

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

MODELO CONCEITUAL GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DO
AQUÍFERO RASO DA REGIÃO DO CANAL DO JURUBATUBA EM
SÃO PAULO

Aluno: Denis Kenji Kamio
Orientador: Dr. Reginaldo Antônio Bertolo

MONOGRAFIA DO TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2013 / 14)

São Paulo
2013

TF
K15
DK.m

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

MODELO CONCEITUAL GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DO
AQUÍFERO RASO DA REGIÃO DO CANAL DO JURUBATUBA EM
SÃO PAULO



Aluno: Denis Kenji Kamio
Orientador: Dr. Reginaldo Antônio Bertolo

MONOGRAFIA DO TRABALHO DE FORMATURA

TF-13/14

DEDALUS - Acervo - IGC



30900031955

São Paulo
2013

TF
K15
DK.mv

UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY OF THE

UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY OF THE

LIBRARY



UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY OF THE

UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY OF THE

LIBRARY

UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY OF THE

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a todas as pessoas e instituições que colaboraram direta ou indiretamente para a realização e enriquecimento deste trabalho. Em especial, agradeço ao Prof. Reginaldo Antonio Bertolo pela orientação, ao mestrando Marcos Barbosa, que atuou praticamente como um co-orientador e à CETESB, pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho.

Agradeço aos meus pais, por todo o carinho e os ensinamentos transmitidos ao longo de toda minha vida.

Agradeço aos amigos de curso pau-mandados Drogadito, Atoxado e Pixirica e ao povo da agora extinta República Conglomerado (Intimus, Catu, Zaca, Merenda e Pixiloco de novo).

À todos os demais amigos que colaboraram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho, presto meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A elevada complexidade da contaminação por solventes organoclorados na região do Canal de Jurubatuba, no Município de São Paulo, levou a criação do Projeto GESOL (Bases Técnicas para a Gestão de Áreas Contaminadas por Solventes Organoclorados). Este trabalho faz parte do projeto GESOL, e tem como objetivo a elaboração de um modelo conceitual geológico e hidrogeológico do aquífero raso da região, a partir de dados disponíveis no acervo de áreas contaminadas da CETESB.

Os dados compilados alimentaram um programa SIG (Sistema de Informações Geográficas), onde foram elaborados mapas e representações da geologia e hidrogeologia da área de estudo.

Os resultados obtidos indicam a existência de pelo menos três aquíferos granulares, condicionados pela arquitetura dos depósitos sedimentares e do manto de alteração que compõe a região.

O primeiro e mais superficial, é formado principalmente pelos sedimentos aluvionares locais, que lhe confere elevada permeabilidade por conta da sua composição, de areia com cascalho. O segundo é formado pelos sedimentos arenosos da Bacia de São Paulo, atribuídos a Formação Resende. Por conta da camada de argila compacta que recobre o seu topo, e das intercalações argilo-arenosas que, por vezes, entrecorta a formação, este aquífero possui características de semiconfinamento. O terceiro aquífero, que ocorre abaixo dos sedimentos aluvionares, ou dos sedimentos Terciários da Bacia, é composto pela rocha intemperizada do embasamento cristalino. É formado basicamente por argila com frações variadas de areia e silte, e possui baixa condutividade hidráulica.

O fluxo subterrâneo principal em todos os níveis dos aquíferos se dá no sentido de leste para oeste, em direção ao Canal de Jurubatuba e a interface entre os diferentes aquíferos é marcada pela tendência de fluxo ascendente do Aquífero Resende para o Aquífero Freático, e em fluxo descendente do Aquífero Freático para o Aquífero Saprolítico.

Palavras Chave: Canal de Jurubatuba; Aquífero raso; Modelo Hidrogeológico;

ABSTRACT

The high complexity of organochlorine solvent contamination in the region of Jurubatuba, in São Paulo, led to the creation of Project GESOL (Technical Bases for the Management of Contaminated Sites by Organochlorine Solvents). This study is part of this project, and aims the development of a geological and hydrogeological conceptual model of the shallow aquifer in the region, using data available in the contaminated list areas by CETESB.

Data compiled was used to feed a GIS (Geographic Information System) that was used to draft the maps and the representations of the geology and hydrogeology of the study area. The results indicate the existence of at least three granular aquifers that are conditioned by the architecture of the geological formations of the region.

The first and most superficial, is mainly formed by alluvial sediments, which gives high permeability because of its composition (sand with gravel). The second one is formed by sandy sediments of the São Paulo Basin, related to Resende Formation. Because of the compact clay layer covering its top, and the intercalated sandy clay that sometimes intertwines the formation, this aquifer has semiconfinant properties. The third aquifer, which occurs below the alluvial sediments or the sediments of Tertiary Basin, is composed of the weathered rocks of the crystalline basement. Its composition consists primarily of clay with fractions of sand and silt, and has low hydraulic conductivity.

The groundwater flows mainly from east to west, towards the Canal de Jurubatuba. The interface between the different aquifers is marked by a tendency of upward flow from Resende Aquifer to the Surface Aquifer, and downward flow, from the Surface Aquifer to the Saprolitic Aquifer.

Keywords: Canal de Jurubatuba; Shallow Aquifer; Hydrogeologic Model.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	1
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	2
4. MATERIAIS E MÉTODOS	3
4.1 Revisão Bibliográfica.....	4
4.2 Levantamento e Compilação dos Dados.....	4
4.3 Modelagem do Banco de Dados Gereferenciado (<i>geodatabase</i>)	5
4.4 Personalização do <i>Geodatabase</i>	7
4.5 Tratamento dos dados	9
4.6 Aplicação do <i>Geodatabase</i>	11
4.7 Operações no SIG e Elaboração de Desenho.....	11
4.8 Modelo Conceitual Geológico e Hidrogeológico Integrado	11
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
5.1 Contexto Geológico Regional.....	14
5.1.1 Bacia Sedimentar de São Paulo	16
5.1.2 Embasamento Pré-Cambriano.....	18
5.2 Contexto Hidrogeológico da região de estudos	19
5.3 Estudos Realizados no Canal do Jurubatuba.....	20
6. APRESENTAÇÃO DOS DADOS	23
7. MODELO CONCEITUAL GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO	26
7.1 Modelo Geológico Local.....	26
7.1.1 Coberturas Antropogênicas	26
7.1.2 Depósitos aluvionares.....	26
7.1.3 Sedimentos Terciários da Bacia de São Paulo	29
7.1.4 Manto de alteração (Saprolito).....	30
7.2 Modelo Conceitual Hidrogeológico	32
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Localização da área de estudo.

FIGURA 4.3.1 – Modelo de *Geodatabase* do *Arc Hydro Groundwater*

FIGURA 4.4.1 – Estrutura de implantação do *geotadabase*

FIGURA 4.5.1 – Agrupamentos e classes texturais

FIGURA 4.8.1 – Fluxograma da estrutura lógica e sequência de atividades

FIGURA 5.1.1 – Mapa geológico da RMSP

FIGURA 5.1.1.1 – Relações entre a litoestratigrafia e tectônica do RCSB

FIGURA 5.3.1 – Seções geológicas interpretativas do Canal do Jurubatuba

FIGURA 5.3.2 – Profundidade do topo do embasamento rochoso

FIGURA 5.3.3 – Modelo conceitual do entorno do canal de Jurubatuba

FIGURA 6.1 – Atualização dos terrenos selecionados para elaboração do modelo

FIGURA 6.2 – Localização dos poços compilados

FIGURA 7.1.2.1 – Fotografias aéreas de 1955 e 2000

FIGURA 7.1.4.1 – Modelo geológico 3D

FIGURA 7.2.1 – Localização das Seções hidrogeológicas interpretativas

FIGURA 7.2.2 – Seção hidrogeológica interpretativa A-A'

FIGURA 7.2.3 – Seção hidrogeológica interpretativa B-B'

FIGURA 7.2.4 – Mapas potenciométricos (2010)

FIGURA 7.2.5 – Mapas potenciométricos (2011)

FIGURA 7.2.6 – Mapas potenciométricos (níveis profundos)

ANEXOS

A. Diferença de Cargas Hidráulicas dos poços da MWM e Senac

B. CD com os dados compilados

1. INTRODUÇÃO

A região do canal de Jurubatuba, no Município de São Paulo apresenta um cenário bastante complexo de contaminação das águas subterrâneas por solventes organoclorados, provenientes de diversas indústrias instaladas na área. Tais substâncias atingiram níveis profundos do aquífero, afetando inclusive, poços de abastecimento instalados no aquífero cristalino fraturado local, gerando riscos a população. Em função disso e da extensão dos danos ambientais causados, a região do canal de Jurubatuba é considerada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) uma área contaminada crítica. Em ação conjunta deste órgão, do Departamento de Águas e Energia e Elétrica (DAEE) e da Coordenação de Vigilância em Saúde (CONVISA), o uso da água subterrânea dentro da região foi restrito, suspendendo as outorgas e lacrando os poços existentes.

O estudo de contaminações de águas subterrâneas por solventes organoclorados de fontes multipontuais é bastante desafiador, especialmente em aquíferos fraturados, devido à grande complexidade de caracterização do modelo de fluxos neste meio. Com o objetivo de se investigar o comportamento destes contaminantes no aquífero da região de Jurubatuba, foi criado o Projeto GESOL (Bases Técnicas para a Gestão de Áreas Contaminadas por Solventes Clorados), que é resultado de uma parceria entre o Centro de Pesquisa de Água Subterrâneas do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (CEPAS – IGc USP), com a CETESB, o Instituto Geológico (IG), o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e as universidades canadenses de Guelph e Waterloo.

Diversas investigações já foram conduzidas nas áreas contaminadas do parque industrial de Jurubatuba, entretanto, nunca foi realizado um trabalho que integrasse todas as informações levantadas. Dessa forma, é importante, no âmbito do Projeto GESOL, a integração dos dados existentes para a construção de um modelo conceitual da região de estudo. O presente trabalho é um piloto deste escopo, construindo um modelo conceitual geológico e hidrogeológico de 09 áreas selecionadas dentro da região.

2. OBJETIVOS

Este trabalho encontra-se inserido no projeto “*Bases técnicas para a gestão de áreas contaminadas por solventes organoclorados*” (GESOL), financiado pela FINEP. O objetivo deste é a elaboração de um modelo conceitual geológico e hidrogeológico integrado do aquífero raso do parque industrial do Jurubatuba. Para alcançar este objetivo foram selecionados nove áreas dentro da região, e realizadas as seguintes tarefas:

- Compilação dos dados disponíveis nos processos de áreas contaminadas na CETESB relacionados à área de estudo;
- Construção um *geodatabase*¹ (GDB) em SIG (Sistema de Informações Geográficas) com as informações provenientes dos *sites* sob gerenciamento ambiental da CETESB;
- Elaboração de um modelo geológico e hidrogeológico integrado para o aquífero raso da região

A análise geológica e hidrogeológica regional por meio de uma base de dados espacial integrada, aplicada ao estudo de casos complexos de contaminação é uma abordagem que se encontra na fronteira do conhecimento no gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil. Portanto, este projeto tem importância acadêmica e prática, contribuindo para os objetivos do projeto GESOL, e, auxiliando as entidades públicas no gerenciamento de contaminações regionais.

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudos localiza-se no centro-sul da cidade de São Paulo, mais precisamente no parque industrial do canal de Jurubatuba, uma antiga Zona de Uso Predominantemente Industrial (ZUPI 131). Situa-se entre as pontes do Socorro e Interlagos nas imediações da Avenida das Nações Unidas (Marginal Pinheiros), sendo esta avenida a principal via de acesso à área. A **Figura 3.1** apresenta a localização da área e os nove terrenos selecionadas para o estudo.

¹ Banco de dados georreferenciado

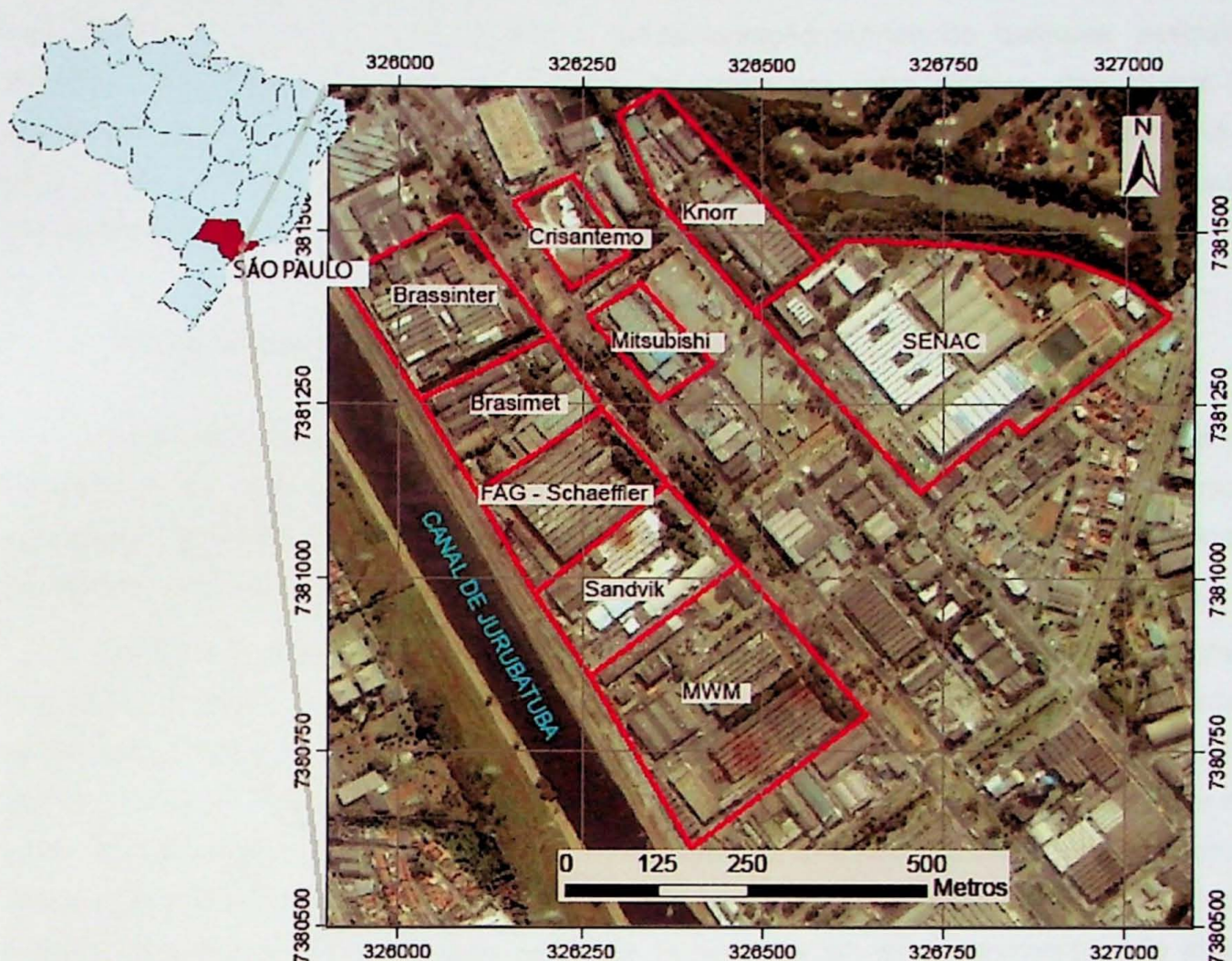


Figura 3.1 - Localização da área de estudo. Situada na centro-sul do município de São Paulo, o acesso principal é realizado pela Av. das Nações Unidas (Marginal Pinheiros) com ligações a diversas rodovias estaduais (modificado de L'Apicciarella, 2009)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos e materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Os materiais são listados abaixo, enquanto as etapas e procedimentos metodológicos de trabalho são descritos nos próximos itens.

Para a digitalização e o tratamento dos dados, foram utilizados os seguintes *softwares*: Google Earth versão 7.1.1.1888 (Google Inc.), ArcGIS Desktop 10 (Environmental Systems Research Institute Inc.), Excel, Access e Word 2010 (Microsoft Corporation) e Adobe Illustrator CS6 (Adobe Systems Software Ireland Ltda.).

Como material cartográfico, foram utilizados os mapas e imagens de satélite disponíveis nos programas Google Earth versão 7.1.1.1888 e ArcGIS Desktop 10.

4.1 Revisão Bibliográfica

As atividades de revisão bibliográfica foram as primeiras desenvolvidas, tendo em vista que esta é uma etapa essencial para a fundamentação teórica de qualquer pesquisa científica. Por meio dos trabalhos prévios, foi elaborada uma síntese dos dados já existentes, abrangendo desde a contextualização geológica e hidrogeológica regional, até a caracterização de aspectos específicos da área de estudos. Esta compilação é apresentada no **Capítulo 5**.

4.2 Levantamento e Compilação dos Dados

Foram realizadas visitas constantes às agências ambientais da CETESB (Agência de Pinheiros e de Santo Amaro) para aquisição dos dados de interesse. Os documentos consultados foram os processos de áreas contaminadas de empresas localizadas na área de estudo, que são de domínio público.

Foram selecionados, nos relatórios, apenas os dados brutos e não as interpretações e produtos gerados pelas consultorias a partir destes. Dentre as informações levantadas destacam-se: localização de poços e sondagens; dados construtivos dos poços; perfis litológicos; dados hidráulicos; seções hidrogeológicas e análises das propriedades físicas do solo. Também foram cadastrados resultados de análises químicas do solo e da água, pois, embora não façam parte do escopo deste trabalho, deverão ser úteis na elaboração do modelo conceitual completo da área, o qual já se encontra em desenvolvimento pelo aluno de mestrado Marcos Bolognini Barbosa, do Instituto de Geociências da USP, que acompanhou o desenvolvimento deste trabalho.

No total, foram consultados 130 relatórios de áreas contaminadas com informações relevantes para este trabalho. A obtenção dos dados foi realizada por meio da digitalização (*scanner* e fotos) das páginas consideradas essenciais dos relatórios. Foi cadastrado um número total de 349 poços de monitoramento e abastecimento. Vale comentar a existência de muito mais poços dentro da região de estudos, principalmente relacionados às atividades de remediação ambiental. Entretanto, estes não foram inclusos no banco de dados por serem, geralmente, bastante rasos, e por raramente apresentarem dados de cota topográfica e coordenadas geográficas.

Deve-se ressaltar o enorme volume de dados gerados, que incluíram mais de 2500 medições de nível de água, e uma tabela com mais de 1500 linhas para a descrição litológica das sondagens de instalação de poços. Todos os dados utilizados estão disponíveis no CD em anexo B este relatório.

4.3 Modelagem do Banco de Dados Gereferenciado (*geodatabase*)

Um *geodatabase* é um repositório de informações geográficas organizadas, preparado para armazenar, consultar e manipular informações (STRASSBERG, 2011), também conhecido como banco de dados espacial. Sua finalidade é integrar dados geográficos em um único ambiente virtual, permitindo maior controle sobre os dados.

Existem três tipos de *geodatabase*: *personal geodatabases*, *filegeodatabases*; e *ArcSDE geodatabases*. Neste trabalho adotou-se o *personal geodatabase*, baseado em um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional, como Microsoft Access, personalizado de forma a armazenar dados espaciais (STRASSBERG, 2011).

Dependendo da aplicação, existem modelos de *geodatabase* disponíveis que foram desenvolvidos e são disponibilizados gratuitamente para a plataforma SIG (Sistema de Informações Geográficas). Estes modelos foram criados para simplificar o processo de implantação de um projeto em SIG (no caso deste trabalho o *software* escolhido foi o ArcGIS Desktop 10). Além de facilitar a criação do banco de dados, os campos e associações seguem um padrão lógico, permitindo maior integração dos dados com outras base de dados e outros usuários da plataforma SIG.

Para este trabalho o modelo *geodatabase* do *Arc Hydro GroundWater Data Model*, desenvolvido para representar diferentes tipos de dados relacionados à água subterrânea. Este modelo de banco de dados é gratuito e encontra-se disponível para *download* no site da Aquaveo¹ (uma empresa que trabalha no desenvolvimento de ferramentas de SIG em parceria com a *Environmental Systems Research Institute*, que desenvolveu o programa ArcGIS).

O modelo de banco de dados inclui campos que auxiliam na elaboração e manutenção de mapas hidrogeológicos, banco de dados de poços, dados de mapas geológicos, representações 3D de poços e hidroestratigrafia e informações temporais. A **Figura 4.3.1** apresenta este modelo do *Arc Hydro GroundWater*.

¹ www.aquaveo.com.br (acesso em outubro/2013)

Arc Hydro Groundwater Data Model

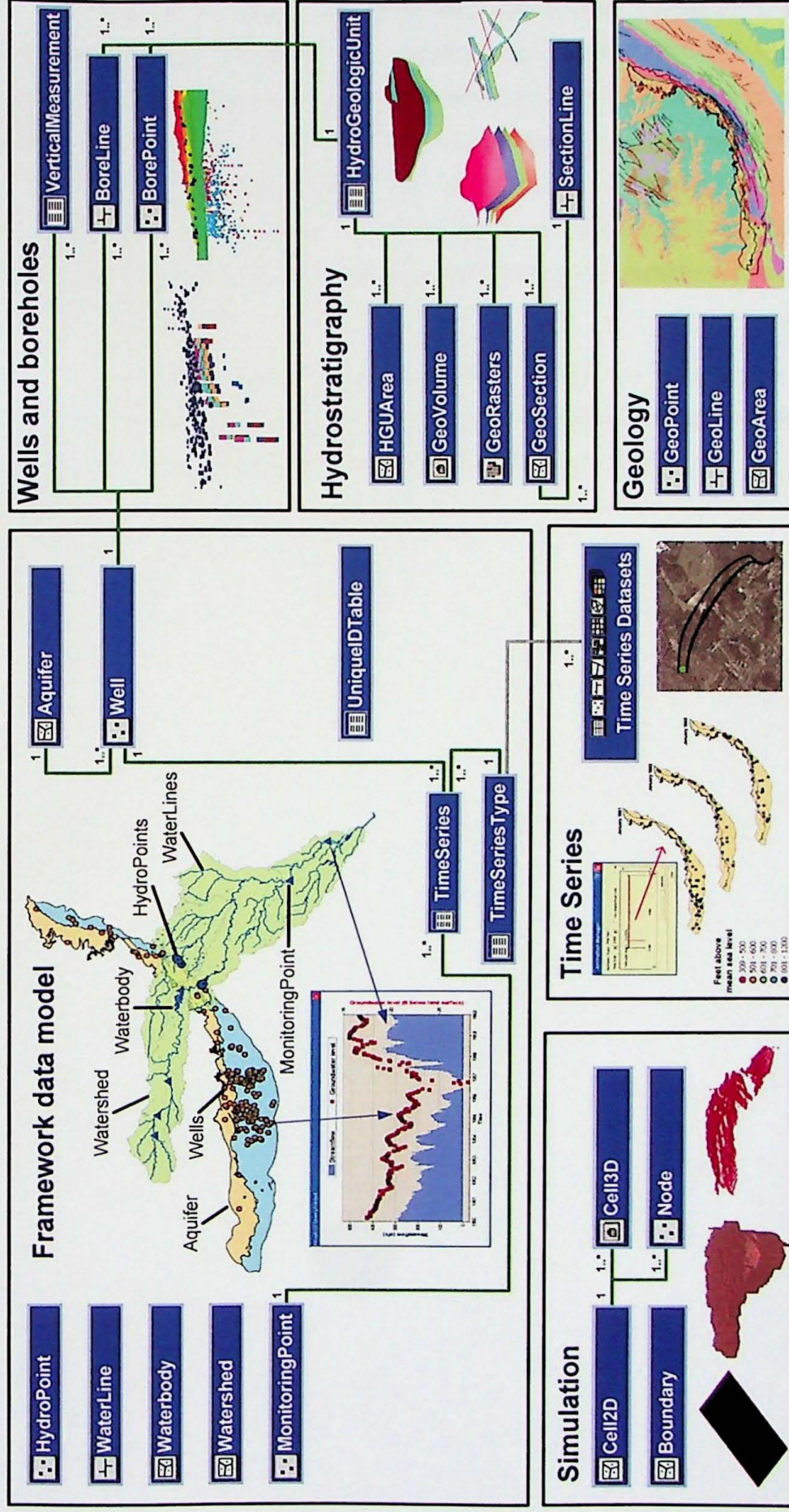


Figura 4.3.1 – Modelo de geodatabase do Arc Hydro GroundWater (ESRI, 2013).

