4
METODOLOGIA

A metodologia utilizada para aquisição dos dados no campus da UFRRJ está descrita neste capítulo e foi basicamente a mesma utilizada para levantamentos hidrogeológicos, na qual consiste no estudo do comportamento e geoquímica da água subterrânea e da condição geoquímica do solo.

4.1.Determinação da Área de Estudo

Os estudos iniciais começaram através de levantamento bibliográfico sobre a área. Devido à região ser um distrito areeiro de grande importância, vários trabalhos foram desenvolvidos na região. Preliminarmente foi selecionado o campus da UFRRJ como área piloto.

Inicialmente foram pesquisados os tipos de solos locais, tendo como referência as informações obtidas no levantamento pedológico detalhado do campus da UFRRJ datado de 1970, oriundas da dissertação de mestrado de Doracy Pessoa Ramos. Como a pesquisa prevê investigação em subsuperfície, também se levou em consideração a estratigrafia local com predominância de material arenoso.

Foram executados furos de sondagem com trado manual em três regiões diferentes dentro do campus da UFRRJ para avaliação preliminar da área que seria representativa da região.

A primeira área perfurada foi próxima á estrada RJ099, na Estrada dos Bandeirantes. A segunda área localiza-se próximo aos Caprinos (local da UFRRJ de criação de cabras). A terceira área localiza-se atrás do Departamento de Geociências.

A localização das sondagens está demonstrada no mapa da Figura 15.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

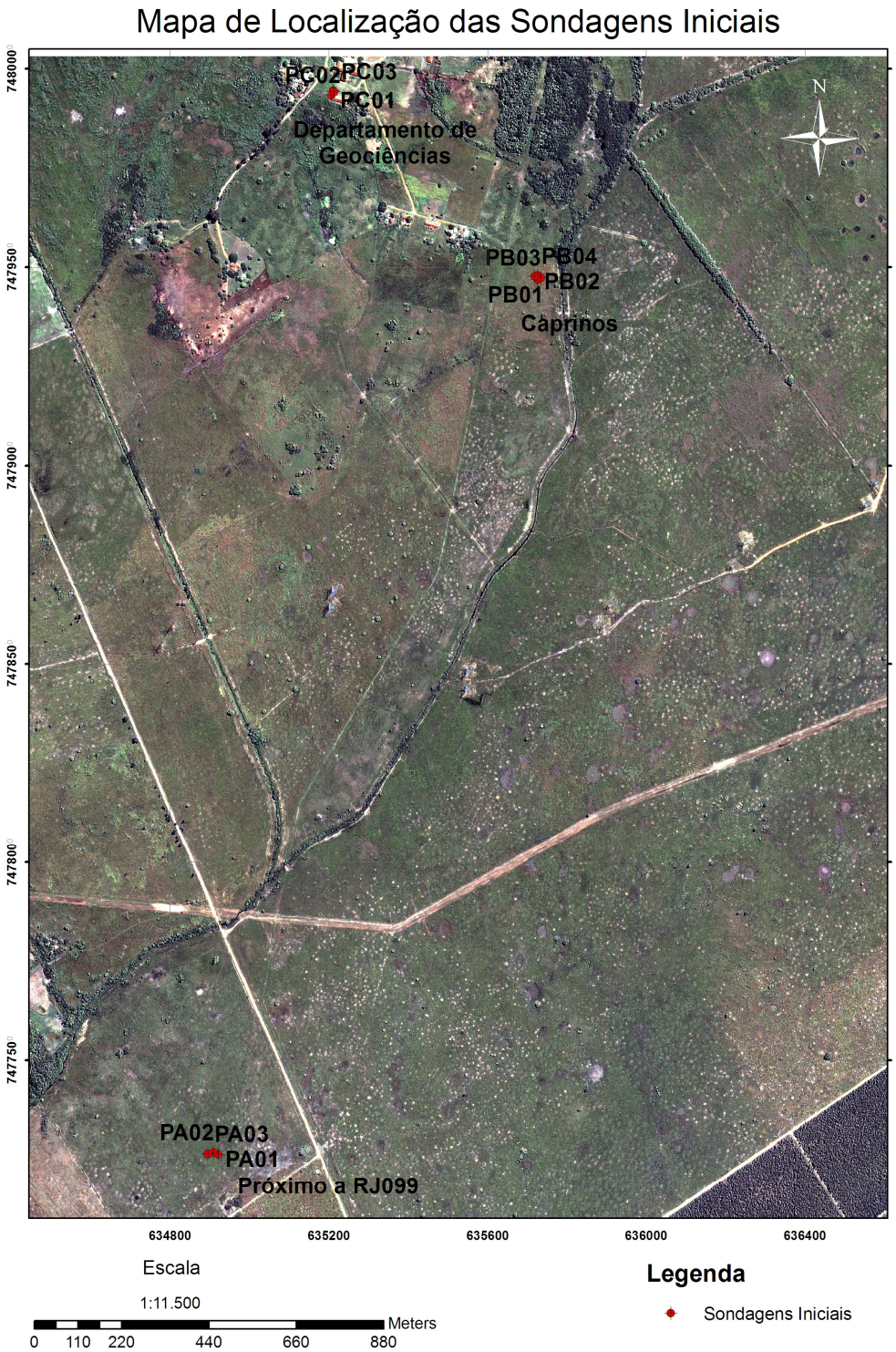

Figura 15 - Mapa de localização das sondagens preliminares.

Após avaliação das três áreas, as sondagens demonstraram que as áreas PB e PC possuíam alto teor de argila, não sendo encontrada a camada de areia.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

A área PA foi escolhida, próxima à RJ 099, por ter atingido o material arenoso do Aqüífero Piranema. Em anexo são apresentados os perfis das sondagens.

Após escolhida a área, o local para estudo foi delimitado em 2500 m^2 (50 m de largura por 50 m de comprimento).

Para confirmação das sondagens anteriores, foram planejadas quatro sondagens cujo objetivo foi avaliar preliminarmente a estratigrafia local (Figura 16) e 5 poços de monitoramento foram instalados para maior detalhamento da área (Figura 17). Os dados obtidos através dessas sondagens foram inseridos e interpolados através de software gratuito para testar *Rockworks 14.*

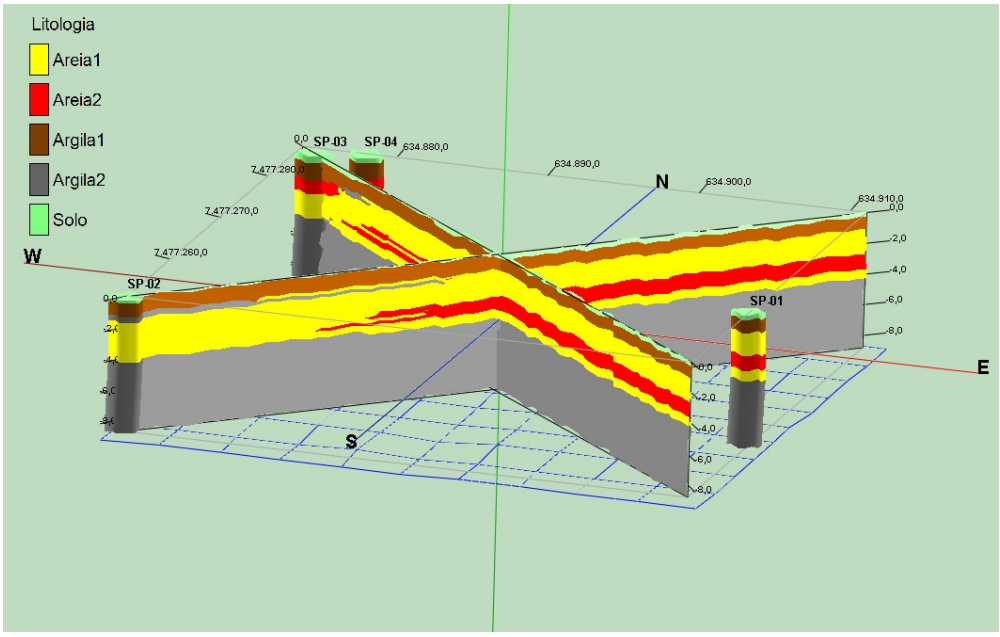

Figura 16 – Diagrama da estratigrafia local.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

