mestrado).
- MESTRINHO, S.S.P. 1997. Contaminação de Aquíferos. In: Curso de Especialização em Hidrogeologia, UFPA; p. 1-83.
- NECHET, D. 1984. Variabilidade Diurna da Precipitação em Belém – Pará; Anais do III Congresso Brasileiro de Meteorologia – Belo Horizonte – MG; p. 204-211.
- OLIVEIRA, M.C.F. e SOUZA, P.F.S. (1997). Estudo de Possíveis Variações e Mudanças Climáticas em Belém – X CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA – PIRACICABA – SP; p. 410-412.
- OLIVEIRA, de M.C.F; ROCHA, da E.J.P; RIBEIRO, J.B.M e MOTA, G.V. (1995). Estudo das Alterações Meteorológicas Associadas à Urbanização de Belém – Pará; IX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA – Campina Grande – PB; p. 177-179.
- PARÁ-SEICOM. 1995. Secretaria de Estado de Indústria Comércio e Mineração, IBGE. – Plano Diretor de Mineração em Áreas Urbanas da Região Metropolitana de Belém e Adjacências: Projeto de Estudo do Meio Ambiente em Sítios de Extração de Materiais de Construção na RMB – Benevides, Estado do Pará, Relatório Final. Belém. 157 p.
- PARISOT, E. H; GUINGUER JR., N; REBOUÇAS, A . C; CABRAL JR. D.E Duarte. (1985). Monitoramento das Águas Subterrâneas Adjacentes ao Aterro Sanitário de Taubaté (SP) – Primeiros Resultados. Bol IG – USP. Série Científica, 16: 32-45.
- PIRATOBA, M. G. 2000. Avaliação dos Riscos de Poluição dos Recursos Hídricos, Solos e Sedimentos na área do Depósito de Lixo do Aurá. 155 p. (Tese de Doutorado em andamento).
- REBOUÇAS, A . C. 1988. Ground Water in Brasil, Episodes, Vol, II, n° 3, p 209-214.
- REBOUÇAS, A . C. 1996. Diagnóstico do Setor Hidrologia. Caderno Técnico. São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 46 p.
- ROSSETTI, D. de F.; GÓES, A . M.; & TRUNCKENBRODT, W. (1989). A influência marinha nos sedimentos Barreiras. Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi, Belém, vol. 2, p. 17-29. Série Ciências da Terra.
- SÁ, J. H. S. 1969. Contribuição aos Sedimentos Terciários e Quaternários da Região Bragantina. Bol. Inst. Geológico. Rio de Janeiro, 3: 21-36.
- SAUMA FILHO, M. 1996 – As águas subterâneas de Belém e adjacências: Influência da Formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para Medidas de Qualidade. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 128 p. Tese (Mestrado em Geoquímica) – Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFPA.

PMB. 1997. O Destino do Lixo na Metrópole de Belém, 1, Belém. P.M.B., p. 1-14.

SILVA, O . F. & LOWESTEIN, P. (1968). Contribuição á Geologia da Folha de São Luis (AS. 23), no Estado do Pará. Belém, Bol. nº 13, mepg, p. 1-17.

SOUZA, C, W.M.F. 1993. Correlação de Perfis Geofísicos de Poços da Área de Belém. Belém C.G. UFPA, 35 p.

SUGUIO, K. 1973. Introdução à Sedimentologia. São Paulo: Edgard Blücher, 317 p.

THORNTWAITE, C. W., MATHER, J.R. (1995). The water balance. Publ. in Climatology 8 (1) Lab. Of Climatology, Centerton, N.J.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, UFPA. 1993. Normas para editoração de teses no Centro de Geociências.

Anexos

Figura 01 e 02: Verificação de Nível Estático utilizando Medidor de Nível (Multímetro)



