



### 5.3.5 Hidrogeologia

Para a implantação e operação da Usina Termoelétrica Porto do Açu Energia é necessária a caracterização da disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos e da qualidade das águas subterrâneas na região em estudo.

A avaliação deste cenário é de fundamental importância, uma vez que o uso dos recursos hídricos pelo empreendimento poderá propiciar a alteração do sistema hídrico subterrâneo nas áreas de influência do empreendimento.

O objetivo foi caracterizar e delimitar os aquíferos nos quais será instalado o empreendimento, bem como os aquíferos que estarão sob sua influência, fornecendo subsídios para elaboração do diagnóstico ambiental da área e para avaliação de suas potencialidades e fragilidades.

O diagnóstico hidrogeológico da AID e ADA foi desenvolvido com os seguintes objetivos:

- Caracterizar as propriedades hidráulicas e hidrogeoquímicas do aquífero superior da área, por ser este o de maior vulnerabilidade à contaminação, com vistas a estabelecer o *background* local bem como subsidiar o dimensionamento de futuras campanhas de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas;
- Identificar posição de possível cunha salina no subsolo, por ser esta uma feição com potencial de inviabilizar captações subterrâneas;
- Identificar feições correlacionáveis à alteração na permeabilidade do subsolo, tais como variações faciológicas, visando indicar setores de maior favorabilidade à captação subterrânea; e
- Apontar, com base nos estudos locais e regionais, o potencial exploratório das águas subterrâneas na ADA.

#### 5.3.5.1 Procedimentos Metodológicos

Este estudo abrange caracterização das Áreas de Influência Indireta (AII), Direta (AID) e ADA; a identificação de potenciais impactos negativos nos recursos hídricos subterrâneos, decorrentes da instalação, operação e eventual desativação do empreendimento; e a proposição de medidas de mitigação dos impactos relevantes identificados, as quais serão incorporadas a programas ambientais, com o objetivo de implementar processos de controle dos impactos ambientais negativos mais significativos.



Para a caracterização hidrogeológica das Áreas de Influência foram utilizados dados referentes aos seguintes temas: uso e ocupação do solo, geologia, geomorfologia, águas superficiais (cursos d'água e lagoas) e águas subterrâneas.

Para atingir os objetivos propostos foram realizadas as seguintes atividades:

- Análise preliminar dos dados referentes à caracterização do empreendimento, visando direcionar a coleta de dados secundários;
- Pesquisa bibliográfica para identificação, coleta e análise de dados secundários sobre a área de estudo, técnico-científicos relacionados ao tema e área estudados, incluindo resultados de sondagens a percussão, mapas topográficos, relatórios e publicações científicas disponíveis, visando a execução da caracterização hidrogeológica da AID;
- Reconhecimento das unidades físico-ambientais superficiais da área de estudo;
- Execução de investigações de campo envolvendo:
  - Instalação de piezômetros e poços de monitoramento, leitura de níveis de água subterrânea e execução de testes de *slug*;
  - Levantamento topográfico dos piezômetros, poços de monitoramento e pontos de cursos d'água;
  - Coleta de amostras de solo e água subterrânea para caracterização física e química; e
  - Levantamentos geofísicos envolvendo caminhamentos de eletroresistividade e sondagens elétricas verticais (SEVs).

Conforme já apresentado anteriormente, foram considerados os seguintes limites para as áreas de influência:

- Área de Influência Indireta (AII): parte do Complexo Deltáico do Paraíba do Sul, abrangendo parte da bacia hidrográfica da Lagoa Feia e as sub-bacias hidrográficas do Campelo, Cacimbas, Muritiba, São Domingos, Nicolau, Pau Fincado, Açú, Iquipari, Grussaí e Coutinho, conforme Mapa de Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas - Serla/RJ, 2007). Nota-se que esses limites foram integrados com os aquíferos sedimentares ocorrentes na região.
- Área de Influência Direta (AID): foi estabelecida com base na análise das bacias hidrográficas a serem afetadas ou com possibilidade de serem afetadas pelo empreendimento. Estas bacias correspondem às bacias do Açú, Iquipari, Grussaí e Coutinho, (Serla, 2007).
- Área Diretamente Afetada (ADA): corresponde a 500 ha, inserida na Fazenda Caruara, que ocupa cerca de 1.800 ha, entre as Lagoas de Grussaí e Iquipari, a 17 km ao sul da foz do rio Paraíba do Sul.



#### 5.3.5.1.1 Procedimentos Específicos

- **Sondagens, coleta de amostras de solo e instalação de poços de monitoramento e piezômetros**

As sondagens para simples reconhecimento do subsolo e instalação dos poços de monitoramento (PMs) e piezômetros (PZs) foram realizadas em novembro de 2007. Os poços de monitoramento foram construídos com objetivo de se obter características físicas e químicas do aquífero, bem como permitir a obtenção de amostras de água subterrânea para fins de análises químicas. Os piezômetros foram construídos apenas para caracterização física do aquífero.

Ao todo foram executadas 20 sondagens, sendo 10 com profundidades entre 13 e 18 m e 10 com profundidades entre 1,5 e 3 m. Tendo em vista a homogeneidade litológica observada em superfície, os pontos de investigação foram locados objetivando-se uma distribuição aproximadamente homogênea no terreno da Fazenda Caruara e melhor elaboração do mapa potenciométrico. A Figura 5.3.5.1.1-1 inclui a apresentação da distribuição das sondagens executadas.

Nas sondagens mais profundas foram executados ensaios de percussão e nas sondagens mais rasas o avanço foi realizado apenas a trado cavadeira de 4".

As sondagens a percussão foram realizadas com tubo de revestimento de 64 mm de diâmetro interno nominal e hastes de 2,96 kg/m. O avanço da perfuração foi executado a trado cavadeira. Durante sua execução foram observadas as resistências oferecidas pelo solo à cravação do barrilete amostrador tipo Terzaghi & Pech 1 3/8" e 2" de diâmetro interno e externo respectivamente. As resistências observadas encontram-se expressas em número de golpes de um peso de 65 kg, caindo de uma altura de 75 cm, necessários à cravação dos últimos 30 cm do amostrador, conforme apresentado na NBR 6484.

As amostras coletadas nas sondagens foram descritas tátil-visualmente em conformidade com a norma NBR 7.250 da ABNT. Os resultados das sondagens a percussão estão apresentados no Anexo B5.