4.4 Personalização do *Geodatabase*

Para que todos os objetivos propostos pudessem ser alcançados, algumas adaptações nos modelos de *geodatabase* foram necessárias para se adequarem às especificidades do projeto. Antes de fazer qualquer alteração no modelo de banco de dados, buscou-se entender a estrutura e a lógica deste para que estas fossem respeitadas durante a etapa de personalização. Para definir quais informações deveriam ser incluídas ou retiradas do *geodatabase*, foi seguida uma modelagem conceitual de banco de dados baseada em Uima (2013), abrangendo todas as questões principais que este trabalho se destina a responder.

A personalização consistiu, basicamente, na adaptação do modelo selecionado e complementação e edição de novos campos do *geodatabase*. A **Figura 4.4.1** apresenta a estrutura final do *geodatabase* que aplicada neste trabalho.

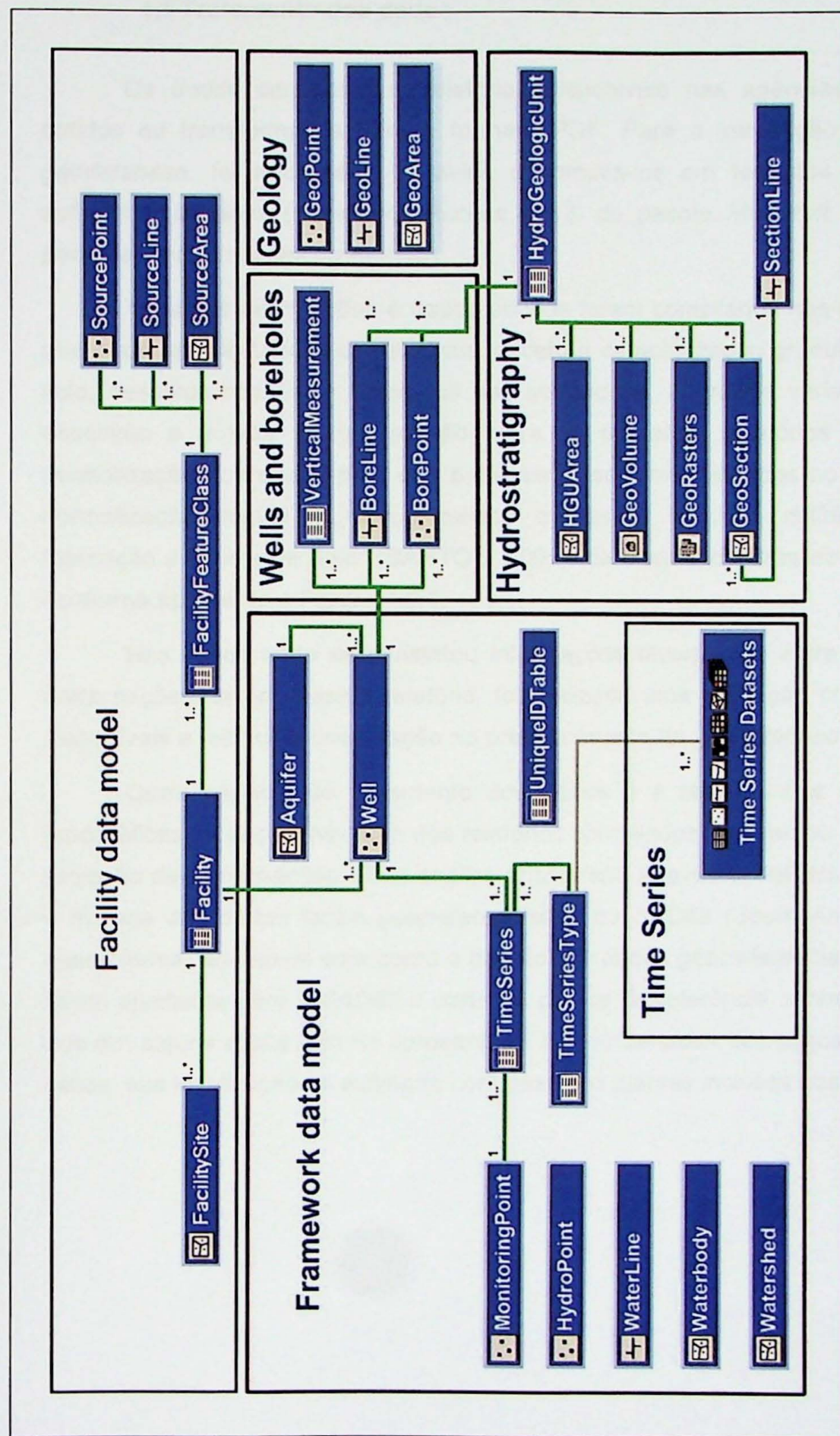


Figura 4.4.1 - Estrutura de implantação do geodatabase.

4.5 Tratamento dos dados

Os dados contidos nos relatórios disponíveis nas agências da CETESB foram obtidos ou transformados para o formato PDF. Para a introdução das informações no *geodatabase*, foi necessário extrair-los e compilá-los em formatos compatíveis com os *softwares* utilizados (plataforma Access 2013, do pacote *Microsoft Office*, utilizada para *personal geodatabases* do ArcGIS).

Todas as informações e dados obtidos foram compilados nos mesmos formatos em que eram apresentados nos relatórios, exceto a caracterização granulométrica e textura do solo, descritos nos perfis litológicos das sondagens. A grande variabilidade na forma de descrição e a falta de um padrão entre os diferentes relatórios tornou necessária a normatização dos dados para que pudessem ser correlacionados no SIG. Dessa forma, a normatização seguiu os agrupamentos e classes texturais definidos no “Manual de Descrição e Coleta de Solo” (SANTOS, 2005), da Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, conforme apresenta a **Figura 4.5.1**.

Nos casos onde se constatou informações divergentes entre relatórios ou mesmo entre seções de um mesmo relatório, foi realizada uma avaliação crítica das informações disponíveis e feito uma observação no preenchimento do *geodatabase* sobre a discrepância.

Outro aspecto do tratamento dos dados é a respeito das coordenadas e cotas topográficas de poços. Nenhum dos relatórios compilados apresentou o *DATUM* utilizado na projeção das informações. Uma análise crítica feita através de tentativa e erro mostrou que a maioria dos dados foram georreferenciados no *SAD69* (*South American Datum 1969*), dessa forma, adotou-se este como o padrão. Os dados georreferenciados em outro *DATUM* foram ajustados para o *SAD69* a partir de pontos de referência conhecidos. Vale comentar que em alguns casos não foi apresentada as coordenadas dos poços existentes, e nesses casos, sua localização foi estimada com base nas plantas inclusas nos relatórios.

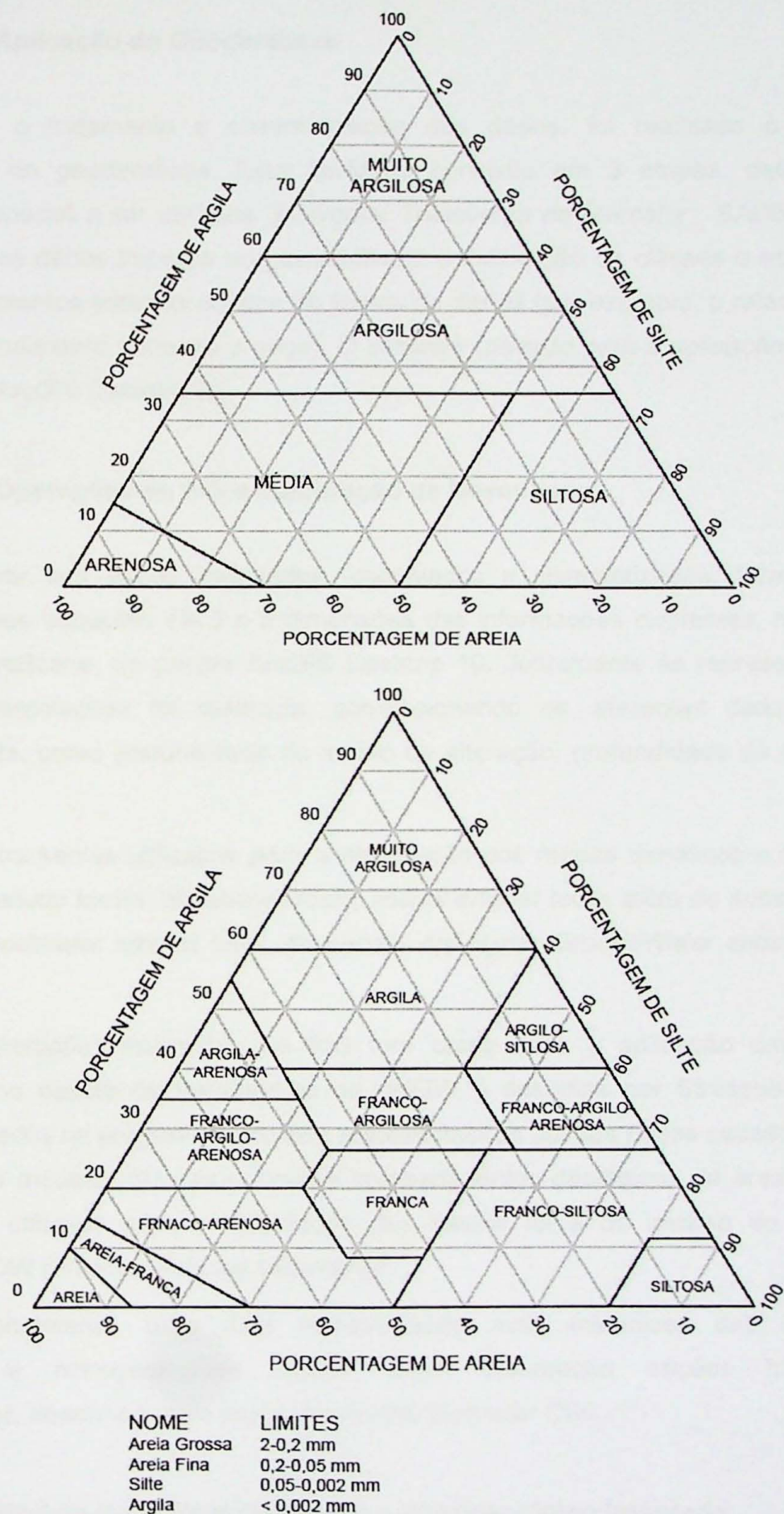


Figura 4.5.1 – Agrupamentos texturais (triângulo superior) e classes texturais (triângulo inferior) do solo (adaptado de SANTOS, 2005)

4.6 Aplicação do Geodatabase

Após o tratamento e sistematização dos dados, foi realizado o processo de alimentação do *geodatabase*. Esta atividade consistiu em 3 etapas: determinação da referência espacial a ser utilizada (*Universal Transversa de Mercator*, SAD69, Zona 23S); introdução dos dados tratados no *geodatabase*; e indexação de classes e estabelecimento de relacionamentos entre os objetos do banco de dados (por exemplo, o relacionamento de qual empreendimento pertence o poço). O *software* utilizado para a aplicação dos dados foi o pacote do ArcGIS Desktop 10.

4.7 Operações no SIG e Elaboração de Desenho

A partir dos dados levantados, compilados e sistematizados, foram elaboradas representações espaciais em 2 e 3 dimensões das informações existentes, nos programas ArcMap e ArcScene, do pacote ArcGIS Desktop 10. Juntamente às representações, uma série de interpolações foi realizada, correlacionando os diferentes dados distribuídos espacialmente, como profundidade do manto de alteração, profundidade do nível de água, entre outros.

As ferramentas utilizadas para a elaboração dos mapas temáticos e do modelo 3D da área de estudo foram: *3D analyst tools*, *spatial analyst tools*, além do *subsurface analyst tools* e *GroundWater analyst tools*, do pacote *Arc Hydro GroundWater subsurface analyst tools*.

As operações realizadas no SIG tem como base a aplicação das ferramentas disponíveis no pacote de ferramentas do AHGW e descritas por Strassberg (2011). Os modelos gerados no programa incluíram representações 3D dos poços cadastrados, seções geológicas, e modelos 3D das principais compartimentos geológicos da área de estudo. A interpolação utilizada para a elaboração dos mapas foi a do inverso do quadrado da distância – IDW (*Inverse Distance Weighting*).

Adicionalmente, para uma representação mais minuciosa das características geológicas e hidrogeológicas locais, foram elaboradas seções hidrogeológicas interpretativas, desenhadas no programa Adobe Illustrator CS6.

4.8 Modelo Conceitual Geológico e Hidrogeológico Integrado

Resumidamente, os métodos e itens abordados para a elaboração do Modelo Conceitual Geológico e Hidrogeológico, foram os seguintes:

- a) Levantamento das informações geológicas e hidrogeológicas regionais, bem como dos aspectos específicos da região de estudos;
- b) Aquisição dos dados disponíveis sobre as áreas selecionadas, no acervo de áreas contaminadas da CETESB;
- c) Compilação e tratamento dos dados obtidos em um banco de dados;
- d) Exportação dos dados para um banco de dados geográficos (*geodatabase*) e sua aplicação em um SIG;
- e) Interpretação do banco de dados e elaboração de desenhos e representações espaciais no SIG dos dados geológicos e hidrogeológicos;
- f) Elaboração do Modelo Conceitual Geológico e Hidrogeológico da área.

A **Figura 4.8.1** apresenta um fluxograma da estrutura lógica e sequência de atividades envolvida no trabalho:

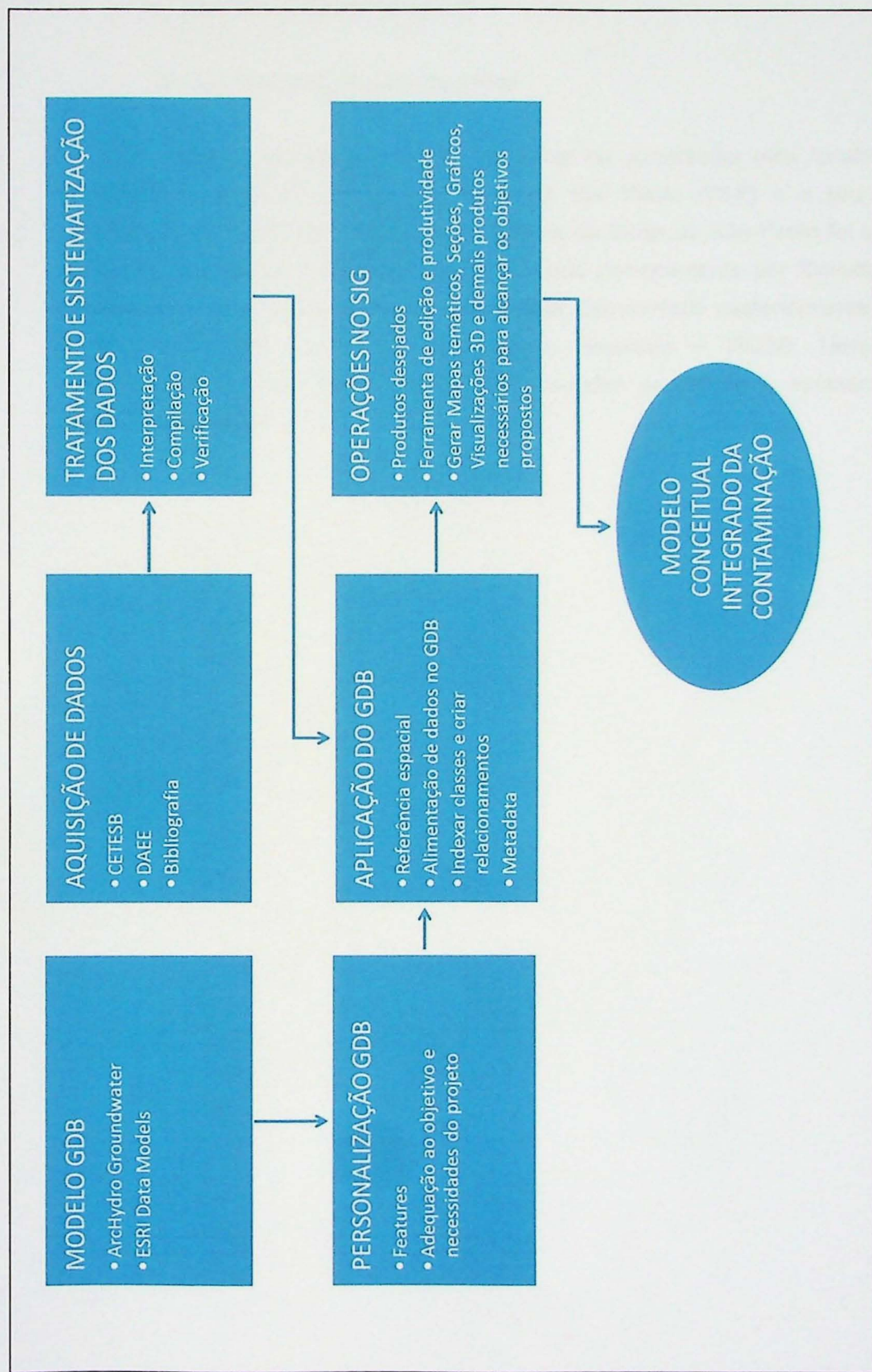


Figura 4.8.1. Fluxograma da estrutura lógica e sequência de atividades desenvolvidas durante o trabalho (Extraído de Barbosa, em preparação)

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Contexto Geológico Regional

Em termos geológicos, a região do Canal do Jurubatuba está localizada sobre os sedimentos da borda sudoeste da Bacia de São Paulo (BSP) e o seu embasamento cristalino Pré-Cambriano (**Fig. 5.1.1**). A gênese da Bacia de São Paulo foi controlada pelo desenvolvimento de um sistema de *riffs*, definido pioneiramente por Almeida (1976) como Sistema de *Rifts* Continentais da Serra do Mar, denominado posteriormente por Riccomini (1989) como *Rift* Continental do Sudeste Brasileiro – RCSB. Uma síntese dos conhecimentos sobre esses conjuntos de unidades geológicas é apresentada nos dois capítulos seguintes.

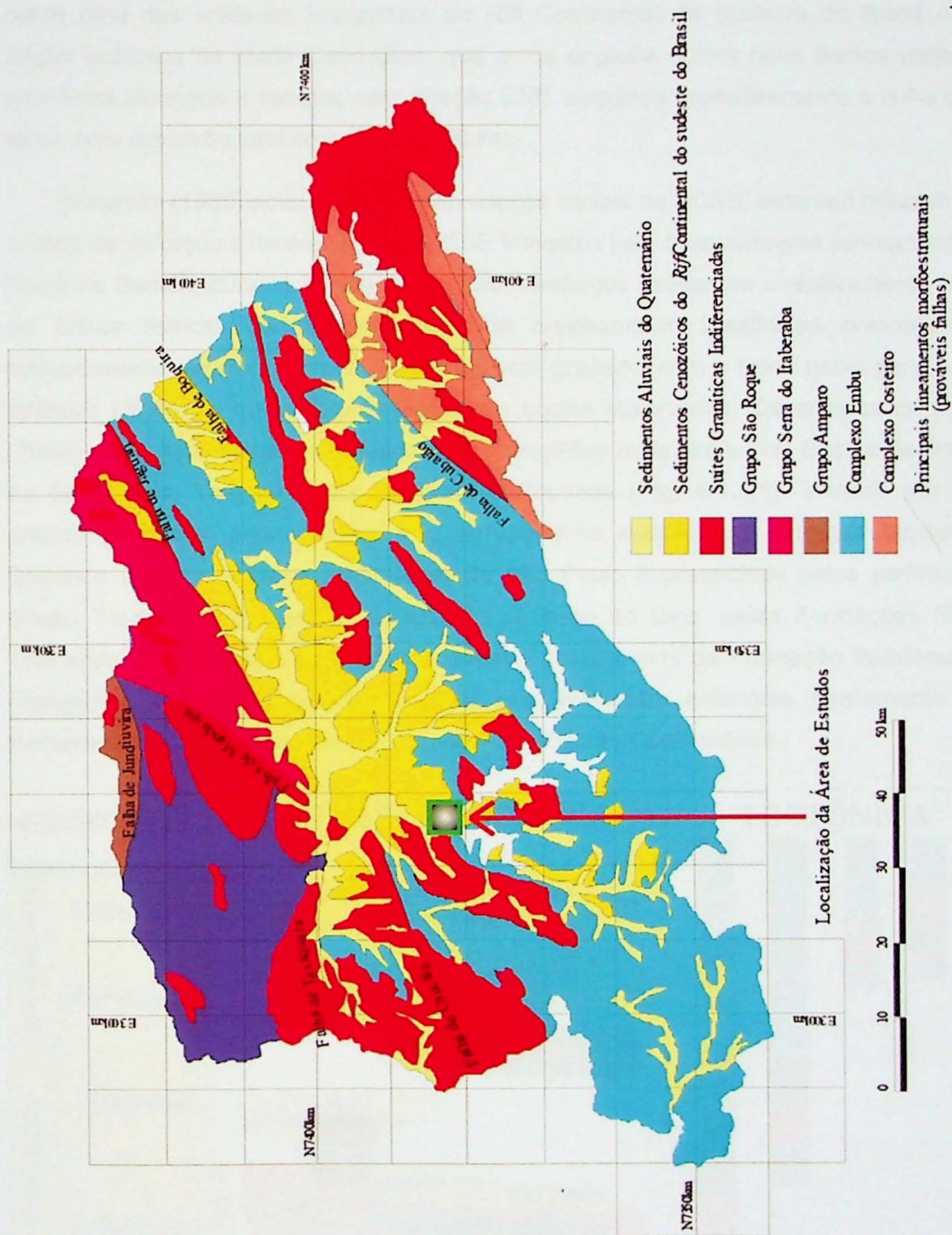


Figura 5.1.1. Mapa geológico da RMSP e localização da área de estudos (Modificado de Rodriguez, 1997).

5.1.1 Bacia Sedimentar de São Paulo

Segundo Riccomini & Coimbra (1992), a Bacia Sedimentar de São Paulo é entendida como uma das unidades integrantes do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil – RCSB, feição tectônica de idade Cenozóica, que ainda engloba outras nove bacias alojadas em uma faixa alongada e estreita, com direção ENE, seguindo grosseiramente a linha de costa atual, com extensão total de cerca de 900 km.

Riccomini (1989) postula que as depressões iniciais do RCSB, estariam relacionadas ao campo de esforços extensionais NNW-SSE impostos pelo basculamento termomecânico da Bacia de Santos, durante o Paleógeno. Esses esforços causariam o reativamento na forma de falhas listricas de antigas zonas de cisalhamento brasileiras preexistentes no embasamento, propiciando a formação de *hemi-grabens*, com o bloco baixo para o lado do atlântico (SSE), os quais caracterizariam as bacias observadas. Os estudos de Riccomini (1989) ainda estabeleceram o quadro litoestratigráfico mais aceito nas Bacias Sedimentares de São Paulo, Taubaté, Volta Redonda e Resende (**Fig. 5.1.1.1**), levando em conta a análise de fácies sedimentares e o agrupamento dessas em sistemas deposicionais. Segundo o autor, a Bacia Sedimentar de São Paulo é preenchida pelos sedimentos do Grupo Taubaté (Paleógeno) - constituído da base ao topo, pelas Formações Resende, Tremembé e São Paulo - e pelos sedimentos mais jovens da Formação Itaquaquetuba (Neógeno), depositados discordantemente aos sedimentos anteriores, diretamente sobre o embasamento, além de depósitos colúvio e aluvionares Quaternários.