Figura 01

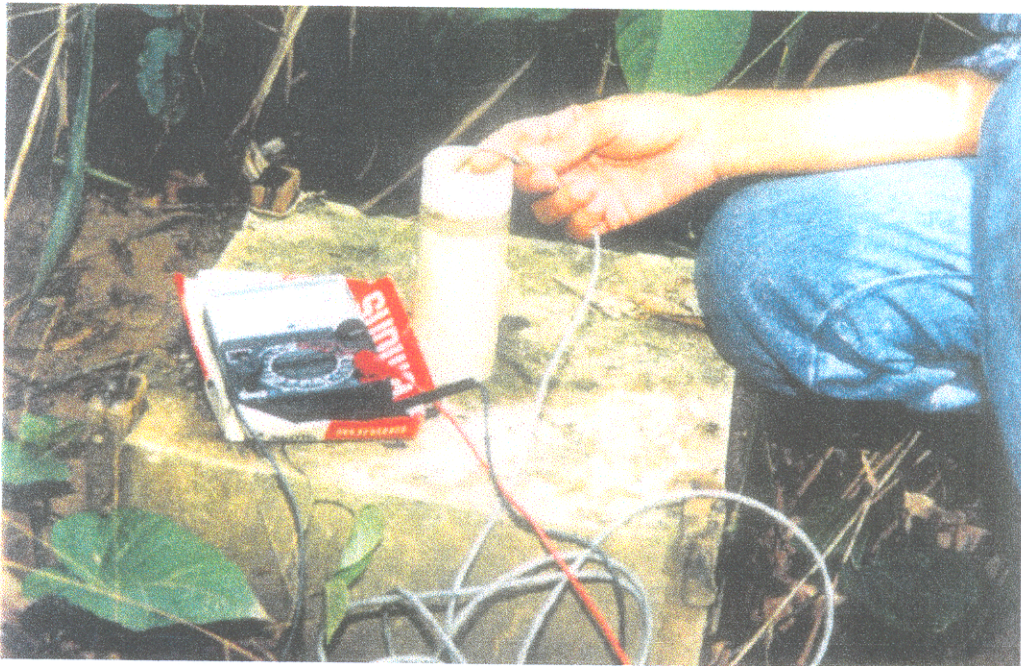


Figura 02

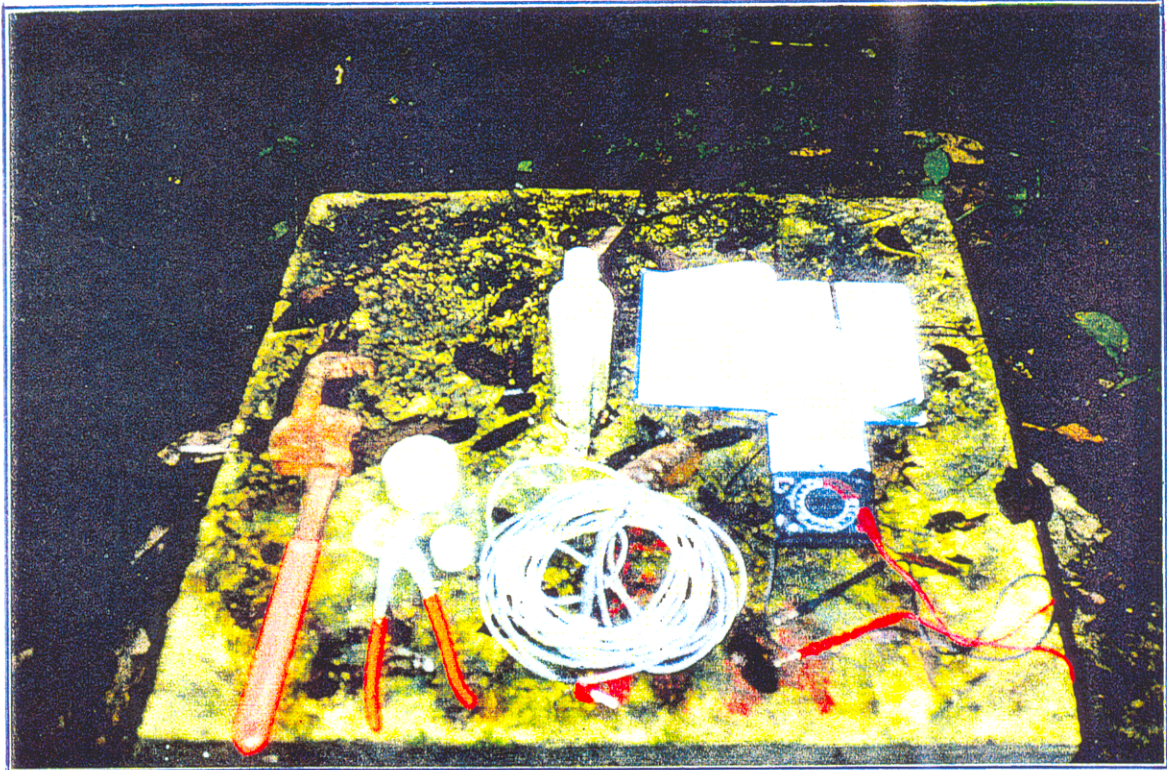


Figura 03: Medidor de Nível (Multímetro)



Figura 04: Verificação de Nível Estático Usando “Trena”.

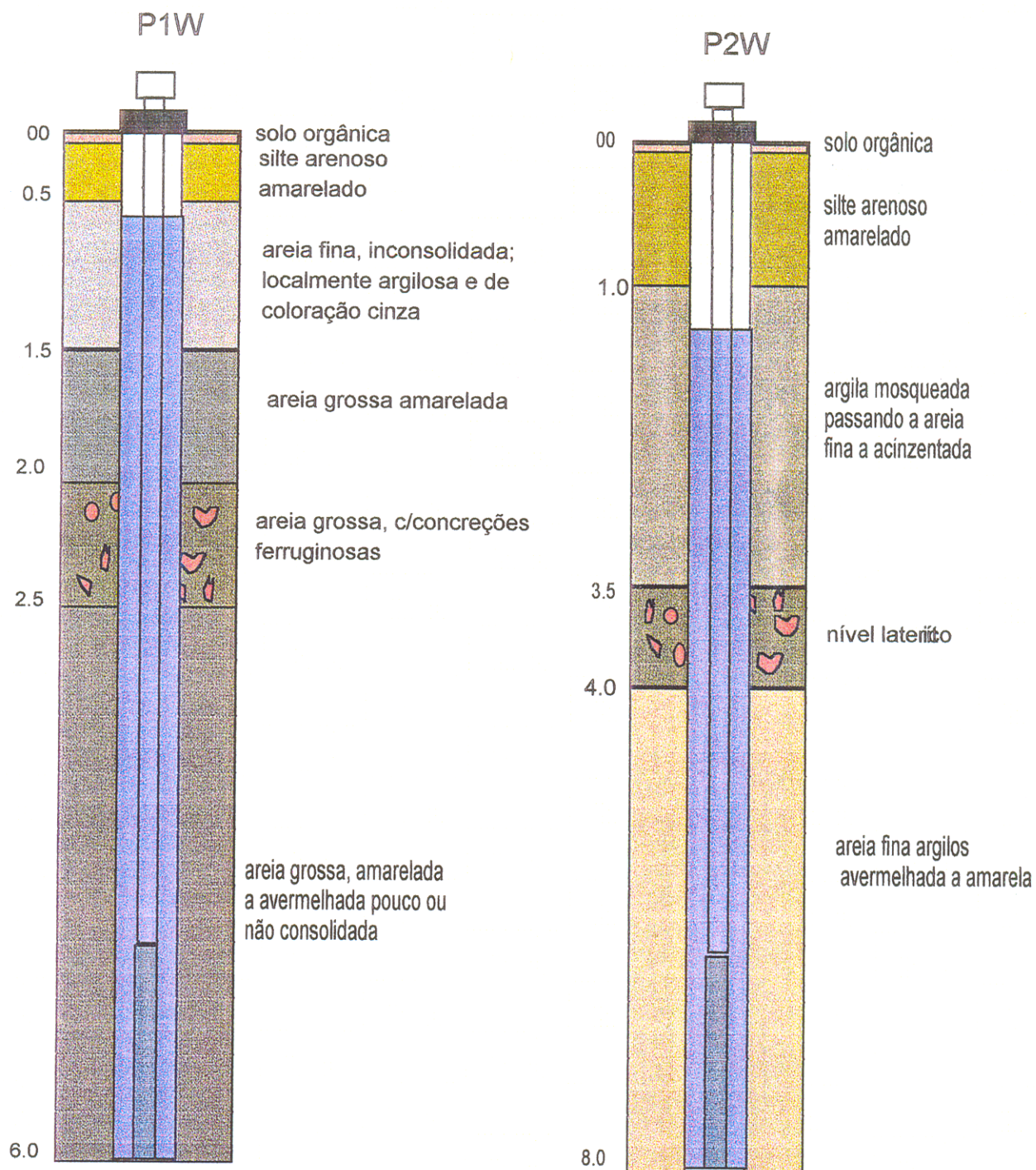


Figura 05: Perfil dos Poços P1W e P2W, utilizados na Análise Granulométrica.