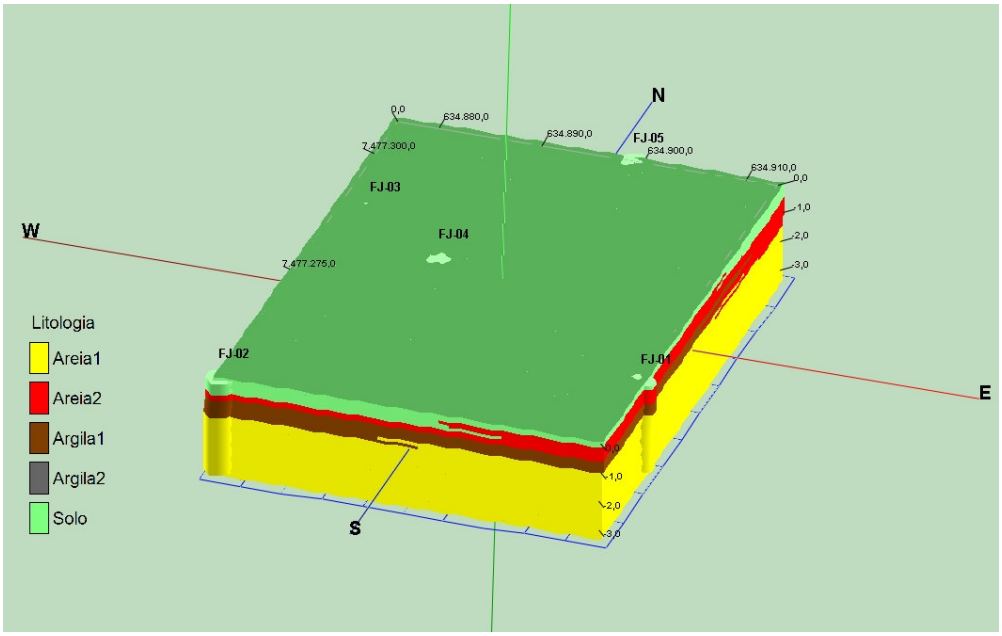

Figura 17 – Bloco diagrama da litologia local.

O Aqüífero Piranema demonstra ter seus sedimentos arenosos intercalados localmente por finas lentes de argila. Acima do aqüífero existe um sedimento argilo-arenoso, que permite deixar a dúvida se o aqüífero é livre ou semi-confinado, não ultrapassando de 1 m de espessura. Após 1 m de profundidade ocorre o aqüífero, que é composto por areia média a grossa de coloração amarelada, com mineralogia predominante de quartzo e feldspato alcalino. A partir de aproximadamente 5 m de profundidade se encontra um aqui tardo (argila cinza).

Após a confirmação da estratigrafia da área, decidiu-se dar prosseguimento a pesquisa no mesmo local. Assim, foram incluídos no planejamento outros trabalhos de campo e ensaios de laboratório.

4.2.Trabalhos de Campo

A investigação de campo foi feita com o objetivo de estudar as características hidrogeológicas da área, para avaliar a viabilidade de futuros estudos de contaminação da área com o objetivo de transformar a área em um campo experimental para contaminação da água por hidrocarbonetos derivados do petróleo.

As atividades de campo compreenderam o levantamento topográfico, execução de furos de sondagem à trado manual e mecânico, instalação de poços de monitoramento, realização de ensaios de permeabilidade in situ, monitoramento do nível estático do lençol freático, sondagem para amostragem

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

deformada para análise geoquímica e de porosidade do material, investigação geofísica e medição dos parâmetros físico-químicos (pH, Eh, oxigênio dissolvido, condutividade, temperatura).

As etapas desenvolvidas serão descritas a seguir:

4.2.1.Sondagens a trado mecânico

Como dito anteriormente, foram feitas quatro sondagens a trado mecânico (SP-01 a SP-04) cujas profundidades atingiram aproximadamente 8,64 metros para conhecimento detalhado da estratigrafia local (Figura 18), localizadas no mapa anexo.

Figura 18 - Sondagem na UFRRJ

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Figura 19 – Perfuratriz executando a sondagem SP-04 na UFRRJ.

4.2.2.Levantamento topográfico

A UFRRJ se encontra na região metropolitana do Rio de Janeiro, que possui levantamento topográfico realizado pela FUNDREM, (Fundação Para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro). A execução das bases planialtimétricas foi feita pela PROSPEC S/A no ano de 1976, em escala 1:10.000.

Localmente foi feito um levantamento topográfico utilizando como base o marco topográfico do IBGE 93640, com coordenadas UTM 634871,135; 7477260,566, cota de 22,13 metros (SAD 69), localizado em frente ao Instituto de Tecnologia (relatório anexo). O equipamento de GPS geodésico utilizado possui a marca Promark2, da empresa Ashtech, O software *Ashtech Solutions* utilizado para processamento dos dados adquiridos pelo GPS também foi fornecido pela mesma empresa.

O mapa topográfico local foi desenvolvido através do software Surfer versão 7.0 através de interpolação pelo método de curvatura mínima.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

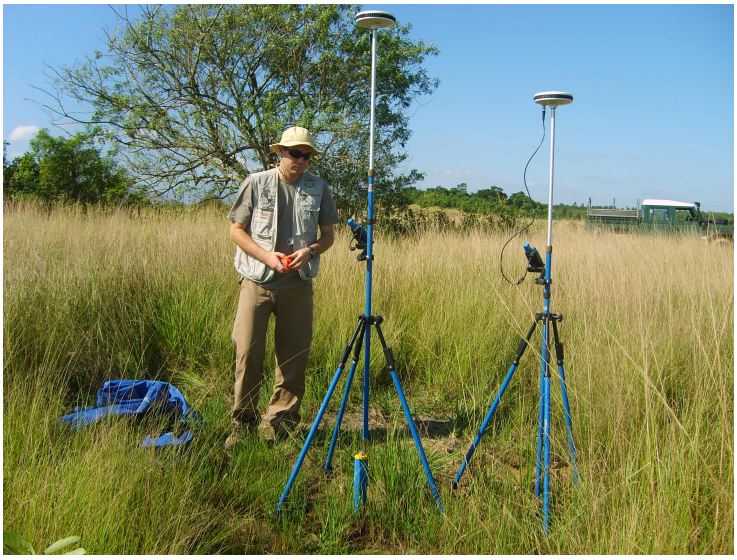

Figura 20 – Levantamento topográfico local.