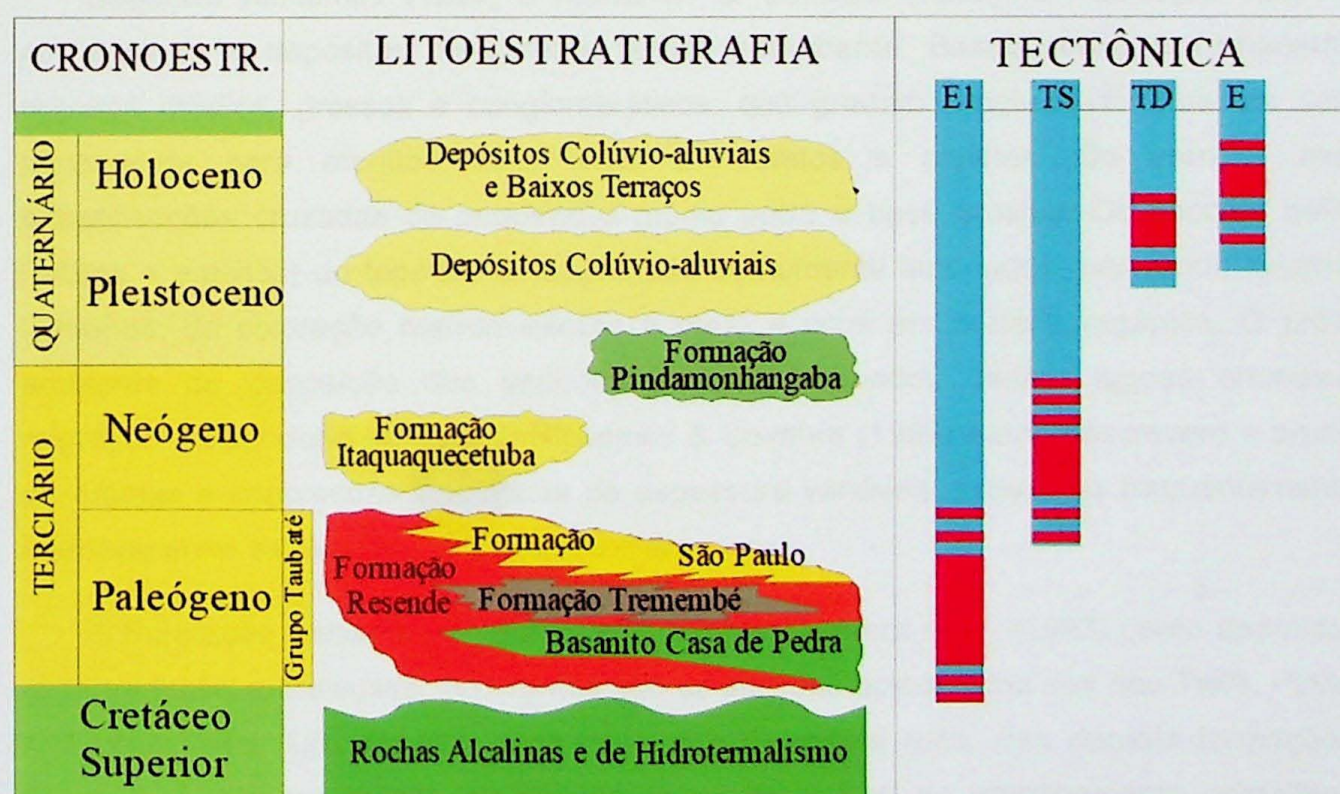


Figura 5.1.1.1. Relações entre a litoestratigrafia e tectônica do RCSB (Riccomini, 1989, modificado)

A Formação Resende apresenta distribuição de generalizada, compreendendo pelo menos 80% do preenchimento sedimentar da Bacia Sedimentar de São Paulo. Ocupa principalmente as porções basais e laterais da bacia, guardando uma associação entre a sedimentação e o tectonismo ativo durante essa fase. As principais fácies correspondem a diamictitos e conglomerados com seixos, matacões e blocos angulosos a subarredondados, normalmente polímiticos, de matriz lamítica a arenosa e coloração no geral esverdeada, quando não alterados, relacionados à sistemas de leques aluviais proximais. Em sentido para as porções distais da bacia, esses sedimentos variam para lamitos arenosos e arenitos com estratificação cruzada acanalada de médio porte, com níveis conglomeráticos, que caracterizam sistemas deposicionais de planícies de rio entrelaçados. Esses pacotes constituem corpos de geometria tabular e dimensão métrica.

Os sedimentos da Formação Tremembé compreendem camadas tabulares de argilas verde maciças intercaladas à argilas cinza-escuro a preta, ricas em matéria orgânicas, ambas com espessura decimétricas, correspondentes a depósitos de origem lacustres. Melo *et al.* (1986) descreveu uma das poucas ocorrências registradas na Bacia de São Paulo dessa formação, durante as obras de escavação do Metrô Barra Funda. Riccomini & Coimbra (1992) descrevem ainda ocorrências dessas argilas em sondagens realizadas na região do Parque Antártica e Rua do Oriente no Pari, localizados respectivamente a cerca de 1 km a oeste e 5 km a leste da Estação Barra Funda. Apesar dos poucos registros existentes, Takiya (1991) levanta a possibilidade de uma ocorrência de maior amplitude desses depósitos dentro da bacia.

Segundo Riccomini (1989) e Riccomini & Coimbra (1992), a Formação São Paulo corresponde a depósitos de sistema fluvial meandrante. Basicamente, é composta por arenitos médios, grossos e conglomeráticos, que gradam progressivamente em sentido ascendente para arenitos mais finos, até siltitos e argilitos. Os arenitos exibem estratificações cruzadas de pequeno a médio porte e base erosiva. Os pacotes pelíticos (siltitos e argilitos) do topo da formação são comumente laminados, ocorrendo localmente folhelhos, de coloração marrom-escuro a preto e ricos em matéria orgânica. O provável ambiente de deposição dos sedimentos finos laminados seriam lagoas oriundas da migração e abandono de canais. Riccomini & Coimbra (1992) ainda descrevem a presença de crostas e concreções limoníticas de espessura variáveis, presentes frequentemente na interface entre os sedimentos argilosos e arenosos.

A Formação Itaquaquecetuba foi descrita por Coimbra *et al.* (1993) como depósitos de sistema fluvial entrelaçado, ocorrentes sob os aluviões holocênicos dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí. Um aspecto importante que diferencia esta, das demais formações da bacia, é a sua ocorrência unicamente sobre as rochas do embasamento cristalino, em

contatos erosivos ou tectônicos, não sendo possível observar sua relação com as demais unidades sedimentares Terciárias.

Ainda ocorre sobre a Bacia Sedimentar de São Paulo um conjunto de depósitos aluviais de pequena espessura, provavelmente de idade pliocênica a mais jovem. As distribuições desses corpos estão associadas às várzeas de rios e córregos. O perfil litológico típico pode ser descrito como sedimentos argilo-silto-arenosos turfáceos até 1,5-2,0 m de profundidade, sotopostos sobre areias médias de até 2 m de espessura, com cascalho na base (Almeida *et al.*, 1984).

5.1.2 Embasamento Pré-Cambriano

As rochas metamórficas e granitóides intrusivos que compõe o embasamento Pré-Cambriano da Bacia Sedimentar de São Paulo, inseridos no contexto geotectônico da Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1984), foram brevemente discutidas em Juliani (1992). Segundo o autor, a Bacia Sedimentar de São Paulo repousa quase que essencialmente sobre as rochas metamórficas definidas como Complexo Embu, ao qual reconhece a ocorrência de três conjuntos de litotipos:

- Metassedimentos em elevado grau metamórfico, em resumo, gnaisses e xistos de fácies anfibolito médio a alto, definidos como Unidade dos Xistos Rítmicos, na região de Embu-Guaçu-Parelheiros por Viera (1989), e como Unidade Rio Una por Fernandes (1991), na região sudeste da Bacia de Taubaté.
- Metassedimentos em baixo grau metamórfico, em resumo, sericita xistos e filitos, caracterizados por Vieira (1989). Corresponderiam possivelmente as partes menos metamorfizadas dos metassedimentos anteriores, ou ainda, à corpos supracrustais depositadas posteriormente sobre o Complexo, e metamorfizadas em baixo grau num evento de retrometamorfismo, hipótese corroborada pela gradação metamórfica muito brusca observada entre estes dois conjuntos de litotipos (Juliani, 1992).
- Orto-gnaisses polimigmatizados e deformados descritos como Complexo Rio Capivari por Fernandes (1991), que corresponderiam ao embasamento dos metassedimentos descritos anteriormente.

As rochas granitóides intrusivas que são parcialmente recobertas pelos sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo, e afloram nas proximidades da Região Metropolitana de São Paulo, ocorrem em dimensões que variam desde batólitos à pequenos *stocks* (Juliani, 1992). Os tipos mais comuns observados são granitóides cálcio-alcalinos denominados fácies Cantareira, com composição variando de tonalítico a granítico (Hasui *et al.* 1978),

restringindo principalmente aos termos granodioríticos e graníticos, segundo Janasi e Ulbrich (1991). Também ocorrem pequenos *stocks* de granitos peraluminosos, acompanhados de biotita, muscovita e, ocasionalmente, de granada e turmalina.

5.2 Contexto Hidrogeológico da região de estudos

O contexto hidrogeológico da área pode ser descrito em dois sistemas aquíferos: o Cristalino (SAC) e o Sedimentar (SAS) (Hirata & Ferreira, 2001).

O SAC ocorre nos domínios das rochas cristalinas do embasamento (migmatitos, gnaisses, xistos, granitóides, entre outros), podendo ser distintas duas unidades neste sistema. A primeira corresponde ao manto saprolítico do embasamento, tratando-se de um aquífero de porosidade granular, bastante heterogêneo, de natureza livre e anisotrópico, com espessuras médias de 50 m (Hirata & Ferreira, 2001). A condutividade hidráulica do aquífero varia de acordo com o nível do perfil de alteração, sendo observados valores muito baixos ($1\text{E}-6$ a $1\text{E}-7$ m/s) no terço superior do perfil de alteração, e muito altos ($1\text{E}-3$ a $1\text{E}-4$ m/s) na zona de transição entre a rocha relativamente alterada e a rocha sã (Rebouças, 1992). A segunda unidade corresponde às rochas cristalinas sãs, onde a circulação das águas por este sistema ocorre pelas descontinuidades rúpteis da rocha (fraturas e falhas não preenchidas). Segundo dados do DAEE (1975), esta unidade apresenta transmissividade amplamente variada, com valores de 0,4 e $14\text{ m}^2/\text{dia}$.

Sobreposto ao SAC, O SAS é constituído pelos sedimentos arenosos e argilosos da Bacia Sedimentar de São Paulo, além de sedimentos coluvionares, e aluvionares Quaternários, relacionados aos taludes e corpos d'água existentes. Trata-se de um aquífero de porosidade primária, livre a semi-confinado, e muito heterogêneo, formado por intercalações de camadas argilosas e arenosas de diferentes espessuras, descontínuas horizontal e verticalmente (Bertolo, 1996). Chiossi (1974 e 1980) verificou através de dados de sondagens geotécnicas rasas, a existência de vários aquíferos suspensos, exemplificando a heterogeneidade do sistema. Segundo dados do DAEE (1975), o SAS apresenta valores de transmissividade médios entre 15 e $70\text{ m}^2/\text{dia}$. Sua porosidade efetiva, segundo Sabesp-Cepas (1994) é de 6%. Com base em dados geológicos e hidrogeológicos de 326 poços tubulares profundos, Bertolo (1996) verificou que o SAS apresenta espessuras de até 250 metros, e tem sua geometria condicionada pelo comportamento do embasamento cristalino subjacente, de modo geral acidentado, onde são observados falhamentos gerando *grabens* e *horsts*.

5.3 Estudos Realizados no Canal do Jurubatuba

Em relação aos sistemas de aquíferos na área de interesse e seu entorno, os estudos de L'Apicciarella (2009) indicam que na porção leste da região do Canal de Jurubatuba, o SAS pode apresentar espessuras de mais de 100 metros, repousando ainda sobre uma camada de rocha alterada do embasamento cristalino, que varia de 10 a 70 metros de espessura. Ao contrapasso, na porção oeste do Canal, as rochas ígneas e metamórficas que compõe o sistema aquífero cristalino são aflorantes. O mesmo autor elaborou seções geológicas interpretativas, apresentadas na **Figura 5.3.1**, onde foram discretizados os sedimentos da Bacia, o manto de intemperismo e a rocha sã. Observam-se nessas seções, desníveis abruptos na topografia do embasamento cristalino aos quais foram interpretados como resultado de falhamentos, cujas posições foram inferidas. Barbosa (2012), através da interpolação de dados dos poços profundos existentes, elaborou um mapa representando o topo rochoso da região (**Fig. 5.3.2**). Observando esse mapa, é possível notar que o topo do embasamento rochoso está em cotas mais profundas na área onde se encontram os terrenos selecionados para este estudo.

L'Apicciarella (2009) observa que a maior parte da região exibe condições de recarga do aquífero superficial, tanto pela infiltração das águas pluviais, como por perdas da rede pública. O fluxo subterrâneo segue em sentido às principais drenagens superficiais (canal de Jurubatuba e Rio Pinheiros), mas podem ocorrer fluxos em direções contrárias, devido à heterogeneidade dos pacotes quanto à condutividade hidráulica, marcados pela alternância de areias e argilas, além da contribuição de pontos de recargas antrópicas.

O monitoramento de nível d'água realizado pelo autor em um poço de produção profundo, instalado no cristalino, e dois poços de monitoramento adjacentes (2 metros de distância), instalados na superfície do aquífero freático, indicou uma enorme diferença na carga hidráulica entre esses poços. O nível estático nos poços rasos foi verificado a 5 metros e o do poço profundo a 67 metros de profundidade, demonstrando uma forte componente de fluxo vertical descendente, com sentido do aquífero freático para o aquífero cristalino. A **Figura 5.3.3** apresenta os dois níveis d'água para a região próxima ao Canal de Jurubatuba. O primeiro, mais raso e concordante às drenagens locais, representa a superfície potenciométrica do aquífero sedimentar, enquanto o segundo, mais profundo, representa o nível d'água resultante do intenso bombeamento do aquífero cristalino, aparentemente deslocado, ou com grande atraso de resposta do aquífero sedimentar. Vale comentar que embora o uso da água subterrânea na região tenha sido proibido, há a possibilidade, conforme salienta o próprio autor, da existência de inúmeros poços clandestinos operando na área.

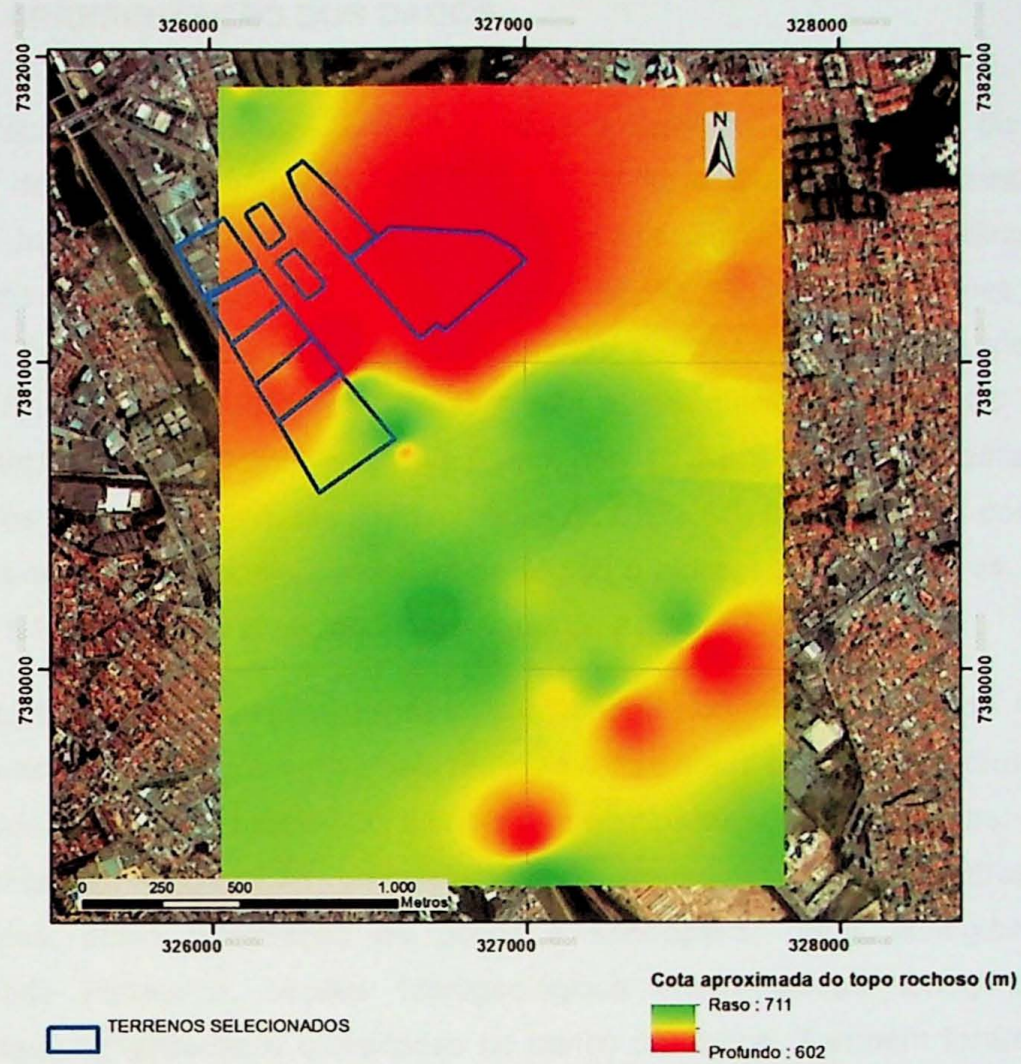


Figura 5.3.2. Profundidade do topo do embasamento rochoso (modificado de Barbosa, 2012).

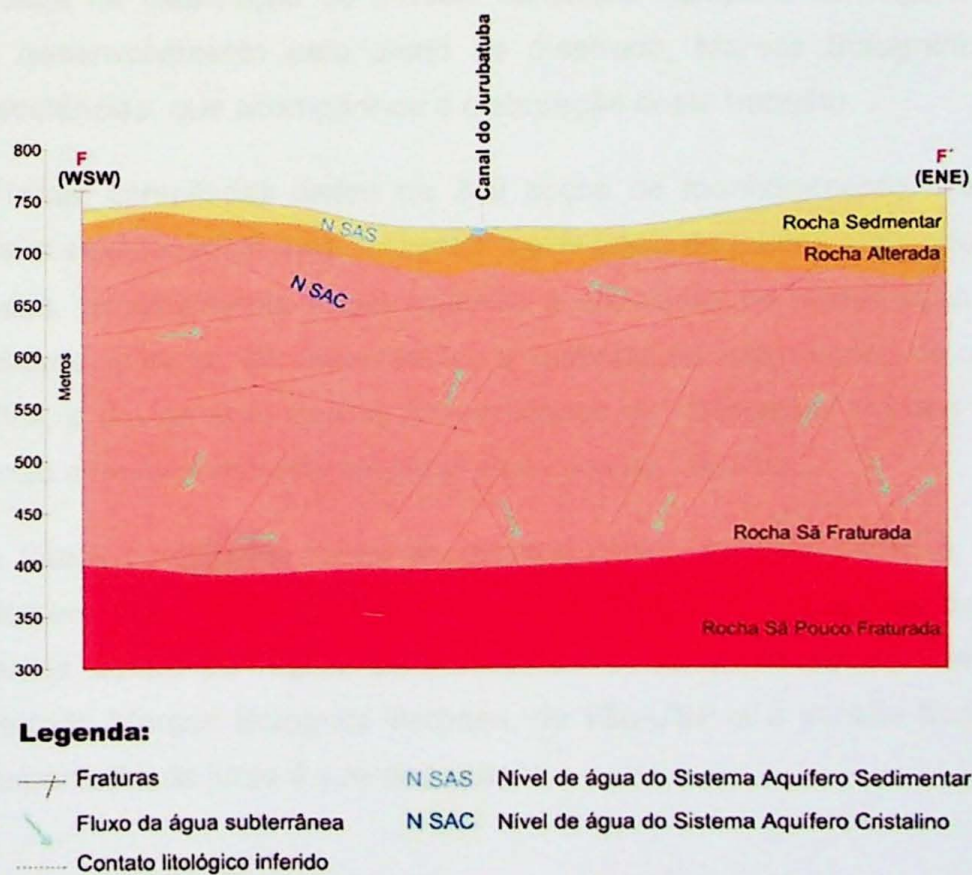


Figura 5.3.3. Modelo Hidrogeológico Conceitual no entorno do Canal de Jurubatuba (L'Apicciarella, 2009)

6. APRESENTAÇÃO DOS DADOS.

O escopo inicial proposto contemplava a integração dos dados disponíveis nos processos de áreas contaminadas da CETESB, de nove terrenos selecionados dentro da Região do Jurubatuba, sendo eles os pertencentes aos seguintes empreendimentos: Senac, Knorr-Bremse, Crisântemo, Schaeffler, Sandvik, MWM, Bodycote Brasimet, Brassinter e Mitsubishi. Entretanto, a consulta junto ao órgão indicou que as áreas pertencentes à Bodycote Brasimet, Brassinter e Mitsubishi, não apresentam contaminação no solo e na água subterrânea até o momento. Dessa forma, nessas áreas não foram realizadas, ou não constam nos processos de áreas contaminadas da CETESB, investigações com dados úteis para a elaboração do modelo conceitual geológico e hidrogeológico da área. A **Figura 6.1** apresenta a localização e atualização das áreas de estudo.

Durante a consulta dos processos, foi contabilizado um número total de 130 relatórios, relativos a diversos serviços ambientais realizados nas áreas dos empreendimentos listados acima, como investigações ambientais preliminares, confirmatórias, detalhadas, complementares, implantação de sistemas de remediação, entre outros. As partes interessantes, como localização de poços e sondagens, perfis litológicos, dados de condutividade hidráulica, seções hidrogeológicas interpretativas, entre outras, foram selecionadas, digitalizadas e compiladas no banco de dados. Também foram digitalizados resultados de análises químicas, pois, embora não façam parte do escopo deste trabalho, deverão ser úteis na elaboração do modelo conceitual completo da região, o qual já se encontra em desenvolvimento pelo aluno de mestrado, Marcos Bolognini Barbosa, do Instituto de geociências, que acompanhou a elaboração deste trabalho.

No total, foram compilados dados de 349 poços de monitoramento e abastecimento dentro das áreas selecionadas. Vale comentar a existência de muitos mais poços dentro das áreas estudadas, principalmente poços relativos a atividades de remediação. Estes poços não foram inclusos no banco de dados devido à ausência de informações de coordenadas e cota topográfica, e devido suas baixas profundidades de instalação, motivos pelos quais a sua inclusão não acrescentaria informações relevantes ao trabalho.

Todos os dados compilados foram exportados para o formato excel, e se encontram disponibilizados em CD anexo à este relatório. Cumpre mencionar que mais dados de outros empreendimentos dentro da região do Jurubatuba ainda estão sendo cadastrados pelo aluno de Mestrado Marcos Bolognini Barbosa, do IGc-USP e a versão final de todos os dados será disponibilizada junto à sua dissertação.

