

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA E O MAPEAMENTO DA  
VULNERABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO DOS AQÜÍFEROS,  
NA ESCALA 1:25.000, DAS ÁREAS URBANA E DE EXPANSÃO DO  
MUNICÍPIO DE ARARAQUARA-SP**

**Geól. MSc. Fábio José Meaulo**

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roberto Saad

Tese de Doutorado, elaborada junto ao Programa  
de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente,  
Área de Concentração em Geociências e Meio Ambiente,  
obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente

Rio Claro (SP)

2007

## COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Antonio Roberto Saad (Orientador)

---

Prof. Dr. Leandro Eugenio da Silva Cerri

---

Prof. Dr. Antenor Zanardo

---

Prof. Dr. José Luiz Albuquerque Filho

---

Prof. Dr. Denilson Teixeira

---

Geól.MSc Fábio José Meaulo  
(Doutorando)

Rio Claro, 30 de Outubro de 2007

Resultado: Aprovado

Essa tese se traduz na realização de um sonho pessoal  
e com dedicação exclusiva aos meus pais,  
Paschoal Meaulo (*in memoriam*)  
e Aparecida Ortega Meaulo.

## **AGRADECIMENTOS**

*Ao Prof. Dr. Antonio Roberto Saad, pelo entusiasmo e serenidade que conduziu a orientação dessa tese de doutoramento. Meu muito obrigado.*

*À FAPESP (Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas) pela concessão dos recursos financeiros aplicados nas etapas de campo e pela bolsa de pesquisador.*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente da Unesp Rio Claro-SP pela concessão da bolsa de doutorado nos meses iniciais da pesquisa.*

*À Empresa FORTGEO Geociências & Meio Ambiente, CETESB-Araraquara, DAAE-Araraquara, aos proprietários de todas as chácaras, sítios, fazendas, indústrias, postos de serviços, empresas de perfuração de poços e poceiros, corretores imobiliários, enfim, todos que contribuíram pela cessão das informações necessárias para elaboração do banco de dados.*

*Aos Prof. Dr. Leandro Eugenio da Silva Cerri e José Luiz Albuquerque Filho pelo acompanhamento desse trabalho desde a apresentação do projeto de pesquisa, exame de qualificação e participação da banca examinadora.*

*Aos amigos e profissionais, Geólogos/MSc.Alex Alves de Lima, MSc.Vinicius Rosa Rodrigues, Marco Aurélio Rodrigues, Dr.Guillermo R.B. Navarro, Dr.Fabiano Cabañas Navarro, Daniel Leoni Mazorca, Luiz Zanão Neto, Bruno Tambeli Scalvi, Dr.Antenor Zanardo; Julio César Arantes Perroni; Geógrafos/Pedro Luiz M. Facin, Rafael Zendonadi da Silva; Administradores Públicos/José Leandro R. Fernandes, Sinoel Batista; Físico/José Ricardo M. Bortolin, Geofísicos/José F. Caparica Jr. e Juliano Bahia, Ecóloga/Monica Regina Marquezin; Bióloga/Aline Piccoli Otalara; Designer/Alex Ribeiro; Estudante Antonio Ap. Milani Filho, que contribuíram direta ou indiretamente com o desenvolvimento desse documento.*

*Aos amigos da Incubadora de Empresas de Base Tecnológica da Unesp, em especial, a equipe da CAIENA.*

*À Aline Piccoli Otalara pela imensurável contribuição nos momentos difíceis do desenvolvimento desse trabalho e pelo carinho sempre presente.*

*À DEUS por me acompanhar na conquista desse importante marco na minha vida.*

## SUMÁRIO

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE TABELAS.....	iii
ÍNDICE DE QUADROS.....	iii
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES.....	iv
ÍNDICE DE ABREVIACÕES.....	vi
RESUMO.....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2– MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA.....	6
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS OBTIDOS.....	25
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	100
CAPÍTULO 5 – REFERÊNCIAS.....	107