Figura 21 - Marco IBGE.

4.2.3.Instalação de poços de monitoramento

Foram instalados 5 poços de monitoramento em 19/09/2007 com o objetivo de melhor entender a hidrologia local (perfis construtivos anexo).

Os poços de monitoramento foram perfurados com diâmetro de três polegadas (3”). Possuem profundidades de aproximadamente três metros e são constituídos de um metro de filtro geomecânico e dois metros de revestimento geomecânico com duas polegadas (2”) de diâmetro (Figura 22). A Tabela 01

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

mostra a localização dos poços de monitoramento e seus níveis d'água respectivos.

Figura 22 - Exemplo de um dos poços de monitoramento sendo instalados.

POÇO	LESTE	NORTE	N.A. em metros (19/09/2007)
FJ01	634918,948	7477264,085	2,380
FJ02	634879,565	7477254,383	2,370
FJ03	634882,460	7477289,541	2,520
FJ04	634894,066	7477283,214	2,520
FJ05	634903,740	7477309,151	2,380

Tabela 1 - Localização e níveis d'água dos poços de monitoramento.

4.2.4.Mapa de fluxo da água subterrânea e gradiente hidráulico

O monitoramento do nível d'água foi feito durante 13 meses, no período julho de 2007 a julho de 2008, através de um medidor de nível d'água, modelo HSNA-100 da empresa HS Hidrosuprimentos. Foi possível observar as variações do nível freático nas épocas secas e chuvosas (Figura 23).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Figura 23 - Monitoramento do nível d'água.

O gradiente hidráulico foi calculado através da página da internet http://www.epa.gov/athens/learn2model/part-two/onsite/gradient4plus-ns.htm usando os dados obtidos do levantamento topográfico e monitoramento do nível d'água, na qual utiliza-se as coordenadas geográficas em UTM e os dados de carga hidráulica total em metros.

Os mapas de fluxo da água subterrânea da área de estudo foram confeccionados no software *Surfer* versão 7.0 através de interpolação pelo método da curvatura mínima.

4.2.5. Parâmetros físico-químicos

Parâmetros como oxigênio dissolvido, temperatura, pH, potencial de oxi-redução e condutividade foram observados através da sonda multiparâmentro Troll 9500 e os dados foram tratados pelo sotfware *WinSitu* versão 4.57. A medição dos parâmetros ocorreu no dia 24/11/2007 de acordo com a Figura 24.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Figura 24 - Troll 9.500 monitorando os parâmetros físico-químicos.

Esses parâmetros físico-químicos podem indicar o tipo de ambiente e qualidade do solo e da água subterrânea.

O Eh pode indicar se o ambiente é potencialmente redutor ou oxidante, de acordo com a figura abaixo:

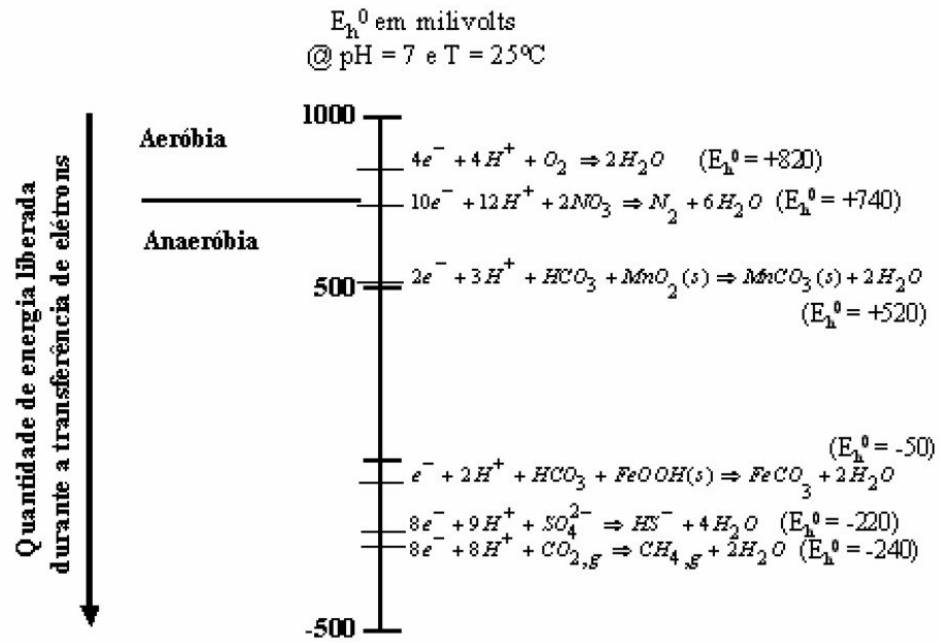

Figura 25 - Tabela de oxi-redução para vários receptores de elétrons (Stumm e Morgan, 1981).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Em relação ao oxigênio dissolvido, Schreider e Bahr (1999) consideram três zonas: uma zona aeróbia, onde a concentração do oxigênio dissolvido é superior a 3 mg/L, uma zona intermediária entre 1 a 3 mg/L e uma zona anaeróbia, com concentração inferior a 1 mg/L.

Essas informações são importantes para avaliar as condições do solo e da água subterrânea com relação à microbiota existente, pois são elas que, na ocasião da contaminação, degradarão o futuro contaminante.

4.2.6.Permeabilidade "in situ"

O *slug test* foi o método utilizado para determinar a permeabilidade *in sittu* da área de estudo.

O objetivo do *slug test* é obter uma estimativa preliminar da condutividade hidráulica. O ensaio é iniciado pela variação instantânea do nível d'água no poço pela súbita introdução ou remoção de um volume conhecido, na qual a estabilização do nível d'água é monitorada.

"Seguindo a súbita mudança, o nível d'água do poço retorna para a condição estática devido à entrada ou saída de água em resposta ao gradiente imposto pela súbita mudança de carga. "(Butler, 1998).

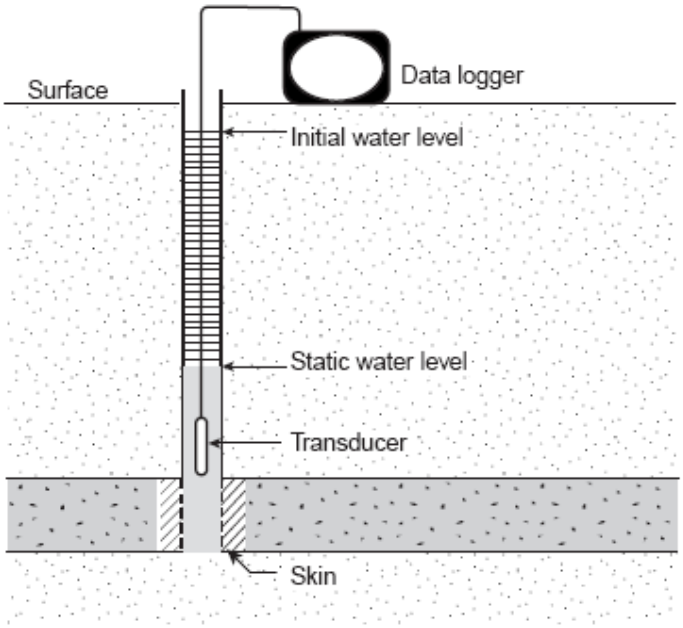

Figura 26 - Esquema do slug test. (Ramesh, 1991)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

O tipo de slug test utilizado neste trabalho foi o teste de aumento de carga (*rising-head test*), na qual envolve o rebaixamento instantâneo do nível d'água e a subida ao nível inicial é monitorada.