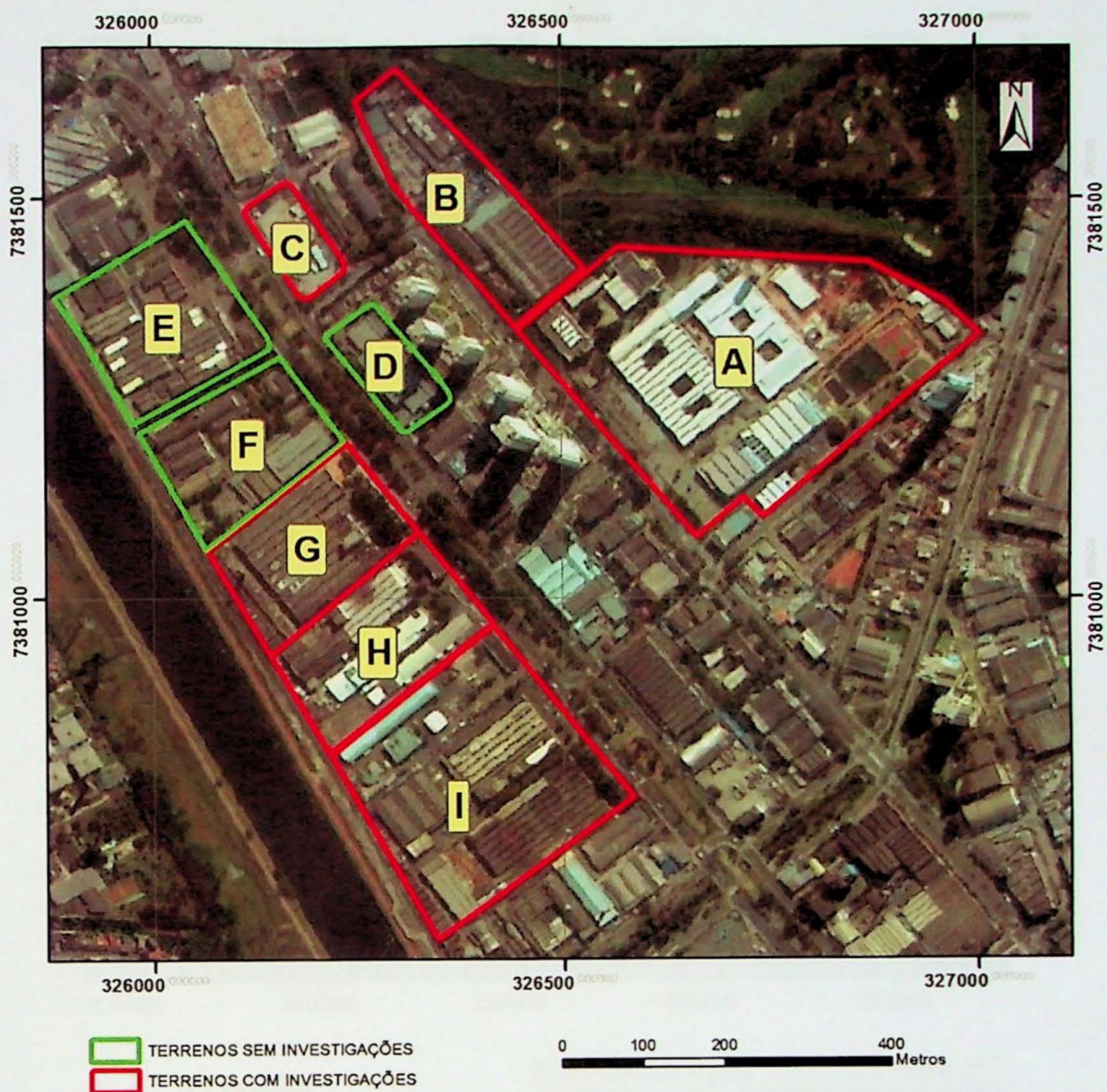
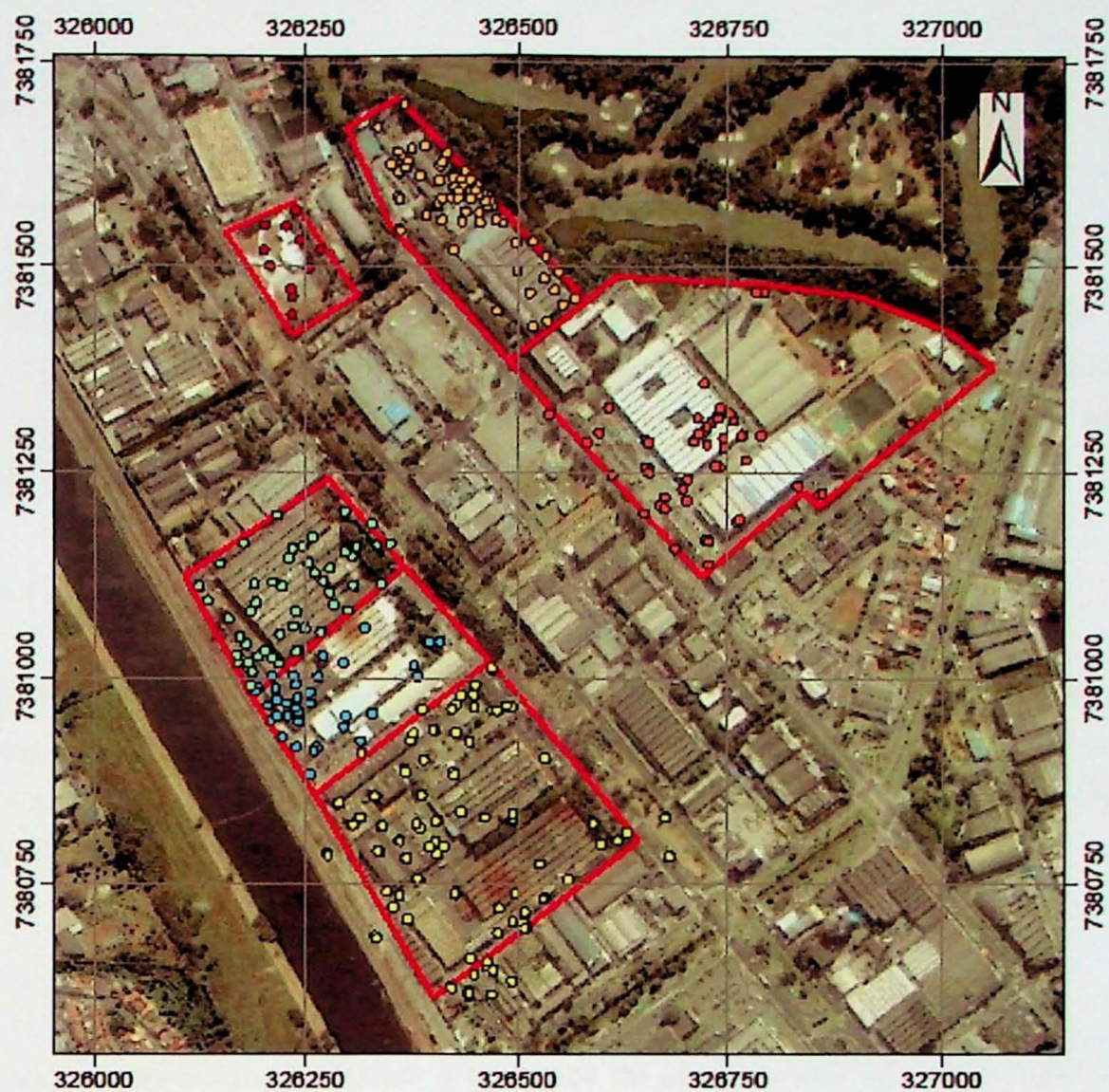


Figura 6.1 – Atualização dos terrenos selecionados para a elaboração do modelo geológico e hidrogeológico integrado (modificado de L'Apicciarella, 2009). Legenda: A – SENAC; B – Knorr Bremse; C – Crisântemo; D – Mitsubishi; E – Brassinter; F – Brasimet; G – Schaeffler; H – Sandvik; I – MWM.

A compilação de todas as informações em um banco de dados, e sua aplicação em um Sistema de Informações Geográficas, permitiu a visualização integrada dos principais atributos da área em estudo. A **Figura 6.2** apresenta a localização de todos os poços compilados.



LEGENDA

POÇOS

- 6 - Schaeffler - FAG
- 7 - Sandvik
- 8 - MWM
- 9 - Knorr
- 10 - Senac
- 11 - Crisântemo

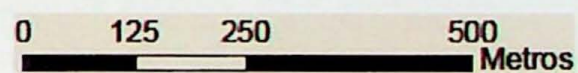


Figura 6.2 - Localização dos poços compilados

7. MODELO CONCEITUAL GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

7.1 Modelo Geológico Local

A região de estudos repousa sobre a borda sudoeste da Bacia Sedimentar de São Paulo. Com base em mais de 300 perfis litológicos de sondagens compilados, e a comparação desses dados com a bibliografia disponível, foram definidos os seguintes compartimentos geológicos.

7.1.1 Coberturas Antropogênicas

Sob praticamente toda a área estão presentes aterros de granulometria variada, formados principalmente por materiais argilo-arenosos e areno-argilosos de cor marrom a marrom-avermelhados, ocasionalmente com brita, cascalho e entulho. Possui espessura variável de 0 a 2,5 metros, possuindo em média, cerca de 1,0 metro.

7.1.2 Depósitos aluvionares

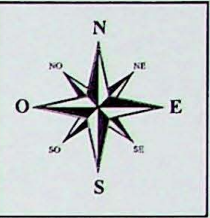
Os dados compilados indicaram a presença de uma camada de argila orgânica preta, plástica, verificada quase que em toda a região de estudos. Esta camada possui espessura média aproximada de um metro, e ocorre logo abaixo das coberturas antropogênicas existentes. Por vezes, apresenta porções bastante arenosas, e intercalações com outras camadas de argila, com menos matéria orgânica.

Sotoposto a essas argilas, está presente um pacote de areia friável, de coloração acinzentada e espessura média de 3 metros. Sua ocorrência na área é generalizada, geralmente entre 2 a 5 metros abaixo da superfície. Uma característica marcante neste pacote é a granodecrescência ascendente dos sedimentos, que variam desde areias finas no topo, até pacotes de areia grossa com muito cascalho na base. Lentes submétricas a métricas de argila e argila arenosas são observadas ocasionalmente intercaladas a estes sedimentos.

O perfil litológico descrito por Almeida *et al.* (1984) em outros corpos aluvionares da Bacia Sedimentar de São Paulo é muito semelhante ao encontrado na área de estudo. Em seu estudo, o autor descreve uma camada sedimentos turfáceos argilo-silto-arenosos até

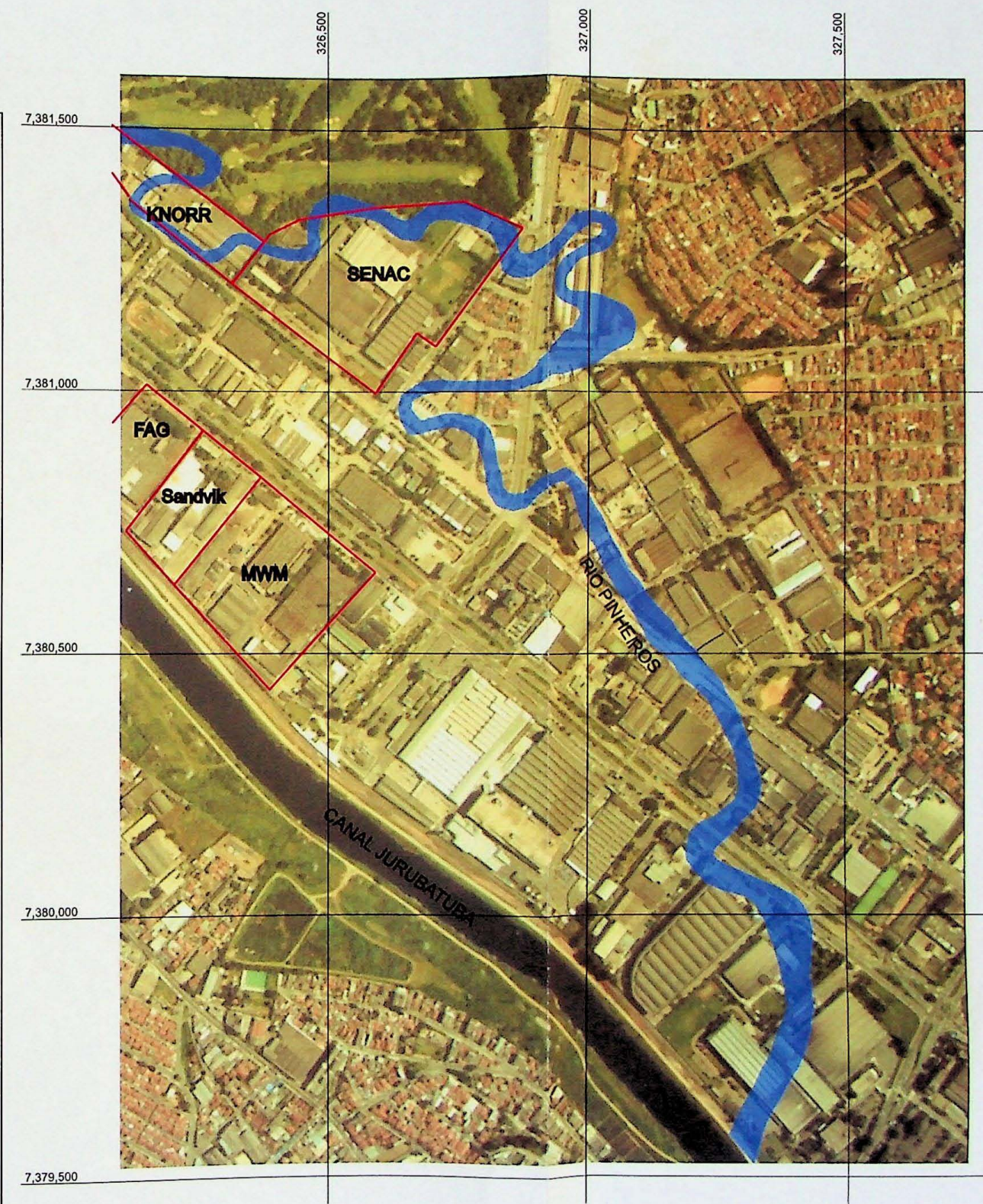
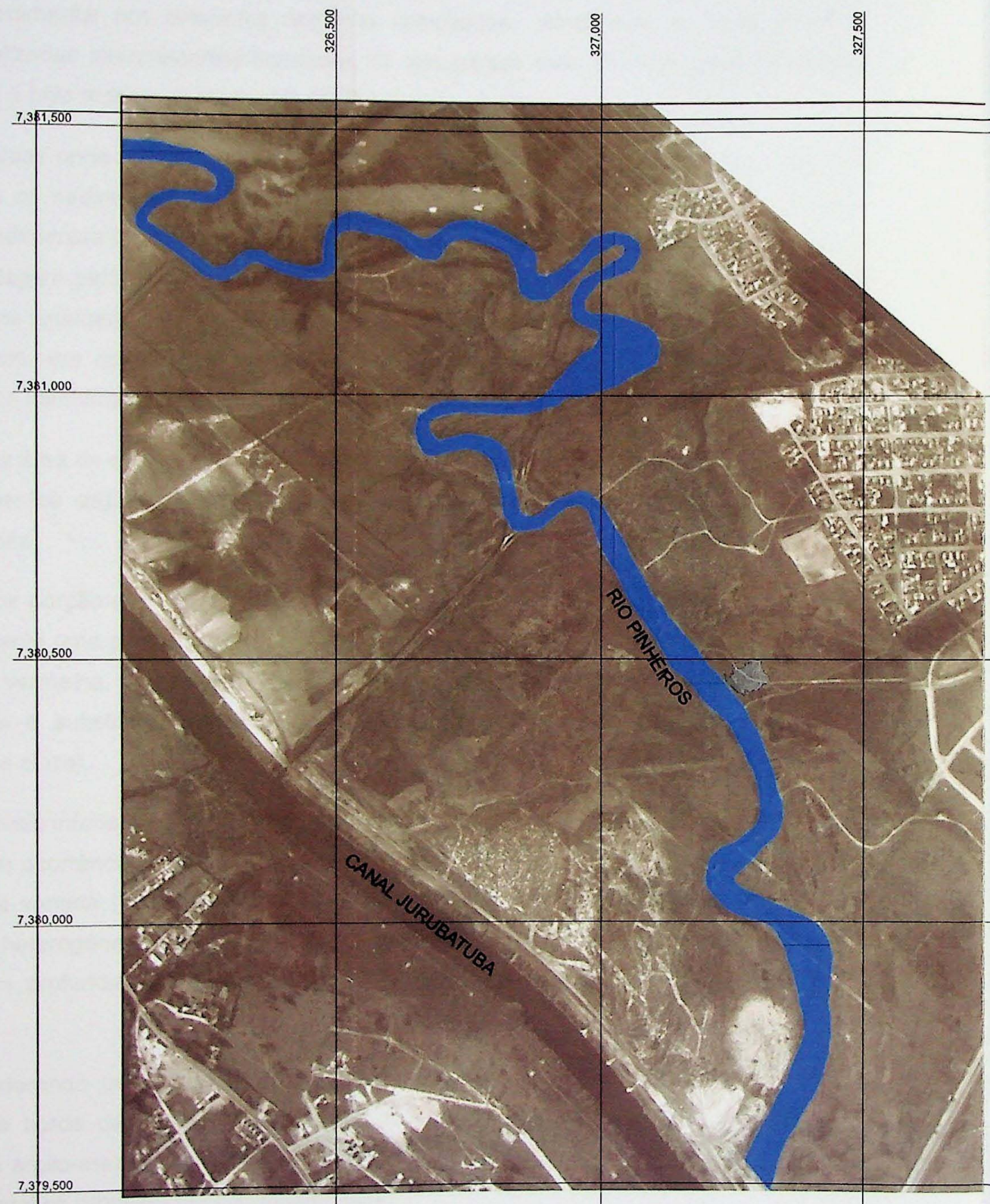
1,5 metros de profundidade, sotopostos por uma camada de areia média com cascalho na base.

A **Figura 7.1.2.1** foi extraída de um dos relatórios compilados e apresenta uma foto aérea antiga da região. Nesta figura, é possível observar que, anteriormente as obras de canalização do Rio Pinheiros, toda a região de estudos repousava sobre as planícies de inundação deste rio.



1955

2000



0 250 500 m
ESCALA 1:11.000

Figura 7.1.2.1 - Fotos aéreas da região de estudos (extraído e modificado de um dos relatórios compilados).

7.1.3 Sedimentos Terciários da Bacia de São Paulo

Em muitos dos perfis litológicos compilados, a falta de padronização e a descrição geológica imprecisa não permitiram diferenciar os sedimentos da bacia e o saprolito. Aparentemente a mesma unidade geológica é interpretada ora como saprolito, ora como de origem sedimentar nos diferentes relatórios compilados. Ainda sim, de forma tentativa, foram realizadas interpretações baseadas no que parece mais provável pelas descrições litológicas e pelo modelo geológico da região.

Nas áreas onde o manto de alteração (saprolito) está em porções profundas, fazem-se presentes os sedimentos Terciários da Bacia de São Paulo (BSP). A maior espessura desses sedimentos foi interceptada na porção nordeste da região de estudos (Senac), onde uma sondagem para instalação de um poço de monitoramento de 65 metros interceptou o contato dos sedimentos da Bacia com o saprolito a cerca de 50 metros de profundidade. Ao contrapasso, em muitas das sondagens compiladas na porção sul da área (MWM), o saprolito foi identificado logo abaixo dos depósitos aluvionares (~ 6 metros de profundidade).

Na sua área de ocorrência, os sedimentos da BSP são representados por uma sucessão de sedimentos argilo-arenosos e arenosos que apresentam uma distribuição bastante heterogênea.

Em sua porção superior, logo abaixo dos depósitos aluvionares, em boa parte da área, está presente uma camada de argila/argila arenosa, compacta, de cores bastante variadas (marrom, vermelha, ocre, cinza). Este pacote apresenta normalmente espessura métrica e por vezes é substituído lateralmente por sedimentos arenosos finos, de cores claras (amarela e cinza).

Em níveis inferiores, é observada a presença de areias mal selecionadas, de coloração bege, com ocorrência esparsa de seixos arredondados. Intercalações de argila-arenosa de espessura variada (1 a 5 metros) ocorrem entrecortadas às areias em uma configuração bastante heterogênea. O contato deste pacote, com a superfície do manto de alteração, ocorre em profundidades variadas, sendo observado a mais de 50 metros na área do SENAC.

Considerando as características dos sedimentos, e a posição geológica da área de estudo na borda da Bacia de São Paulo, acredita-se que estes pacotes arenosos com variações argilo-arenosas possam ser atribuídos à Formação Resende, conforme o quadro litoestratigráfico proposto por Riccomini (1989).

7.1.4 Manto de alteração (Saprolito)

Conforme explicado anteriormente, a descrição geológica imprecisa dos formulários de sondagens compilados, muitas vezes não permite diferenciar os sedimentos da bacia e o saprolito. Entretanto, é mais certo que o manto de alteração esteja presente em profundidades mais rasas nas porções sul e oeste da área (MWM, Sandvik e FAG), onde ele pode ocorrer logo abaixo dos depósitos aluvionares (aprox. 6 metros abaixo da superfície). Esta configuração é corroborada pelo trabalho de Barbosa (2012), que verificou que o topo da rocha sã foi observado em profundidades mais rasas, principalmente na área da MWM.

A composição do manto de alteração é heterogênea e relacionada aos minerais de alteração resultantes do intemperismo dos gnaisses, xistos, migmatitos e granitoides que compõe o embasamento cristalino. De forma geral, predominam variações argilosas, com frações de silte e areia. As cores são também bastante variadas, ocorrendo tons de marrom, cinza, vermelho e amarelo. Em porções mais basais, o saprolito tende a apresentar mais areia, grânulos de quartzo e fragmentos de rocha, e foliação xistosa/gnáissica reliquiar mais evidente, além de coloração cinza esverdeada.

A espessura total do manto de alteração é bastante variável. Com base nos perfis litológicos dos poços de produção e dos poços de monitoramento, verifica-se uma espessura que varia desde 15 metros na porção sul, até pelo menos 50 metros na porção norte-nordeste da área de estudo.

A **Figura 7.1.4.1** apresenta o modelo geológico 3D simplificado da área de estudo. No modelo, foram discretizados o aterro, os sedimentos da bacia (incluindo os sedimentos aluvionares), e o manto de alteração. Os dados compilados da Crisântemo não puderam ser utilizados na elaboração do modelo devido à ausência de cotas e coordenadas dos seus poços/sondagens.

É interessante navegar e explorar o modelo dentro do programa (ArcScene), onde é possível ter uma percepção espacial mais apurada das unidades geológicas. Entretanto, para este trabalho foi incluso somente uma visão geral do modelo, buscando mostrar principalmente a transição do embasamento cristalino alterado e os sedimentos da Bacia de São Paulo. O modelo está representado sem exagero vertical.