**ÍNDICE .....i**

**CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

**1.1 - Localização da área de estudo e acessos.....2**

**1.2 - Formulação do problema de pesquisa.....4**

**1.3 - Estabelecimento das premissas da pesquisa.....4**

**1.4 - Objetivos da pesquisa.....4**

**1.5 - Considerações sobre a aplicação dos documentos cartográficos da pesquisa.....5**

**CAPÍTULO 2- MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA**

**2.1 – Revisão bibliográfica.....6**

**2.2 - Seleção da área de estudo e confecção da base cartográfica.....7**

**2.3 – Atividades de campo e o mapeamento geológico.....7**

**2.4 – Caracterização hidrogeológica.....8**

**a) Ensaios de condutividade hidráulica *in situ*.....9**

**b) Método geofísico da eletrorresistividade – Sondagem Elétrica Vertical-SEV.....11**

**c) Sondagem de simples reconhecimento.....17**

**2.5 – Levantamento das fontes potenciais e/ou efetivas de poluição.....18**

**2.6 - Levantamento do valor imobiliário territorial de Araraquara-SP.....18**

**2.7 – Determinação da vulnerabilidade natural de aquíferos - Método GOD.....19**

**2.8 – Integração das informações do meio natural e antrópico com o Plano Diretor Municipal de Araraquara-SP.....24**

<b>2.9 – Confeção dos documentos cartográficos temáticos.....</b>	<b>24</b>
---	-----------

### **CAPÍTULO 3 – RESULTADOS OBTIDOS**

<b>3.1 – Área de estudo de Araraquara.....</b>	<b>25</b>
--	-----------

<b>3.1.1 – Caracterização geológica.....</b>	<b>25</b>
--	-----------

<b>3.1.1.1 – Geologia regional.....</b>	<b>25</b>
---	-----------

<b>3.1.1.2 – Geologia local.....</b>	<b>32</b>
--------------------------------------	-----------

<b>3.1.2 – Caracterização hidrogeológica.....</b>	<b>47</b>
---	-----------

<b>3.1.2.1 – Hidrogeologia regional.....</b>	<b>47</b>
--	-----------

<b>3.1.2.2 – Hidrogeologia local.....</b>	<b>56</b>
---	-----------

<b>a) Generalidades e modelos hidrogeológicos conceituais.....</b>	<b>56</b>
--	-----------

<b>b) Análise da profundidade do nível d'água e de vazão.....</b>	<b>64</b>
---	-----------

<b>c) Condutividade hidráulica <i>in situ</i>.....</b>	<b>73</b>
--	-----------

<b>d) Caracterização geofísica - sondagem elétrica vertical-SEV.....</b>	<b>84</b>
--	-----------

<b>e) Levantamento das fontes potenciais e/ou efetivas de poluição.....</b>	<b>90</b>
---	-----------

<b>3.1.3 - Levantamento do valor imobiliário territorial.....</b>	<b>91</b>
---	-----------

<b>3.1.4 – Informações da área de Araraquara aplicado às regiões de planejamento ambiental- RPA.....</b>	<b>93</b>
--	-----------

<b>CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>100</b>
---	------------

<b>CAPÍTULO 5 – REFERÊNCIAS.....</b>	<b>107</b>
--------------------------------------	------------

## **ANEXOS**

**ANEXO 1** – Mapa de pontos de informação das porções noroeste da Folha Araraquara e sudeste da Folha Rincão.

**ANEXO 2** – Mapa geológico e seções geológicas das porções noroeste da Folha Araraquara e sudeste da Folha Rincão.

**ANEXO 3** – Mapa de condutividade hidráulica (zona não saturada) das porções noroeste da Folha Araraquara e sudeste da Folha Rincão.

**ANEXO 4** – Mapa de superfície de tendência de profundidade do nível d'água do aquífero livre das porções noroeste da Folha Araraquara e sudeste da Folha Rincão.

**ANEXO 5** – Mapa de vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos da área de Araraquara (SP)

**ANEXO 6** – Mapa das regiões de planejamento ambiental (RPA) das porções noroeste da Folha Araraquara e sudeste da Folha Rincão.