Os métodos de Hvorslev e Bower and Rice foram utilizados neste trabalho para processamento dos dados obtidos no ensaio de campo, através do software *Aqtesolv*, versão 3.0 para estudante.

O método de Hvorslev assume que o meio é homogêneo, isotrópico, infinito e que ambos (solo e água) são incompressíveis. Nos termos do teste, a taxa de infiltração (q) no poço a qualquer momento (t) é proporcional à condutividade hidráulica (K) do solo e a diferença de carga (H-h), então:

$$q(t) = \pi r^2 \frac{dh}{dt} = FK(H-h) \qquad (4.1)$$

Onde F é o fator que depende da geometria do poço e H-h é a diferença de carga.

O intervalo de tempo T_0 é descrito como:

$$T_0 = \frac{\pi r^2}{FKt} \qquad (4.2)$$

Rearranjando a equação 4.1 para substituir na equação 4.2, hidrólogos ob têm uma equação diferencial ordinária, com condições iniciais H_0 em momento t=0:

$$\frac{H-h}{H-H_0} = e^{\frac{-t}{T_0}} \qquad (4.3)$$

O gráfico com os dados de campo, H-h x t declinaria exponencialmente na taxa de recuperação com o tempo. A taxa de recuperação normalizada para H-H_0 e plotada num gráfico em escala logarítmica produz um gráfico linear. Além disso:

$$T_0 = \frac{V}{q} \qquad (4.4)$$

Onde V é o volume de água adicionado ou removido.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

No Método de Hvorslev se utiliza $T_{0,37}$, correspondendo á 37% do rebaixamento ou recuperação com relação a H_0.

O gráfico ($H-h/H-H_0$ x t) permite aos hidrólogos medir $T_{0,37}$ graficamente, enquanto K é determinado pela equação 4.2. Assim, para o poço de comprimento L_e e raio R, com L/R>8:

$$K = \frac{r^2 \ln\left(\frac{L_e}{R}\right)}{2L_e T_{0,37}} \qquad (4.5)$$

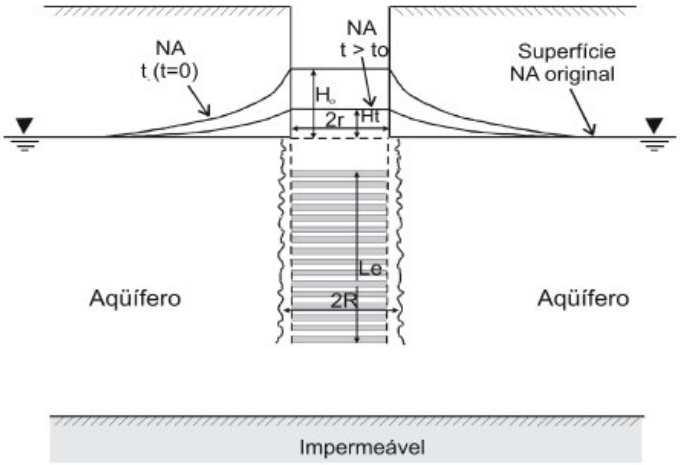

Figura 27 - Parâmetros geométricos para o método de Hvorslev 1951 (Oliva et al, 2005).

O método de Bower and Rice foi originalmente desenvolvido para medir a condutividade hidráulica saturada (k) entorno de sondagens em aqüíferos não confinados, mas pode ser usado para aqüíferos confinados e estratificados se o topo do filtro ou seção de perfuração é um pouco distante da camada confinante superior (Fetter, 2001).

Abaixo é apresentada a equação de Bouwer and Rice:

$$K = \frac{r^2 \ln\left(\frac{R_e}{R}\right)}{2L_e} \frac{1}{t} \ln\left(\frac{H_0}{H_t}\right) \qquad (4.6)$$

Onde:

K é a condutividade hidráulica

r é o raio interno do poço

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

R é o raio do poço com o pré-filtro

R_e é a distância radial efetiva externa qual a carga é dissipada

L_e é o comprimento do filtro ou a seção aberta do poço por onde a água entra

H_0 é o rebaixamento no tempo t=0

H_t é o rebaixamento no tempo t=t

t é o tempo desde H até H_0

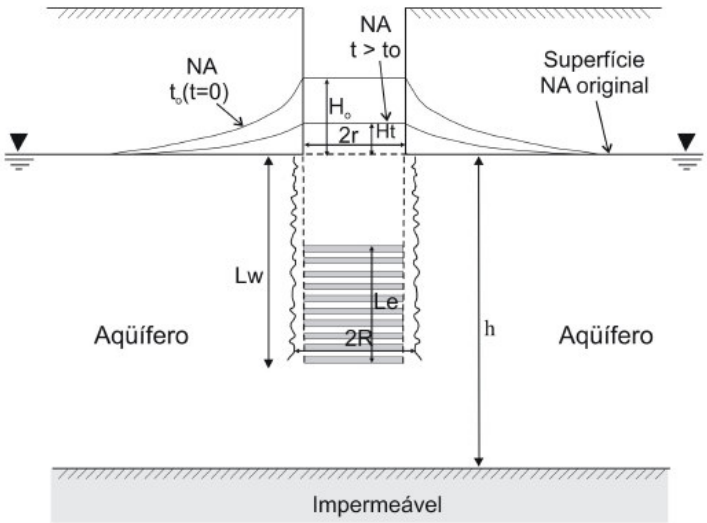

Figura 28 - Parâmetros geométricos para o método de Bouwer and Rice 1976 (Oliva et al, 2005).

A distância efetiva externa na qual a carga é dissipada, R_e, é também a distância característica fora do poço que a média do valor de k é inicialmente medida. Entretanto, não há como saber qual o valor de R_e de um dado poço. Bouwer (Bouwer & Rice 1976; Bouwer 1989) apresentou um método para estimar o valor ln(Re/R) encontrado na equação 4.6.

Se L_w, a distância entre o nível d'água e o fundo do poço ou filtro do poço, é menor que h, a camada saturada do aqüífero, temos:

$$\ln\left(\frac{R_e}{R}\right) = \left[\frac{1{,}1}{\ln(L_w/R)} + \frac{A + B\ln[(h - L_w)/R]}{L_e/R}\right]^{-1} \qquad (4.7)$$

Se L_w é igual a h, temos:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

$$\ln\left(\frac{R_e}{R}\right) = \left[\frac{1{,}1}{\ln(L_w / R)} + \frac{C}{L_e / R}\right]^{-1} \qquad (4.8)$$

Onde os parâmetros A, B e C números adimensionais que podem ser achados de acordo com a Figura 29, na qual podem ser plotados em função de L_e/R.