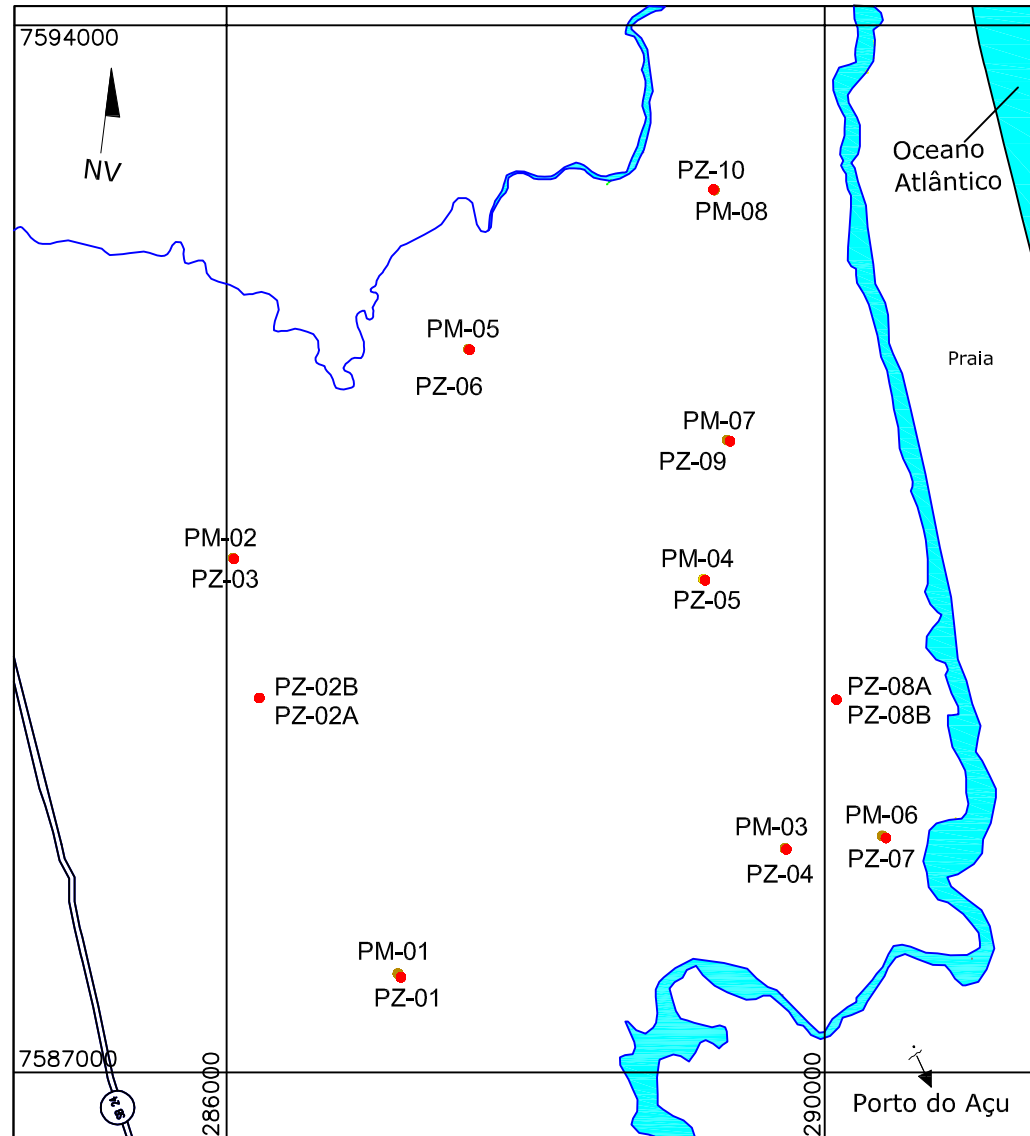
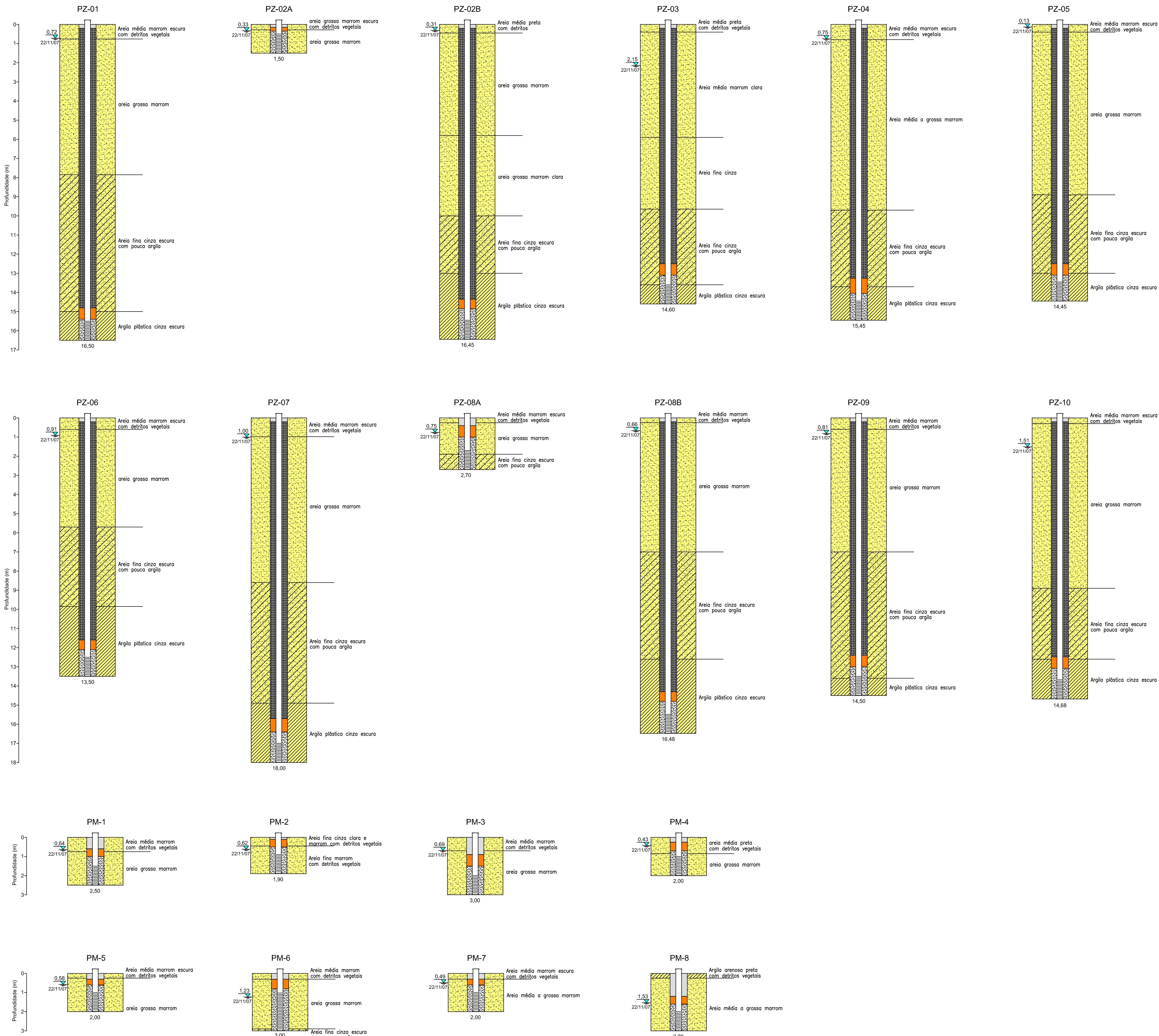
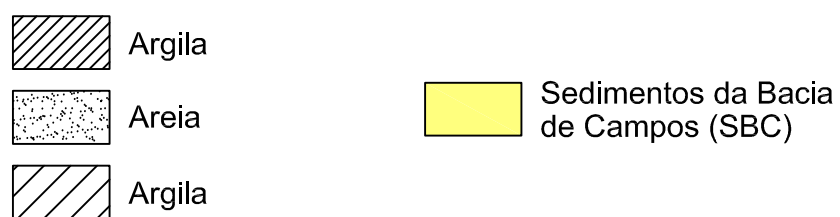
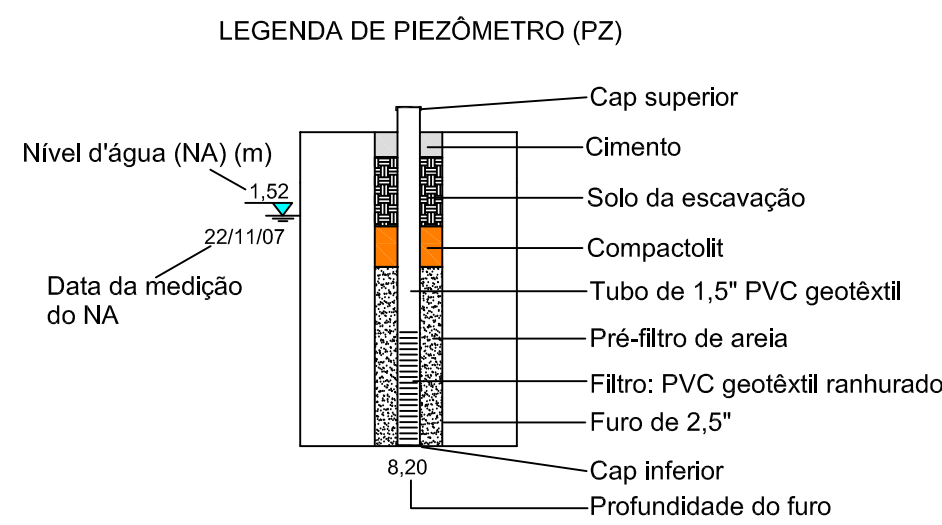
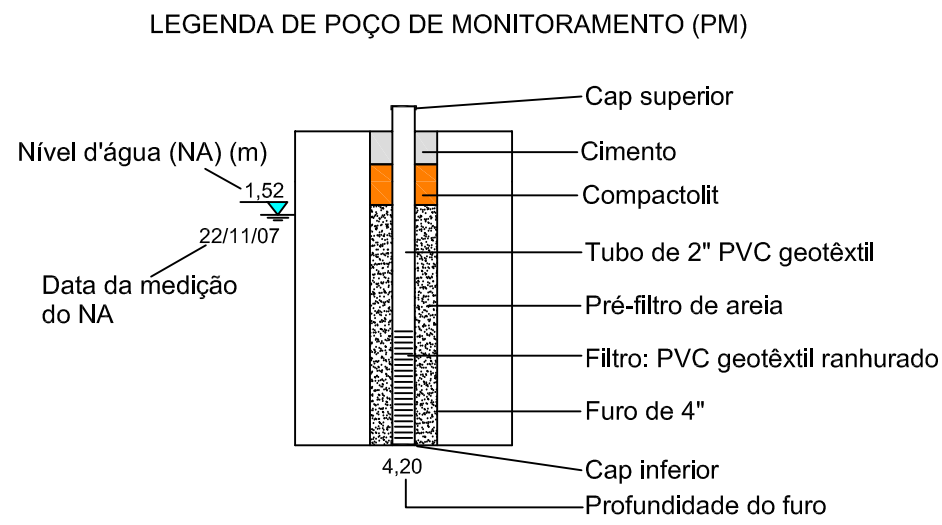
Nos furos abertos pelas sondagens a trado de 4" foram instalados poços de monitoramento em conformidade com a norma NBR 13895 da ABNT. Os poços de monitoramento foram construídos com tubo de PVC geomecânico 2", lisos e ranhurados, pré-filtro de areia grossa, selo de bentonita granulada e finalizados com solo da escavação. Os piezômetros foram construídos em PVC branco de 1,5" lisos e ranhurados, pré-filtro de areia grossa, selo de bentonita granulada e finalizados com solo da escavação. Tanto a extremidade inferior como a superior dos poços e piezômetros foram isoladas com *caps* de PVC.

Após a instalação, os poços foram desenvolvidos com a realização de bombeamento a fim de promover a circulação da água e remover os resíduos da perfuração, material particulado (areia/argila) decantado e retido no pré-filtro.

A Figura 5.3.5.1.1-1 ilustra os perfis litológicos e construtivos dos poços de monitoramento e piezômetros. As Fotos 5.3.5.1.1-1 a 5.3.5.1.1-4 ilustram as atividades de sondagens e instalação dos PZs e PMs. As características construtivas dos poços de monitoramento são apresentadas na Tabela 5.3.5.1.1-1.



# LEGENDA



CONESTOGA-ROVERS & ASSOCIADOS ENGENHARIA S/A



EIA RIMA DA UTE PORTO DO AÇU - SÃO JOÃO DA BARRA - RJ

FIGURA 5.3.5.1.1-1 - Perfis Litológicos e Construtivos dos Poços de Monitoramento e Piezômetros





**Fotos 5.3.5.1.1-1 e 5.3.5.1.1-2: Execução de sondagem em PZ-2b.**

Fonte: CRA, 2007.



**5.3.5.1.1-3: PM-1**

Fonte: CRA, 2007.



**5.3.5.1.1-4 : PZ-3.**

Fonte: CRA, 2007.



**TABELA 5.3.5.1.1-1**  
**CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DOS PMS E PZS INSTALADOS**

Sigla do Poço PM/ PZ	Diâmetro da perfuração	Diâmetro da Instalação	Data da instalação	Prof. Total do poço (m)	NA em relação ao nível do terreno (m) - 22/11/07	Seção filtrante (m)	Pré-filtro (m)	Selo de Bentonita (m)
PM-1	4"	2"	07/11/07	2,50	0,64	1,50 – 2,50	1,00 – 2,50	0,60 – 1,00
PM-2	4"	2"	09/11/07	1,90	0,62	0,90 – 1,90	0,50 – 1,90	0,10 – 0,50
PM-3	4"	2"	06/11/07	3,00	0,69	2,00 – 3,00	1,50 – 3,00	0,90 – 1,50
PM-4	4"	2"	09/11/07	2,00	0,43	1,00 – 2,00	0,70 – 2,00	0,25 – 0,70
PM-5	4"	2"	09/11/07	2,00	0,58	1,00 – 2,00	0,60 – 2,00	0,30 – 0,60
PM-6	4"	2"	04/11/07	3,00	1,23	1,00 – 3,00	0,80 – 3,00	0,30 – 0,80
PM-7	4"	2"	09/11/07	2,00	0,49	1,00 – 2,00	0,60 – 2,00	0,30 – 0,60
PM-8	4"	2"	09/11/07	3,00	1,53	2,00 – 3,00	1,60 – 3,00	1,20 – 1,60
PZ-1	2,5"	1,5"	07/11/07	16,50	0,72	15,50 – 16,50	15,40 – 16,50	14,80 – 15,40
PZ-2a	2,5"	1,5"	08/11/07	1,50	0,33	0,50 – 1,50	0,35 – 1,50	0,15 – 0,35
PZ-2b	2,5"	1,5"	08/11/07	16,45	0,31	15,45 – 16,45	14,85 – 16,45	14,35 – 14,85
PZ-3	2,5"	1,5"	10/11/07	14,60	2,15	13,60 – 14,60	13,10 – 14,60	12,50 – 13,10
PZ-4	2,5"	1,5"	06/11/07	15,00	0,75	14,00 – 15,00	13,60 – 15,00	12,80 – 13,60
PZ-5	2,5"	1,5"	12/11/07	14,45	0,13	13,45 – 14,45	13,10 – 14,45	12,50 – 13,10
PZ-6	2,5"	1,5"	13/11/07	13,50	0,91	12,50 – 13,50	12,10 – 13,50	11,60 – 12,10
PZ-7	2,5"	1,5"	03/11/07	18,00	1,00	17,00 – 18,00	16,40 – 18,00	15,70 – 16,40
PZ-8a	2,5"	1,5"	05/11/07	2,70	0,75	1,70 – 2,70	1,00 – 2,70	0,40 – 1,00
PZ-8b	2,5"	1,5"	05/11/07	16,48	nm	15,48 – 16,48	14,80 – 16,48	14,30 – 14,80
PZ-9	2,5"	1,5"	11/11/07	14,50	0,81	13,50 – 14,50	13,00 – 14,50	12,40 – 13,00
PZ-10	2,5"	1,5"	14/11/07	13,70	1,51	12,70 – 13,70	12,10 – 13,70	11,50 – 12,10

Organização: CRA, 2007.



As coordenadas e cotas topográficas em relação ao nível do mar dos PZs e PMs foram obtidos por meio da utilização de GPS geodésico - receptor L1 e L2 Topcon HGGD. Esses valores estão apresentados na Tabela 5.3.5.1.1-2.

**TABELA 5.3.5.1.1-2**  
**COTAS E COORDENADAS DOS PZs E PMs**

PM / PZ	UTM - N (m)	UTM - E (m)	Altitude do terreno (m)	Altitude da boca do poço (m)	Altura da boca do poço em relação ao nível do terreno (m)
PM-1	7.587.661,086	287.146,073	3,960	4,729	0,769
PM-2	7.590.438,415	286.044,711	4,459	5,232	0,773
PM-3	7.588.497,592	289.734,231	3,407	4,353	0,946
PM-4	7.590.297,182	289.188,830	3,874	4,681	0,807
PM-5	7.591.835,561	287.617,860	3,794	4,501	0,707
PM-6	7.588.582,159	290.383,485	3,472	4,35	0,878
PM-7	7.591.227,327	289.347,106	3,773	4,468	0,695
PM-8	7.592.899,709	289.261,645	4,055	4,775	0,720
PZ-1	7.587.635,712	287.166,339	3,960	5,003	1,043
PZ-10	7.592.902,978	289.255,370	4,055	4,823	0,768
PZ-2a	7.589.503,302	286.219,201	4,283	5,358	1,075
PZ-2b	7.589.495,334	286.235,132	4,283		
PZ-3	7.590.433,149	286.049,730	4,459	5,398	0,939
PZ-4	7.588.491,273	289.743,295	3,407	4,317	0,910
PZ-5	7.590.290,533	289.200,373	3,874	4,752	0,878
PZ-6	7.591.831,343	287.625,401	3,794	4,654	0,860
PZ-7	7.588.567,310	290.409,292	3,472	4,04	0,568
PZ-8a	7.589.491,743	290.078,084	3,596	4,356	0,760
PZ-8b	7.589.499,808	290.075,392	3,596	nm	nm
PZ-9	7.591.219,788	289.367,073	3,773	4,603	0,830

Organização: CRA, 2007.