## ÍNDICE DE TABELAS.....iii

Tabela 1 - Base de dados de condutividade hidráulica.....	77
Tabela 2 - Dados de condutividade hidráulica associada às unidades geológicas.....	83
Tabela 3 - Estatísticas das curvas de campo.....	85
Tabela 4 - Características das formações geológicas segundo o padrão das curvas de campo.....	85
Tabela 5 - Valores do preço da terra urbana no município de Araraquara (SP).....	92

## ÍNDICE DE QUADROS.....iii

Quadro 1 - Valores de resistividade de alguns tipos litológicos principais.....	14
Quadro 2 – Fatores hidrogeológicos que controlam a vulnerabilidade à poluição do aquífero.....	21
Quadro 3 - Classes de vulnerabilidade natural de aquíferos e definições correspondentes.....	22
Quadro 4 – Análise conjunta da profundidade do nível estático no município de Araraquara (SP).....	66
Quadro 5 – Análise da profundidade do nível estático dos poços que exploram água do Aquífero Bauru.....	67
Quadro 6 – Análise da profundidade do nível estático dos poços escavados (tipo cacimba).....	68
Quadro 7 – Análise geral da profundidade do nível estático no município de Araraquara (SP).....	68
Quadro 8 – Análise descritiva final da profundidade do nível estático no município de Araraquara (SP).....	69
Quadro 9 - Histograma e tabela de vazão dos poços no aquífero Serra Geral, município de Araraquara (SP).....	72
Quadro 10 - Histograma e tabela de vazão dos poços no aquífero Botucatu/Pirambóia, município de Araraquara (SP).....	72
Quadro 11 - Histograma e tabela de vazão dos poços no aquífero Adamantina, município de Araraquara (SP).....	72

Quadro 12 - Classificação da condutividade hidráulica de acordo com diferentes faixas texturais.....	74
Quadro 13 - Permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados.....	75
Quadro 14 – Análise conjunta da condutividade hidráulica da área de Araraquara.....	79
Quadro 15 - Nova análise conjunta condutividade hidráulica da área de Araraquara ..	79
Quadro 16 - Análise da condutividade hidráulica da Formação Adamantina.....	80
Quadro 17 - Análise da condutividade hidráulica dos Sedimentos Cenozóicos.....	81
Quadro 18 - Análise da condutividade hidráulica da Formação Serra Geral.....	82
Quadro 19 - Análise da condutividade hidráulica da Formação Botucatu.....	82
Quadro 20 - Características das unidades de vulnerabilidade natural, quanto à distribuição areal e empreendimentos potencialmente poluidores.....	97
Quadro 21 - Variação do produto da avaliação da vulnerabilidade natural por unidade geológica da área de Araraquara.....	98
Quadro 22 – Informações integradas da área de Araraquara-SP.....	99

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES.....iv

Figura 1 – Localização da área de estudo no Estado de São Paulo.....	3
Figura 2 – Exemplo hipotético da formação do bulbo.....	10
Figura 3 - Diferença de potencial entre duas linhas equipotenciais.....	11
Figura 4 - Procedimento para medição da resistividade do solo de um semi-espaço.....	12
Figura 5 - Método para a medição da resistividade do meio geológico .....	13
Figura 6 - Arranjo Schlumberger.....	15
Figura 7 - Exemplos hipotéticos dos quatro principais tipos de curvas de campo.....	17
Figura 8 – Cálculo hipotético para a confecção do mapa de vulnerabilidade natural à poluição do aquífero usando o Método GOD.....	22
Figura 09 – Sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural à poluição do aquífero, Método GOD.....	23
Figura 10 - Unidades geológicas maiores do Estado de São Paulo.....	28
Figura 11 - Coluna estratigráfica da área de estudo.....	34
Figura 12 - Histograma da análise granulométrica da Formação Botucatu.....	35