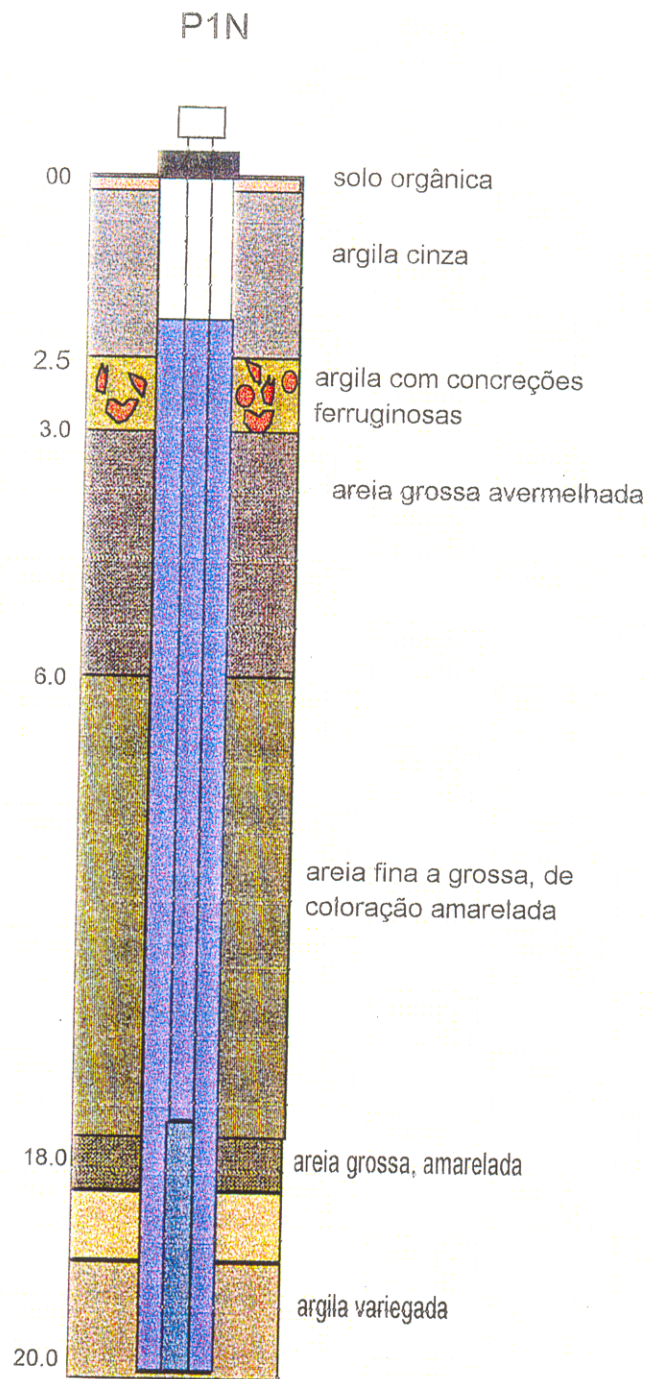


Figura 06: Perfil do Poço P1N, utilizado na Análise Granulométrica.



Figura 07: Ensaio de Bombeamento no Poço P0.



Figura 08: Área de Deposição de Lixo.



Figura 09: Lagoa de "Chorume"