As amostras de solo para caracterização física foram obtidas de algumas sondagens e de trincheiras abertas ao lado das sondagens. Nas trincheiras foram recolhidas amostras indeformadas e deformadas e nas sondagens foram coletadas amostras deformadas. A Tabela 5.3.5.1.1-3 identifica as amostras coletadas e as análises efetuadas. As Fotos 5.3.5.1.1-5 e 5.3.5.1.1-6 ilustram os procedimentos de coleta de amostra indeformada. Os laudos com os resultados das análises efetuadas estão apresentados no Anexo B6.





**Foto 5.3.5.1.1-5 - Coleta de amostra indeformada em trincheira.**

Fonte: CRA, 2007.



**Foto 5.3.5.1.1-6 - Amostra indeformada.**

Fonte: CRA, 2007.

**TABELA 5.3.5.1.1-3**  
**CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO ENVIADAS PARA ANÁLISES**  
**LABORATORIAIS**

Identificação da amostra	Sondagem	Profundidade de coleta (m)	Data	Parâmetros analisados	Laboratório
PZ1 (0,05m)	PZ1	0,05	12/11/07	Granulometria, Densidade real, Densidade aparente, Porosidade efetiva, Porosidade total, Carbono orgânico total (TOC).	Innolab
PZ5 (0,5m)	PZ5	0,5	09/11/07		
PZ6 (0,50m)	PZ6	0,50	09/11/07		
PZ7 (0,5m)	PZ7	0,5	16/11/07		
PZ10 (1,0m)	PZ10	1,0	09/11/07		
PZ5 (14,0m)	PZ5	14,0	12/11/07	Granulometria.	
PZ7(16,0 a 18,0m)	PZ7	16,0 a 18,0	03/11/07		
PZ1 (15,0m)	PZ1	15,0	07/11/07		
PZ6 (12,0m)	PZ6	12,0	13/11/07		
PZ4 (15,0m)	PZ4	15,0	06/11/07		

Organização: CRA, 2007.



- **Amostragens de águas subterrâneas, medições de níveis d'água e testes de slug**

As coletas de amostras de água subterrânea foram realizadas nos poços de monitoramento. Os parâmetros selecionados para análise foram os da Portaria 518 de 2004 do Ministério da Saúde. As medições de níveis d'água subterrâneas foram realizadas nos poços de monitoramento e piezômetros.

Para realizar a amostragem de água subterrânea utilizou-se amostrador descartável do tipo *bailer* com diâmetro de 41 mm e 1 m de comprimento.

Para a amostragem com *bailer* adotou-se como procedimento prévio a retirada de volume de água correspondente a 3 (três) vezes o volume contido em cada poço, como forma de retirar a água estagnada presente no interior dos mesmos (purga), a qual não representa as características naturais da água subterrânea do aquífero local.

Após esse processo, aguardou-se a recuperação do nível d'água a valores entre 70% e 100% do nível original, para se proceder com a coleta propriamente dita.

A amostragem com *bailer* foi realizada de forma suave, sendo o amostrador introduzido lentamente no interior de cada poço, a fim de não perturbar a água contida no poço, a ser amostrada. Adotou-se para todos os poços amostrados, o descarte do primeiro volume retirado. Para cada poço amostrado, foi utilizado um amostrador de coleta, evitando ocorrência de contaminação cruzada. As Fotos 5.3.5.1.1-7 e 5.3.5.1.1-8 ilustram o processo de amostragem.

Durante a amostragem foram mensurados os parâmetros de pH, condutividade elétrica, temperatura e Eh por meio de equipamentos portáteis.

A água coletada foi armazenada em volume e frascos apropriados para cada tipo de parâmetro analisado.

Todas as amostras foram acondicionadas em frascos esterilizados fornecidos pelo laboratório (Bioagri), identificadas, refrigeradas e enviadas ao laboratório para processamento das análises químicas. Para análise de coliformes fecais procedeu-se uma segunda campanha de coleta tendo em vista a perda de validade das amostras na primeira campanha.

As cadeias de custódia e os resultados das análises laboratoriais das amostras de águas coletadas são apresentados no Anexo B7. Na Tabela 5.3.5.1.1-4 estão apresentadas os dados obtidos durante as amostragens.

**TABELA 5.3.5.1.1-4**  
**DADOS OBTIDOS DURANTE AS AMOSTRAGENS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Poço	Identificação da amostra	Data	Hora da coleta	pH	Condutividade. (µs)	Temp. (°C)	Eh (mV)	Parâmetros Analíticos
PM-1	PM1	12/11/07	9:00	3,93	141	26,9	1,39	Port. MS 518/04
PM-2	PM2	12/11/07	9:15	4,57	116	25,5	-0,56	
PM-3	PM3	12/11/07	9:30	3,69	140	27,4	0,62	
PM-4	PM4	12/11/07	9:45	4,55	173	26,5	-0,58	
PM-5	PM5	12/11/07	9:00	4,13	64	26,2	0,71	
PM-6	PM6	12/11/07	9:15	5,35	146	26,8	-0,26	
PM-7	PM7	12/11/07	9:30	4,74	194	28,5	-0,89	
PM-8	PM8	12/11/07	9:45	5,21	268	25,4	-0,18	
PM-1	PM1	14/11/07	14:20	-	-	-	-	Coliformes e contagem padrão
PM-2	PM2	14/11/07	13:50	-	-	-	-	
PM-3	PM3	14/11/07	14:30	-	-	-	-	
PM-4	PM4	14/11/07	12:40	-	-	-	-	
PM-5	PM5	14/11/07	15:00	-	-	-	-	
PM-6	PM6	14/11/07	13:00	-	-	-	-	
PM-7	PM7	14/11/07	12:30	-	-	-	-	
PM-8	PM8	14/11/07	11:50	-	-	-	-	

Organização: CRA, 2007.

Medições de níveis da água subterrânea e testes de *slug* foram processados com medidor elétrico de nível dias após a execução das sondagens. As Fotos 5.3.5.1.1-7 e 5.3.5.1.1-8 ilustram o procedimento de medição de nível de água subterrânea (NA).



**Foto 5.3.5.1.1-7: Coleta de amostra de água subterrânea.**

Fonte: CRA, 2007.



**Foto 5.3.5.1.1-8 - Medição de NA.**

Fonte: CRA, 2007.





- **Levantamentos geofísicos**

Especificamente, as técnicas geofísicas utilizadas visaram:

- a) definir feições geoeletricas correlacionáveis à alterações na permeabilidade do maciço, como também variações faciológicas, e identificação de possível cunha salina, utilizando-se o caminhamento elétrico de resistividade; e
- b) definir estratos geoeletricos correlacionáveis à posição do nível d'água subterrânea, como também a identificação de diferentes estratos geoeletricos na porção superior do subsolo.

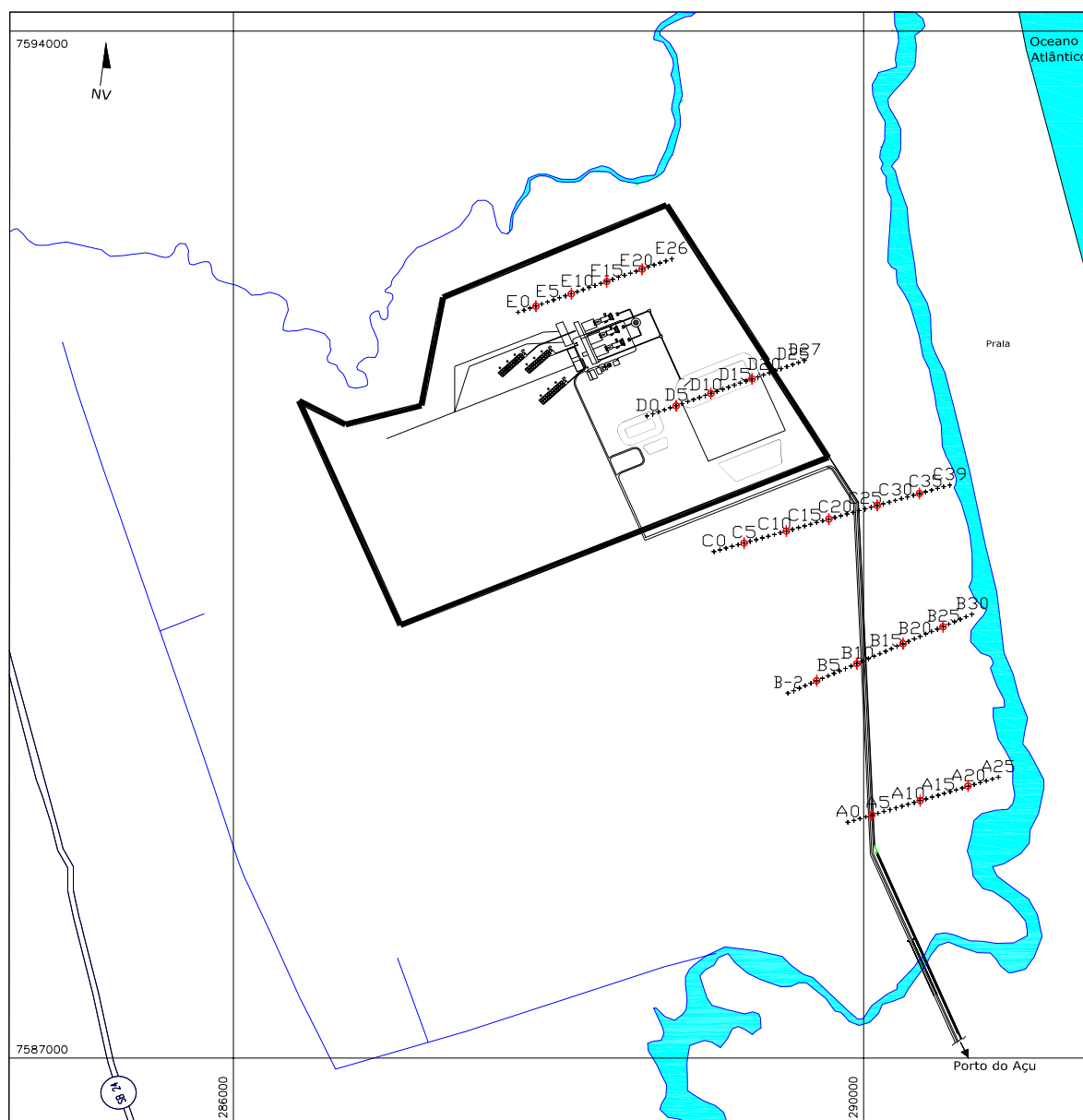
A malha geofísica pode ser visualizada na Figura 5.3.5.1.1-2. Essa malha é constituída por 5 linhas de forma a recobrir a área da fazenda e posicionadas com direção preferencial W-E.



Essas linhas foram estaqueadas de 40 em 40 metros e os ensaios geofísicos foram distribuídos da forma descrita a seguir:

- a) Caminhamentos elétricos: os perfis de eletrorresistividade foram executados ao longo das linhas A a E, com medições de resistividade de 40 em 40 metros, perfazendo um total de 5.880 metros. Nesse levantamento foi utilizado o sistema ABEM SAS-4000, de fabricação sueca; e
- b) Sondagens elétricas verticais: foram executadas 20 sondagens elétricas verticais, arranjo Schlumberger, com abertura máxima de 400 metros entre os eletrodos de corrente (AB). O sistema utilizado também foi o ABEM SAS-4000.

No Anexo B8 é apresentado o relatório com os resultados da investigação geofísica efetuada.

**FIGURA 5.3.5.1.1-2**  
**LOCALIZAÇÃO DA MALHA GEOFÍSICA**



-  - ponto de execução de sondagem elétrica vertical
-  - designação da estaca topográfica na seção de caminhamento elétrico

Fonte: CRA, 2007.