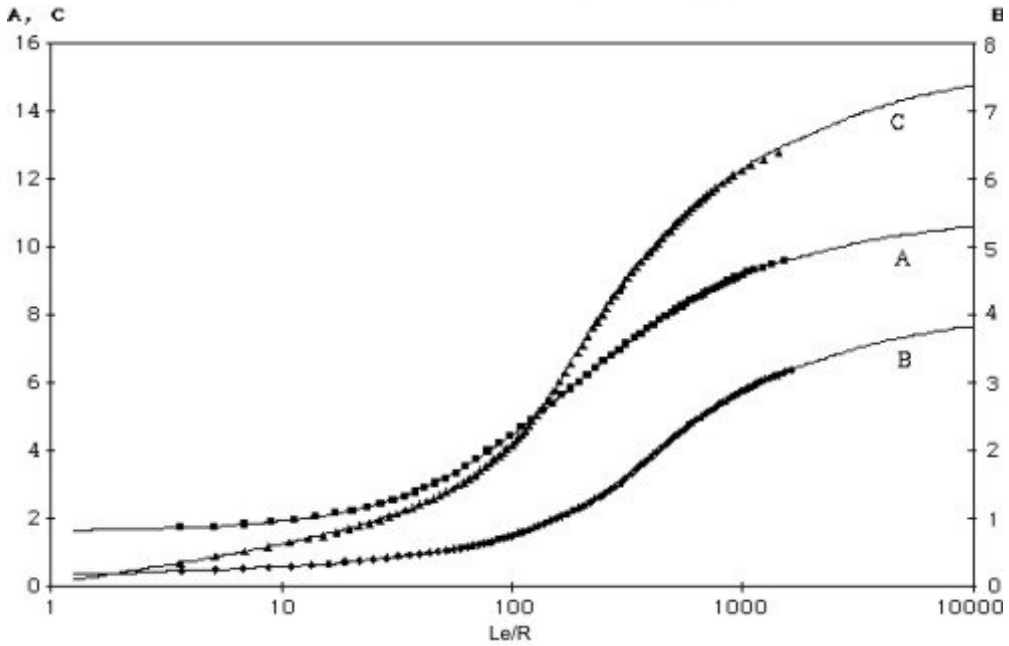

Figura 29 - Dimensionamento dos parâmetros A, B e C plotados em função de L_e/R. Estes parâmetros são usados na determinação de $\ln(R_e/R)$ nas equações acima descritas (7) e (8) Fetter (2001).

O valor de Ht como uma função de t é plotado em escala semilogarítmica com Ht no eixo logarítmico. O resultado será um gráfico linear. Como a carga dissipada ao longo do tempo, os pontos podem não ser linear.

O valor de $1/t \ln(H_0/H_t)$ também através do gráfico $\text{Log}H_t$ x t. Dois pontos são escolhidos na porção linear do gráfico. Assim, na equação 6 os parâmetros H_0 e H_t podem corresponder a qualquer ponto H_1 e H_2.

“Anomalias às vezes detectadas na medida da taxa de elevação do nível d’água no poço estão atribuídas à drenagem do pré-filtro ou zona desenvolvida entorno do poço seguindo o rebaixamento do nível freático. O efeito desta drenagem pode ser eliminado ignorando os dados iniciais e usando a segunda porção linear do gráfico para cálculo da condutividade hidráulica” (Bouwer, 1989).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Entre as desvantagens do *slug test* se inclui o ensaio ser altamente dependente da boa qualidade do poço. Se o ponto de entrada da água ou filtro estiverem corroídos ou entupidos, os valores médios obtidos de condutividade hidráulica podem ter baixa acurácia. “Se no poço for feita purga ou retrolavagem, os valores de condutividade podem se tornar mais altos, pois são induzidos artificialmente pelo pré-filtro.” (Freeze and Cherry, 1979).

Nas vantagens do *slug test* se incluem o baixo custo, no qual em termos de mão-de-obra e equipamento este ensaio é considerado barato, pois pode ser executado por uma ou no máximo duas pessoas usando um transdutor de pressão, data logger e a menor quantidade de equipamentos auxiliares; a simplicidade, na qual uma vez iniciado o ensaio podemos obter uma grande quantidade de medidas de mudança na carga ao longo do tempo; rapidez, pois a duração do ensaio demanda curto período de tempo em formações consideradas aqüíferos, em formações de baixa permeabilidade a duração pode também ser breve se usada a geometria apropriada no poço; pode ser usado em formações compactadas, pois é uma das melhores opções para obter a estimativa da permeabilidade *in situ*, na qual é praticamente impossível manter um bombeamento com taxa de vazão constante devido à baixa vazão.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Figura 30 - Slug test no poço de monitoramento FJ-02.

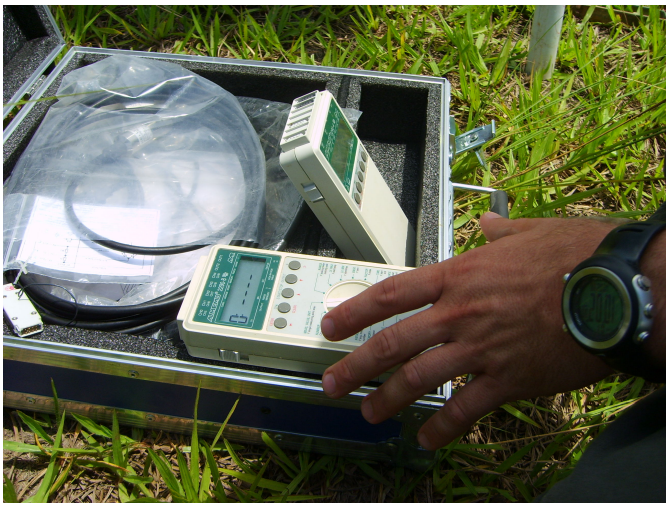

Figura 31 - Datalogger no slug test.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

4.2.7.Levantamento geofísico

O levantamento eletroresistivimétrico foi realizado através de um Resistivímetro ER 300, capaz de investigar até 300 metros de profundidade e por meio de Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) com arranjo simétrico tipo Schlumberger.

De maneira simplificada, o método se baseia no conhecido fato de que a resistividade dos materiais da crosta terrestre (solos e rochas) decresce com o aumento do teor de saturação e/ou salinidade desses materiais.

A metodologia de campo consiste em se aplicar no solo determinada corrente elétrica através de dois eletrodos de aço, e em se medir a ddp (diferença de potencia) associada a esta corrente elétrica, por meio de dois outros eletrodos mais internos, alinhados e dispostos segundo a geometria de Schlumberger. Quanto maior o espaçamento entre os eletrodos, maior profundidade de investigação se obtém, até que seja alcançado o embasamento (rocha) geoeletroresistivo.

Estes valores permitiram o cálculo da variação das resistividades dos diferentes materiais com a profundidade que será comparada com modelos físico-matemáticos representativos, que por sua vez permitirão estimar espessuras e profundidades relativas dos georesistores identificando o nível d'água aproximado da região.