<b>Prancha 01 - Afloramento na SP-255 (Trecho Araraquara-Jaú).....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 13 - Histograma da análise granulométrica da Formação Serra Geral.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 14 - Histograma da análise granulométrica da Formação Adamantina.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 15 - Histograma da análise granulométrica dos Sedimentos Cenozóicos.....</b>	<b>45</b>
<b>Prancha 02 - Fotomicrografias do ponto geológico 239 referente aos Sedimentos Cenozóicos, Ponto 01, Anexo 1.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 16 - Localização das UGRHI no Estado de São Paulo.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 17 - Unidades aquíferas no Estado de São Paulo.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 18 - Exemplos dos tipos de porosidade em diferentes aquíferos.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 19 - Localização da UGRHI Tietê/Jacaré no Estado de São Paulo.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 20 - Modelo hidráulico simplificado do Aquífero Bauru.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 21 - Modelo hidráulico simplificado do Aquífero Botucatu.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 22 - Modelo hidráulico simplificado do Aquífero Serra Geral.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 23 - Modelo (1A) conceitual hidrogeológico para a Formação Botucatu.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 24 - Modelo (1B) conceitual hidrogeológico para as formações Botucatu e Serra Geral (SW da área).....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 25 - Modelo (2A) conceitual hidrogeológico para as formações Adamantina e Serra Geral.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 26 - Modelo (2B) conceitual hidrogeológico para as formações Adamantina e Serra Geral, estrutura côncava.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 27 - Modelo (2C) conceitual hidrogeológico para as formações Adamantina e Serra Geral, estrutura côncava.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 28 - Modelo (3A) conceitual hidrogeológico para os Sedimentos Cenozóicos e as formações sotopostas.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 29 - Bloco diagrama ilustrando a superfície potenciométrica na área de estudo.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 30 - Modelo conceitual de interpretação da Sondagem Elétrica Vertical.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 31 - Distribuição por atividade das principais fontes potenciais à poluição da área de Araraquara.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 32 - Esquema conceitual para avaliação do risco de poluição dos recursos hídricos subterrâneos.....</b>	<b>95</b>

## LISTA DE ABREVIACÕES.....vi

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental  
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica  
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
CRH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos  
CTC - Capacidade de Troca Catiônica  
DAAE – Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Araraquara  
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica  
DGA - Departamento de Geologia Aplicada  
EAGE.- *European Association of Geoscientists and Engineers*  
EESC - Escola de Engenharia de São Carlos  
FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo  
*GeoEAS - Geostatistical Environmental Assessment Software*  
GOD - **G**roundwater hydraulic confinement; **O**verlying strata; **D**epth to groundwater table  
GPS – *Global Positioning System*  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICT - Instituição Científica e Tecnológica  
IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico  
IGCE – Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
INPI - Instituto Nacional de Propriedade Industrial  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo  
K – Coeficiente de permeabilidade  
MGA – Macrozoneamento de Gestão Ambiental  
NA - Nível d'água Subterrânea  
NBR – Norma Técnica Brasileira  
PD – Plano Diretor  
PGRH – Programa de Gestão de Recursos Hídricos  
PIPE – Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas  
Q – Vazão  
Q/s – Capacidade Específica

RPA – Região de Planejamento Ambiental

SAG – Sistema Aquífero Guarani

SEV - Sondagem Elétrica Vertical

SIDAS - Sistema de Informação de Águas Subterrâneas

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIGRH - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SMA – Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo

SP – 255 - Rodovia João R. de Barros

SP – 310 - Rodovia Washington Luiz

SP - São Paulo

T/J – Tietê/Jacaré

TQdI – Terciário e Quaternário indiferenciado

UGRHI – Unidade de Gerenciamento

UNESP - Universidade Estadual Paulista

USP - Universidade de São Paulo

## RESUMO

O planejamento territorial e a gestão ambiental são instrumentos que podem minimizar os impactos negativos e potencializar os impactos positivos nos meios natural e antrópico. Entretanto, é necessária a caracterização de elementos do meio físico, tais como a geologia e a hidrogeologia, e do meio sócio econômico, devendo representá-los conjuntamente em documentos cartográficos temáticos que sejam compatíveis com aqueles preconizados nos planos diretores municipais. Na área de estudo, as unidades geológicas presentes são: formações Botucatu; Serra Geral; Adamantina e os sedimentos clásticos da unidade Sedimentos Cenozóicos. No tocante à hidroestratigrafia, podem ser reconhecidos os aquíferos sedimentares (Unidade Cenozóica; Bauru; Guarani) e fraturado (Serra Geral). O Município de Araraquara caracteriza-se por apresentar um segmento econômico baseado em indústrias, geralmente situadas em áreas urbanas, e agro-indústriais. Na área de estudo, foram realizados levantamentos de fontes potenciais à poluição, totalizando 138 empreendimentos. Com base nos atributos do meio físico e aplicando-se o Método de Vulnerabilidade Natural, foi possível identificar as seguintes classes de vulnerabilidade e os respectivos números de empreendimentos potencialmente poluidores: baixa (0), moderada (96); alta (24) e extrema (18). Dentre essas atividades, os setores de postos de serviços, transportes e industrial totalizam 88% das principais fontes de poluição da área de Araraquara.