#### 5.3.5.2 Caracterização Hidrogeológica da Área de Influência Indireta

Na AII ocorrem aquíferos porosos associados à Bacia Sedimentar de Campos. A porção sub-oceânica da Bacia de Campos, por sua importância quanto a campos petrolíferos, tem sido alvo de inúmeros estudos. Enquanto, em sua porção emersa, os estudos não evoluíram da mesma forma, e ainda hoje não existe consenso quanto a sua estratigrafia (Silva & Cunha, 2001).

Os trabalhos mais atuais na área têm sido desenvolvidos por técnicos do Cedae - Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Estado do Rio de Janeiro, particularmente pelo hidrogeólogo Egmont Bastos Capucci. De acordo com Capucci (2003) a “ocorrência de água subterrânea na Bacia de Campos está diretamente relacionada à sua evolução tectônica, onde os grandes lineamentos geológicos” foram responsáveis por basculamentos do embasamento cristalino na direção NE/SW. Posteriormente, com a reativação, falhas de ruptura, em direção aproximadamente perpendicular a este lineamento, definiram a estrutura geológica em três blocos tectônicos, quais sejam, os Altos Estruturais de São Francisco do Itabapoana (Norte) e Quissamã (Sul) e o bloco rebaixado de Campos e São João da Barra (Centro) (Figuras 5.3.5.2 - 1 e 2).

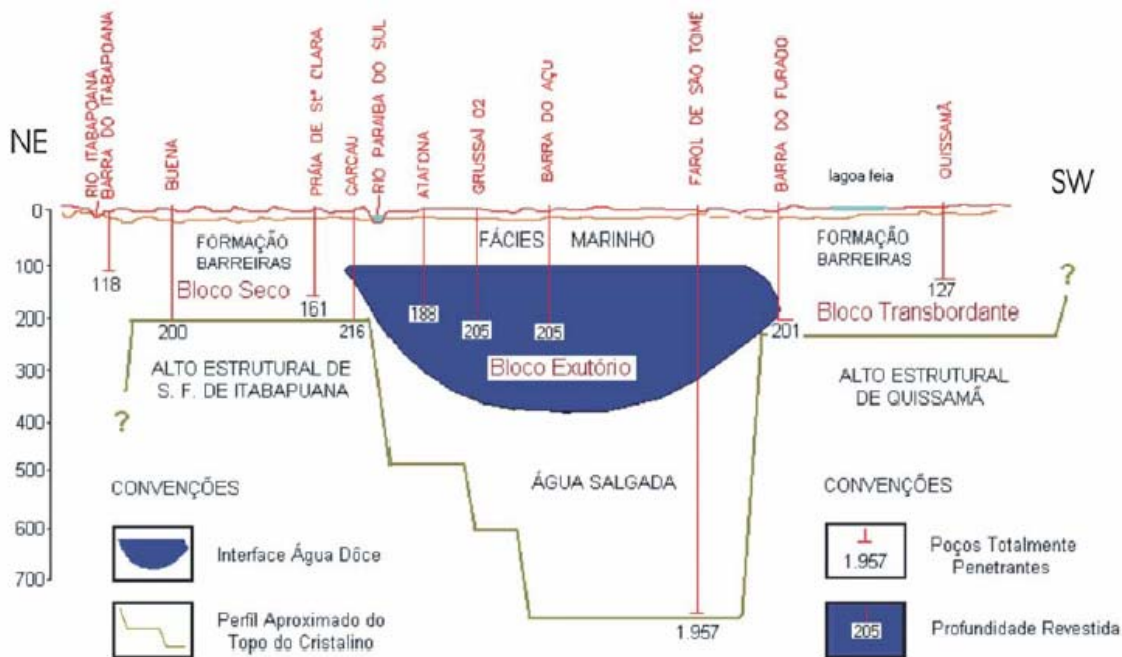


FIGURA 5.3.5.2-1  
SUBDIVISÃO DO AQUÍFERO SEDIMENTAR DA BACIA DE CAMPOS



Fonte: Martins (sd) modificado de Capucci (2003).

**FIGURA 5.3.5.2-2**  
**PERFIL HIDROGEOLÓGICO DA BACIA DE CAMPOS**



Fonte: Capucci (2003) apud Martins (sd).

#### 5.3.5.2.1 Bloco de São Francisco do Itabapoana

Este bloco está limitado ao norte pela falha de Barra do Itabapoana, e ao sul pela falha que capturou o rio Paraíba do Sul, desde Campos dos Goytacazes até sua foz, ocorrendo em quase toda extensão do município de São Francisco do Itabapoana capeado por sedimentos de idade terciária da Formação Barreiras (Capucci, 2003).

Ainda segundo Capucci (2003), este bloco tem as seguintes características:

- Os sedimentos que formam este bloco são oriundos de terrenos graníticos vizinhos e próximos ao leste;
- Os sedimentos foram depositados em bacias rasas e não sofreram processos de retrabalhamento, por isso são denominados Formação Barreiras Primitiva;
- As rochas têm composição essencialmente argilo-siltosa, sendo pouco permeáveis; e
- As rochas apresentam espessuras rasas, de 84 metros nas cercanias da cidade de São Francisco do Itabapoana, e de 65 metros em Travessão de Campos, espessando-se até 216 metros em direção ao litoral.



A reduzida permeabilidade destes sedimentos, aliada ao baixo regime pluviométrico no noroeste do Estado conferem uma fraca vocação hidrogeológica para este aquífero (Capucci, 2003). Além disso, suas águas podem ser salobras e ferruginosas.

#### 5.3.5.2.2 Bloco de Campos e São João da Barra

Este foi o bloco mais afetado tectonicamente, razão pelo qual todos os poços perfurados em seu domínio obtiveram altas vazões específicas. Além disso, é neste bloco “que os melhores resultados ocorrem, em função das formações sedimentares possuírem elevada transmissividade, contendo no interior aquíferos livres e confinados na faixa costeira, estendendo-se desde a cidade de Atafona até próximo ao sul da cidade de Farol de São Tomé, constituindo um fabuloso exutório de água doce” (Capucci, 2003).

Ocorrem neste bloco três formações geológicas, quais sejam, Aluviões de Campos (quaternária), Formação Emboré, (quaternária/terciária) e Formação Barreiras Recente (terciária recente) (Capucci, 2003).

#### 5.3.5.2.3 Aluviões de Campos

Os Aluviões de Campos, situados cerca de 12 metros acima do nível do mar, cobrem consideráveis extensões, formando o aquífero aluvionar de Campos (Capucci, 2003).

Segundo Capucci (2003), as principais características dos Aluviões de Campos são:

- O afundamento do cristalino propiciou elevados gradientes hidráulicos, sendo o responsável pelas altas transmissividades observadas nesta formação;
- Águas com características corrosivas e ferruginosas;
- As espessuras aumentam em direção ao mar, com 30 metros na localidade de Ururaí, 45 metros na Usina do Queimado (situada na Cidade de Campos dos Goytacazes), 76 metros no Bairro de Santo Antonio, 90 aos 100 metros nos distritos de Donana e Goytacazes; e
- Na região dos distritos de Donana e Goytacazes adquire condições de semiconfinamento até o contato com os sedimentos mais antigos, limitados por um falhamento que passa a leste de Goytacazes e da localidade de Poço Gordo.

Considerando-se que o aluvião ocorre em áreas densamente povoadas distantes das redes de abastecimento, este reservatório natural desponta como o mais importante aquífero da Bacia de Campos, por apresentar alternativa de reforço ou abastecimento de diversos bairros e distritos (Capucci, 2003).





#### 5.3.5.2.4 Formação Emboré

As principais características da Formação Emboré são:

- A litologia predominante consiste de intercalações de folhelhos de cor esverdeada e arenitos com espessuras permeáveis nunca superiores aos 2 metros;
- No poço de Boa Vista perfurou-se até os 90 metros sedimentos de fácies marinha, contendo vazas e corais com água de má qualidade;
- Em profundidades superiores a 90 metros obteve-se, no poço Boa Vista, arenito feldspático glauconítico com bastante linhita, que funciona como um verdadeiro fóssil guia das águas doces, com evidentes sinais de procedência continental. Suas águas são de excelente qualidade, com STD em torno de 150 ppm, contendo baixos teores de ferro, cloretos e dureza total, elegendo-se este aquífero como o melhor entre os demais estudados;
- No poço Petrobrás, executado em Farol de São Tomé, foram detectadas águas doces até 320 metros de profundidade;
- O contato dessa Formação com as formações mais antigas também é tectônico, separado por falha na direção NE /SW passando na costa entre os poços de Grussaí e Barra do Açu, encontrando-se no interior com a falha de Tocos; e
- As vazões específicas situam-se entre 4 a 7 m<sup>3</sup>/h/m.

“Apesar da qualidade das águas deste aquífero prescindir de qualquer tratamento, a ocorrência de pequenas demandas em sua área de abrangência, exceto a Cidade de Farol de São Tomé, inibe perfuração de novos poços nesta formação” (Capucci, 2003).

#### 5.3.5.2.5 Formação Barreiras Recente

A maior parte da Fazenda Caruara situa-se sobre esta Formação. De acordo com Capucci (2003), as principais características da Formação Barreiras recente são:

- Difere, de forma marcante, dos sedimentos Barreiras típicos no que se refere a sua litologia, alta permeabilidade e grande espessura;
- Foi originada por processos de retrabalhamento da Formação Barreiras primitiva após a reativação dos blocos, mantendo ainda sua característica típica de sedimentos lateríticos cor bege a marrom avermelhada;
- É recoberta por cerca de 30 metros de sedimentos de origem marinha, contendo água de má qualidade;



- Ocorrem águas muito mineralizadas até os 70 metros, com sedimentos predominantemente argilosos, diminuindo gradativamente o teor de argila e STD após os 130 metros, e a partir daí ocorrendo sedimentos mais grosseiros com água de boa qualidade principalmente detectadas dos 150 aos 205 metros já pesquisados; e
- As vazões específicas são maiores que as da Formação Emboré, porém contendo águas mais mineralizadas, com STD em torno de 300 ppm.

“Considerando que esta formação ocorre em todo o Município de São João da Barra, existe a possibilidade imediata de atendimento por poços a Distritos carentes de água potável, ou mesmo a sede do Município, representando sem dúvida esta alternativa como a melhor opção técnica em futuros investimentos para saneamento” (Capucci, 2003).