Os dados obtidos foram interpolados através do *software* gratuito para testar *Rockworks 14.*

O mapa de localização das SEV's encontra-se na Figura 32:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

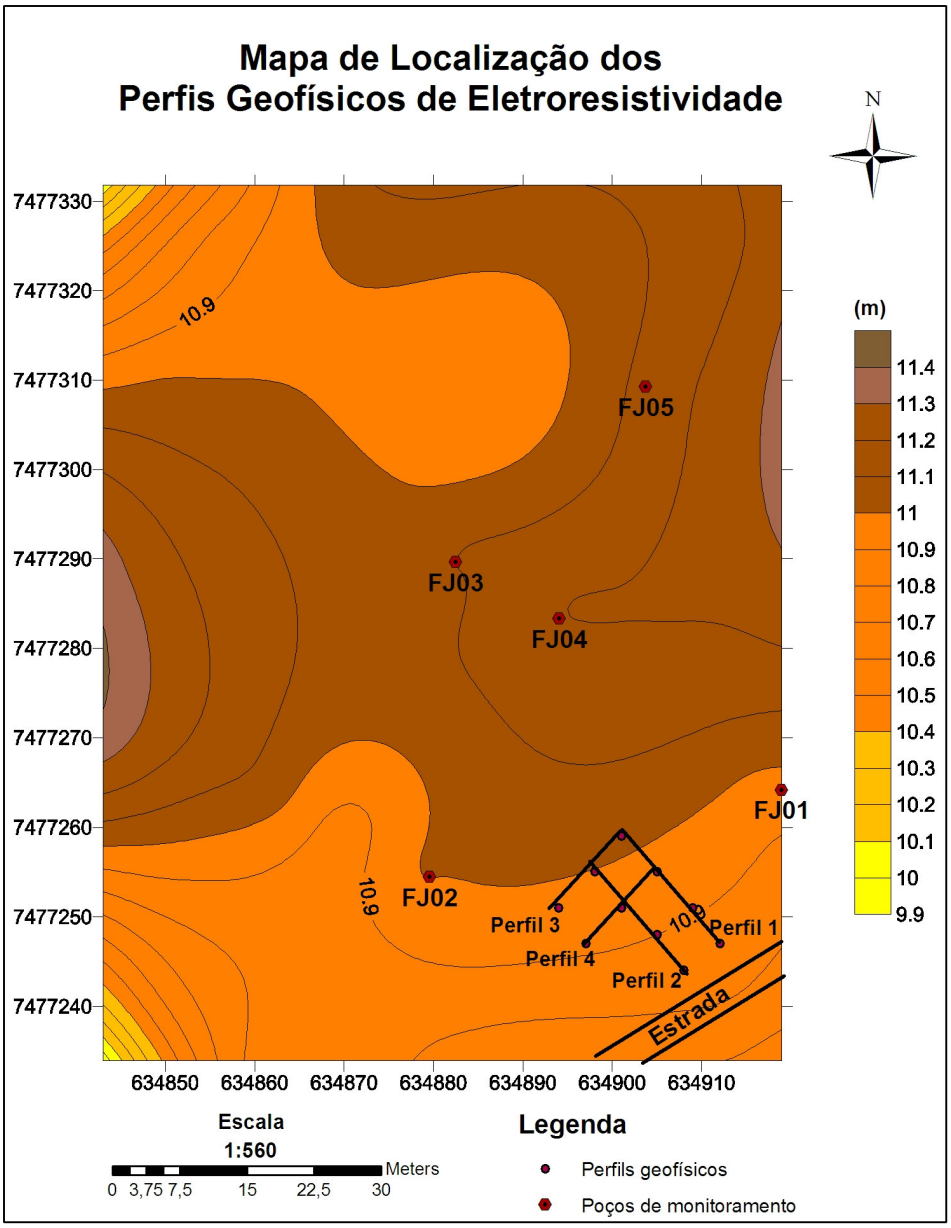

Figura 32 - Mapa topográfico com a localização do perfil eletroresistividade.

4.3.Ensaios de Laboratório

Quatro amostras de solo deformadas e uma amostra de água (Figuras 33 e 34) foram coletadas em furos de sondagem feitos exclusivamente para ensaios de laboratório de acordo com a Tabela 2:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Figura 33 - Coleta de amostra argilosa PUC-01.

Figura 34 - Coleta de amostra arenosa PUC-02.

Local	UTM E	UTM N	Amostra	Prof. (m)	Tipo de Ensaio
AM-01	634894,134	7477282,379	PUC-01	1,0	Caracterização de solos; Porosidade; Geoquímica; Difração raio x
AM-01	634894,134	7477282,379	PUC-02	2,5	Caracterização de solos; Porosidade; Geoquímica; Difração raio x
AM-02	634918,874	7477263,460	AM-02	2,5	Porosidade
AM-03	634879,727	7477255,165	AM-03	2,5	Porosidade
FJ-03	634882,460	7477289,541	FJ-03	2,16	Geoquímica

Tabela 2 - Detalhes sobre as sondagens para fins de retirada de amostra deformada.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Os locais de amostragem de solo e água foram escolhidos de forma que melhor representassem a área de estudo (mapa anexo):

Para conhecimento detalhado do material de subsuperfície foram feitos ensaios de laboratório para caracterização geotécnica, porosidade, análises geoquímicas dos sedimentos e da água e difração de raio x dos sedimentos, no qual os procedimentos são detalhados nos próximos itens.

4.3.1.Caracterização geotécnica

Os ensaios para caracterização geotécnica das amostras consistiu na determinação da massa específica dos sólidos dos solos arenoso e argiloso de acordo com a norma brasileira NBR 07215, os limites de liquidez e de plasticidade foram determinados de acordo com as normas NBR 06459 e NBR 07180 (ABNT, 1984), respectivamente. A análise granulométrica dos solos foi feita de acordo com a norma NBR 07181 (ABNT, 1984). Foi utilizada a infra-estrutura do Laboratório de Geotecnia da PUC-Rio.

4.3.2.Permeabilidade indireta

Segundo Fetter (1994), a condutividade hidráulica de sedimentos arenosos pode ser obtida através do método de Hazen, que utiliza uma curva de distribuição granulométrica. No entanto, este método somente pode ser utilizado, no caso do tamanho dos grãos se encontrarem dentro do intervalo compreendido entre 0,1 e 3,0 mm.

Assim:

$$K = Cd_{10} \qquad (4.9)$$

Sendo:

K = condutividade hidráulica

d_{10} = tamanho efetivo dos grãos (cm)

C = coeficiente baseado em valores de acordo com as condições de Fetter (1994), conforme a Tabela 3.

Valor de C Tipo de areia:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

40 – 80	Areia muito fina e mal selecionada
60 – 80	Areia fina com apreciável quantidade de argila
80 – 120	Areia fina bem selecionada
120 – 150	Areia grossa bem selecionada e limpa

Fonte: Fetter (1994).

Tabela 3 - Valores do coeficiente C para o método de Hazen.

A equação deste método é considerada uma boa estimativa indireta para a condutividade hidráulica para sedimentos com coeficientes de uniformidade, U, menores que 5 ($U=d_{60}/d_{10} < 5$).