Poços utilizados no Monitoramento



Figura 10 : Poço P2N



Figura 11 : Poço P1N



Figura 12 : Poço P1W

Histogramas de Distribuição Granulométrica

Poço P1W

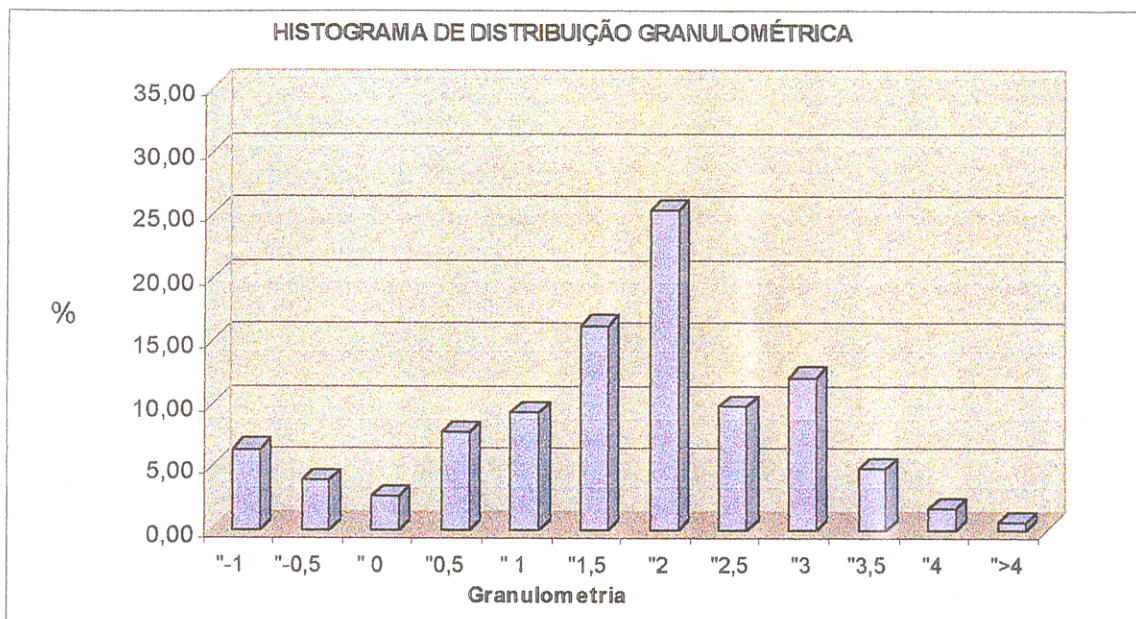


Figura 13: Amostra 02