Palavras Chave: vulnerabilidade natural; caracterização geológica e hidrogeológica; fontes potenciais à poluição; Araraquara-SP.

## ABSTRACT

The territorial planning and environmental management are instruments they can to minimize the negative impacts and to improve positive impacts in the natural and social environment. Though, is necessary to understand the environment characterization (geology, hydrogeology and social environment), and represents them in thematic cartographic documents that are compatible to municipal maps. In the study area, the geologic units correspond the: Botucatu, Serra Geral, Adamantine formations and sediments of the unit Cenozoics Sediments. However, the local hydrostratigrafic is formed by sedimentary units (Cenozoic unit; Bauru Aquifer; Guarani Aquifer) and fractured aquifer (Serra Geral). The City of Araraquara is characterized for presenting an economic segment based in industries, generally situated in urban areas, and agro-industries. Carried through surveys of potential pollution sources totalizing 138 enterprises. With basis of the attributes of the environment and applying the Method of Natural Vulnerability, were possible to identify to the following class of vulnerability and the respective numbers of potentially polluting enterprises: low (0), moderate (96); high (24) and extreme (18). Amongst these activities, the sectors of service stations, transports and industrial totalize 88% of the main sources of pollution of the area of Araraquara (SP), Brazil.

Key words: natural vulnerability; geology and hydrogeology characterization; potential pollution sources; Araraquara-SP, Brazil.

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

O planejamento territorial e a gestão ambiental são atividades complexas, multi e transdisciplinares, sob todos os aspectos, pois contempla uma filosofia de ação pró-ativa e/ou preventiva para todo tipo de intervenção antrópica no meio ambiente. Neste caso, o significado de meio ambiente é expresso em seu sentido mais amplo, integrando os meios físico, biótico e sócio-econômico.

O desenvolvimento desta pesquisa concentrou esforços na investigação das características do meio físico (geologia, hidrogeologia e vulnerabilidade natural) da área de Araraquara (SP) e também em relação ao arcabouço legal preconizado no Plano Diretor Municipal (ARARAQUARA, 2005). As informações obtidas ao longo do desenvolvimento da pesquisa possibilitaram o diagnóstico do meio natural, assim como na geração de subsídios às diretrizes do planejamento territorial, da gestão ambiental e dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) do município.

A literatura científica, os relatórios técnico-científicos, e a legislação, apontam para a escassez de comunicação e consenso entre pesquisadores, gestores públicos e privados, sociedade civil e formuladores de políticas públicas. A conciliação entre os interesses econômicos, ecológicos e sociais ocupa papel chave, a fim de solver os conflitos de interesse entre os diferentes segmentos da sociedade (ZHOURI et al., 2005).

O fato apresentado pode ser traduzido pela interpretação de que não existe a melhor solução para o planejamento territorial e a gestão ambiental. Entretanto, cabe às partes envolvidas obter resultados satisfatórios individualizados, a fim de analisar o planejamento como um processo integrado, dentro de um conceito holístico, fundamentado pela sistematização e difusão do conhecimento a cerca do meio ambiente.

Esta pesquisa destaca a importância da utilização da documentação cartográfica temática aplicada ao planejamento e à gestão ambiental, ressaltando que a tomada de decisão deve ser, necessariamente, fundamentada em informações técnico-científicas e amparada pela legislação pertinente. A escassez desses instrumentos necessários à compreensão da dinâmica dos processos naturais, em geral, resulta na adoção de ações locais, não integradas e de caráter reativo e mitigador.