4.3.3.Porosidade

Foram coletadas amostras de três locais (vide Tabela 1), nos quais foram executadas sondagens com trado manual para obtenção de amostras deformadas do material arenoso (mapa anexo). A porosidade foi determinada a partir do teor de umidade e densidade real dos grãos, na qual foram coletadas três amostras deformadas totalmente saturadas do sedimento arenoso. Um volume conhecido do material foi pesado e colocado em estufa a 105ºC durante 24 horas, resfriada e pesada novamente, e dessa forma:

$$n = 100\left(\frac{\rho_s}{\rho}\right) \qquad (4.10)$$

Sendo:

n = porosidade

ρs = densidade do solo seco

ρ = densidade das partículas

4.3.4.Análise geoquímica de amostras de sedimento e amostra de água

As análises geoquímicas foram desenvolvidas pelo laboratório Analytical Solutions. As análises solicitadas são descritas na Tabela 4:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Análises - Solo
Metais Totais – EPA 6010B e 7000A Ensaio acreditado pelo INMETRO segundo a norma NBR ISO/IEC 17025:2005 sob o nº CRL 0241 *Sb, As, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Ti, Zn, Si, Fe, Mn, Al, Ca, Mg, Na e K*
COT: Carbono Orgânico Total em amostras de solo
Varredura de Ânions (Cloretos e Sulfatos)
Carbono Inorgânico Total
Bicarbonatos
Carbonatos
Análises - Agua
Metais Totais – EPA 6010B e 7000A Ensaio acreditado pelo INMETRO segundo a norma NBR ISO/IEC 17025:2005 sob o nº CRL 0241 *Ca, Mg, Na, K, Si, Fe, Mn, Al, Ba, V, Cr, Mo, Pb, Cu, Zn, Hg, Cd, B, As e Se*
Dureza Total
COT: Carbono Orgânico Total
Bicarbonatos
Carbonatos
Alcalinidade
Varredura de Ânions (Cloretos, Fluoretos, Sulfatos, Nitritos e Nitratos)
COT: Carbono Orgânico Total em amostras de água
Fósforo Total

Tabela 4 – Parâmetros geoquímicos analisados.

As metodologias utilizadas pelo laboratório para obtenção dos dados estão descritas no relatório do laboratório anexo.

Os resultados obtidos serão comparados com padrões de contaminação e potabilidade da CETESB e Lista Holandesa.

Segundo a CETESB 2005, os padrões para contaminação de solo e água estão descritos na Tabela 5:

VALORES ORIENTADORES PARA SOLO E ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Substância	CAS Nº	Solo (mg.kg^{-1} de peso seco) [1]					Água Subterrânea (µg.L^{-1})
		Referência de qualidade	Prevenção	Intervenção			Intervenção
				Agrícola APMax	Residencial	Industrial	
Inorgânicos							
Alumínio	7429-90-5	-	-	-	-	-	200
Antimônio	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	150	300	500	750	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	500
Cádmio	7440-48-4	<0,5	1,3	3	8	20	5
Chumbo	7440-43-9	17	72	180	300	900	10
Cobalto	7439-92-1	13	25	35	65	90	5
Cobre	7440-50-8	35	60	200	400	600	2.000
Cromo	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Ferro	7439-89-6	-	-	-	-	-	300
Manganês	7439-96-5	-	-	-	-	-	400
Mercúrio	7439-97-6	0,05	0,5	12	36	70	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	30	50	100	120	70
Níquel	7440-02-0	13	30	70	100	130	20
Nitrato (como N)	797-55-08	-	-	-	-	-	10.000
Prata	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	5	-	-	-	10
Vanádio	7440-62-2	275	-	-	-	-	-
Zinco	7440-66-6	60	300	450	1000	2000	5.000

Tabela 5 – Padrão de referência para contaminação de água e solo CETESB 2005 (adaptação).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

A partir do conceito de multifuncionalidade do solo estabelecido em 1987, por meio da promulgação da Lei de Proteção do Solo (Soil Protection Act) pelo governo federal holandês, o Ministério de Planejamento Territorial e Meio Ambiente da Holanda (VROM), em atendimento a essa lei, publicou em 1994 a nova proposta de valores de qualidade do solo e da água subterrânea.

A Tabela 6 a seguir apresenta os valores de qualidade para um solo contendo de 0 a 10% de matéria orgânica e de 0 a 25% de argila.

Valores referenciais para solo, considerando-se um teor de argila e de matéria orgânica de 0%.

Parâmetro	Concentração em peso seco ($mg.kg^{-1}$)		
	S	T	I
Inorgânicos			
Arsênio	15	21,7	28,4
Bário	39	80	121
Cádmio	0,4	3,3	6,1
Cromo	50	120	190
Cobre	15	47	79
Chumbo	50	181	312
Mercúrio	0,2	3,5	6,6
Cobalto	4	29	53
Molibidênio	10	105	200
Níquel	10	35	60
Zinco	50	154	257

Valores referenciais para solo, considerando-se um teor de argila de 25,0% e de matéria orgânica de 10,0%.

Parâmetro	Concentração em peso seco ($mg.kg^{-1}$)		
	S	T	I
Inorgânicos			
Arsênio	29,0	42,0	55,0
Bário	200,0	413,0	625,0
Cádmio	0,8	6,4	12,0
Cromo	100	240	380
Cobalto	20	130	240
Cobre	36	113	190
Mercúrio	0,3	5,2	10,0
Chumbo	85	308	530
Molibidênio	10	105	200
Níquel	35	123	210
Zinco	140	430	720

Valores referenciais para água subterrânea, considerando-se um solo com teor de argila e de matéria orgânica de 0%.

Parâmetro	Concentração em peso seco ($\mu g.L^{-1}$)		
	S	T	I
Inorgânicos			
Arsênio	10	35	60
Bário	50	338	625
Cádmio	0,4	3,2	6,0
Cromo	1	16	30
Cobalto	20	60	100
Cobre	15	45	75
Mercúrio	0,05	0,18	0,30
Chumbo	15	45	75
Molibidênio	5	153	300
Níquel	15	45	75
Zinco	65	433	800

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Valores referenciais para água subterrânea, considerando-se um solo com teor de argila de 25,0% e de matéria orgânica de 10,0%.

Parâmetro	Concentração em peso seco ($\mu g.L^{-1}$)		
	S	T	I
Inorgânicos			
Arsênio	10	35	60
Bário	50	338	625
Cádmio	0,4	3,2	6,0
Cromo	1	16	30
Cobalto	20	60	100
Cobre	15	45	75
Mercúrio	0,05	0,18	0,30
Chumbo	15	45	75
Molibidênio	5	153	300
Níquel	15	45	75
Zinco	65	433	800

Tabela 6 – Lista Holandesa 1994 (adaptação).

Com relação à potabilidade das águas subterrâneas, os resultados obtidos serão comparados com uma tabela que é constituída por um resumo dos diversos padrões de potabilidade nacionais e internacionais, desenvolvido pela CETESB, 1990.

	Parâmetro	Fonte de Referência (mg/L)					
		1	2	3	4	5	6
I	Arsênio	0,05	0,10	0,01	0,05	0,05	0,04
	Bário	-	1,0	0,7	1,0	1,0	-
	Cádmio	0,005	0,01	0,005	0,005	0,01	0,005
	Chumbo	0,05	0,10	0,01	0,05	0,05	0,04
	Cromo	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Fluoretos	1,5	0,6-1,7	1,5	1,5	4,0	1,5
	Mercúrio	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001
	Nitratos	10	10	10	10	10	50
	Nitritos	-	-	1,0	1,0	-	0,1
	Prata	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01
	Selênio	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01
II	Alumínio	0,2	0,1	0,2	-	-	0,2
	Cloretos	250	600	250	250	250	-
	Cobre	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	-
	Dureza total	500	-	500	-	-	-
	Ferro total	0,3	1,0	0,3	0,3	0,3	0,2
	Manganês	0,1	0,5	0,1	0,05	0,05	0,05
	TDS	1000	1000	1000	500	500	-
	Sódio	200	-	200	-	-	150
	Sulfato	400	-	250	500	-	240
	Zinco	5,0	5,0	5,0	5,0	-	-

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

Notas:

I - Parâmetros físicos inorgânicos.