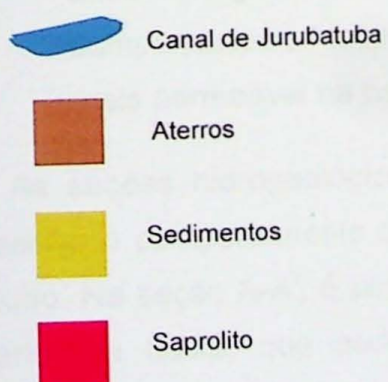
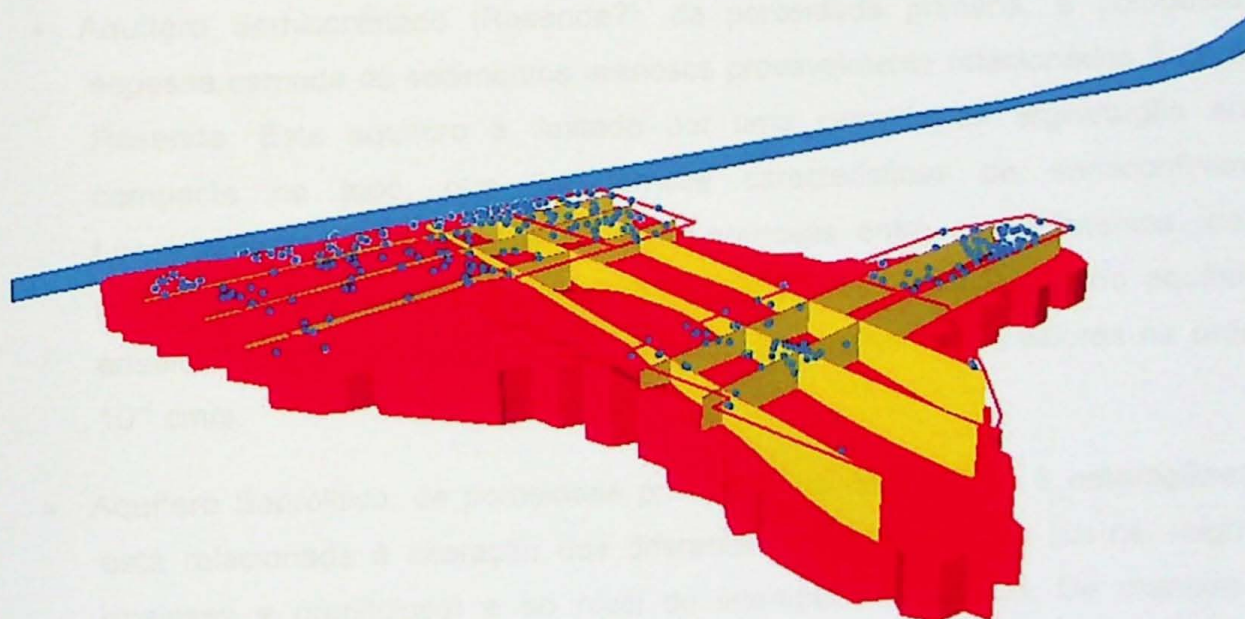
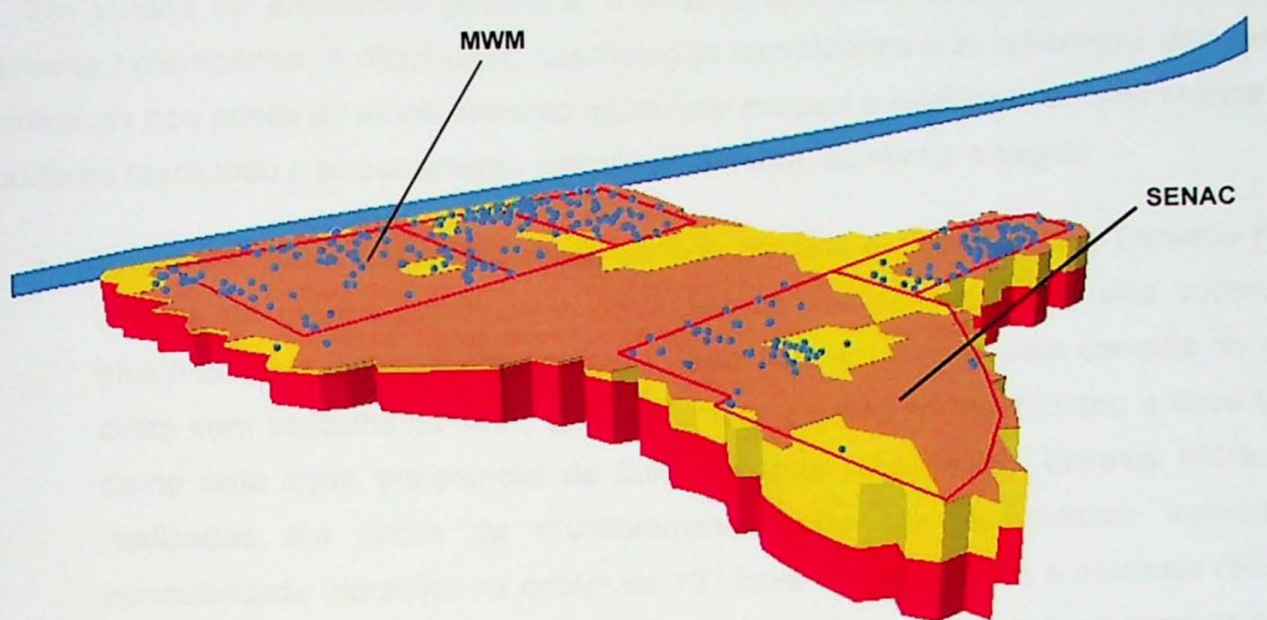


Figura 7.1.4.1 - Modelo Geológico 3D simplificado da área de estudos

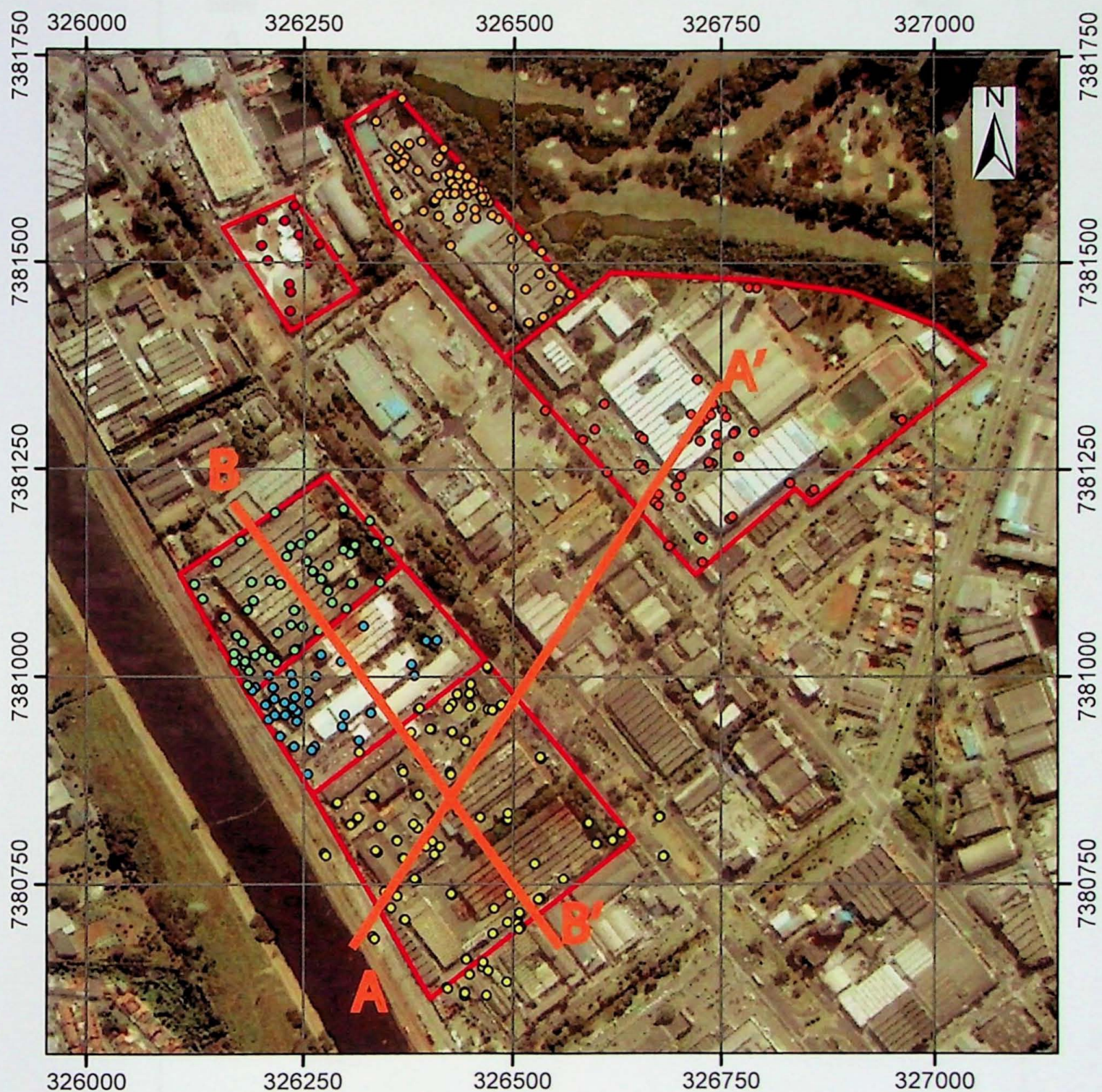
7.2 Modelo Conceitual Hidrogeológico

Em virtude da arquitetura geológica, o sistema que compõe os aquíferos da área é bastante heterogêneo. A distribuição das litologias identificadas e as diferenças das cargas hidráulicas nos poços de monitoramento multiníveis indicam a existência de pelo menos três aquíferos (excluindo o embasamento cristalino fraturado), conforme a seguir:

- Aquífero Freático (superior), de porosidade primária e caráter livre, é formado pelos aterros de origem antrópica e pelos sedimentos inconsolidados das coberturas aluvionares. A principal característica deste aquífero é dada pela camada de areia cinza com cascalho na base, que lhe fornece elevada permeabilidade e deve servir como uma zona preferencial de fluxo da água subterrânea. Ensaio hidráulicos realizados em poços de monitoramento nesta camada indicam valores de condutividade hidráulica na ordem de 10^{-3} cm/s. Na parte norte e nordeste (SENAC e Knorr) da área de estudo, este aquífero é limitado na base por uma camada argilo-arenosa compacta, localmente descontínua. Na parte sul a sudoeste, o aquífero é limitado inferiormente pelas argilas-silto-arenosas que compõem o saprolito.
- Aquífero Semiconfinado (Resende?), de porosidade primária, é composto pela espessa camada de sedimentos arenosos provavelmente relacionados à Formação Resende. Este aquífero é limitado por uma camada de argila/argila arenosa compacta no topo, que lhe fornece características de semiconfinamento. Localmente, as intercalações de argilo-arenosas entre os sedimentos arenosos podem intensificar ainda mais as características semiconfinantes do aquífero. Os ensaios hidráulicos realizados nessa formação apresentaram valores na ordem de 10^{-4} cm/s.
- Aquífero Saprolítico, de porosidade primária. Sua composição é heterogênea, pois está relacionada à alteração dos diferentes litotipos originais (xistos, migmatitos, gnaisses e granitoides) e ao nível de intemperismo sofrido. De maneira geral, apresenta baixa condutividade hidráulica (10^{-6} a 10^{-7}), condicionada pelos teores altos de argila. Neste sentido, podem haver porções bastante argilosas onde o seu comportamento deve ser caracterizado como um aquitarde. Entretanto, deve ser mais permeável na base onde a incidência de areia e grânulos é mais expressiva.

As seções hidrogeológicas interpretativas elaboradas (**Figs 7.2.1 a 7.2.3**) permitiram observar o comportamento das camadas sedimentares e do saprolito dentro da região de estudo. Na seção A-A', é possível observar um grande desnível do saprolito em sentido ao interior da bacia, que pode estar relacionado à estruturação rúptil do embasamento

cristalino, configurada pelo basculamento de blocos conforme já descrito por L'Apicciarella (2009). Neste trabalho optou-se por ilustrar uma interpretação do topo do saprolito como uma característica de paleo-relevo, uma vez que o exagero vertical utilizado na maioria das seções interpretativas pode levar a falsas impressões de altos ângulos de inclinação, que são traduzidos em falhamentos. Vale comentar que o modelo 3D, apresentado anteriormente, mostrou apenas um mergulho suave do contato da bacia com o manto de alteração do embasamento cristalino.



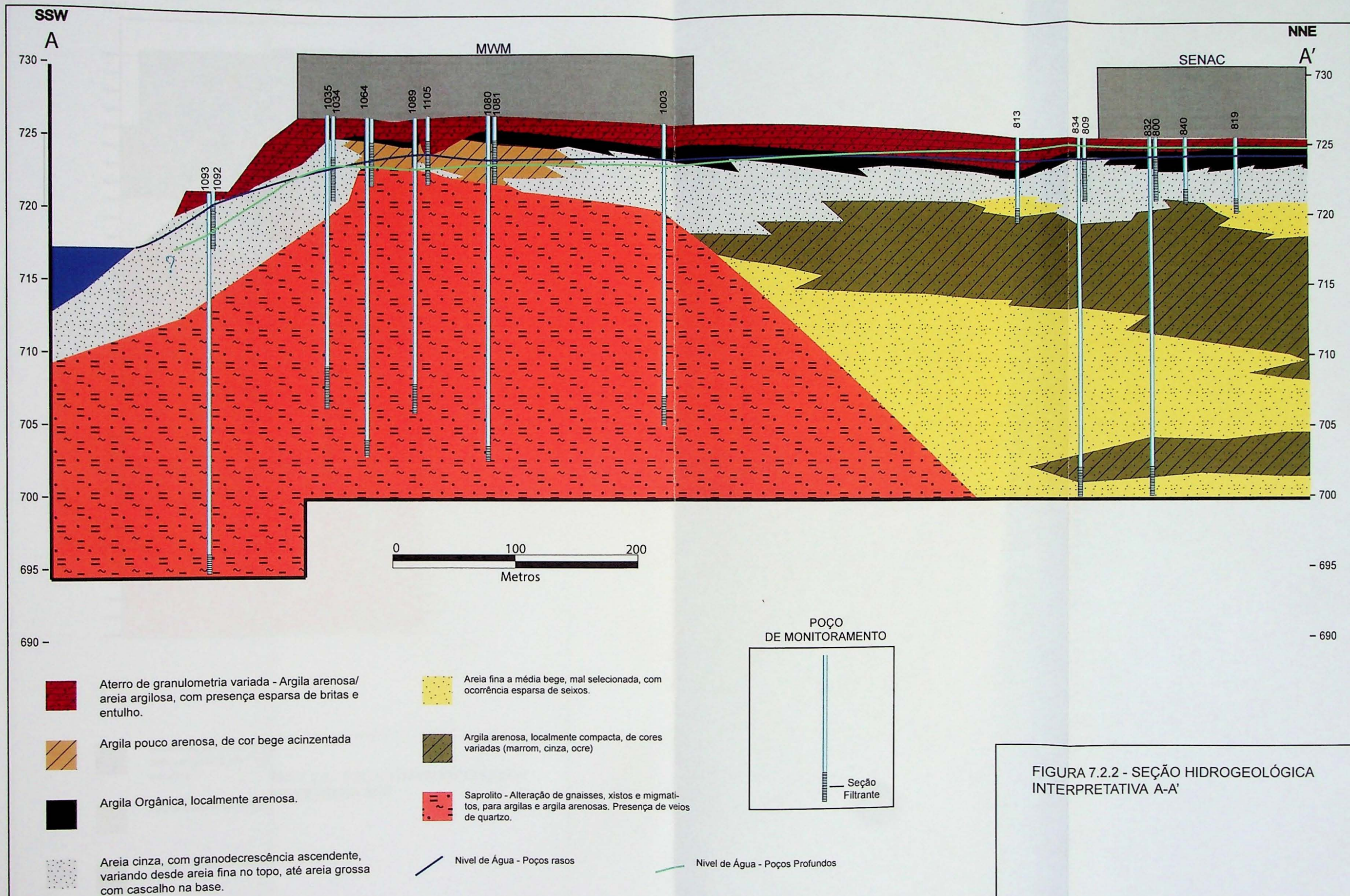
LEGENDA

POÇOS

- 6 - Schaeffler - FAG
- 7 - Sandvik
- 8 - MWM
- 9 - Knorr
- 10 - Senac
- 11 - Crisântemo

0 125 250 500
Metros

FIGURA 7.2.1 - LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES



B

NW

B'

SE

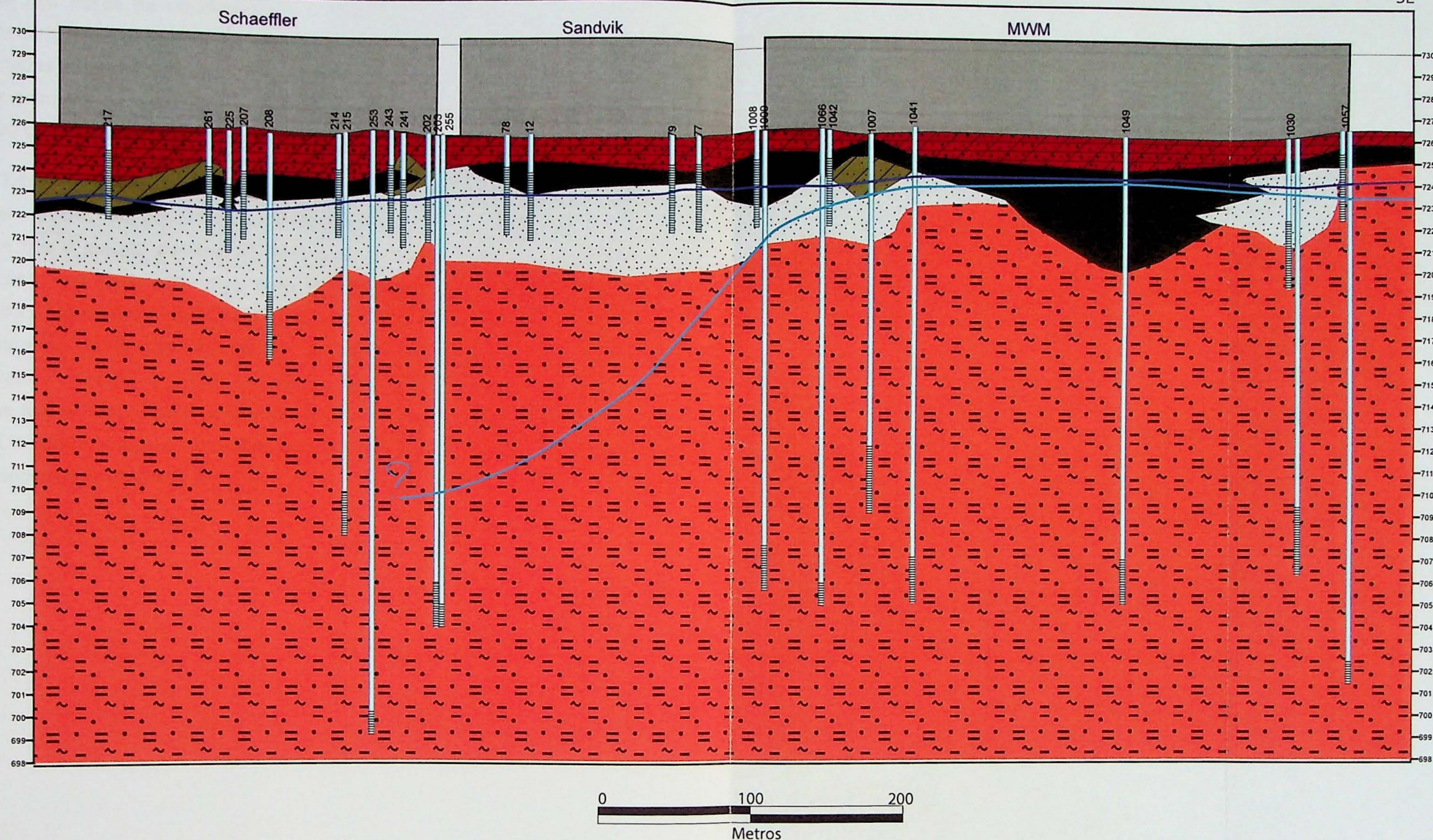


FIGURA 7.2.3 - SEÇÃO HIDROGEOLÓGICA INTERPRETATIVA B-B'

Em relação ao fluxo das águas subterrâneas, foram compiladas mais de 2500 medições de nível de água nos poços de monitoramento e abastecimento da região. Como as medições apresentam datas diferentes por serem compiladas de diversos trabalhos, a elaboração dos mapas potenciométricos foi feita utilizando intervalos de até 3 meses entre as medições (por exemplo, de 01/01/2011 até 01/04/2011). No caso de um mesmo poço apresentar mais de uma medição dentro do intervalo, foi utilizada a média desses valores.

As **Figura 7.2.4 a 7.2.6** apresentam os mapas potenciométricos gerados a partir das cargas hidráulicas medidas nos poços instalados do aquífero freático. Em todos os níveis avaliados, nota-se que o sentido principal do fluxo é de leste para oeste, em direção ao Canal de Jurubatuba, que serve como nível base de descarga local. Observa-se também que o lençol freático apresenta uma elevação na área da MWM. Esse efeito pode ser resultado de uma zona de recarga preferencial, ou ainda, como os dados compilados apresentavam *Datum* distintos e foram ajustados, esse efeito pode ser reflexo de discrepâncias nos ajuste das cotas topográficas. Para um estudo mais preciso do fluxo subterrâneo local, é recomendada a amarração das cotas topográficas entre os poços dos diferentes empreendimentos dentro da área.