Com base no panorama descrito, a pesquisa adotou enfoque da ação preventiva e orientativa, concebida a partir da caracterização do meio natural da área de Araraquara-SP e posterior integração com os instrumentos legais de planejamento e gestão do território consubstanciados pelo Plano Diretor Municipal. Vale ressaltar que a ausência e/ou escassez



de pesquisas aplicadas dessa natureza podem impactar negativamente o processo de desenvolvimento ambientalmente adequado para a região.

O desenvolvimento desta pesquisa foi amparado por recursos financeiros do Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas – PIPE da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (2004/09218-0), sob coordenação do autor desta tese. Os equipamentos utilizados na aquisição dos dados em campo foram gentilmente cedidos pela empresa FORTGEO Geociências & Meio Ambiente.

### **1.1 - Localização da área de estudo e acessos**

O município de Araraquara localiza-se na região central do Estado de São Paulo, aproximadamente 30 km a norte do ponto geográfico central paulista. A representação cartográfica da área de estudo é composta, parcialmente, por duas porções das folhas topográficas do IBGE (1988), denominadas de Folha Araraquara (áreas noroeste – SF-22-X-D-IV-4; 1:50. 000) e de Folha Rincão (área sudoeste – SF-22-X-D-IV-2; 1:50. 000). As dimensões territoriais da área compreendem 269 quilômetros quadrados, abrangendo a zona urbana, de expansão e parte da zona rural do município de Araraquara (SP). A Figura 01 exibe a localização da área de estudo.

A micro-região de Araraquara é formada pelos municípios de Boa Esperança do Sul, Ibaté, Rincão, Gavião Peixoto, Matão, Ribeirão Bonito e Américo Brasiliense. Os municípios mais expressivos da macro-região são Ribeirão Preto (85 km a nordeste) e São Carlos (40 km a sudeste).

O município privilegia-se pelo posicionamento geográfico estratégico em território paulista e dispõe de uma qualificada malha logística terrestre, ferroviária e aérea. Os acessos terrestres podem ser efetuados pela Rodovia Washington Luiz (SP – 310), pela Rodovia João R. de Barros (SP – 255) e pela via férrea (exclusiva para cargas). O acesso aéreo, por sua vez, pode ser feito a partir do aeroporto Bartolomeu de Gusmão.

A área de estudo de Araraquara pertence, segundo a subdivisão de Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo, à Unidade de Gerenciamento de Recursos do Tietê/Jacaré, tendo recebido o número 13, de acordo com a Lei Nº 7663 de 30 de Dezembro de 1991.