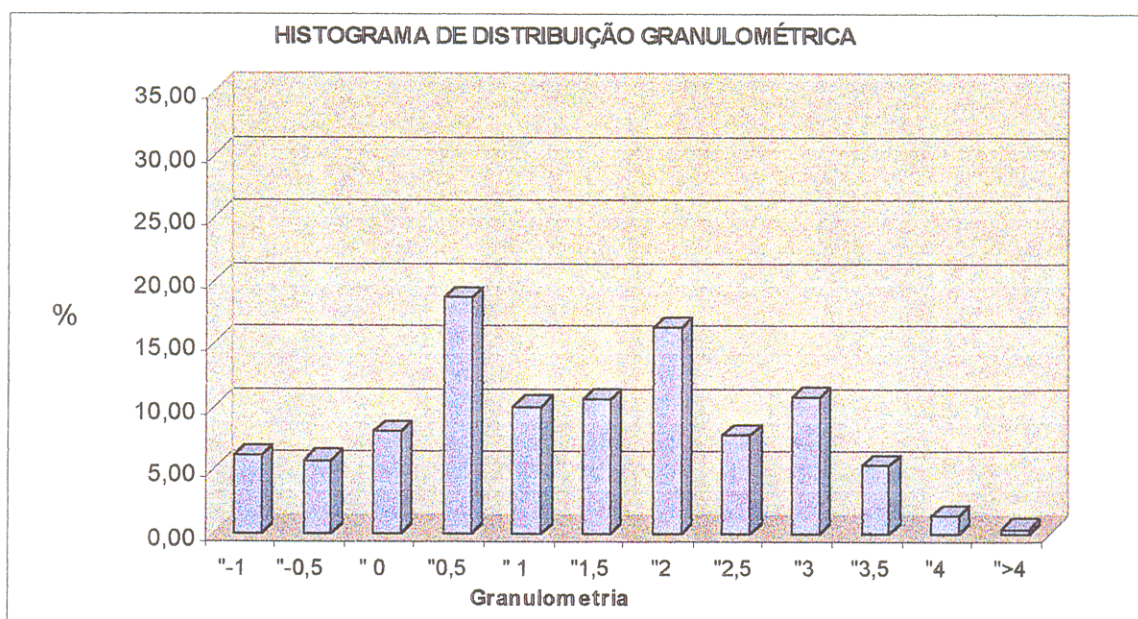


Figura 14: Amostra 03

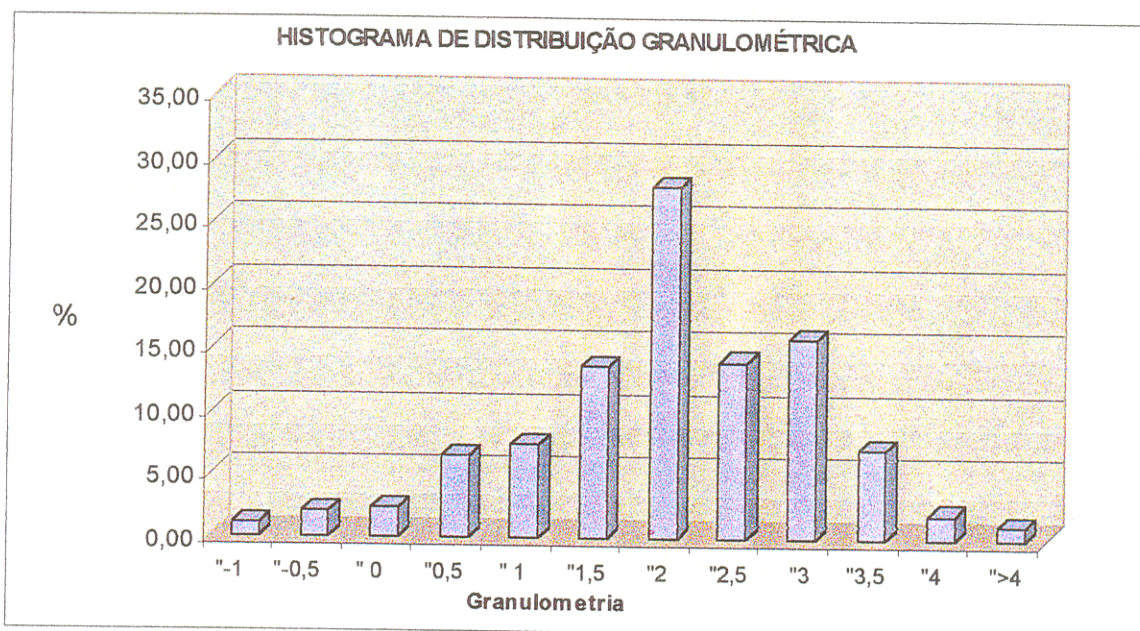


Figura 15 : Amostra 08

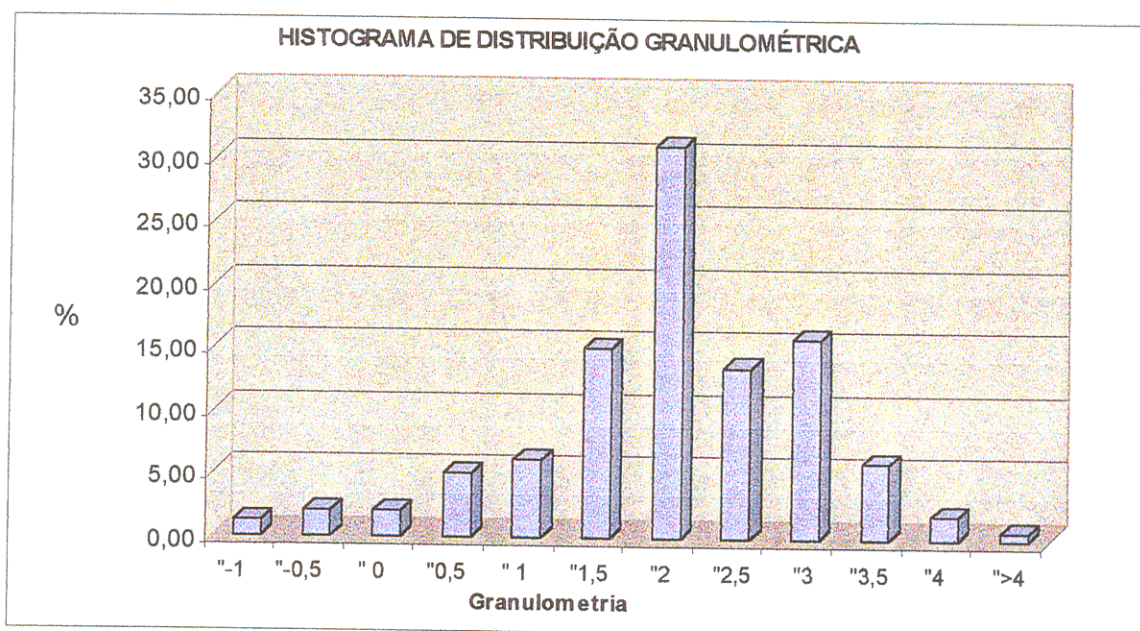


Figura 16: Amostra 09

Poço P2W

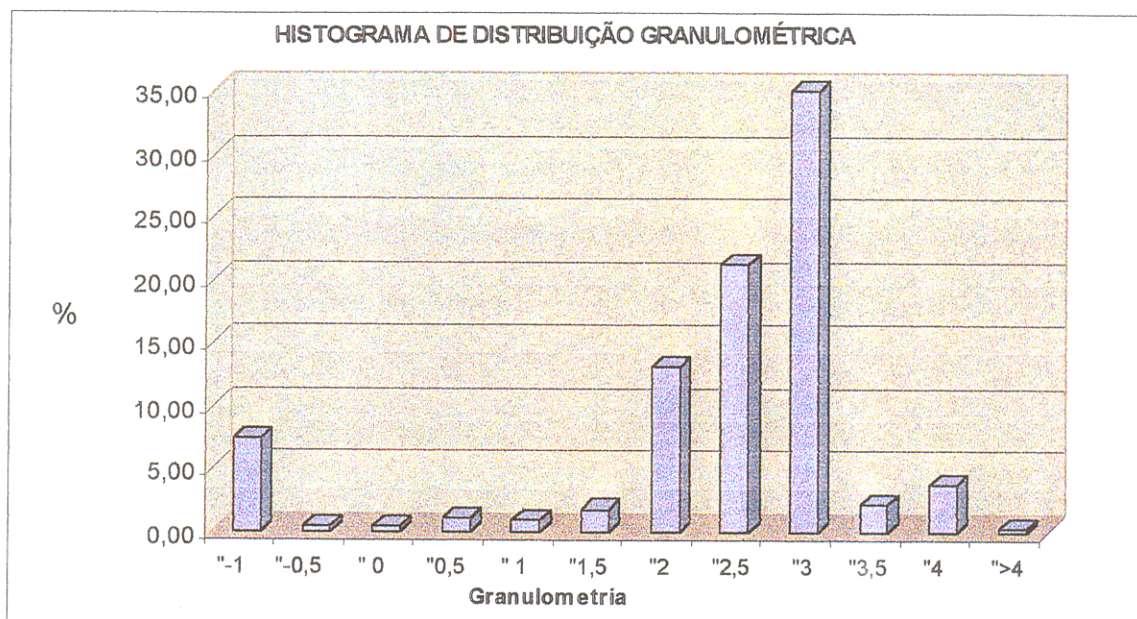


Figura 17: Amostra 07