#### 5.3.5.2.6 Bloco Quissamã

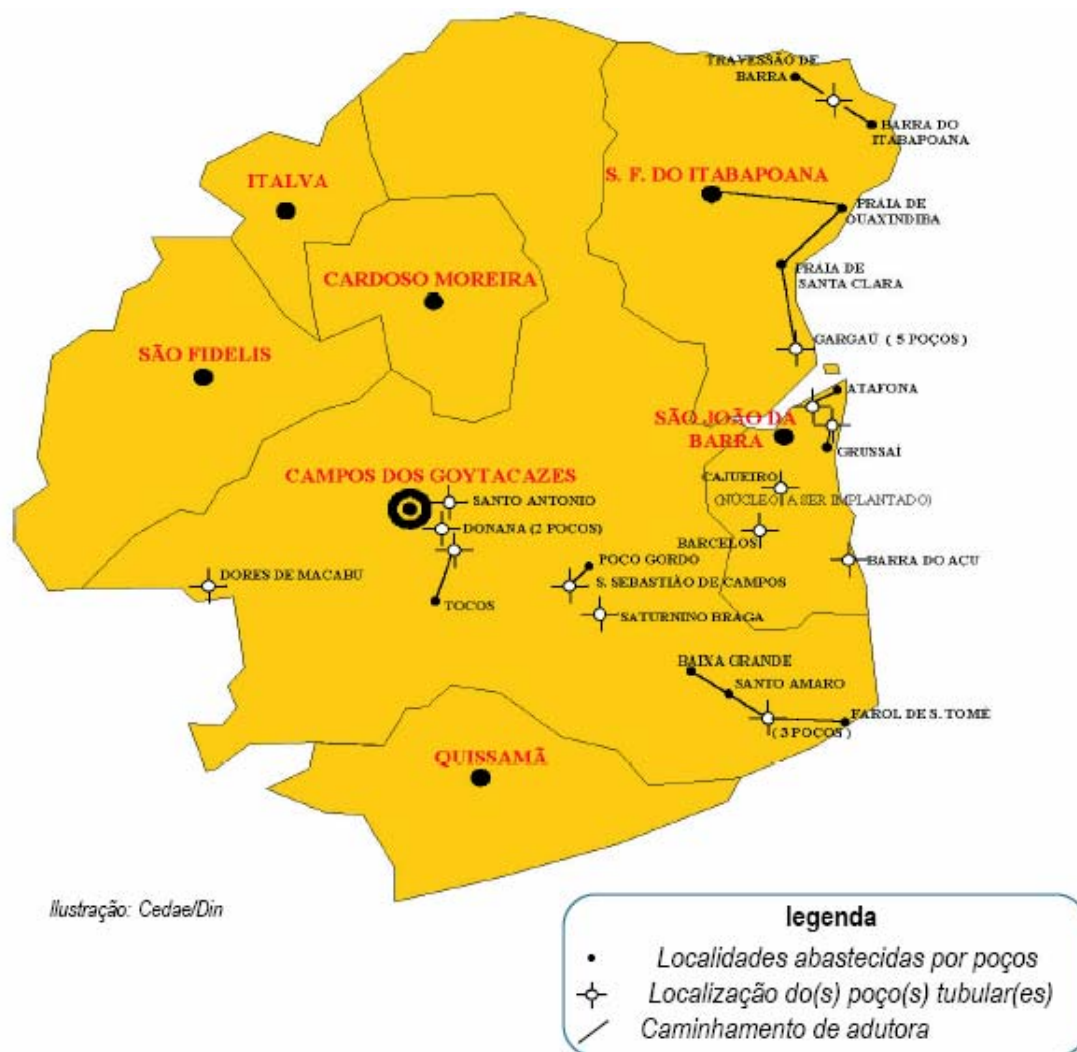
“Semelhante estruturalmente ao Bloco de São Francisco, o Bloco Quissamã tem possibilidades aquíferas muito reduzidas. Pode ser, eventualmente, utilizada para abastecimento de pequenas comunidades situadas próximo às áreas de recarga no cristalino, como é o caso de Dolores de Macabu. Poços construídos para abastecimento de Quissamã e Tocos, onde a Formação Barreiras é profunda, mas muito argilosa, produziram água salobra” (Capucci, 2003).

#### 5.3.5.2.7 Utilização da Água Subterrânea na AII

Os aquíferos da Bacia Sedimentar de Campos têm importância em decorrência de seu alto potencial associado a uma qualidade muito boa da água, em determinados aquíferos e profundidades (Capucci, 2001).

Vários municípios do Norte do Estado do Rio de Janeiro são abastecidos por água subterrânea (Figura 5.3.5.2.7-1). Em 2001, na área da Bacia de Campos, 300 mil pessoas eram abastecidas com águas subterrâneas (Weber, 2001).

**FIGURA 5.3.5.2.7-1**  
**LOCALIDADES ABASTECIDAS POR ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO NORTE**  
**DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**



Fonte: Weber (2001).

Dados sobre os poços monitorados pelo Cedae, existentes na região, são apresentados na Tabela 5.3.5.2.7-1.



**TABELA 5.3.5.2.7-1**  
**RELAÇÃO DE POÇOS EM OPERAÇÃO CONSTRUÍDOS NOS BLOCOS SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA, CAMPOS E SÃO JOÃO DA BARRA E QUISSAMÃ, DA BACIA SEDIMENTAR DE CAMPOS**

Bloco Aqüífero	Denominação do poço	Coordenadas UTM		Localidades abastecidas	Profundidade revestida (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Q esp. (m <sup>3</sup> /h/m)	População atendida (hab)
		N	E					
São Francisco de Itabapoana	Barra de Itabapoana	7644,5	295	Barra do Itabapoana Travessão da Barra	118	87	7,5	5.110
	Gargaú - (da Caixa)	7612,25	285,7	Praia de Gargaú	149	92	4,37	4.940
	Dos Macacos	7611,85	285,5	Praia de Santa Clara	139	45	2,11	10.975
	Da Curva	7611,75	285	S.F. do Itabapoana	144,7	45	2,54	
	Do Meio	7611,5	285	Praia de Guaxindiba	144	60	2,24	
Total						329		21.025
Bloco Campos e São João da Barra - Aluviões de Campos	Do Beco ou S. Antônio	7588,7	262,25	RM Campos (Bairros Jockey Club e Tarcísio Miranda)	74	90	>40,0	14.250
	Donana	7612,25	285,7	Campos (Bairros Penha, Goytacazes e Tocos)	90	340	34,48	37.305
Total						430		51.555
Bloco Campos e São João da Barra - Formação Emboré	Boa Vista 3	7562,5	282,5	Farol de São Tomé	202	260	8	14.825
				Santo Amaro				
				Baixa Grande				
	Satur. Braga	7577,8	273,75	Saturnino Braga	124,6	52,8	3,15	3.425
Total				Barra do Açu	205	39,9	0,58	2.760
Total						352,7		21.010
Bloco Campos e São João da Barra - Barreiras Recente	Cajueiro	7594,75	283,55	Cajueiro Degredo	176	80	10,86	4.800
	Grussaí 1	7597,2	287,2	Grussaí	172,3	48	1,17	10.695
	Grussaí 2	7599,8	289,8		205	53,7	1,2	
	Atafona	7607,5	289,8	Atafona	188	66,3	2,15	14.295
	Barcelos	7594,5	273,7	Barcelos	140	45	10,48	4.660
	S.S. Campos	7581,5	271,5	São Sebast. Campos	155,7	60	3,91	2.200
	Ilha Grussaí	7598,1	290	Poço Gordo				
Total				(*) ainda inoperante	224	(*)	4,4	
Total						353		36.650
Bloco Quissamã	Dores de Macacu	7566,5	241,1	Dores de Macacu	64,45	24,5	1	1.075
Total						1.489,20		131.315

Fonte: Capucci (2003).





Considerando-se apenas o município de São João da Barra, onde se situa a Fazenda Caruara, verifica-se que esse município é o único em todo o Estado do Rio de Janeiro constituído por rochas sedimentares com grande vocação hidrogeológica, podendo ser abastecido integralmente por água subterrânea, demonstrado pelos resultados obtidos nos poços atualmente em operação nas localidades de Cajueiro, Atafona, Grussaí e Barra do Açu (Tabela 5.3.5.2.7-1).

De acordo com os dados de demanda, três a quatro poços, com cerca de 220 metros de profundidade, corretamente locados, projetados e construídos, seriam suficientes para atender integralmente suas necessidades de água potável, com expectativa de vazão de 277,0 l/s isenta de tratamento (Capucci, 2003).

### 5.3.5.3 Caracterização Hidrogeológica da Área de Influência Direta e da Área Diretamente Afetada

#### 5.3.5.3.1 Caracterização do Aquífero Superior

Conforme apresentado na caracterização da AII, a ADA, segundo Capucci (2003), está situada sobre o denominado Aquífero Barreiras Recente.

Segundo o citado autor, o Aquífero Barreiras Recente, que é confinado e possui alta favorabilidade à exploração de águas subterrâneas, está recoberto por cerca de 30 metros de sedimentos de origem marinha, contendo água de má qualidade.

É este pacote de sedimentos de origem marinha que foi detalhado pelas investigações realizadas pelos poços de monitoramento e piezômetros instalados na ADA. Essa investigação procedeu-se porque é este pacote, aqui denominado como Aquífero Superior, o de maior vulnerabilidade à contaminação de suas águas subterrâneas devido à sua proximidade com a superfície e seu caráter livre. Esse caráter livre, inclusive, permite qualificar este aquífero como interconectado com as águas superficiais locais, incluindo as Lagoas de Grussaí e Iquipari.

As investigações realizadas nesse aquífero pela execução dos piezômetros e sondagens a percussão da Geodrill constataram, de maneira resumida, as litologias apresentadas na Tabela 5.3.5.3.1-1.

**TABELA 5.3.5.3.1-1**  
**CONSTITUIÇÃO LITOLÓGICA PREDOMINANTE DO AQUÍFERO SUPERIOR**  
**CONSTATADAS NAS SONDAGENS EXECUTADAS PELA GEODRILL E AS**  
**EXECUTADAS PARA INSTALAÇÃO DOS PZS E PMS**

Camada	Litologia	Espessuras médias (m)	Profundidades predominantes (m)
A	Areia quartzosa fina a grossa, de coloração esbranquiçada, marrom e cinza amarelado, podendo conter restos vegetais (Foto 5.3.5.3.1-1).	6	0 a 6
B	Areia fina a média, de coloração variando de cinza a cinza escura, pouco argilosa e pouco siltosa, compacta a muito compacta.	7	6 a 13
C	Argila orgânica, siltosa, de coloração cinza escura, de consistência mole, podendo apresentar fragmentos de conchas (Foto 5.3.5.3.1-2).	5	13 a 18
D	Camadas de espessuras variadas argilo-siltosas, argilo-arenosas e silto-arenosas, de coloração cinza e marrom escuras, consistência mole a rija, alterando com camadas de areias finas a médias, pouco argilosas, de coloração marrom amarelada, variando de pouco compacta a compacta.	22	18 a 40

Organização: CRA, 2007.



**Foto 5.3.5.3.1-1: Areia fina a grossa esbranquiçada, com grãos bem arredondados, da camada superficial (Camada A). A alta esfericidade de alguns grãos é indicadora de contribuição eólica no transporte destes sedimentos.**

Fonte: CRA, 2007.



**Foto 5.3.5.3.1-2: Argila siltosa plástica, orgânica, de coloração cinza escura (Camada C), obtida no barrilete amostrador da sondagem a percussão.**

Fonte: CRA, 2007.



Foram analisadas amostras de solos das camadas A e C. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.3.5.3.1-2.

**TABELA 5.3.5.3.1-2**  
**ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE SOLO DAS CAMADAS A E C DO AQUÍFERO SUPERIOR**

Propriedade	PZ1	PZ1	PZ4	PZ5	PZ5	PZ6	PZ6	PZ7	PZ7	PZ10
Camada	A	C	C	A	C	A	C	A	C	C
Profundidade (m)	0,5	15,0	15,0	0,5	14,0	0,5	12,0	0,5	16,0	1,0
Data da Coleta	12/11/07	07/11/07	06/11/07	09/11/07	12/11/07	09/11/07	13/11/07	16/11/07	03/11/07	09/11/07
Densidade Aparente - g/cm <sup>3</sup>	1,61			1,5		1,54		1,53		
Densidade Real - g/cm <sup>3</sup>	2,74			2,72		2,53		2,62		
Porosidade Efetiva - %	38,2			34,4		36,5		39,2		
Porosidade Total - %	41,2			44,7		38,9		41,6		
TOC - mg/kg	1041			799		377		1012		
<b>Granulometria</b>										
Cascalho e outros (>2mm)	-	-	-	0,2	-	-	0,6	-	0,2	-
Areia Grossa (2mm a >0,6mm)	59,1	0,8	0,9	67,9	0,3	61,9	1,4	29	2,2	44,1
Areia Média (0,6mm a >0,2mm)	39,8	2,9	2,1	31,2	2,3	37,5	2,2	66,9	6,6	53,3
Areia Fina (0,2mm a >0,06mm)	0,4	8,4	9,2	0,2	5,2	0,4	9,8	3,7	6,2	1,3
Silte (0,06mm a >0,002mm)	0,3	73,1	74,4	0,1	60,8	0,1	57,2	0,2	47,6	0,4
Argila (≤0,002mm)	0,3	14,7	13,4	0,3	31,4	-	28,7	0,3	37,3	0,9

Fonte: Innolab, 2007.



A Tabela 5.3.5.3.1-2 mostra que na Camada A as areias médias e grossas perfazem mais de 95% do arcabouço textural do solo. Na Camada C siltes e argilas perfazem mais de 85% do total.