II - Parâmetros que afetam a qualidade organoléptica.

1 – Organização Mundial e Saúde (OMS) – recomendado.

2 – Decreto federal n° 79637/77, Portaria 56, BSB 13/03/77.

3 – Portaria 1479/00, Ministério da Saúde Brasileiro.

4 – Canadá

5 – EUA

6 – Alemanha

Tabela 7 – Resumo dos diversos padrões de potabilidade nacionais e internacionais (adaptado CETESB, 1990, *in* Feitosa *et al*, 2000).

4.3.5.Difração de raio X

As analises do solo por difração de raio-X foram realizadas no Laboratório de Difração de Raios X do Departamento de Ciências dos Matérias e Metalurgia da PUC-Rio com tubo de cobre (λ=1,542 Å). As amostras submetidas a análise foram PUC-01 a PUC-02.

As seguintes etapas foram realizadas após a secagem do solo ao ar:

1. Pesou-se 20,0 g de argila seca ao ar e logo após desagregou-se o material.

2. Separou-se a fração silte e argila na peneira 400.

3. Separou-se o material em um recipiente para envio ao laboratório.

Dessa forma, foi realizado o ensaio de difração de raios X varrendo-se de 2 a 60° (escala 2θ) com velocidade de 1°/min.

De posse dos resultados da difração de raios X, as distâncias interplanares (d) referentes aos picos apresentados no difratograma foram confrontadas com as distâncias interplanares características de cada fase. Considerando somente os minerais simples (geralmente presentes nas argilas nacionais), o pico de maior intensidade de cada fase (referentes a direção (00l)), bem como os picos secundários (Tabela 8).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

X-Ray Diffraction Data for Clay Minerals and Common Nonclay Minerals

d(Å)	Mineral[b]	d(Å)	Mineral[b]
14	*Mont. (VS) Chl. Verm. (VS)*	2.93–3.00	Felds.
12	*Sepiolite*, heated corrensite	2.89–2.90	Carb.
10	*Illite, Mica(S)*	2.86	Felds.
9.23	Heated Verm.	2.84	Carb. *Chl.*
7	*Kaol.(S). Chl.*	2.84–2.87	*Chl.*
6.90	*Chl.*	2.73	Carb.
6.44	Attapulgite	2.61	Attapulgite
6.39	*Felds.*	2.60	Verm., Sepiol.
4.90–5.00	*10Å (2nd)*	2.56	Illite (VS), Kaol.
4.70–4.79	*Chlor. (S)*	2.53–2.56	Chlor., Felds., Mont.
4.60	Sepiol., Verm. (S)	2.49	Kaol. (VS)
4.45–4.50	Illite (VS)	2.46	Quartz, heated Verm.
4.46	Kaol.	2.43–2.46	Chlorite
4.36	Kaol.	2.39	*Verm.*, Illite
4.26	Quartz (S)	2,38	*Kaol.*
4.18	Kaol.	2.34	Kaol. (VS)
4.02–4.04	Felds.(S)	2.29	Kaol. (VS)
3.85–3.90	Felds.	2.28	Quartz, Sepiol.
3.82	Sepiol.	2.23	Illite, Chl.
3.78	Felds.	2.13	Quartz, Mica
3.67	Felds.	2.05–2.06	Kaol. (WK)
3.58	Carbonate, Chl.	1.99–2.00	*Mica, Illite(S)*, Kaol. Chl.
3.57	*Kaol. (VS)*, Chl.	1.90	Kaol.
3.54–3.56	Verm.	1.83	Carb.
3.50	Felds., Chlor.	1.82	Quartz
3.40	Carb.	1.79	Kaol.
3.34	Quartz (VS)	1.68	Quartz
3.32–3.35	*Illite (VS)*	1.66	Kaolin
3.30	Carb.	1.62	Kaolin
3.23	Attapulgite	1.54B	Verm. (S), Quartz
3.21	Felds.	1.55	Quartz
3.20	Mica	1.58	Chl.
3.19	*Felds. (VS)*	1.53	Verm., Illite (Trioctahed)
3.05	Mont.	1.50	Ill. (S), Kaol.
3.04	Carb. (VS)	1.48–1.50	Kaol. (VS), Mont.
3.02	Felds.	1.45B	Kaol.
3.00	Heated Verm.	1.38	Quartz, Chl.
2.98	Mica (S)	1.31, 1.34, 1.36	Kaol. (B)

[a] *Italics: (001) spacing.*
[b] (B) = broad; (S) = strong; (VS) = very strong; (WK) = weak; Mont. = Montmorillonite; Chl. = Chlorite; Verm. = Vermiculite; Kaol. = Kaolinite; Carb. = Carbonate; Felds. = Feldspar; Sepiol. = Sepiolite.

Tabela 8 – Distâncias interplanares basais mais comuns

4.4.Estudos Comparativos

A partir da caracterização hidrogeológica da área de estudo, os parâmetros pesquisados serão comparados com os parâmetros das outras áreas experimentais: Borden, Cape Cod e Ressacada. Esta análise comparativa será necessária para prever se a área experimental da UFRRJ é ideal para futuros ensaios de contaminação por derivados do petróleo.

A área experimental situada em Borden, no Canadá, pertence à Universidade de Waterloo. A área possui aproximadamente 100 metros de largura por 100 metros de comprimento e foi estabelecida numa região na qual é constituída de aqüífero livre arenoso de origem glaciofluvial.

Outra área experimental está situada em Cape Cod, na Base Aérea de Otis, Massachusetts, nos Estados Unidos. Possui aproximadamente 300 metros de largura por 300 metros de comprimento. Está estabelecida sobre em um aqüífero não confinado composto por areia e cascalho de origem glacial.

No Brasil, a Fazenda Experimental da Ressacada, de propriedade da UFSC, localizada em Florianópolis-SC é uma área experimental que possui 30

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA

metros de comprimento, 12 metros de largura e 45 poços de monitoramento que permitem acompanhar o deslocamento da pluma de contaminação. A área foi estabelecida numa região na qual é constituída de aqüífero livre arenoso de origem fluvio-marinha.

Todos os campos experimentais citados acima possuem trabalhos de pesquisa relacionados com a contaminação da água subterrânea por substâncias derivadas do petróleo.

Devido à variabilidade espacial da condutividade hidráulica, as áreas de Borden e Cape Cod fizeram também testes com traçadores para determinar os parâmetros hidráulicos detalhadamente. Cape Cod utilizou como traçadores brometo (Br^-), lítio (Li^+), molibdato (MoO_4^-) e fluoreto (F^-). Borden utilizou como traçador uma solução combinando brometo com cloreto.

Segundo Sudicky (1986), é sabido que a força do processo dispersivo é dependente do grau de heterogeneidade e estrutura espacial das propriedades hidráulicas do aqüífero. E a dispersividade é convencionalmente obtida pela calibração da solução da equação de advecção-dispersão para observar a concentração padrão. Assim, as variações espaciais dos parâmetros hidráulicos do aqüífero precisam ser tratadas de forma diferente (através de geoestatístca) na área de estudo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0611843/CA