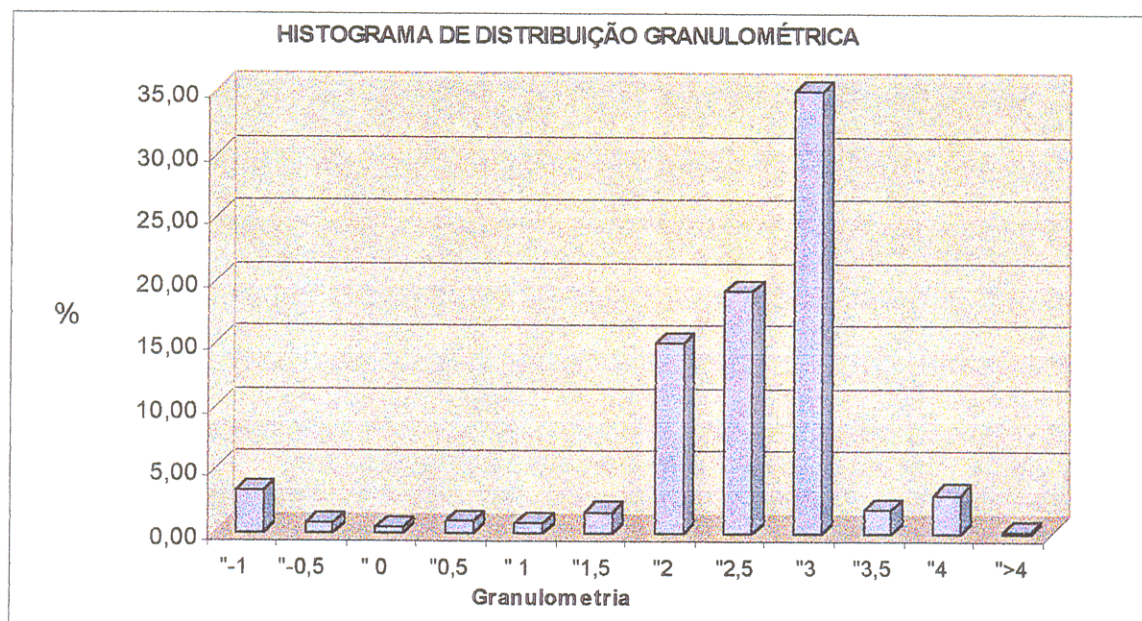


Figura 18: Amostra 08

Poço P1N

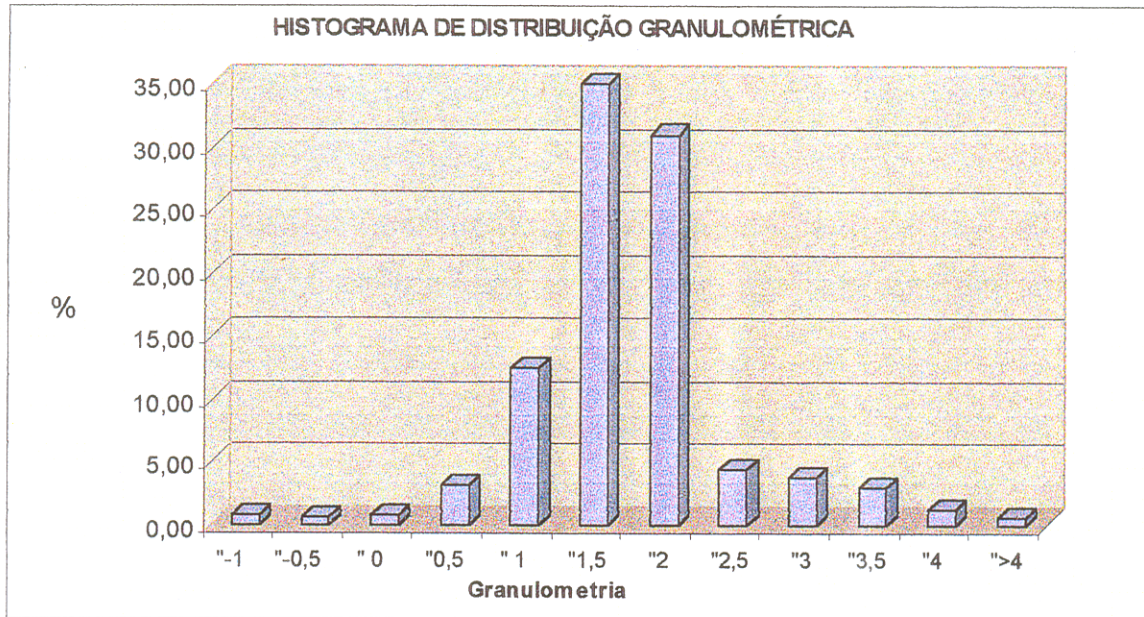


Figura 19: Amostra 02

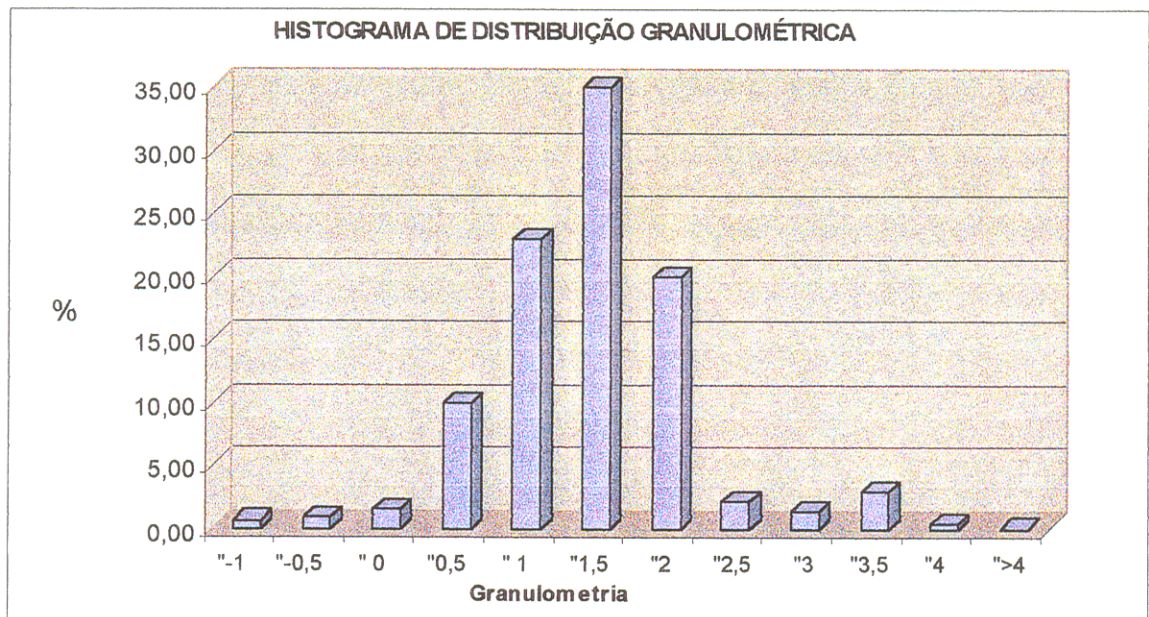


Figura 20: Amostra 04

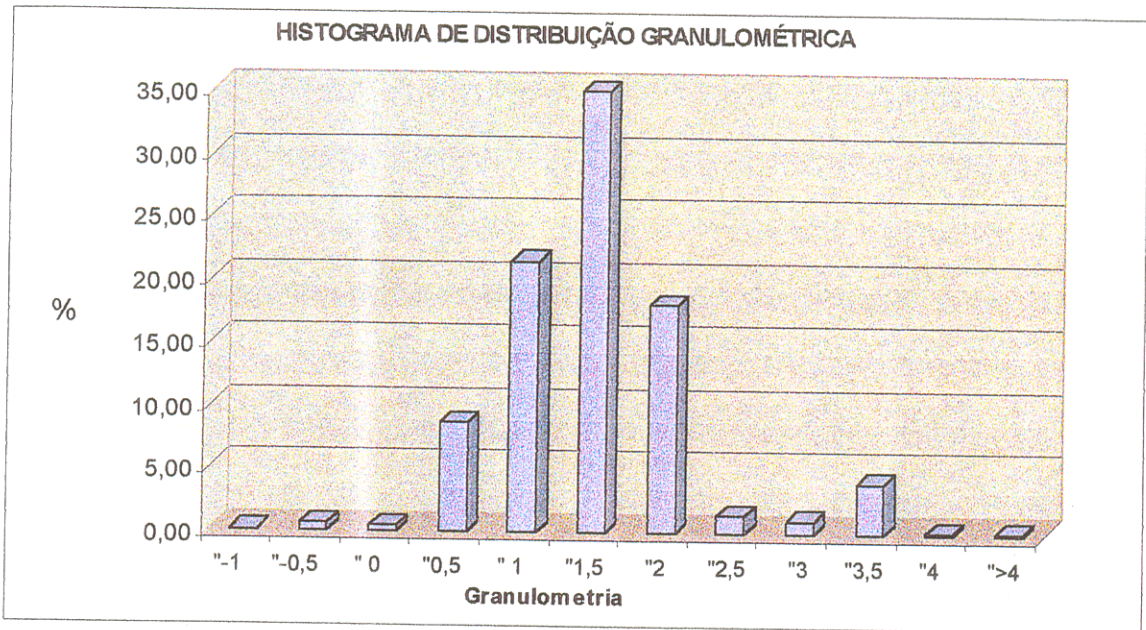