Os demais valores médios obtidos na Camada A são os seguintes:

Densidade Aparente	1,545 g/cm <sup>3</sup>
Densidade Real	2,6525 g/cm <sup>3</sup>
Porosidade Efetiva	37,075 %
Porosidade Total	41,6 %
TOC	807,25 mg/kg

A condutividade hidráulica,  $K$ , da camada A foi obtida pelo método de Shepherd (1989), sendo este método bastante validado para sedimentos arenosos (Coelho & Duarte, 2003; Oliva *et al*, 2005). A fórmula aplicada é a seguinte:

$$K = C d_{50}^j$$

onde:

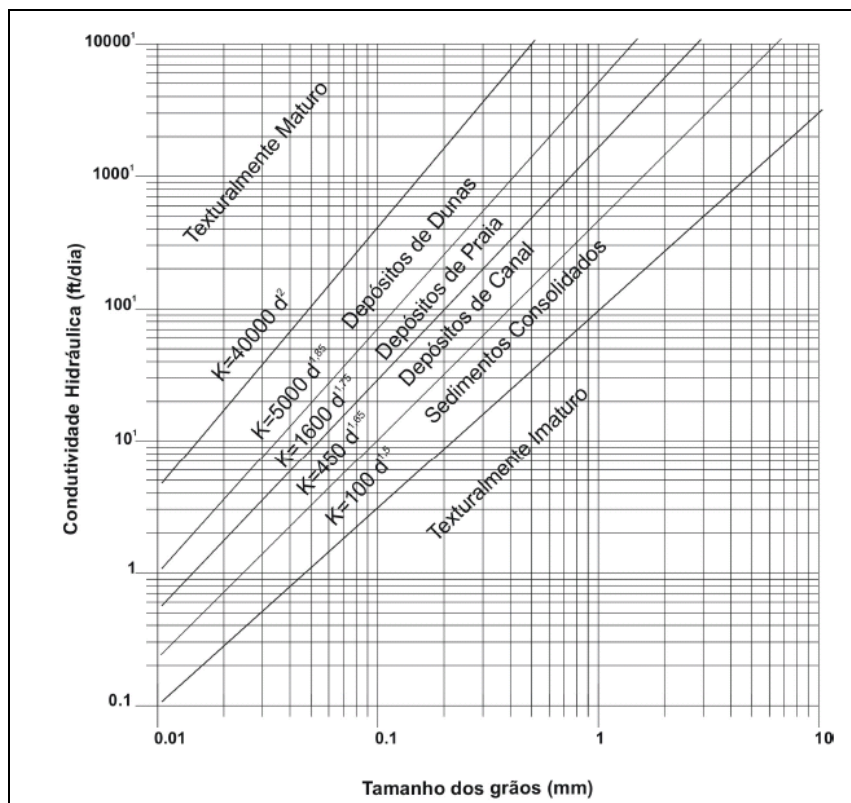
- C - fator de ajuste, obtido experimentalmente
- $d_{50}$  - diâmetro efetivo do grão (mm)
- j - expoente obtido experimentalmente, que leva em consideração a textura dos sedimentos.

O  $d_{50}$  da camada A está na fração de areia grossa, tendo sido atribuído o valor de 0,8 mm.

O fator de ajuste C e o expoente j são obtidos do gráfico apresentado na Figura 5.3.5.3.1-1.



**FIGURA 5.3.5.3.1-1**  
**GRÁFICO DA RELAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA COM O DIÂMETRO**  
**DOS GRÃOS DE SEDIMENTOS TEXTURALMENTE DIFERENTES**



Fonte: Fetter, 1988 in Oliva et al, 2005.

Considerando que a Camada A está na interface entre depósitos de praia e dunas e possui  $d_{50}$  em torno de 0,8 mm, o gráfico da Figura 5.3.5.3.1-1 indica uma condutividade hidráulica de 2000 ft/dia ( $7E-01$  cm/s).

Para a Camada C a condutividade hidráulica foi calculada por meio de teste de *slug*. Foram realizados ensaios tipo *slug tests* em 4 poços de monitoramento. Cada ensaio consistiu de extração da água do poço a partir do qual se acompanhou a recuperação do nível d'água até a sua estabilização. As medidas foram efetuadas em intervalos de tempo regulares com medidor elétrico, cuja precisão é milimétrica. Os dados obtidos foram tratados através do software Aquifer Test. As planilhas com resultados estão apresentadas no Anexo B9.



Para obtenção da condutividade hidráulica aplicou-se a equação de Hvorslev:

$$K = r^2 \ln(L/R) / 2.L.T_o,$$

onde:

r = raio da boca do poço (cm);

R = raio da boca do poço no trecho ensaiado (cm);

L = comprimento do filtro do medidor de NA (cm);

To = tempo de recuperação de 67% do NA (seg); e

K = condutividade hidráulica (cm/s).

A condutividade hidráulica média da Camada C (argila siltosa) é de 2E-07 cm/s. Este valor corrobora com os esperados para sedimentos com esta característica textural segundo Fetter (1988).

Face à continuidade lateral da Camada C e a sua baixa condutividade hidráulica constatada, é possível afirmar que a camada D esteja confinada. A presença de sedimentos finos na Camada D permite inferir que esta também atue como confinante de camadas subjacentes.

#### 5.3.5.3.2 Considerações sobre a Potenciometria

Para a determinação das condições potenciométricas do aquífero superior foram executadas leituras de profundidade de nível da água subterrânea (NA) nos poços de monitoramento e piezômetros bem como foi efetuado levantamento topográfico em pontos de cursos d'água estrategicamente locados no mesmo período de realização das medições de NA. Os pontos de levantamento junto aos cursos d'água são indicados como Tp. As cargas hidráulicas obtidas encontram-se apresentadas na Tabela 5.3.5.3.2-1.



**TABELA 5.3.5.3.2-1**  
**COORDENADAS E CARGAS HIDRÁULICAS OBTIDAS NOS PMs, PZs E TP**  
**(OS PMs E PZs FORAM AGRUPADOS CONFORME PROXIMIDADE)**

PM / PZ	UTM - N (m)	UTM - E (m)	Altitude do terreno (m)*	NA (m) - 22/11/07*	Carga hidráulica 22/11/07	Seção filtrante (m)	Sentido de Fluxo	
PM1	7.587.661,09	287.146,07	3,96	0,64	3,32	1,50-2,50	desc	0,08
PZ1	7.587.635,71	287.166,34	3,96	0,72	3,24	15,50-16,50		
PM2	7.590.438,42	286.044,71	4,46	0,62	3,84	0,90-1,90	desc	1,53
PZ3	7.590.433,15	286.049,73	4,46	2,15	2,31	13,60-14,60		
PM3	7.588.497,59	289.734,23	3,41	0,69	2,72	2,00-3,00	desc	0,06
PZ4	7.588.491,27	289.743,30	3,41	0,75	2,66	14,00-15,00		
PM4	7.590.297,18	289.188,83	3,87	0,43	3,44	1,00-2,00	asc	(0,30)
PZ5	7.590.290,53	289.200,37	3,87	0,13	3,74	13,45-14,45		
PM5	7.591.835,56	287.617,86	3,79	0,58	3,21	1,00-2,00	desc	0,33
PZ6	7.591.831,34	287.625,40	3,79	0,91	2,88	12,50-13,50		
PM6	7.588.582,16	290.383,49	3,47	1,23	2,24	1,00-3,00	asc	(0,23)
PZ7	7.588.567,31	290.409,29	3,47	1,00	2,47	17,00-18,00		
PM7	7.591.227,33	289.347,11	3,77	0,49	3,28	1,00-2,00	desc	0,32
PZ9	7.591.219,79	289.367,07	3,77	0,81	2,96	13,50-14,50		
PM8	7.592.899,71	289.261,65	4,06	1,53	2,53	2,00-3,00	lateral	(0,02)
PZ10	7.592.902,98	289.255,37	4,06	1,51	2,55	12,70-13,70		
PZ2a	7.589.503,30	286.219,20	4,28	0,33	3,95	0,50-1,50	lateral	(0,02)
PZ2b	7.589.495,33	286.235,13	4,28	0,31	3,97	15,45-16,45		
PZ8a	7.589.491,74	290.078,08	3,60	0,75	2,85	1,70-2,70		
PZ8b	7.589.499,81	290.075,39	3,60	nm	nm	15,48-16,48		
Tp1A	7.588.477,30	285.993,45			3,82			
Tp1	7.587.135,26	287.436,67			2,75			
Tp3	7.587.654,32	288.950,25			2,33			
Tp4	7.588.351,34	290.646,72			2,28			
Tp5	7.589.949,48	290.692,98			2,28			
Tp6	7.593.104,44	290.110,52			2,27			
Tp7	7.593.020,62	287.963,30			2,31			
Tp8	7.592.492,95	285.399,34			3,35			

\* As altitudes do terreno e NAs se referem a pontos situados entre os dois medidores de NA

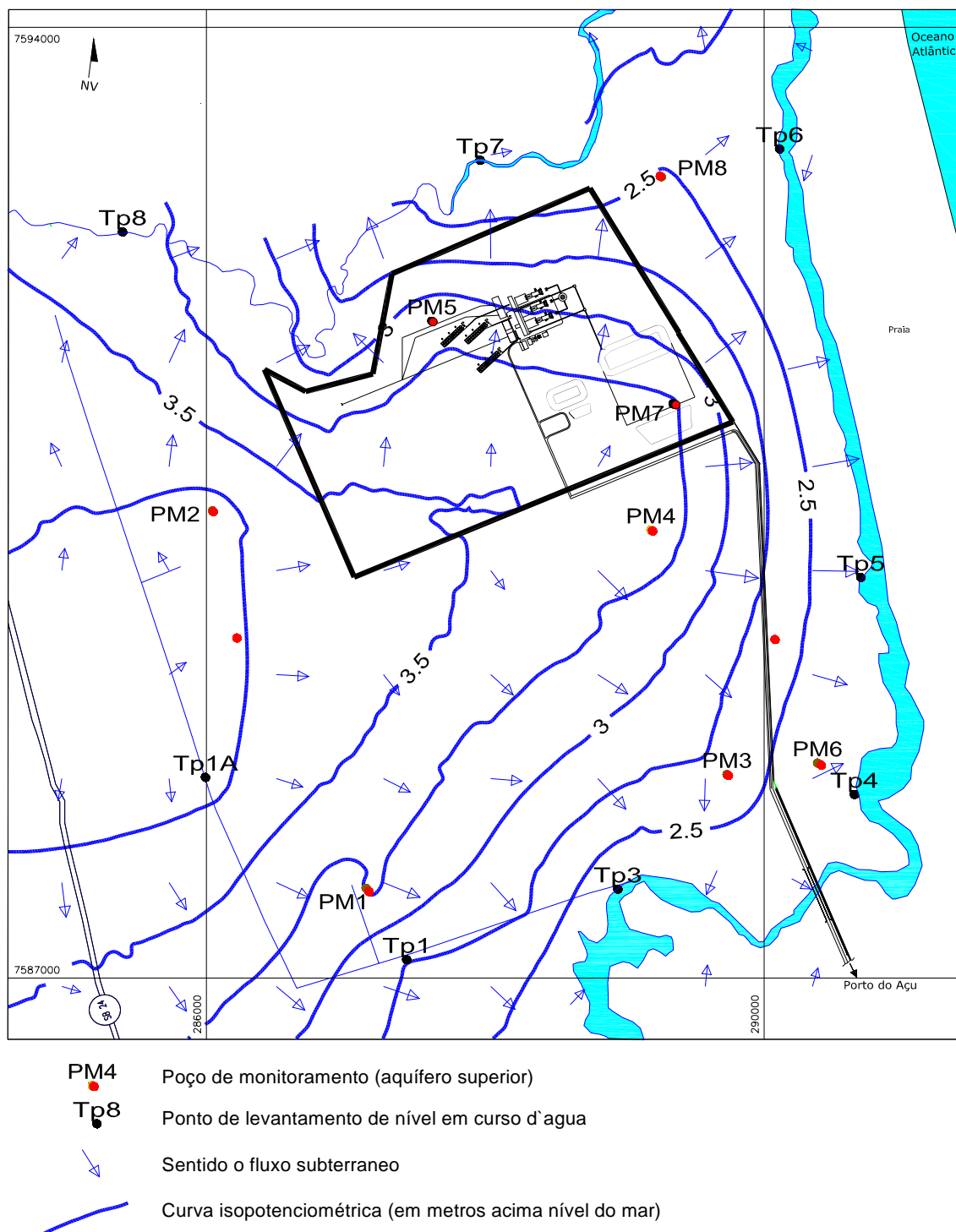


A comparação entre potenciometrias de medidores de NA próximos e com seções filtrantes em profundidades distintas permite inferir o sentido do fluxo d'água em seção. Assim os resultados obtidos indicam uma predominância de baixos fluxos verticais. Destaca-se apenas a região do PM2/ PZ3 de maior fluxo descendente das águas subterrâneas (área de recarga). Entretanto, de maneira geral, é esperado um maior vetor lateral de fluxos subterrâneos no aquífero superior.