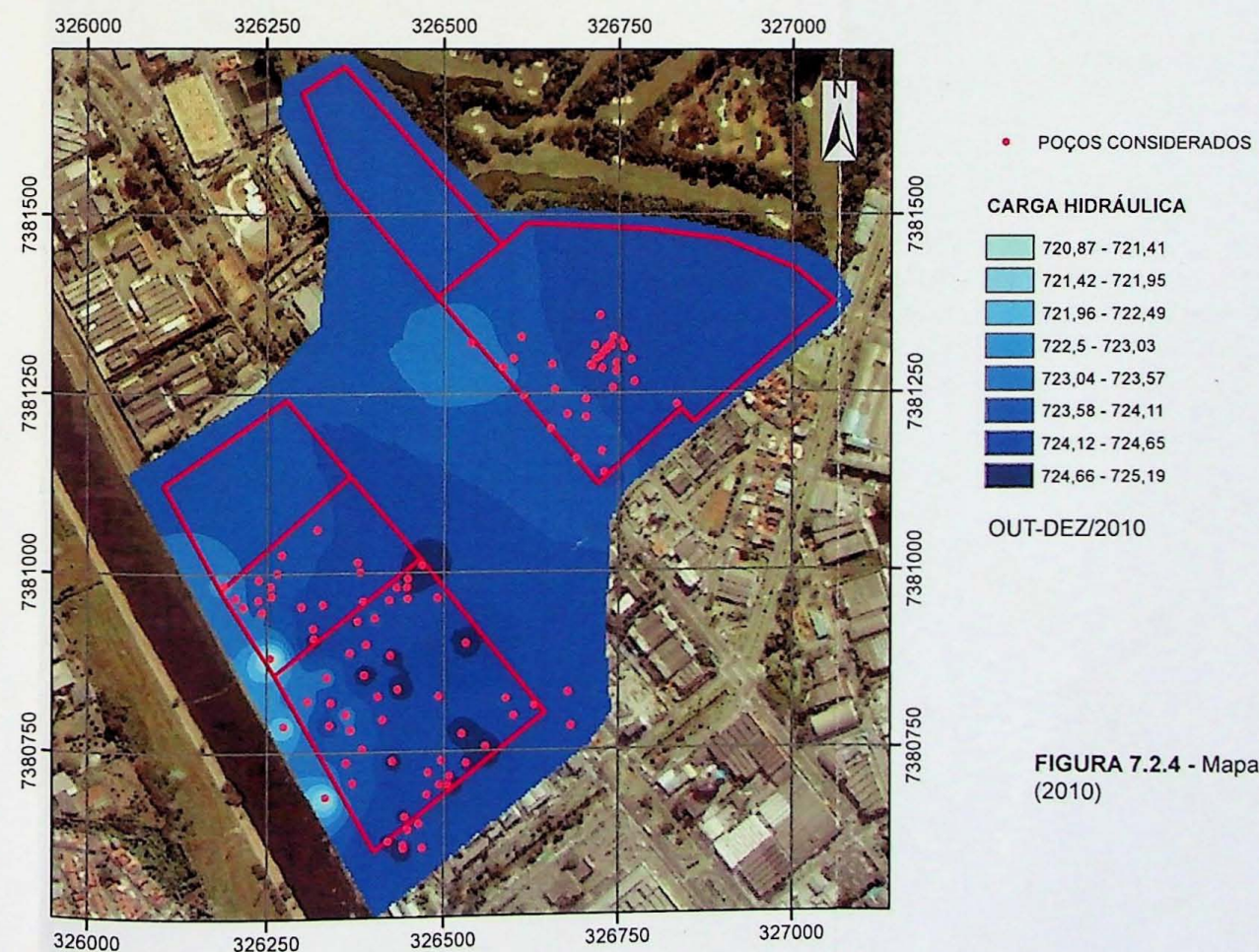
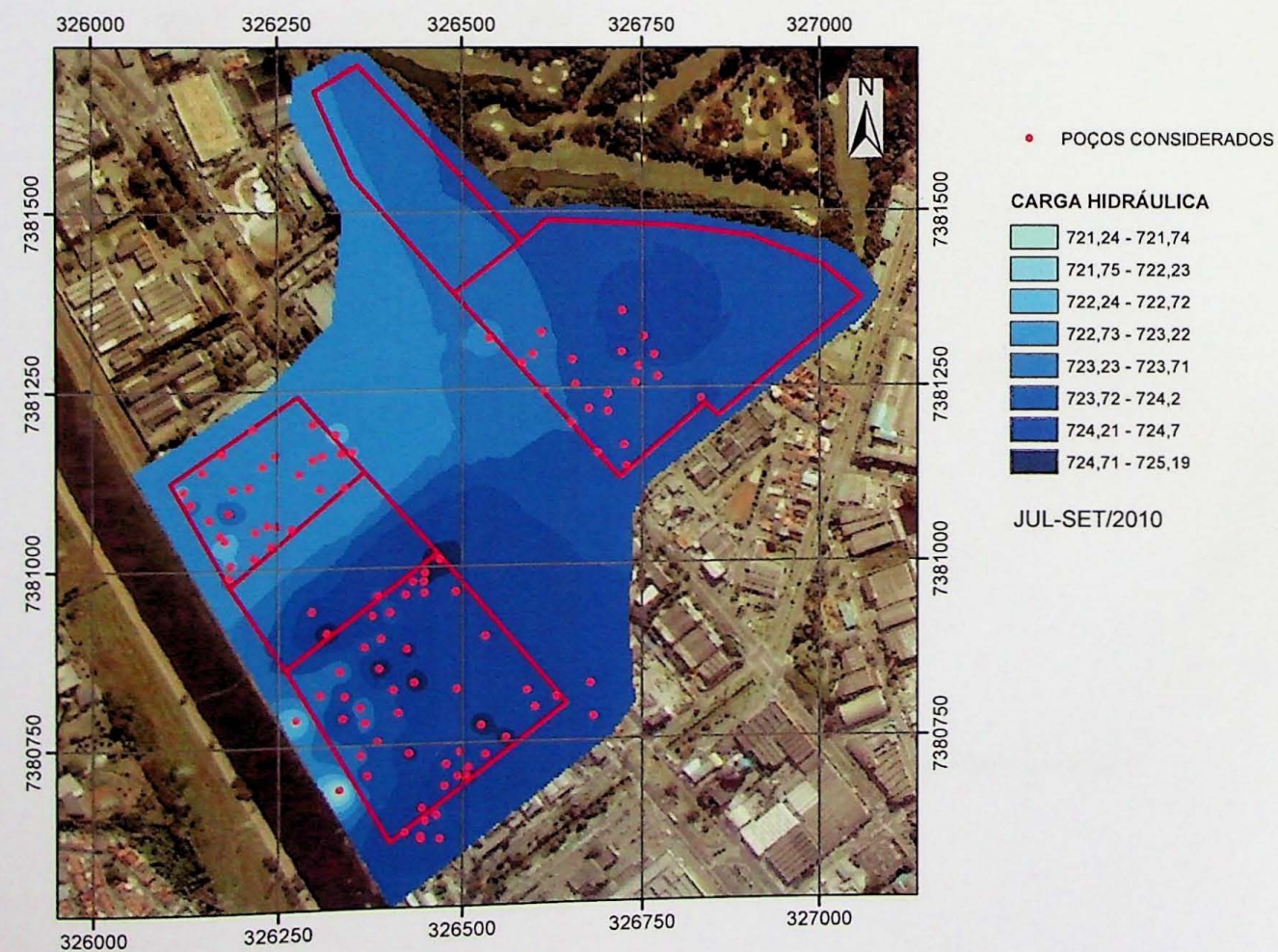
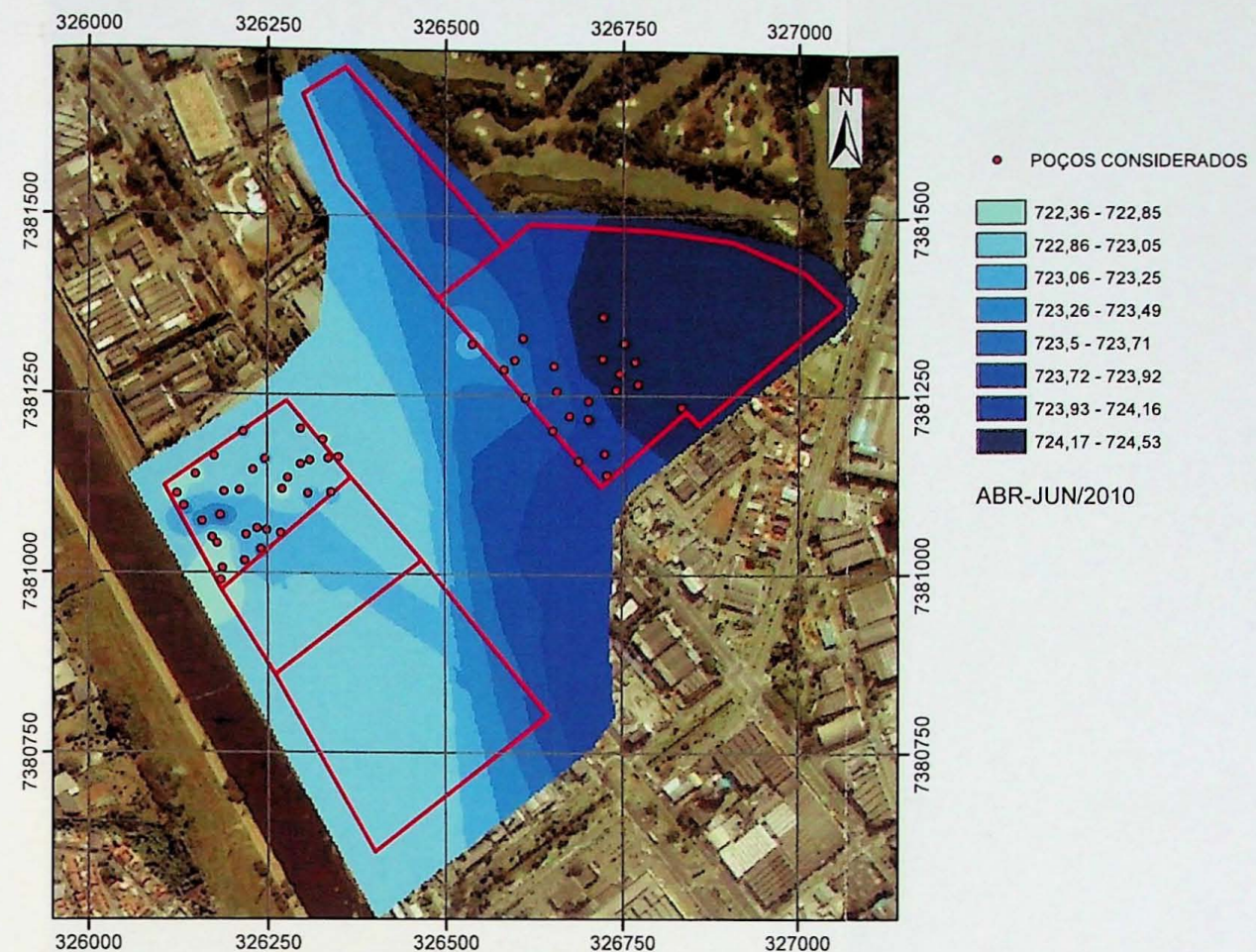
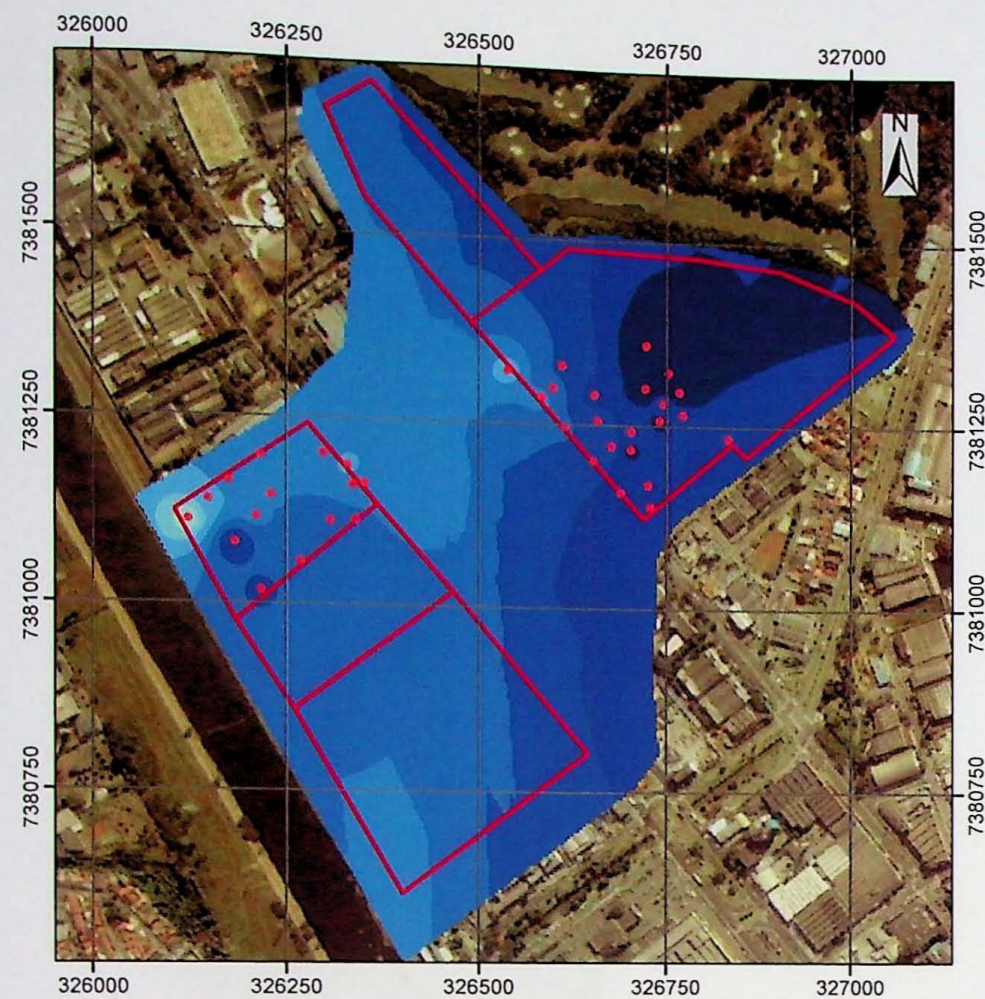


FIGURA 7.2.4 - Mapas Potenciométricos (2010)

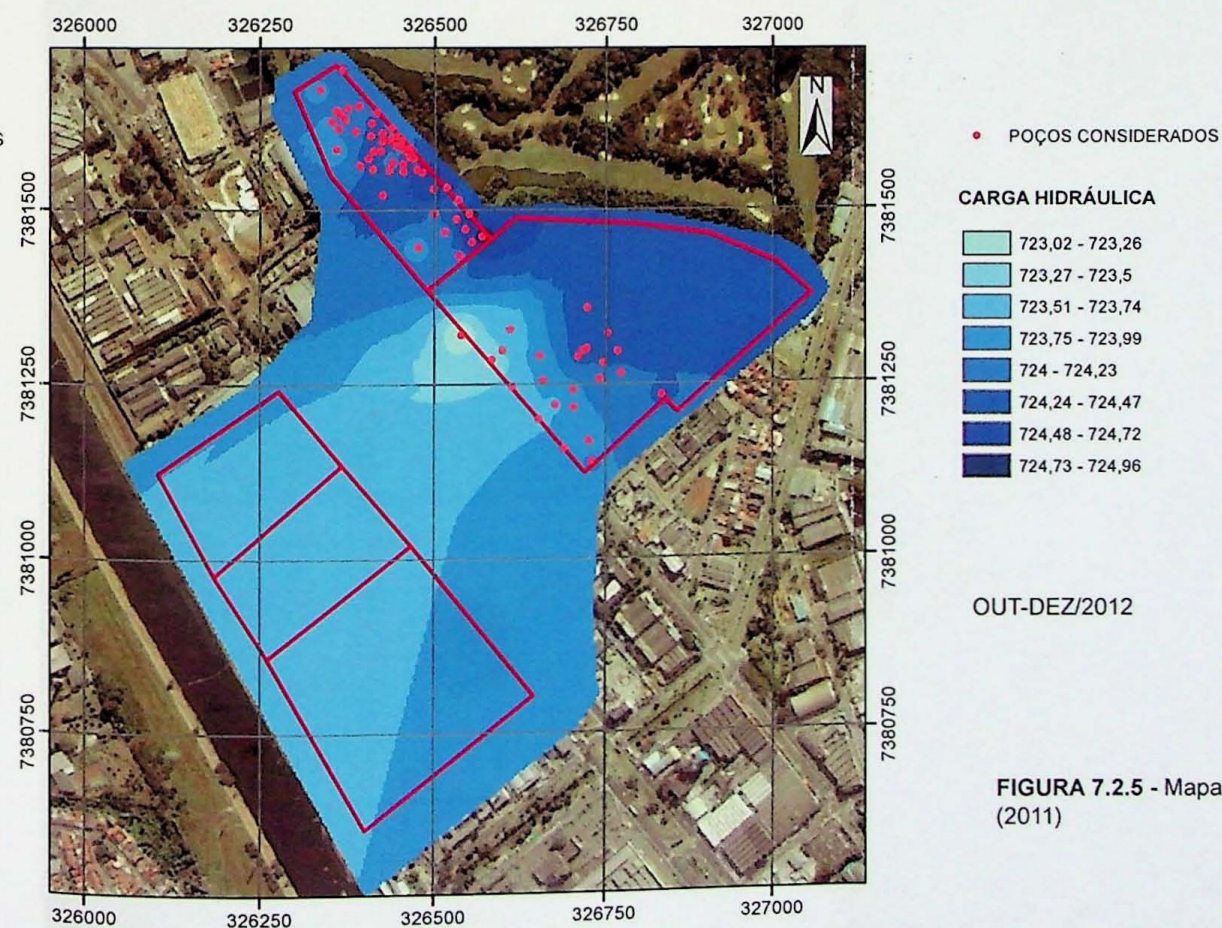
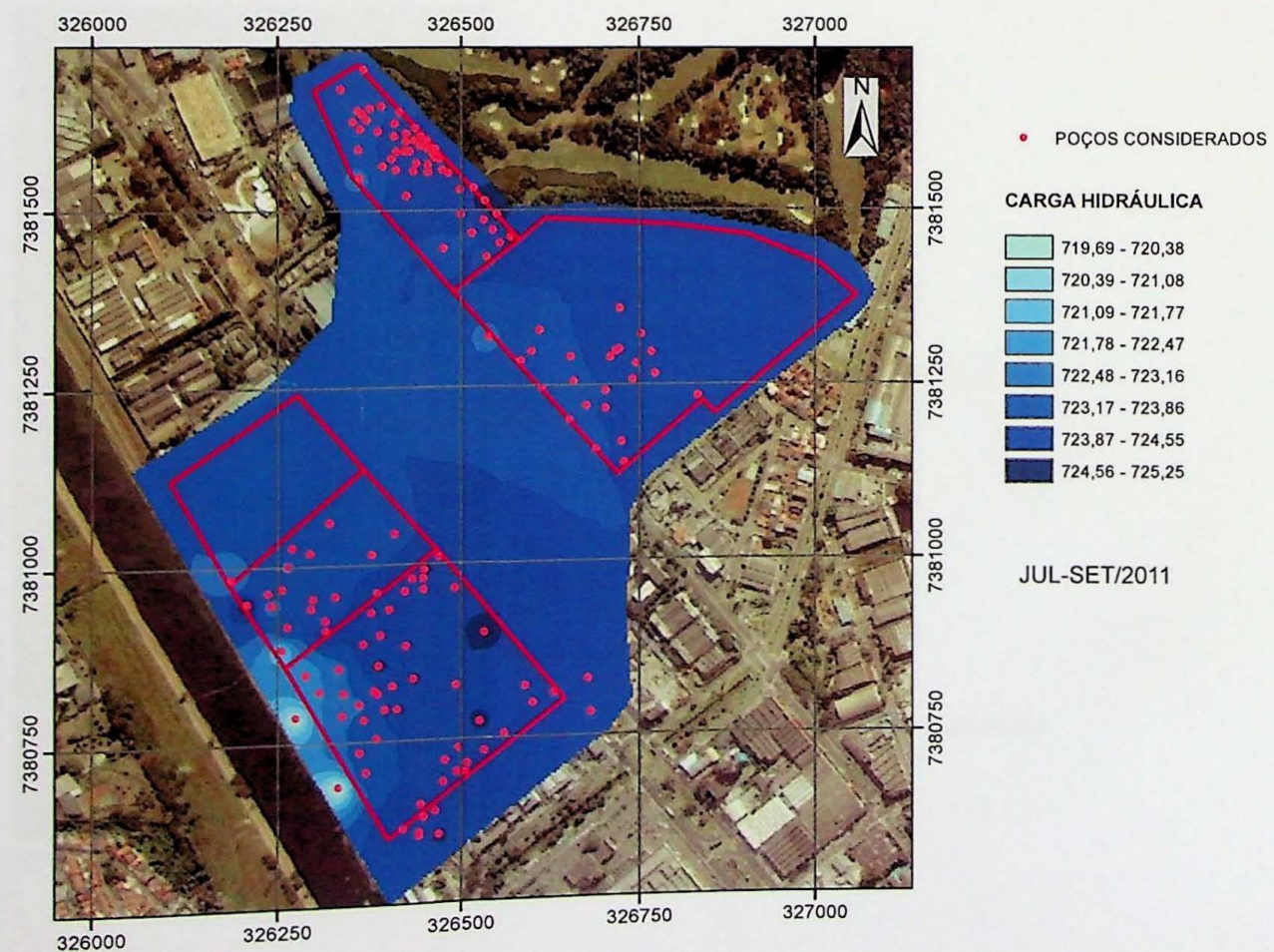
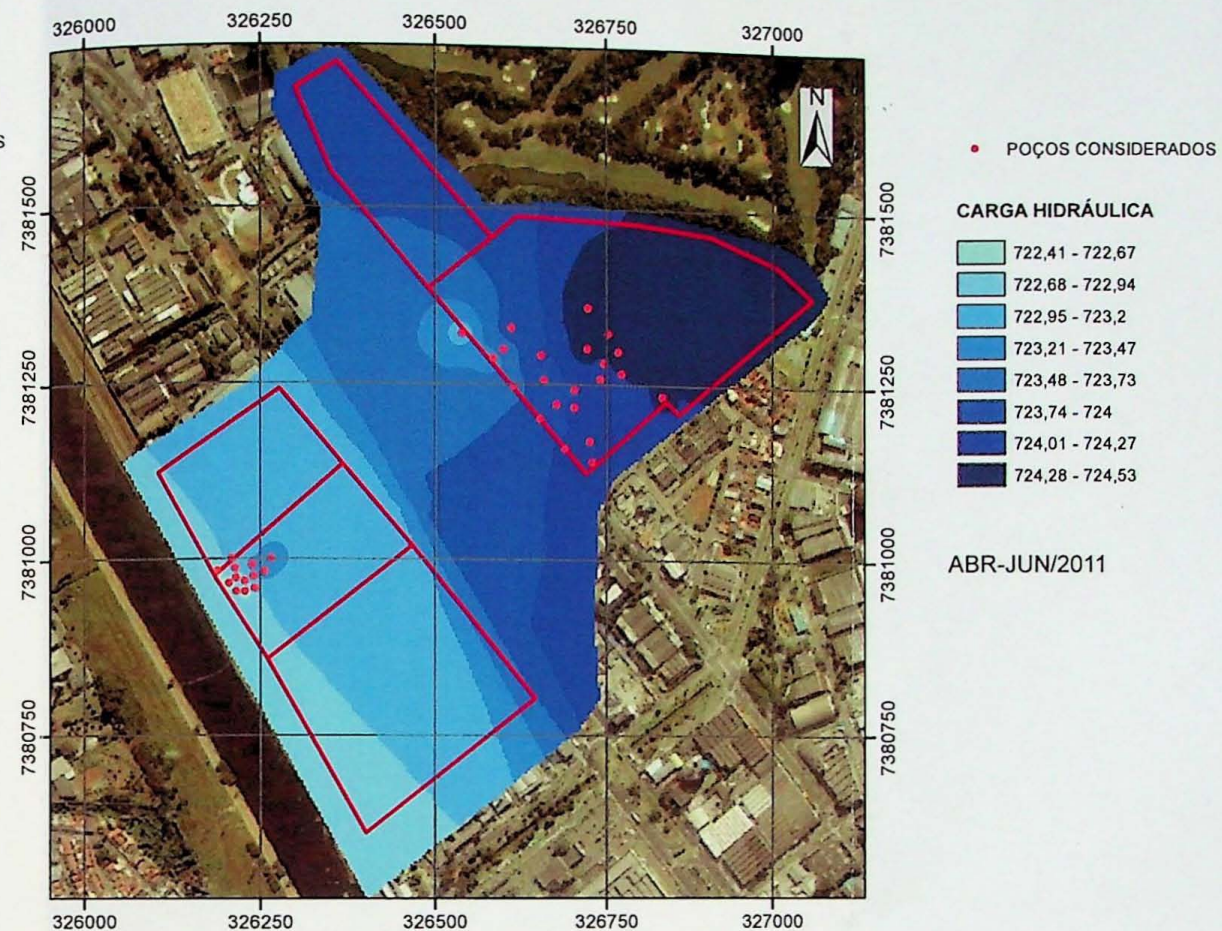
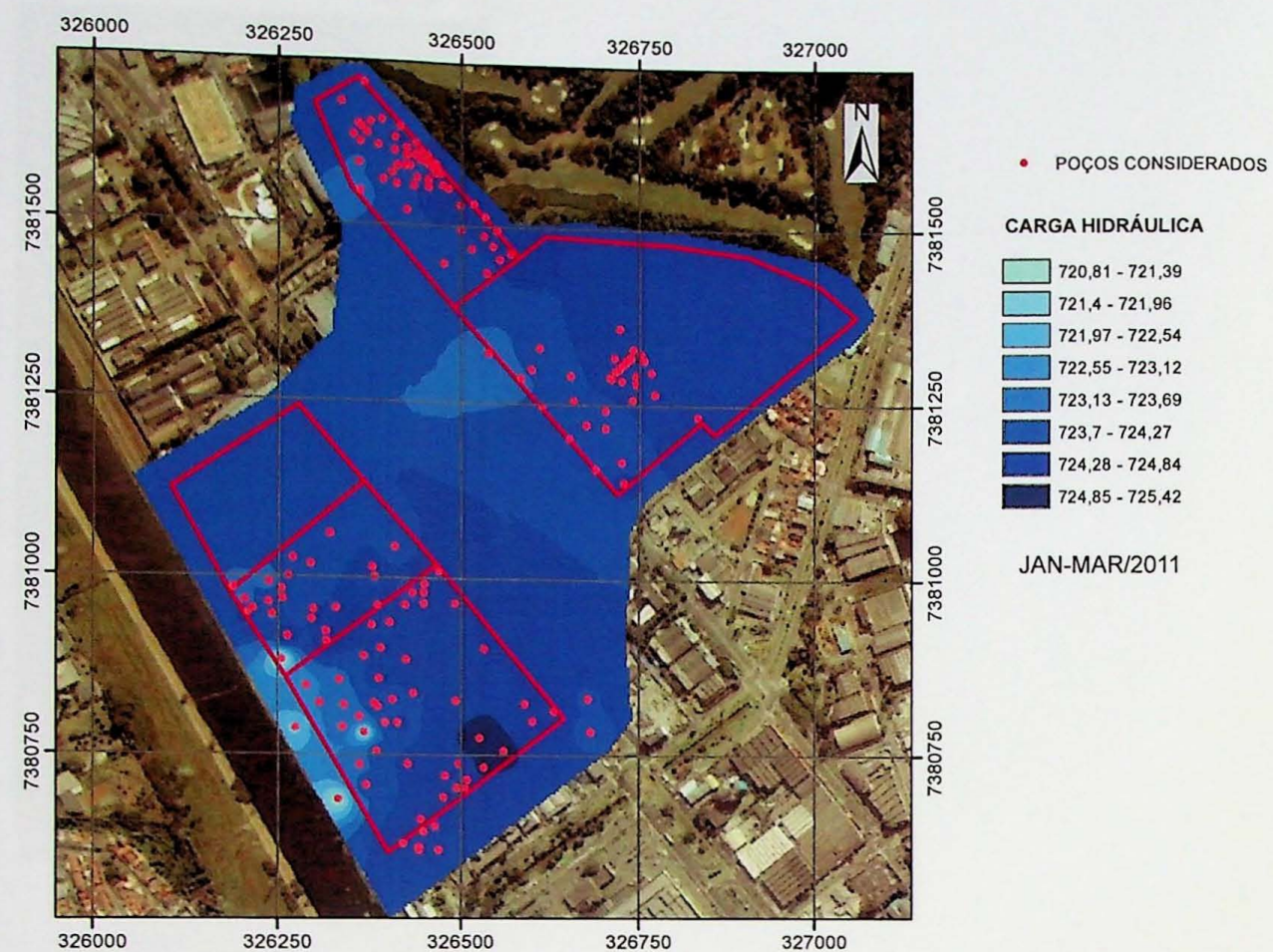