Figura 21: Amostra 06

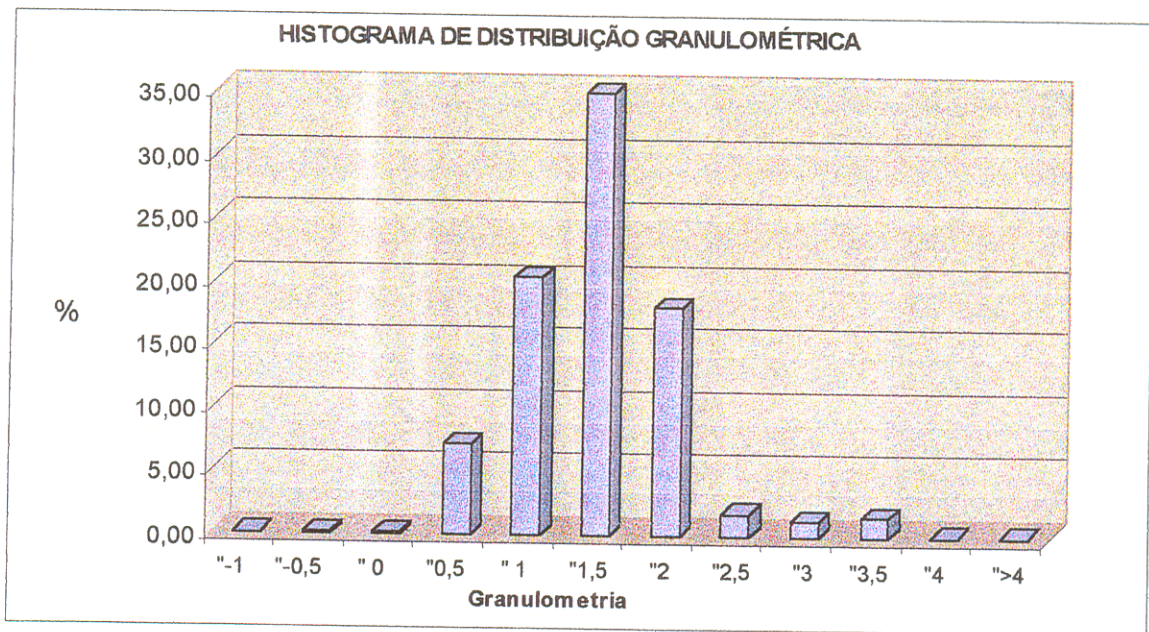


Figura 22: Amostra 07

CURVA DE ANÁLISE DA AREIA
POÇO PIN

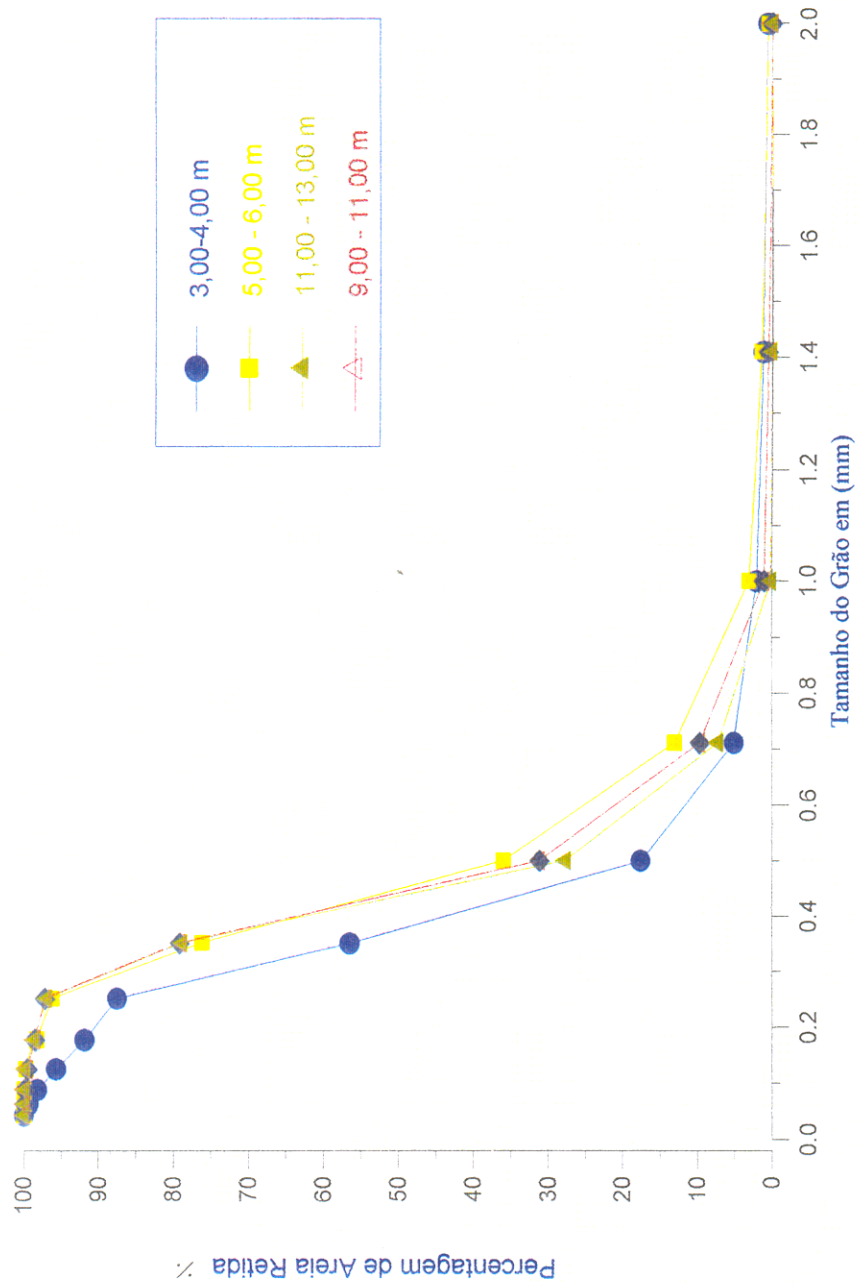


Figura 23: Curvas de Percentagens de Areia Retida – Poço PIN.