Para a elaboração do mapa potenciométrico apenas foram utilizados os dados dos PMs e Tps. Os dados dos cursos d'água (Tps) foram interpolados de maneira a se adensar a quantidade de pontos cotados. Assim, a partir de tratamento geoestatístico, executado com auxílio do *software Surfer*, foi elaborado o Mapa Potenciométrico da ADA (Figura 5.3.5.3.1-2).



FIGURA 5.3.5.3.1-2  
MAPA POTENCIOMÉTRICO



Fonte: CRA, 2007.



Entre as constatações indicadas pela Figura 5.3.5.3.1-2 destacam-se as seguintes:

- a água do aquífero superior é direcionada para os cursos d'água locais;
- existe um divisor de águas subterrâneas nas proximidades da área onde será instalado o empreendimento propriamente dito;
- as águas subterrâneas do aquífero superior ocorrentes sob o empreendimento propriamente dito drenam principalmente para a Lagoa de Grussaí; e
- os gradientes hidráulicos locais variam entre 0,02 e 0,12%.

A velocidade do fluxo subterrâneo foi calculada por Darcy:

$$v = K \cdot i / ne$$

onde:

- K = condutividade hidráulica  
I = gradiente hidráulico (grandeza adimensional)  
ne = porosidade efetiva (grandeza adimensional)  
v = velocidade média

Para a Camada A, considerando  $K = 7E-01$  cm/s;  $i = 0,1\%$ ; e  $ne = 37\%$ , a velocidade do fluxo da água subterrânea é de cerca de 1,6 m/dia ou 600 m/ano. Nesse contexto, por exemplo, considerando apenas transporte advectivo, um contaminante que eventualmente entrasse em contato com a água subterrânea na região da futura ETE levaria cerca de 2 anos para chegar à Lagoa de Grussaí.

#### 5.3.5.3.3 Estimativa de Infiltração das Águas Pluviais

Para a estimativa de infiltração das águas pluviais, ou recarga do aquífero superior, foi aplicado o método da Estimativa Darcyniana.

Este método, conforme salientado por Lerner *et al* (1990), é um dos vários aplicados para essa estimativa. Estes autores também salientam que os resultados obtidos devem ser utilizados com cautela haja vista a imprecisão de todos os métodos disponíveis para esse fim. O método de estimativa Darcyniana, segundo Scanlon *et al* (2002 in Wahnfried & Hirata, 2005) é aplicável quando se dispõe de dados confiáveis de carga hidráulica e condutividade hidráulica, sendo recomendável para períodos de estimativa superiores a um ano e tamanho da área de estudo entre alguns quilômetros quadrados a milhares de quilômetros quadrados. Para o caso da ADA, a existência de uma camada de baixa condutividade hidráulica sob o aquífero superior também facilita a aplicação do método,



uma vez que pode se considerar que existem poucas perdas relacionadas a fluxos descendentes.

Destaca-se também que é recomendável a aplicação de outros métodos para estimativa de recarga para efeitos de comparação. Entre os disponíveis se destaca, pela facilidade de aplicação o método de Variação de Nível d'água (Healy & Cook, 2002) e o método de Balanço Hídrico (Fenn *et al*, 1975). O método de Variação de Nível d'água necessita de maior período de medições além de ser recomendável a utilização de registradores contínuos de nível da água subterrânea, assim não pode ser aplicado com os dados existentes para a ADA. O método de Balanço Hídrico também pode ser utilizado, porém com ressalvas, haja visto que em alguns casos, como chuvas de pouca intensidade, não é registrada recarga (Wahnfried & Hirta, 2005).

Para aplicação do método de Estimativa Darcyniana utiliza-se a lei de Darcy:

$$Q = q A = K i A$$

Onde:

$q$  = fluxo (L/T)

$K$  = condutividade hidráulica (L/T)

$i$  = gradiente hidráulico

$Q$  = vazão (L<sup>3</sup>/T)

$A$  = área da seção do aquífero (L<sup>2</sup>)

O método assume fluxo constante e ausência de extração de água (válido para o aquífero superior na ADA). A vazão através de uma seção do aquífero é igual à taxa de recarga multiplicada pela área de superfície que contribui para o fluxo:

$$Q = R M$$

Onde:

$R$  = taxa de recarga (L/T)

$M$  = área da superfície que contribui para a recarga (L<sup>2</sup>)

A seção do aquífero usada deve ser estar alinhada com uma linha equipotencial.

Assim, para a aplicação do método foi delimitada, com base no mapa potenciométrico disponível, a bacia de contribuição de fluxos subterrâneos e a seção do aquífero utilizada (Figura 5.3.5.3.1-2). Os dados fornecidos e os cálculos efetuados são apresentados na Tabela 5.3.5.3.3-1.



**TABELA 5.3.5.3.3-1**  
**DADOS E CÁLCULOS EFETUADOS PARA ESTIMATIVA DE RECARGA DO**  
**AQUÍFERO SUPERIOR**

Parâmetro		Valor	Unidade
Espessura do aquífero superior	b	13	m
Comprimento da seção considerada do aquífero superior (Figura X5)	j	4800	m
Área da seção considerada do aquífero superior	$A = b \cdot j$	62400	m <sup>2</sup>
Área de recarga considerada (delimitada pelo divisor de águas subterrâneo)	M	7.872.500	m <sup>2</sup>
Gradiente hidráulico médio	i	0,05 %	
Condutividade hidráulica	K	7,00E-01	cm/s
Fluxo	$q = K \cdot i$	3,50E-04	cm/s
	q	9	m/mês
Vazão	$Q = q \cdot A$	566.093	m <sup>3</sup> /mês
Taxa de recarga	$R = Q / M$	0,07	m/mês
	R	72	mm/mês

Conforme mostra a Tabela 5.3.5.3.3-1, segundo o método da Estimativa Darcyniana a recarga do aquífero superior foi de 72 mm no mês de novembro de 2007. Em meses menos chuvosos esse valor provavelmente é menor principalmente devido ao menor gradiente hidráulico esperado para esse período. Para a obtenção da recarga média anual assumiu-se que a pluviometria média medida na estação de Campos é diretamente proporcional à recarga calculada. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.3.5.3.3-2.

**TABELA 5.3.5.3.3-2**  
**ESTIMATIVA DE RECARGA ANUAL CONSIDERANDO AS MÉDIAS**  
**PLUVIOMÉTRICAS MENSAIS**

Mês	Pluviometria média na estação de Campos (mm)	Recarga estimada (mm)
Janeiro	140	63
Fevereiro	75	33,75
Março	80	36
Abril	75	33,75
Maio	45	20,25
Junho	35	15,75
Julho	45	20,25
Agosto	30	13,5
Setembro	55	24,75
Outubro	110	49,5
Novembro	160	72
Dezembro	150	67,5
<b>Total</b>	<b>1000</b>	<b>450</b>





Conforme mostra a Tabela 5.3.5.3.3-2 a recarga esperada para o aquífero superior é de cerca de **450 mm/ ano** (cerca de 45% da precipitação). As perdas ocorridas se devem à evapotranspiração e ao escoamento superficial. Destaca-se que este valor deve ser utilizado como ordem de grandeza, uma vez que não se dispõe de dados de gradientes hidráulicos para outros períodos do ano os quais permitiriam maior precisão na estimativa realizada.

#### 5.3.5.3.4 Estimativa de Escoamento Superficial

O escoamento superficial médio pode ser calculado por Thornthwaite (1948 in Fenn *et al* 1975):

$$Q_{off} = C' P$$

e

$$C' = \alpha C$$

Onde:

$Q_{off}$  = fluxo superficial para fora (L)

$C'$  = coeficiente de escoamento superficial

$P$  = precipitação (L)

$\alpha$  = coeficiente que determina o quanto de água escorre em superfície em função da declividade do terreno e estação do ano

$C$  = coeficiente que determina o quanto de água escorre em superfície em função do tipo de solo

$C$  e  $\alpha$  são determinados conforme Tabela 5.3.5.3.4-1.

**TABELA 5.3.5.3.4-1**  
**VALORES DE  $C$  E  $\alpha$  EM FUNÇÃO DO TIPO DE SOLO, DECLIVIDADE E ESTAÇÃO DO ANO**

Tipo de solo	Declividade (%)	Coeficiente $\alpha$	
		Estação seca	Estação úmida
Arenoso $C=0,3$	0 a 2	0,17	0,34
	2 a 7	0,34	0,5
Argiloso $C=0,4$	0 a 2	0,33	0,43
	2 a 7	0,45	0,55

O coeficiente  $\alpha$  para a estação úmida é de 0,34 e o valor de  $C$  é de 0,3. Assim,  $C'$  é igual a 0,102. Para a estação seca  $\alpha = 0,17$  e  $C' = 0,06$ . A aplicação de  $C'$  às médias pluviométricas mensais e a obtenção do escoamento superficial total anual é apresentada na Tabela 5.3.5.3.4-2.



**TABELA 5.3.5.3.4-2**  
**ESTIMATIVA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA ADA**

Mês	C'	Pluviometria média na estação de Campos (mm)	Esgotamento superficial (mm)
jan	0,102	140	14,28
fev	0,102	75	7,65
mar	0,102	80	8,16
abr	0,06	75	4,5
mai	0,06	45	2,7
jun	0,06	35	2,1
jul	0,06	45	2,7
ago	0,06	30	1,8
set	0,06	55	3,3
out	0,102	110	11,22
nov	0,102	160	16,32
dez	0,102	150	15,3
<b>Total</b>		<b>1000</b>	<b>90,03</b>

#### 5.3.5.3.5 Vulnerabilidade do Aquífero Superior à Contaminação

Para a determinação da vulnerabilidade do aquífero superior aplicou-se a metodologia de Aller *et al.* (1987 in Santos *et al.*, 2006), denominado índice DRASTIC, que se fundamenta num conjunto de procedimentos que permitem integrar vários parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e de suas especificidades.

O índice DRASTIC corresponde à média ponderada de sete valores, correspondentes aos seguintes parâmetros ou indicadores hidrogeológicos:

- D - Profundidade do lençol freático ou nível da água (*Depth to groundwater*);
- R - Recarga do aquífero (*Recharge*);
- A - Característica do aquífero (*Aquifer media*);
- S - Solos (*Soil media*);
- T - Topografia (*Topography*);
- I - Impacto na zona não saturada (*Impact of the unsaturate zone*); e
- C - Condutividade hidráulica (*Hydraulic Conductivity*).



Cada parâmetro tem um peso predeterminado que reflete sua importância relativa na quantificação da vulnerabilidade. Estes pesos, denominados fatores de ponderação DRASTIC, são relacionados entre si através de uma equação simples, aplicada a cada unidade geográfica de trabalho, multiplicando-se o peso do parâmetro pelo índice.

Para a área de estudo os cálculos efetuados são os apresentados na Tabela 5.3.5.3.5-1.