FIGURA 7.2.5 - Mapas Potenciométricos (2011)

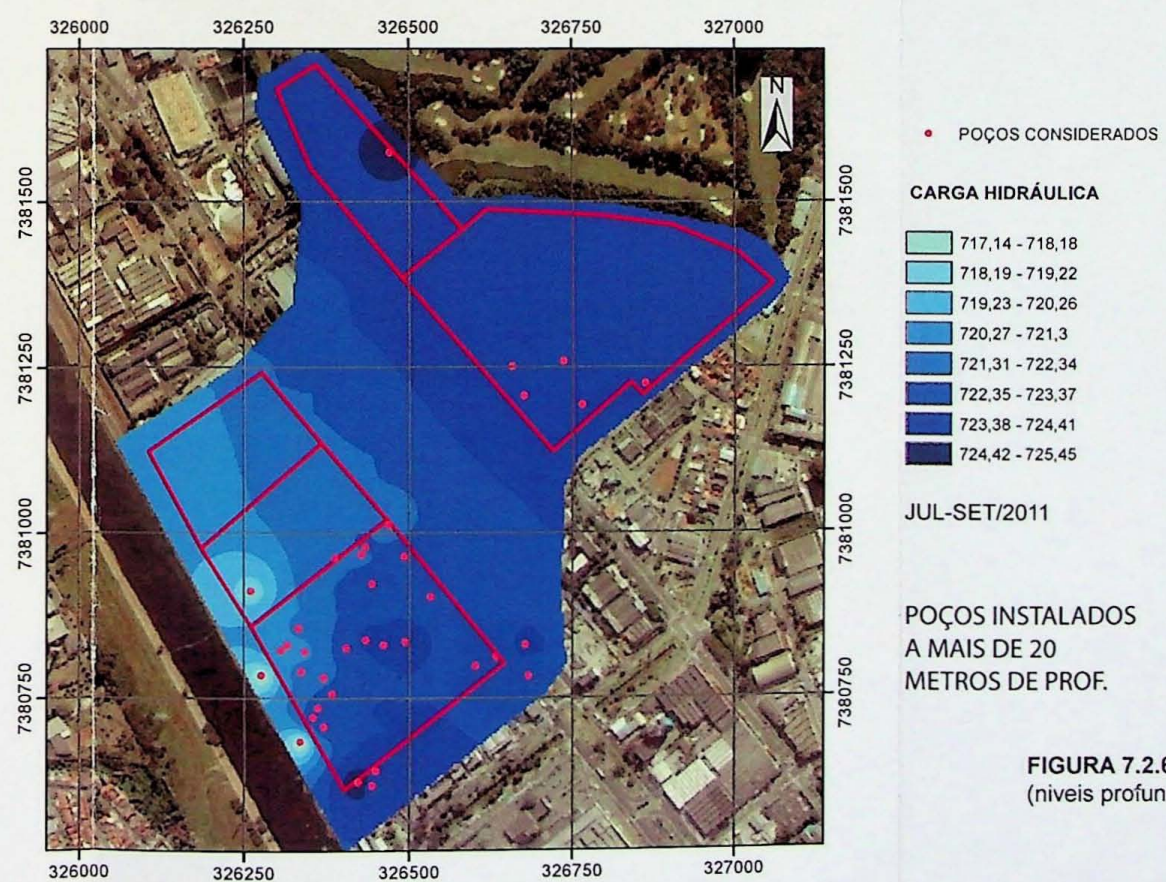
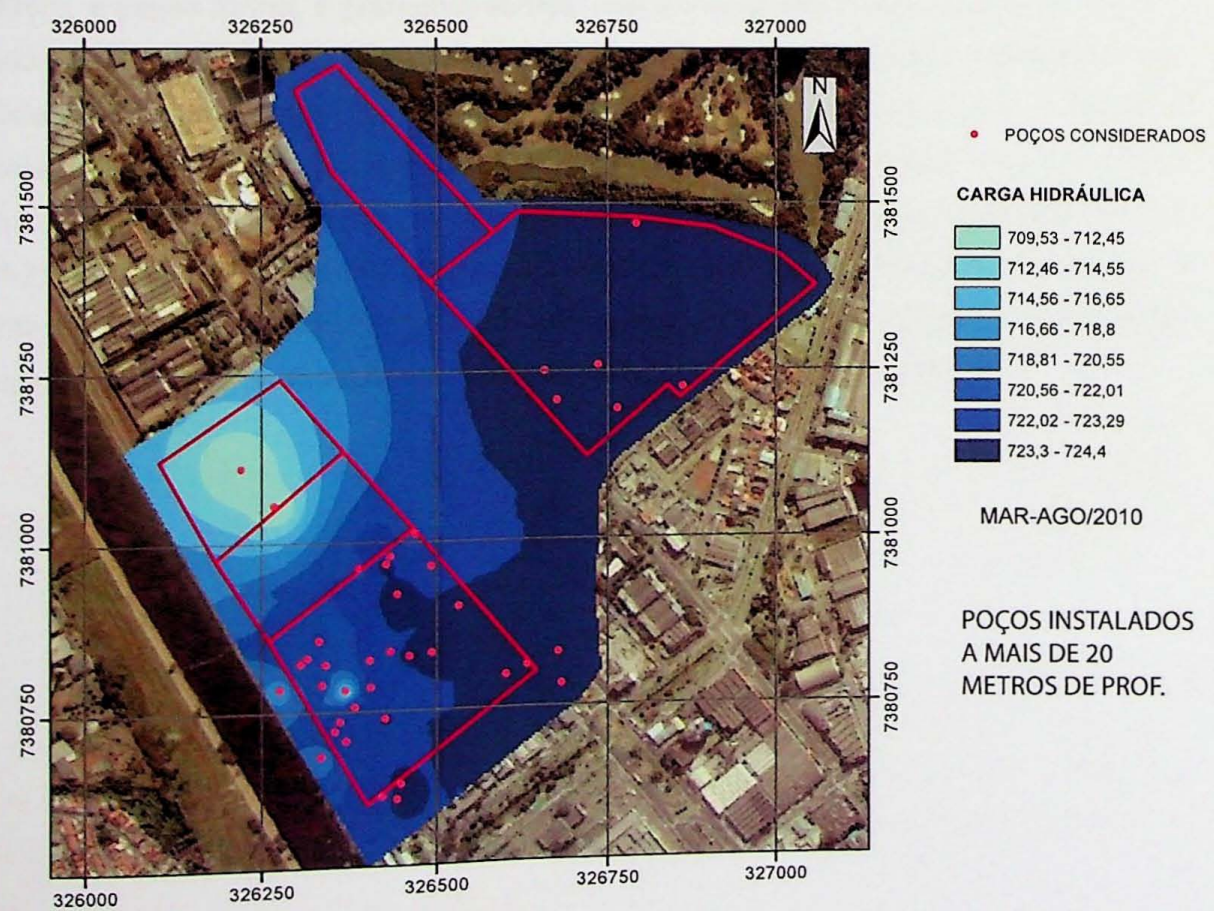
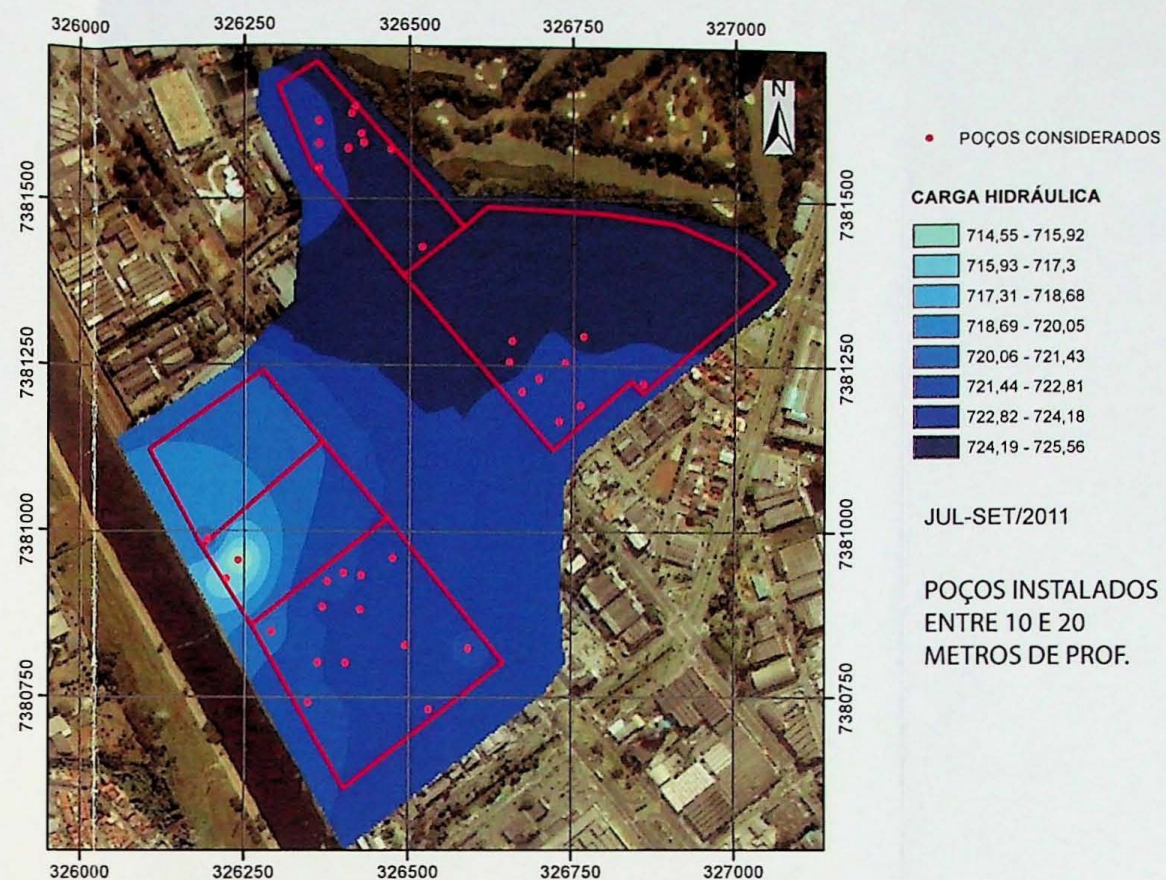
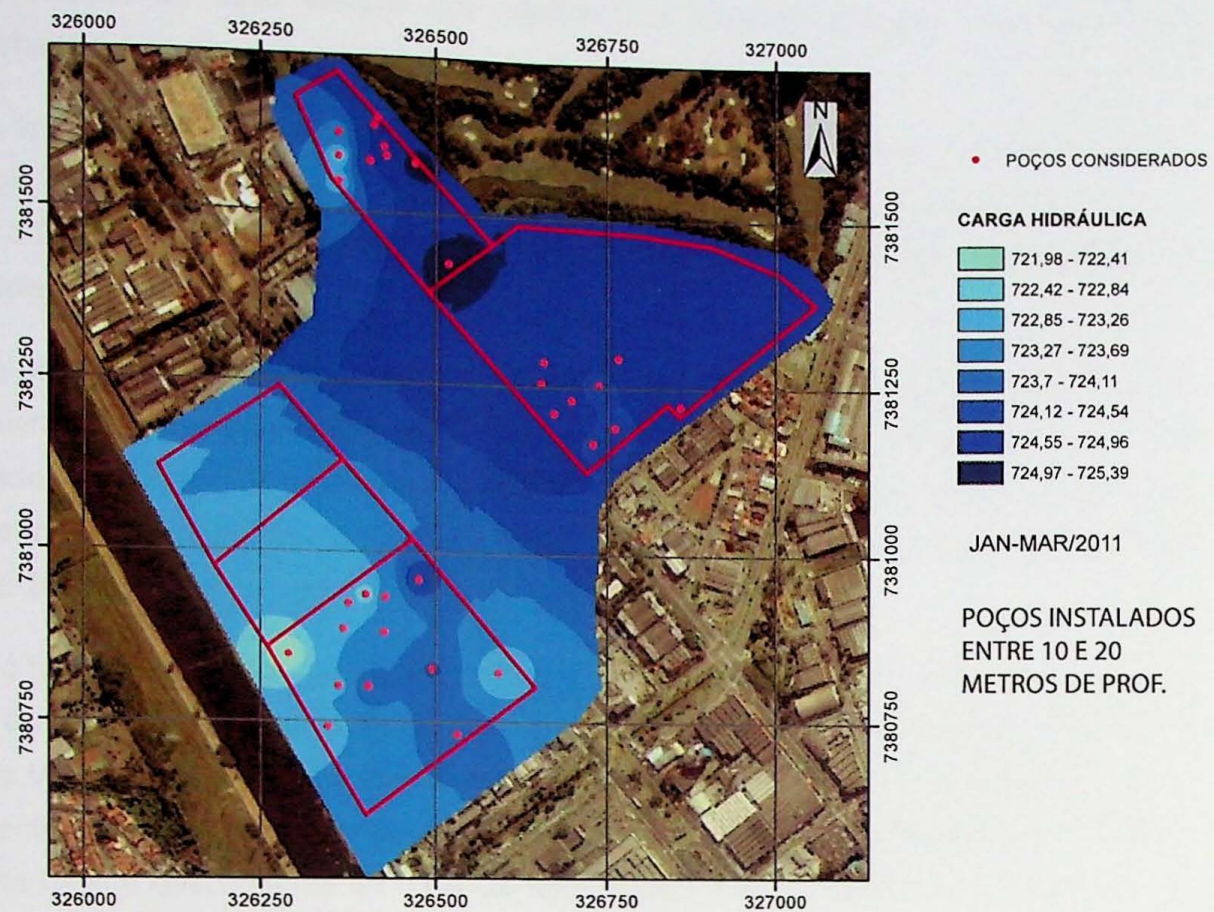


FIGURA 7.2.6 - Mapas Potenciométricos (níveis profundos)

Em relação ao fluxo vertical dos aquíferos, é possível observar duas tendências contrastantes.

Na área da Knorr e do Senac, as cargas hidráulicas dos conjuntos multiníveis indicam um fluxo vertical ascendente. Em alguns poços na Knorr, instalados na formação arenosa em 10 a 20 metros abaixo da superfície, chama a atenção o fato do nível de água aflorar na superfície.

Em contraste, nas áreas da MWM, Sandvik e Schaeffler as cargas hidráulicas indicam fluxo vertical descendente. Os exemplos mais evidentes dessa tendência podem ser verificados nos conjuntos multiníveis PM-03, PM-03A e PM-06, PM-06A da Schaeffler, onde a diferença de carga hidráulica foi maior que 10 metros nos dois monitoramentos realizados (2008 e 2010).

Não há uma evidência clara que explique a diferença de comportamento do fluxo vertical nas áreas avaliadas. Ensaio hidráulico realizado nos poços instalados no saprolito na área da MWM indicam uma condutividade hidráulica na casa de 10^{-6} a 10^{-7} cm/s. É sabido que o antigo bombeamento dos poços de abastecimento profundos, cessado em 2005, criou um forte regime descendente do fluxo da água subterrânea na região. Uma hipótese a se levantar é que a baixa permeabilidade do saprolito implica em um grande atraso na resposta do aquífero, e dessa forma, o gradiente vertical descendente observado atualmente, ainda é resultado do antigo bombeamento regional. Um dado que parece corroborar esta possibilidade é a séria histórica de cargas hidráulicas dos poços da MWM. O **Anexo B** apresenta uma breve avaliação das cargas hidráulicas dos conjuntos multiníveis da MWM e do Senac. Conforme a avaliação, é possível verificar que em diversos poços (PM-64, PM-62, PM-21, PM-05, PM-03 da MWM) há uma tendência gradual de redução na diferença do gradiente vertical. Outra hipótese que não pode ser descartada é a existência de poços clandestinos operando na área, conforme levantado por L'apicciarella (2009).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi catalogado no banco de dados um número total de 349 poços dentro da área de estudos, juntamente a mais de 2500 medições de nível de água subterrânea. A maior densidade de informações é referentes aos primeiros 8 metros do aquífero, onde se encontram instalados cerca de 60% dos poços. Embora a densidade dos dados seja boa, a qualidade é prejudicada pela imprecisão das descrições litológicas, seja pela falta de treinamento dos profissionais que as realizam, ou pelo método de sondagem aplicado, realizado em grande parte sem a realização do testemunho do material perfurado. Apesar dessas limitações, foi possível, ainda que de forma tentativa, a elaboração de um quadro geológico e hidrogeológico da região.

Foram identificados pelos menos três aquíferos granulares distintos, considerando as litologias observadas e as cargas hidráulicas dos poços. O primeiro e mais superficial, é formado principalmente pelos sedimentos aluvionares locais, o que lhe confere elevada permeabilidade por conta da sua composição, de areia com cascalho. O segundo, observado nas áreas da Knorr e do Senac, é formado pelos sedimentos arenosos da Bacia de São Paulo, provavelmente correlacionáveis a Formação Resende. Por conta da camada de argila compacta que recobre o seu topo, e das intercalações argilo-arenosas que, por vezes, entrecorta a formação, este aquífero possui características de semiconfinamento. O terceiro aquífero, que ocorre, ou abaixo dos sedimentos aluvionares, ou dos sedimentos mais antigos da Bacia, é composto pelo manto de alteração do embasamento cristalino. É formado basicamente por argila com frações variadas de areia e silte, e possui baixa condutividade hidráulica.

O fluxo subterrâneo principal em todos os níveis do aquífero se dá no sentido de leste para oeste, funcionando o Canal de Jurubatuba como sua zona de descarga principal.

A interface entre os diferentes aquíferos é marcada pela tendência de fluxo ascendente do Aquífero Resende para o Aquífero Freático, e em fluxo descendente do Aquífero Freático para o Aquífero Saprolítico. Não há uma indicação clara do porquê desse comportamento, entretanto, a tendência de diminuição do fluxo descendente observada ao longo do tempo nos poços monitorados, sugere que o saprolito, devido a sua baixa permeabilidade, se recarrega paulatinamente do grande rebaixamento causado pelo antigo bombeamento das águas subterrâneas pelos poços profundos, atividade cessada por volta de 2005. Também não se descarta a possibilidade da existência de poços clandestinos atuando dentro da região.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F. M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. In: International symposium on continental margins of Atlantic type, São Paulo. Anais da Academia Brasileira de Ciências, São Paulo, p. 15-26.
- Almeida, F. F. M.; Riccomini, C.; Dehira, L. K.; Campanha, G.A.C. 1984. Tectônica da Formação Itaquaquetuba na Grande São Paulo. 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. v.4, p. 1794-1808 .
- Barbosa, M. B. 2012. Sistema de informações geográficas voltado ao gerenciamento de áreas contaminadas na região do Jurubatuba. Trabalho de pós-graduação, Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC), São Paulo. 29 p.
- Bertolo, R. A. 1996. Relações entre rios e o aquífero sedimentar da Bacia de São Paulo em área de exploração intensiva de água subterrânea. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 108 p.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2007. Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2004-2006. São Paulo, 2007. 199 p. (Séries Relatórios/Secretaria do Meio Ambiente).
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2011. Texto explicativo – Relação de Áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/areas-contaminadas/2011/texto-explicativo.pdf>> Acesso em: 20 mar. 2013.
- Chiossi, N. J. 1974. Investigações sobre a agressividade da água subterrânea no Metrô de São Paulo. Cia Metrô de São Paulo. In: Congresso Internacional de Geologia de Engenharia. V. 2, p. 26-39.
- Chiossi N. J. 1980. Condições hidrogeológicas da Bacia Sedimentar de São Paulo. In: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). ABAS/ABGE/SBG/SP, p. 95-116.]
- Coimbra A. M.; Riccomini, C.; Melo, M. S. 1983. A Formação Itaquaquetuba: evidências de tectonismo no Quaternário paulista. In: Simpósio Regional de Geologia, 4, São Paulo. Atas...São Paulo, SBG/SP, p. 253-266.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1975. Estudo de águas subterrâneas, Região administrativa 1- Grande São Paulo. São Paulo, Vol. 1, 220 p.
- ESRI, 2013. Knowledge Base - Technical Articles: Data Models. Disponível em: <<http://support.esri.com/en/knowledgebase/techarticles/detail/40585>> Acesso em: outubro de. 2013.

- Fernandes, A. J. 1991. O complexo Embu no leste do estado de São Paulo: contribuição ao conhecimento da litoestratigrafia e da evolução estrutural e metamórfica. Tese de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 120 p.
- Hasui, Y.; Sadowski, G.R..1976. Evolução geológica do Precambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo., **6(3)**: p. 182-200.
- Hasui, Y.; Carneiro, C. D. R.; Bistrich, C. A. 1978 – Os granitos e granitóides da Região de Dobramento Sudeste no Estado de São Paulo. 30º Congresso Brasileiro de Geologia, Recife. v.6, p. 2594-2608.
- Hirata, R.; Ferreira, L. M. R. 2001. Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, **31(1)**: p. 43-50..
- Janasi, V.; Ulbrich, H. H. G. J. 1991. Late Proterozoic granitoid magmatism in the state of São Paulo, southeastern Brazil. Precamb. Res., 51:p. 351-374.
- Juliani, C. 1992. O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. In: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). ABAS/ABGE/SBG/SP, p. 3-20.
- L'Apicciarella, E. S. P. 2009. Contaminação e áreas de restrição de uso de água subterrânea no entorno do canal Jurubatuba em São Paulo – SP. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 125 p.
- Melo, M. S.; Caetano, S. L .V.; Coimbra, A. M. 1986. Tectônica e sedimentação na área das bacias de São Paulo e Taubaté. In: 34º Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia. v.1, p. 321-336.
- Rebouças, A.1992. Condições de uso e proteção das águas subterrâneas. Seminário: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). ABAS/ABGE/SBG/SP p. 77-88.
- Riccomini, C.1989. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 256 p.
- Riccomini, C.; Coimbra, A. M.; Takiya, H.1992 Geologia da Bacia de São Paulo. In: Mesa redonda sobre aspectos geológicos e geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo, São Paulo. Anais. São Paulo, ABMS, 59p. (no prelo).
- Rodriguez, S. K. 1997. Geologia urbana da região metropolitana de São Paulo. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 60 p.
- SABESP/CEPAS/IGc-USP. 1994. Diagnóstico hidrogeológico da região de São Paulo. Diagnóstico Final. Convênio SABESP/CEPAS-IG/USP. São Paulo. 115 p.

Santos, R.D.; Lemos, R.C.; Santos, H.G.; Ker, J.C.; Anjos, L.H.C. 2005. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5. ed. Viçosa: SBCS. 92 p.

Strassberg, G 2011. *Arc hydro groundwater: GIS for hydrogeology*. Redlands, Calif. : ESRI Press, c2011. 160 p.

Takiya, H. 1991. Aplicação de métodos quantitativos espaciais a dados geológicos da Bacia de São Paulo. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 109 p.

Utima, R. S., 2013. Modelagem do banco de dados geográfico aplicado à investigação ambiental do parque industrial do Jurubatuba. Trabalho de pós graduação, Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC), São Paulo. 39 p.

Vieira S. R. S. S. 1989. Estudo lito-estutural da região de Embu-Guaçu-Parelheiros. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 122 p.