**CURVA DE ANÁLISE DA AREIA
POÇO PIW**

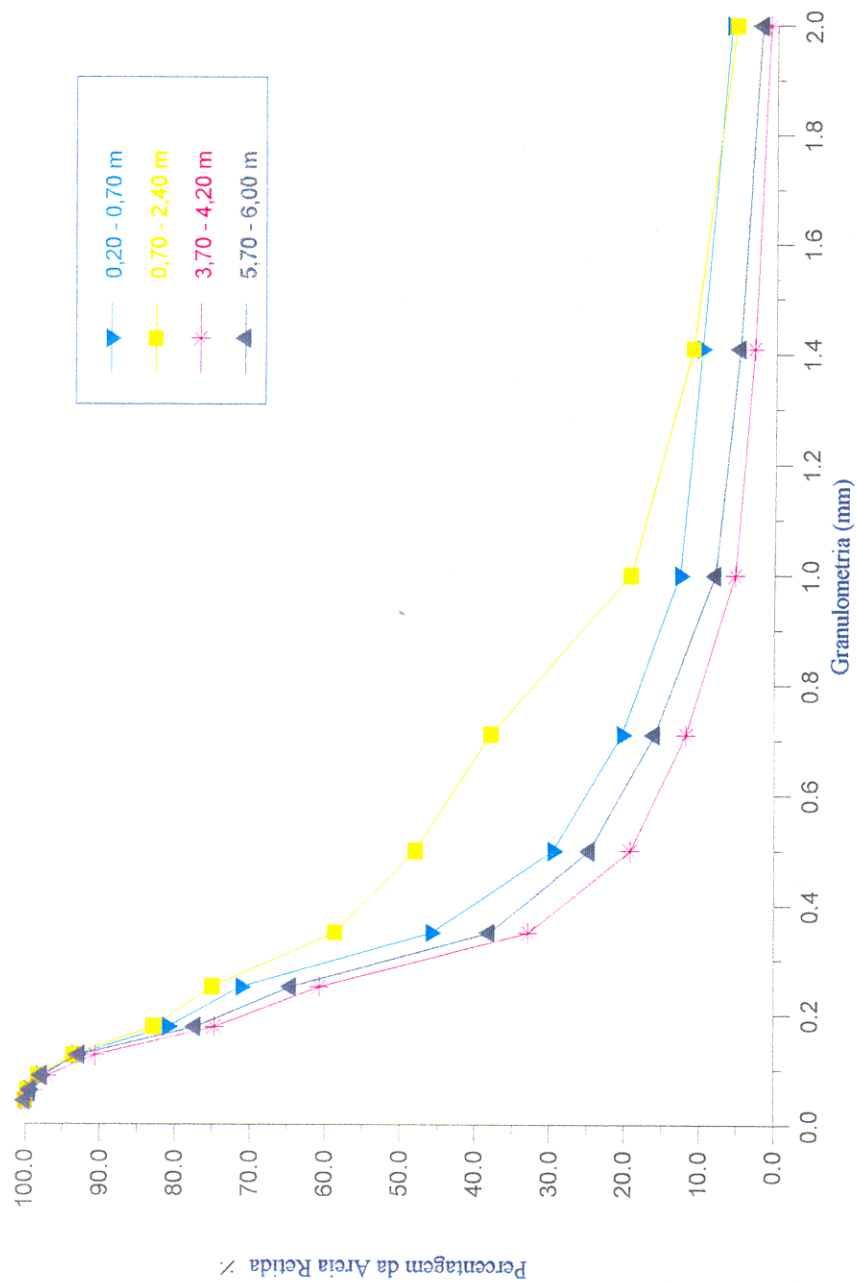


Figura 24 : Curvas de Percentagens de Areia Retida – Poço PIW.

CURVA DE ANÁLISE DA AREIA
POÇO P2W

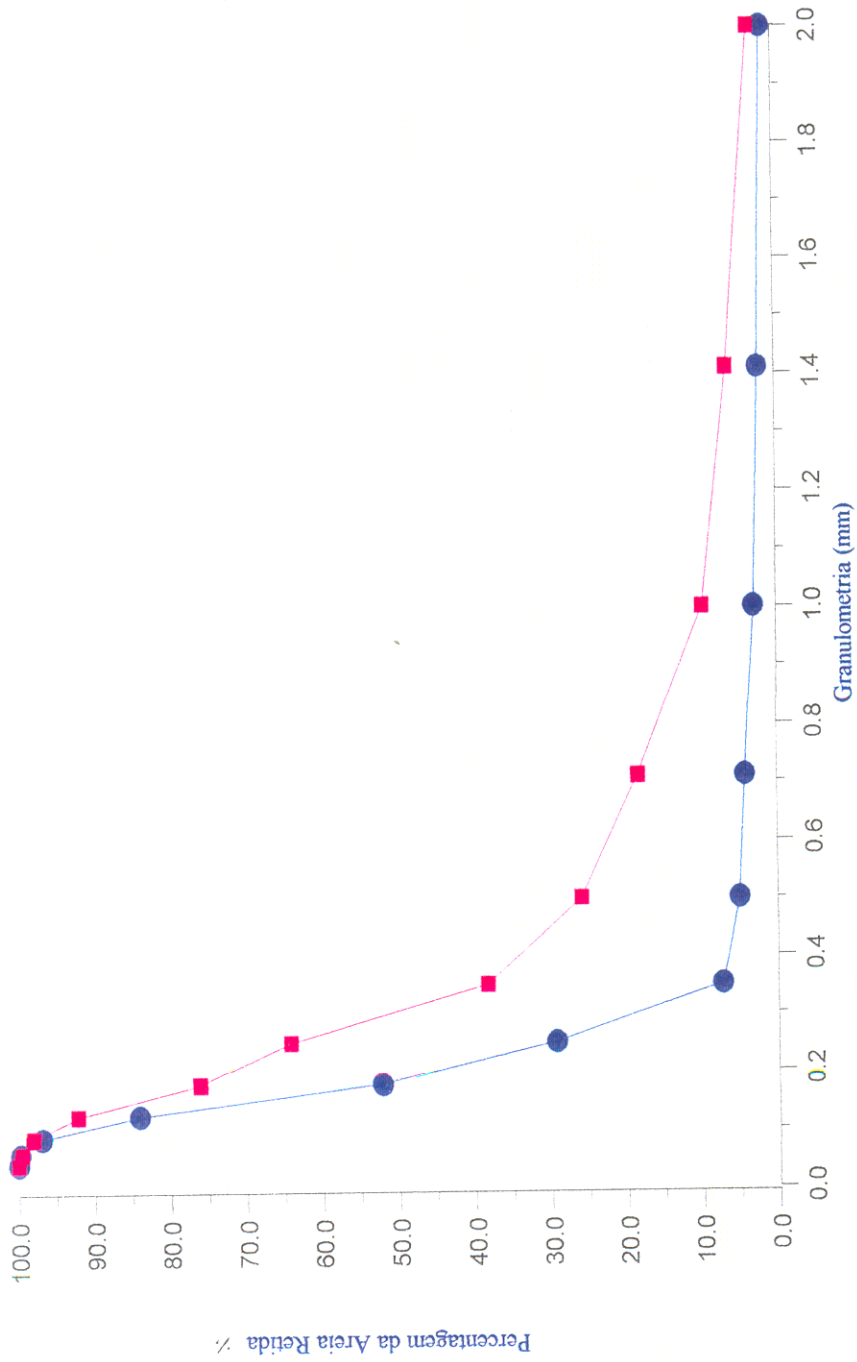


Figura 25 : Curvas de Percentagens de Areia Retida – Poço P2W.