**TABELA 5.3.5.3.5-1**  
**PARÂMETROS QUE COMPÕEM O ÍNDICE DRASTIC E SEUS PESOS RELATIVOS**  
**OU FATORES DE PONDERAÇÃO UTILIZADOS PARA A QUANTIFICAÇÃO DA**  
**VULNERABILIDADE NATURAL DE AQUÍFEROS APLICADOS À ADA**

<b>Profundidade do Lençol Freático (D)</b>		
Profundidades (m)	Índice	Índice da ADA
< 1,5	10	10
1,5-5	9	
5-10	7	
10-15	5	
15-23	3	
23-30	2	
> 30	1	
<b>Recarga (R)</b>		
Recarga (mm)	Índice	Índice da ADA
0-50	1	
50-100	3	
100-180	6	6
180-255	8	
> 255	9	
<b>Material do Aquífero (A)</b>		
Descrição	Índice	Índice da ADA
Folhelho argiloso, argilito	2	
Rocha metamórfica/ígneia intrusiva	3	
Rocha metamórfica/Ígnea alterada	4	
Arenito, calcário e argilito estratificados	6	
Calcário maciço	6	
Areia	8	8
Basalto	9	
Calcário em relevo cárstico	10	



Tipos de Solos (S)		
Descrição Pesos Relativos	Índice	Índice da ADA
Delgado ou ausente	10	
Saibro	10	
Muito arenoso	9	9
Turfa 2	8	
Argila expansiva e/ou agregada	7	
Arenoso	6	
Siltoso	4	
Muito argiloso	3	
Calcário	2	
Argila não agregada e não expansível	1	
Topografia (T)		
Declividade (%)	Índice	Índice da ADA
< 2	10	10
2-6	9	
6-12	5	
12-18	3	
> 18	1	
Impacto da Zona Não-Saturada		
Descrição	Índice	Índice da ADA
Camada confinante	1	
Argila/Silte	3	
Folhelho argiloso, argilito	3	
Calcário	6	
Arenito	6	6
Arenito, calcário e argilito estratificado	6	
Rocha metamórfica e ígnea intrusiva	4	
Basalto	9	
Calcário cárstico	10	
Condutividade Hidráulica (C)		
Condutividade (m/dia)	Índice	Índice da ADA
< 4,1	1	
4,1 - 12,2	2	
12,2 - 28,5	4	
28,5 - 40,7	6	
40,7 - 81,5	8	
>81,5	10	10

Fonte: CRA, 2007.

A obtenção do índice DRASTIC por meio da ponderação é apresentada na Tabela 5.3.5.3.5-2.



**TABELA 5.3.5.3.5-2**  
**ÍNDICE DRASTIC PARA OS ÍNDICES DE PONDERAÇÃO OBTIDOS PARA A ADA**

Parâmetro	Peso Relativo	Índice de Ponderação da ADA	Resultado
Profundidade do lençol freático (D)	5	10	50
Recarga do aquífero (R)	4	6	24
Material do aquífero (A)	3	8	24
Solos (S)	2	9	18
Topografia (T)	1	10	10
Impacto da zona não saturada (I)	5	6	30
Condutividade hidráulica (C)	3	10	30
Índice DRASTIC			186

Fonte: CRA, 2007.

Conforme mostra a Tabela 5.3.5.3.5-2, o índice DRASTIC do Aquífero Superior na ADA é de 186. Segundo a classificação de Aller *et al* (1987 in Santos *et al*, 2006) (Tabela 5.3.5.3.5-3) este é um índice característico de regiões de vulnerabilidade a contaminação Muito Alta.

**TABELA 5.3.5.3.5-3**  
**VALORES CORRESPONDENTES AO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DRASTIC E SEUS RESPECTIVOS INTERVALOS**

Valores Correspondentes	Intervalos de Vulnerabilidade
<100	Vulnerabilidade Insignificante
101-119	Vulnerabilidade Muito Baixa
120-139	Vulnerabilidade Baixa
140-159	Vulnerabilidade Moderada
160-179	Vulnerabilidade Alta
180-199	Vulnerabilidade Muito Alta
>200	Vulnerabilidade Extrema

Fonte: Aller *et al* (1987 in Santos *et al*, 2006)

#### 5.3.5.3.6 Qualidade das Águas do Aquífero Superior

A relação dos compostos detectados nas análises realizadas, bem como a comparação de suas concentrações com os valores de referência adotados estão apresentadas na Tabela 5.3.5.3.6-1. No Anexo B7 estão apresentados os resultados na íntegra e na Tabela 5.3.5.3.6-2 estão apresentados os valores de parâmetros físico-químicos medidos em campo.





**TABELA 5.3.5.3.6-1**  
**PARÂMETROS DETECTADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

POÇO	Unidades	Valores orientadores Portaria 518/04	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7	PM8
Data da coleta			12/11/07							
Hora da coleta			09:00	09:15	09:30	09:45	09:00	09:15	09:30	09:45
Método de amostragem			Bailer	Bailer	Bailer	Bailer	Bailer	Bailer	Bailer	Bailer
<b>Parâmetros</b>										
Coliformes Totais	PA/100mL	Ausentes	Aus.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.
Coliformes Fecais	PA/100mL	Ausentes	Aus.	Aus.	Aus.	Pres.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.
Contagem Padrão de Bactérias Heterotróficas	UFC/ mL	500	401	510	440	599	510	660	431	490
Amônio	mg/L	1,5	1,2	2,1	0,69	1,2	0,52	2,8	2,3	1,5
Alumínio	mg/L	0,2	4,54	41,6	4,38	6,14	5,64	7,96	2,21	13,5
Cor Aparente	Hazem	15	488	4496	988	1030	454	5480	762	2262
Dureza	mg/L	500	28	33	21	33	16	201	400	125
Ferro	mg/L	0,3	2,47	4,40	7,07	1,52	1,95	15,6	2,45	41,9
Manganês	mg/L	0,1	1,42	1,90	1,15	0,13	0,4	3,61	0,59	1,91
Turbidez	UNT	5	26	678	197	86	44	1052	58	78
Arsênio	mg/L	0,01	0,0055	0,0067	0,0094	0,0031	< 0,0001	0,0145	0,0055	0,0757
Chumbo	mg/L	0,01	0,0850	0,0434	0,11	0,0350	0,13	0,0638	0,0215	0,12
Cromo	mg/L	0,05	0,0053	0,0392	0,0137	0,0150	0,0042	0,0141	< 0,0001	0,0744

Organização: CRA, 2007.

**TABELA 5.3.5.3.6-2**  
**PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS MEDIDOS EM CAMPO**

Poço	Identificação da amostra	Data	Hora da coleta	pH	Conduct. elétrica (µs)	Temp. (°C)	Eh (mV)
PM-1	PM1	12/11/07	9:00	3,93	141	26,9	1,39
PM-2	PM2	12/11/07	9:15	4,57	116	25,5	-0,56
PM-3	PM3	12/11/07	9:30	3,69	140	27,4	0,62
PM-4	PM4	12/11/07	9:45	4,55	173	26,5	-0,58
PM-5	PM5	12/11/07	9:00	4,13	64	26,2	0,71
PM-6	PM6	12/11/07	9:15	5,35	146	26,8	-0,26
PM-7	PM7	12/11/07	9:30	4,74	194	28,5	-0,89
PM-8	PM8	12/11/07	9:45	5,21	268	25,4	-0,18

Organização: CRA, 2007.



Conforme apresentado na Tabela 5.3.5.3.6-1, as águas do aquífero superior estão em desacordo com os limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria 518 de 2004.

Foram detectados na água diversos metais com destaque para antimônio, alumínio, ferro, manganês, arsênio, chumbo e cromo. Coliformes fecais e totais e bactérias heteotróficas também apresentaram valores superiores aos estabelecidos pela citada portaria.

O elevado teor de metais detectados na água subterrânea também já foi identificado neste aquífero em outros locais (como relatado por Capucci, 2003), sendo o baixo pH um dos principais fatores responsáveis pela solubilização dos metais. A ausência de histórico de uso do solo local com potencial de contaminação por estes parâmetros reforça a hipótese de serem estes parâmetros componentes hidrogeoquímicos naturais das águas do Aquífero Superior.

A presença de coliformes, bactérias heterotróficas e amônio pode ter alguma relação com a presença de gado no local.

As baixas condutividades elétricas medidas nos PMs são indicativas de presença de água doce nas profundidades de até, pelo menos, 3 m.

#### 5.3.5.3.7 Considerações sobre Cunha Salina

A presença de cunha salina no Aquífero Superior já foi registrada em outros estudos efetuados na região (como Capucci, 2003 e Freitas, 2003). Com efeito são relatadas águas de má qualidade associadas aos sedimentos marinhos, de espessura de cerca de 30 m, que recobrem o Aquífero Barreiras Recente que, por sua vez, é confinado. No Aquífero Barreiras Recente ainda são relatadas águas muito mineralizadas até a profundidade de 70 m.

Para a ADA a investigação da presença de cunha salina em maiores profundidades foi realizada por levantamentos geofísicos por caminhamento elétrico e sondagem elétrica vertical, cujos resultados estão apresentados no Anexo B8. O caminhamento elétrico não detectou valores de resistividade compatíveis com a presença de água salinizada em subsuperfície.

As sondagens elétricas verticais permitiram a identificação de uma interface cuja maior profundidade é de aproximadamente 30 metros, abaixo da qual não se observam valores de resistividade compatíveis com a presença de água salina ou salobra. Ou seja, uma possível ocorrência de água salina ou salobra estaria acima de 30 m.



Neste contexto, tendo em vista a ocorrência de águas doces nos PMs (seções filtrantes a até 3 m de profundidade), um provável quadro relativo à presença de cunha salina na ADA é o seguinte:

- Água doce nas porções rasas do Aquífero Superior em profundidades de até, pelo menos, 3 m;
- Água salina ou salobra no Aquífero Superior entre a sua porção rasa e profundidades de até 30 m; e
- Água doce abaixo das profundidades de 30 m, no Aquífero Barreiras Recente, que é confinado por camadas argilosas presentes no Aquífero Superior e do próprio Barreiras Recente.

#### 5.3.5.3.8 Potencial de Aproveitamento de Água Subterrânea

Conforme citado anteriormente, a Formação Barreiras Superior compõe a unidade aquífera de maior potencial exploratório da ADA.

Segundo Capucci (2003) esta unidade está recoberta por 30 metros de sedimentos de origem marinha, contendo água de má qualidade e até os 70 m ocorrem águas muito mineralizadas, diminuindo gradativamente o teor de argila e STD após os 130 metros, e a partir daí ocorrendo sedimentos mais grosseiros com água de boa qualidade principalmente detectadas dos 150 aos 205 metros pesquisados pelo citado autor. Esta unidade possui uma vazão específica de 4 a 7 m<sup>3</sup>/h/m, sendo considerado um aquífero de excelente potencial de aproveitamento.

Embora o Aquífero Superior apresente muito alta vulnerabilidade à contaminação, o Aquífero Barreiras Recente está naturalmente protegido contra a poluição por ser hidráulicamente confinado.

A determinação de setores de maior potencial de exploração neste aquífero foi realizada por meio das investigações geofísicas realizadas por caminhamento elétrico e SEVs (Anexo B8).

As seções de caminhamento elétrico obtidas refletem as variações verticais e horizontais de resistividade ao longo das linhas, definindo feições anômalas que refletem variações faciológicas que ocorrem na Formação Barreiras Recente. As faixas mais arenosas são representadas por valores de resistividade relativamente mais altos em contraste com as porções com uma maior contribuição argilosa.



Essas faixas mais arenosas, representadas no mapa e nas seções geofísicas pelos valores de resistividade mais altos, devem ser privilegiadas na execução de poços tubulares profundos. Os resultados do levantamento geofísico indicam inicialmente que deve ser considerada uma profundidade em torno de 300 metros para a execução das perfurações. Durante o decorrer das perfurações, essa profundidade será melhor avaliada. É altamente recomendável a execução de perfilagens geofísicas para a definição do projeto final de cada poço.

Embora o Aquífero Barreiras Recente seja naturalmente protegido de contaminação, a exploração de suas águas requer um grande controle de qualidade devido à possibilidade de contaminação por avanço de águas salinas provenientes não só das águas do oceano, como também das águas provenientes de sedimentos marinhos confinantes na porção superior (até 30 m) e também ocorrentes na porção inferior.

Para isso, recomenda-se a realização de estudos adicionais e complementares aos já existentes, envolvendo, basicamente, a execução de modelagem matemática computacional simulando a operação de uma bateria de poços com extração de volume considerável de água durante vários períodos de tempo, analisando suas conseqüências sobre os níveis d'água subterrânea e se haverá impactos na qualidade por eventual avanço de águas salinas.

É necessária também a realização de um controle permanente da qualidade das águas subterrâneas por meio da realização de análises físico-químicas e bacteriológicas periódicas, além de um monitoramento da evolução dos cones de rebaixamento por meio de medições e análises da profundidade dos níveis d'água.