ANEXO A – DIFERENÇA DE CARGA HIDRAULICA DOS POÇOS DA BACIA DO SENAC

**ANEXO A – DIFERENÇA DE CARGA HIDRÁULICA DOS POÇOS DA
MWM E DO SENAC**

ANEXO A
CARGA HIDRÁULICA NOS POÇOS MULTINÍVEIS DO SENAC

DATA	CH			NIVELB- A	NIVELC- B	NIVELC- A
	PM-05	PM-05B	-			
3/6/2004	724,07	723,88		-0,19		
23/7/2009	724,25	724,34		0,09		
7/8/2009	724,03	724,56		0,53		
19/8/2009	723,99	724,49		0,5		
2/9/2009	723,99	724,41		0,42		
18/9/2009	724,19	724,73		0,54		
5/10/2009	724,15	724,81		0,66		
22/10/2009	724,1	724,59		0,49		
6/11/2009	724,18	724,83		0,65		
19/11/2009	724,2	724,62		0,42		
3/12/2009	724,25	724,81		0,56		
17/12/2009	724,2	724,82		0,62		
7/1/2010	724,27	724,78		0,51		
18/1/2010	724,79	724,92		0,13		
3/2/2010	724,3	724,92		0,62		
19/2/2010	724,3	724,88		0,58		
12/3/2010	724,29	724,74		0,45		
31/3/2010	725,13	724,79		-0,34		
14/4/2010	725,01	724,71		-0,3		
30/4/2010	724,79	724,59		-0,2		
14/5/2010	724,01	724,72		0,71		
28/5/2010	723,99	724,75		0,76		
7/6/2010	723,89	724,58		0,69		
22/6/2010	723,91	724,34		0,43		
20/7/2010	723,9	724,54		0,64		
5/8/2010	723,87	724,51		0,64		
17/8/2010	723,82	724,42		0,6		
3/9/2010	723,83	724,42		0,59		
17/11/2010	723,95	724,38		0,43		
6/12/2010	724,03	724,47		0,44		
20/12/2010	724,26	724,64		0,38		
12/1/2011	724,32	724,82		0,5		
28/1/2011	724,22	724,49		0,27		
4/2/2011	724,08	724,59		0,51		
22/2/2011	724,26	724,49		0,23		
7/3/2011	724,31	724,55		0,24		
18/3/2011	723,99	724,35		0,36		
1/4/2011	724,19	724,38		0,19		
15/4/2011	724,06	724,33		0,27		
6/5/2011	724,25	724,41		0,16		
20/5/2011	724,31	724,43		0,12		
1/6/2011	724,02	724,31		0,29		
14/6/2011	723,95	724,25		0,3		
5/7/2011	724,29	723,89		-0,4		
	PM-01	PM-01B	PM-01C			
ago/10	724	724,2	724,32	0,2	0,12	0,32
jan/11	724,3	724,4	724,83	0,1	0,43	0,53
5/9/2011	723,95	724,03	724,17	0,08	0,14	0,22
16/9/2011	723,88	723,98	724,1	0,1	0,12	0,22
5/10/2011	723,78	723,84	723,92	0,06	0,08	0,14
17/10/2011	724,12	724,18	724,43	0,06	0,25	0,31
4/11/2011	724,1	724,21	724,28	0,11	0,07	0,18
17/11/2011	724,29	724,34	724,56	0,05	0,22	0,27
2/12/2011	724,01	724,15	724,38	0,14	0,23	0,37
19/12/2011	723,99	724,13	724,31	0,14	0,18	0,32
2/1/2012	724,15	724,29	724,55	0,14	0,26	0,4
21/3/2012	723,91	724,28	724,63	0,37	0,35	0,72
5/4/2012	724,09	724,27	724,46	0,18	0,19	0,37
18/4/2012	724,13	724,32	724,46	0,19	0,14	0,33
4/5/2012	724,26	724,42	724,74	0,16	0,32	0,48
	PM-04	PM-04B	-			
ago/10	724,41	724,53		0,12		
jan/11	724,53	724,73		0,2		
5/9/2011	724,29	724,3		0,01		
16/9/2011	724,22	724,24		0,02		
5/10/2011	724,11	724,11		0		
17/10/2011	724,39	724,48		0,09		
4/11/2011	724,32	724,41		0,09		
17/11/2011	724,53	724,6		0,07		
2/12/2011	724,35	724,41		0,06		
19/12/2011	724,31	724,38		0,07		
2/1/2012	724,49	724,68		0,19		
21/3/2012	724,43	724,58		0,15		
5/4/2012	724,48	724,65		0,17		
18/4/2012	724,59	724,66		0,07		
4/5/2012	724,65	724,69		0,04		

ANEXO A
CARGA HIDRÁULICA NOS POÇOS MULTINÍVEIS DO SENAC

DATA	CH			NIVELB-A	NIVELC-B	NIVELC-A
	PM-05	PM-05B	-			
jan/11	724,04	724,54		0,5		
5/9/2011	723,86	724,01		0,15		
16/9/2011	723,81	724		0,19		
5/10/2011	723,67	723,82		0,15		
17/10/2011	724,05	724,26		0,21		
4/11/2011	724,11	724,24		0,13		
17/11/2011	724,3	724,45		0,15		
2/12/2011	723,96	724,24		0,28		
19/12/2011	723,9	724,19		0,29		
2/1/2012	724,09	724,44		0,35		
21/3/2012	723,56	724,38		0,82		
5/4/2012	724,09	724,29		0,2		
18/4/2012	724,18	724,37		0,19		
4/5/2012	724,34	724,56		0,22		
18/5/2012	724,2	724,56		0,36		
13/7/2012	724,23	724,56		0,33		
	PM-07	PM-07B	-			
ago/10	724,06	724,29		0,23		
5/9/2011	723,87	724,04		0,17		
16/9/2011	723,8	724		0,2		
5/10/2011	723,68	723,85		0,17		
17/10/2011	724,01	724,17		0,16		
4/11/2011	724,08	724,22		0,14		
17/11/2011	724,26	724,4		0,14		
2/12/2011	723,91	724,25		0,34		
19/12/2011	723,85	724,22		0,37		
2/1/2012	724,1	724,4		0,3		
21/3/2012	724,03	724,38		0,35		
5/4/2012	724,29	724,55		0,26		
18/4/2012	724,38	724,66		0,28		
4/5/2012	724,44	724,5		0,06		
18/5/2012	724,41	724,48		0,07		
	PM-08	PM-08B	PM-08C			
ago/10	723,78	724,37	724,26	0,59	-0,11	0,48
jan/11	723,82	724,83	724,86	1,01	0,03	1,04
5/9/2011	723,44	724,11	724,22	0,67	0,11	0,78
16/9/2011	723,44	724,09	724,11	0,65	0,02	0,67
5/10/2011	723,26	724,02	724,05	0,76	0,03	0,79
17/10/2011	723,67	724,1	724,15	0,43	0,05	0,48
4/11/2011	723,93	724,23	724,32	0,3	0,09	0,39
17/11/2011	724,17	724,34	724,48	0,17	0,14	0,31
2/12/2011	723,46	724,19	724,23	0,73	0,04	0,77
19/12/2011	723,43	724,15	724,21	0,72	0,06	0,78
2/1/2012	723,62	724,22	724,63	0,6	0,41	1,01
21/3/2012	723,65	724,01	724,77	0,36	0,76	1,12
5/4/2012	723,9	724,22	724,8	0,32	0,58	0,9
18/4/2012	723,98	724,26	724,81	0,28	0,55	0,83
4/5/2012	724,22	724,35	724,76	0,13	0,41	0,54
18/5/2012	724,19	724,34	724,73	0,15	0,39	0,54
13/7/2012	723,9	724,46	724,85	0,56	0,39	0,95
	PM-09	PM-09B	PM-09C			
ago/10	723,82	724,67	724,36	0,85	-0,31	0,54
jan/11	723,73	724,9	725,04	1,17	0,14	1,31
5/9/2011	723,59	724,31	724,39	0,72	0,08	0,8
16/9/2011	723,46	724,18	724,26	0,72	0,08	0,8
5/10/2011	723,5	724,34	724,54	0,84	0,2	1,04
17/10/2011	723,77	724,56	724,76	0,79	0,2	0,99
4/11/2011	724,07	724,43	724,38	0,36	-0,05	0,31
17/11/2011	724,22	724,67	724,79	0,45	0,12	0,57
2/12/2011	723,53	724,54	724,62	1,01	0,08	1,09
19/12/2011	723,49	724,48	724,59	0,99	0,11	1,1
2/1/2012	723,69	724,71	724,76	1,02	0,05	1,07
21/3/2012	723,6	724,69	724,76	1,09	0,07	1,16
5/4/2012	723,98	724,63	724,63	0,65	0	0,65
18/4/2012	723,85	724,66	724,65	0,81	-0,01	0,8
4/5/2012	724,17	725,02	724,77	0,85	-0,25	0,6
18/5/2012	724,12	724,93	724,76	0,81	-0,17	0,64
13/7/2012	723,97	724,65	724,95	0,68	0,3	0,98

ANEXO A
CARGA HIDRÁULICA NOS POÇOS MULTINÍVEIS DO SENAC

DATA	CH			NIVELB-A	NIVELC-B	NIVELC-A
	PM-20	PM-20B	-			
ago/10	723,97	724,18		0,21		
jan/11	723,96	724,59		0,63		
5/9/2011	723,67	724,31		0,64		
16/9/2011	723,72	724,23		0,51		
5/10/2011	723,6	724,06		0,46		
17/10/2011	723,9	724,54		0,64		
4/11/2011	723,95	724,45		0,5		
17/11/2011	724,1	724,65		0,55		
2/12/2011	723,79	724,5		0,71		
19/12/2011	723,75	724,46		0,71		
2/1/2012	724	724,73		0,73		
21/3/2012	723,89	724,61		0,72		
5/4/2012	724,09	724,4		0,31		
18/4/2012	724,04	724,55		0,51		
4/5/2012	724,09	724,61		0,52		
18/5/2012	724,06	724,57		0,51		
13/7/2012	723,95	724,89		0,94		
	PM-23	PM-23B	PM-23C			
ago/10	724,24	724,24	724,22	0	-0,02	-0,02
jan/11	724,48	724,79	724,74	0,31	-0,05	0,26
5/9/2011	724,18	724,21	724,17	0,03	-0,04	-0,01
16/9/2011	724,09	724,16	724,12	0,07	-0,04	0,03
5/10/2011	724,03	723,96	723,92	-0,07	-0,04	-0,11
17/10/2011	724,32	724,4	724,4	0,08	0	0,08
4/11/2011	724,25	724,3	724,25	0,05	-0,05	0
17/11/2011	724,4	724,53	724,55	0,13	0,02	0,15
2/12/2011	724,25	724,35	724,36	0,1	0,01	0,11
19/12/2011	724,21	724,3	724,31	0,09	0,01	0,1
2/1/2012	724,4	724,55	724,52	0,15	-0,03	0,12
21/3/2012	724,41	724,33	724,5	-0,08	0,17	0,09
5/4/2012	724,29	724,6	724,48	0,31	-0,12	0,19
18/4/2012	724,34	724,86	724,45	0,52	-0,41	0,11
4/5/2012	724,43	724,89	724,81	0,46	-0,08	0,38
18/5/2012	724,4	724,82	724,74	0,42	-0,08	0,34
13/7/2012	724,34	725,08	724,71	0,74	-0,37	0,37
	-	PM-26B	PM-26C			
ago/10		724,16	724,17		0,01	
jan/11		724,45	724,75		0,3	
5/9/2011		724,09	724,1		0,01	
16/9/2011		723,97	724,07		0,1	
5/10/2011		723,85	723,86		0,01	
17/10/2011		724,21	724,33		0,12	
4/11/2011		724,2	724,26		0,06	
17/11/2011		724,37	724,44		0,07	
2/12/2011		724,17	724,37		0,2	
19/12/2011		724,1	724,33		0,23	
2/1/2012		724,28	724,44		0,16	
21/3/2012		724,32	724,52		0,2	
5/4/2012		724,22	724,38		0,16	
18/4/2012		724,34	724,4		0,06	
4/5/2012		724,42	724,62		0,2	
18/5/2012		724,36	724,59		0,23	
13/7/2012		724,36	724,6		0,24	

ANEXO A
DIFERENÇA DE CARGA
HIDRÁULICA ENTRE OS POÇOS
MULTINÍVEIS DA MWM

DATA	CH		NIVEL B - A
	PM-01	PM-01A	
1/10/2012	723,65	722,94	-0,71
1/9/2011	723,71	722,80	-0,91
1/3/2011	724,23	723,41	-0,82
1/10/2010	724,68	724,53	-0,15
1/11/2009	723,96	723,22	-0,74
14/10/2005	723,36	721,05	-2,31
	PM-02	PM-02A	
1/10/2012	724,27	723,68	-0,59
1/9/2011	724,49	723,74	-0,75
1/3/2011	724,34	723,80	-0,53
1/10/2010	724,63	723,48	-1,14
1/11/2009	724,67	723,87	-0,79
	PM-03	PM-03A	
1/10/2012	724,17	723,19	-0,98
1/9/2011	724,28	723,04	-1,24
1/3/2011	723,19	724,39	1,20
1/10/2010	724,41	723,09	-1,32
1/11/2009	724,57	723,17	-1,40
14/10/2005	723,19	720,32	-2,87
	PM-04	PM-04A	
1/10/2012	723,72	723,59	-0,13
1/9/2011	723,79	723,61	-0,18
1/3/2011	724,01	724,04	0,03
1/10/2010	723,80	723,68	-0,12
1/11/2009	724,14	723,90	-0,24
14/10/2005	722,93	722,37	-0,56
	PM-05	PM-05A	
1/10/2012	724,20	722,62	-1,59
1/9/2011	724,33	722,27	-2,07
1/3/2011	724,57	722,68	-1,90
1/10/2010	724,05	722,00	-2,06
1/11/2009	724,59	722,62	-1,98
14/10/2005	723,74	720,23	-3,52
	PM-07	PM-07A	
1/10/2012	723,80	723,35	-0,45
1/9/2011	723,94	723,42	-0,52
1/3/2011	724,09	723,66	-0,43
1/10/2010	724,04	723,21	-0,83
1/11/2009	724,05	723,54	-0,51
14/10/2005	723,23	722,03	-1,20
	PM-08	PM-08A	
1/10/2012	722,82	721,68	-1,15
1/9/2011	722,39	721,34	-1,06
1/3/2011	723,16	722,05	-1,12
1/10/2010	723,28	721,94	-1,35
1/11/2009	722,92	721,97	-0,96
14/10/2005	719,82	724,43	4,60

CH: Carga Hidráulica

Nível B - A: Diferença de carga hidráulica entre o poço profundo e o raso

Cores vermelhas: Fluxo Ascendente

Cores Azuis: fluxo Descendente

ANEXO A
DIFERENÇA DE CARGA
HIDRÁULICA ENTRE OS POÇOS
MULTINÍVEIS DA MWM

DATA	CH		NIVEL B - A
	PM-10	PM-10A	
1/10/2012	723,41	723,87	0,45
1/9/2011	724,42	723,21	-1,22
1/3/2011	723,82	723,26	-0,56
1/10/2010	724,09	723,32	-0,77
1/11/2009	724,31	723,09	-1,23
14/10/2005	721,72	724,17	2,45
	PM-11	PM-11A	
1/10/2012	724,11	724,15	0,03
1/9/2011	724,46	724,30	-0,17
1/3/2011	724,41	724,58	0,16
1/10/2010	724,43	724,51	0,07
1/11/2009	724,31	724,28	-0,03
14/10/2005	721,70	722,45	0,74
	PM-12	PM-12A	
1/3/2011	724,70	724,22	-0,48
1/10/2010	724,85	723,88	-0,97
1/11/2009	724,30	723,89	-0,41
14/10/2005	722,41	721,68	-0,73
	PM-14	PM-14A	
1/10/2012	724,14	724,22	0,08
1/9/2011	724,34	724,72	0,38
1/3/2011	724,37	724,45	0,08
1/10/2010	724,45	724,40	-0,05
1/11/2009	724,42	724,39	-0,03
14/10/2005	721,15	723,92	2,77
	PM-15	PM-15A	
1/10/2012	724,22	723,84	-0,38
1/9/2011	724,30	723,89	-0,41
1/3/2011	724,95	724,49	-0,46
1/10/2010	724,69	724,12	-0,57
1/11/2009	724,40	724,01	-0,39
14/10/2005	722,70	724,68	1,98
	PM-19	PM-19A	
1/10/2012	723,89	723,13	-0,75
1/9/2011	724,02	723,03	-0,98
1/3/2011	724,37	723,34	-1,02
1/10/2010	724,18	723,06	-1,11
1/11/2009	724,28	723,17	-1,10
14/10/2005	720,40	723,78	3,39
	PM-20	PM-20A	
1/10/2012	724,37	723,39	-0,98
1/9/2011	724,68	723,51	-1,17
1/3/2011	724,74	723,72	-1,02
1/10/2010	724,68	723,98	-0,70
1/11/2009	724,72	723,56	-1,16
14/10/2005	721,49	721,63	0,14

CH: Carga Hidráulica

Nível B - A: Diferença de carga hidráulica entre o poço profundo e o raso

Cores vermelhas: Fluxo Ascendente

Cores Azuis: fluxo Descendente

ANEXO A
DIFERENÇA DE CARGA
HIDRÁULICA ENTRE OS POÇOS
MULTINÍVEIS DA MWM

DATA	CH	CH	NIVEL B - A
	PM-21	PM-21A	
1/10/2012	723,20	723,11	-0,10
1/9/2011	723,40	723,33	-0,08
1/3/2011	723,61	723,60	-0,02
1/10/2010	723,59	723,69	0,09
1/11/2009	723,51	723,55	0,03
14/10/2005	721,48	724,73	3,24
	PM-26	PM-26A	
1/10/2012	723,82	722,65	-1,17
1/9/2011	723,89	722,41	-1,48
1/3/2011	724,30	722,93	-1,37
1/10/2010	723,80	721,71	-2,09
1/11/2009	724,26	722,68	-1,58
	PM-36	PM-36A	
1/10/2012	724,07	724,30	0,23
1/9/2011	723,98	724,05	0,07
1/3/2011	724,23	723,76	-0,47
1/10/2010	724,42	724,47	0,05
1/11/2009	724,20	724,48	0,28
	PM-37	PM-37A	
1/10/2012	723,93	723,64	-0,29
1/9/2011	723,82	723,56	-0,26
1/3/2011	724,09	724,29	0,20
1/10/2010	724,20	724,13	-0,07
1/11/2009	724,14	724,06	-0,08
	PM-38	PM-38A	
1/10/2012	722,96	724,34	1,38
1/9/2011	724,53	722,76	-1,77
1/3/2011	724,84	723,20	-1,64
1/10/2010	724,60	723,88	-0,72
1/11/2009	724,70	722,59	-2,11
	PM-39	PM-39A	
1/10/2012	722,39	722,07	-0,32
1/9/2011	721,84	721,47	-0,37
1/3/2011	722,84	722,38	-0,46
1/11/2009	723,00	722,01	-0,99
	PM-41	PM-41A	
1/10/2012	723,89	724,43	0,54
1/9/2011	724,52	723,88	-0,64
1/3/2011	724,66	724,06	-0,60
1/10/2010	724,78	724,26	-0,52
1/11/2009	724,72	724,03	-0,69
	PM-42	PM-42A	
1/10/2012	723,28	723,51	0,24
1/9/2011	723,81	724,03	0,23
1/3/2011	724,20	723,62	-0,57
1/10/2010	724,07	723,59	-0,47
1/11/2009	723,95	723,51	-0,43

CH: Carga Hidráulica

Nível B - A: Diferença de carga hidráulica entre o poço profundo e o raso

Cores vermelhas: Fluxo Ascendente

Cores Azuis: fluxo Descendente

ANEXO A
DIFERENÇA DE CARGA
HIDRÁULICA ENTRE OS POÇOS
MULTINÍVEIS DA MWM

DATA	CH	CH	NIVEL B - A
	PM-47	PM-47A	
1/9/2011	724,36	725,87	1,51
1/3/2011	724,85	724,72	-0,13
1/10/2010	724,74	722,13	-2,61
1/11/2009	724,67	718,06	
	PM-48	PM-48A	
1/10/2012	724,46	724,77	0,31
1/9/2011	724,58	724,34	-0,24
1/3/2011	724,72	725,34	0,62
1/10/2010	724,70	724,58	-0,12
1/11/2009	724,68	724,60	-0,08
	PM-51	PM-51A	
1/10/2012	724,33	721,53	-2,80
1/9/2011	724,43	721,78	-2,65
1/3/2011	724,70	721,13	-3,57
1/10/2010	724,84	720,86	-3,98
1/11/2009	724,83	720,82	-4,01
	PM-52	PM-52A	
1/10/2012	725,38	723,63	-1,75
1/9/2011	723,87	723,44	-0,43
1/3/2011	724,13	724,47	0,34
1/10/2010	724,06	723,60	-0,46
1/11/2009	724,03	723,61	-0,42
	PM-53	PM-53A	
1/10/2012	724,46	723,80	-0,67
1/9/2011	724,64	724,07	-0,58
1/3/2011	724,31	723,85	-0,47
1/10/2010	724,98	723,73	-1,26
1/11/2009	725,01	723,75	-1,27
	PM-54	PM-54A	
1/10/2012	723,10	722,49	-0,61
1/9/2011	722,97	722,01	-0,96
1/3/2011	723,46	722,45	-1,01
1/10/2010	723,16	722,71	-0,45
1/11/2009	723,09	722,76	-0,33
	PM-55	PM-55A	
1/10/2012	722,98	723,25	0,27
1/9/2011	722,85	723,18	0,33
1/3/2011	723,39	723,59	0,20
1/10/2010	723,04	723,20	0,16
1/11/2009	722,99	723,29	0,30
	PM-60	PM-60A	
1/9/2011	719,92	717,62	-2,30
1/3/2011	721,82	717,89	-3,93
1/10/2010	722,07	717,85	-4,22
1/11/2009	722,15	716,62	-5,53

CH: Carga Hidráulica

Nível B - A: Diferença de carga hidráulica entre o poço profundo e o raso

Cores vermelhas: Fluxo Ascendente

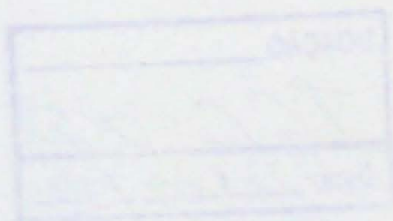
Cores Azuis: fluxo Descendente

ANEXO A
DIFERENÇA DE CARGA
HIDRÁULICA ENTRE OS POÇOS
MULTINÍVEIS DA MWM

DATA	CH	CH	NIVEL B - A
	PM-61	PM-61A	
1/10/2012	718,90	718,23	-0,67
1/9/2011	719,67	717,50	-2,17
1/3/2011	721,10	719,18	-1,92
1/10/2010	721,23	719,19	-2,04
1/11/2009	719,93	719,04	-0,89
	PM-62	PM-62A	
1/10/2012	722,98	722,32	-0,66
1/9/2011	722,87	721,93	-0,94
1/3/2011	723,46	721,88	-1,58
1/10/2010	724,82	721,78	-3,04
	PM-63	PM-63A	
1/10/2012	723,27	722,79	-0,48
1/9/2011	723,30	722,21	-1,09
1/3/2011	720,78	723,66	2,88
1/10/2010	723,44	713,54	-9,90
	PM-64	PM-64A	
1/10/2012	723,03	722,19	-0,84
1/9/2011	723,03	721,53	-1,50
1/3/2011	723,47	721,72	-1,75
1/10/2010	724,47	721,36	-3,11

CH: Carga Hidráulica
Nível B - A: Diferença de carga hidráulica entre o poço profundo e o raso
Cores vermelhas: Fluxo Ascendente
Cores Azuis: fluxo Descendente

ANEXO B – CD COM OS DADOS COMPILADOS



AVISO 2 - OS CURSOS DEBEM SER COMPLETADOS

DOAÇÃO
<i>IGC-USP</i>
Data: <i>27/04/14</i>