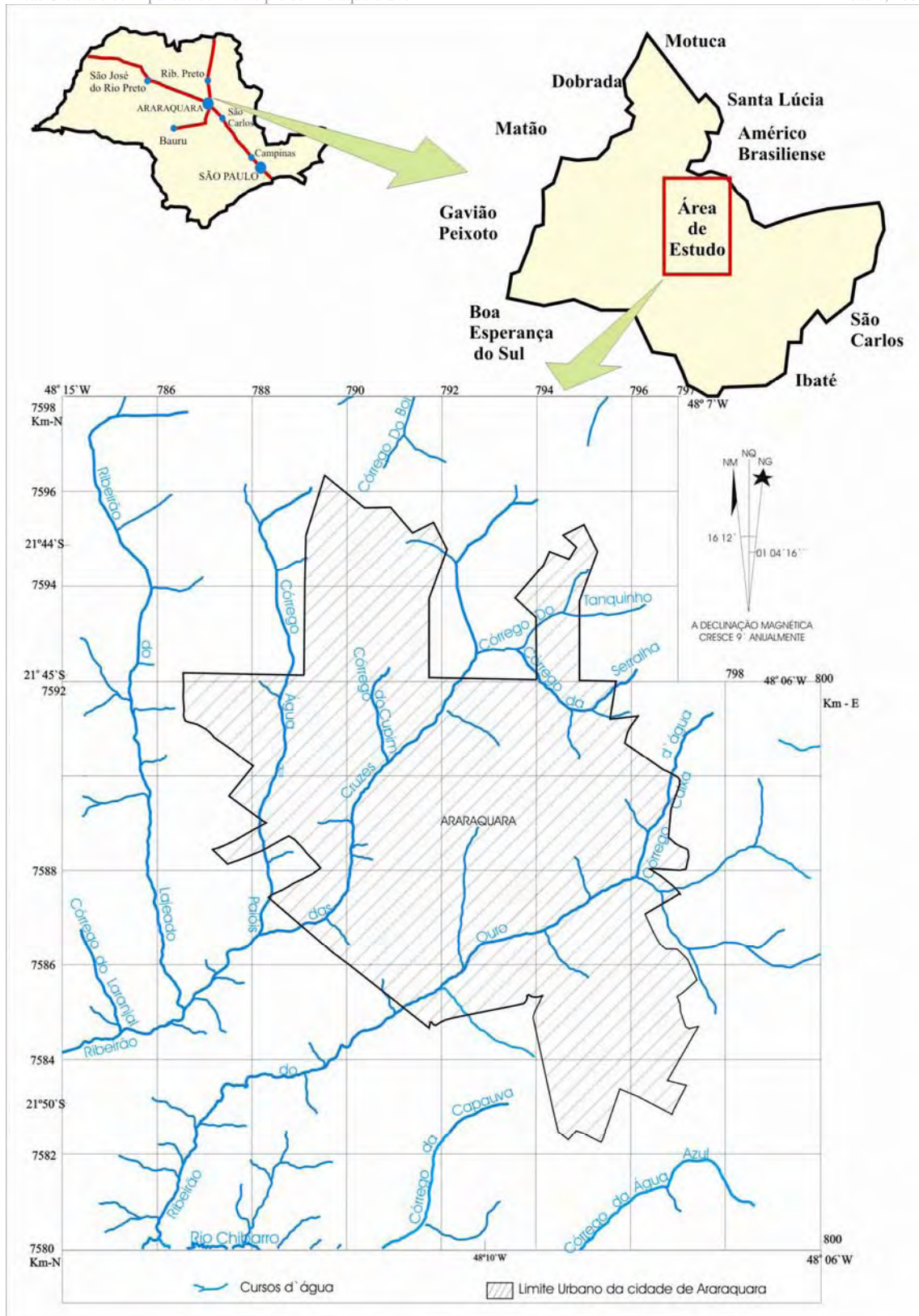


Figura 1 – Localização da área de estudo no Estado de São Paulo – Sem Escalas.

## **1.2 - Formulação do problema de pesquisa**

O problema de pesquisa selecionado para o desenvolvimento dessa tese de doutoramento está apoiado na escassez de informações geológicas, hidrogeológicas e de mapeamento da vulnerabilidade natural em escala de trabalho compatível ao planejamento e a gestão ambiental de territórios, associado também à morosidade na aplicação da legislação pertinente. Tais fatos contribuem para o crescimento desordenado dos centros urbanos e também para o agravamento do quadro de degradação ambiental, em especial, dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos). A partir da obtenção de informações atualizadas sobre as temáticas mencionadas, pretende-se contribuir para minimizar o cenário descrito.

## **1.3 - Estabelecimento das premissas da pesquisa**

As premissas da pesquisa foram estabelecidas com base em diversas constatações efetuadas no processo de formulação de políticas públicas atuais e no direcionamento dos temas atuais que são discutidos em eventos técnico-científicos da área de Geociências, Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

A presente pesquisa está balizada por:

- Instrumentos de gestão da Política Nacional de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos;
- Necessidade de geração de pesquisa aplicada para subsidiar a implementação das ações dos planos diretores municipais e da avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica;
- Inserção da sociedade local no contexto ambiental do território, por meio de instrumentos participativos, tal como na formulação do plano diretor municipal;
- Elaboração de documentos cartográficos temáticos, como por exemplo, mapas geológicos, hidrogeológicos e de vulnerabilidade natural, instrumentos mandatórios na elaboração dos planos de bacias hidrográficas;

## **1.4 - Objetivos da pesquisa**

Considerando-se as características e abrangência dos temas em desenvolvimento na pesquisa, estabeleceu-se o seguinte objetivo: apresentar de forma descritiva e cartográfica as características locais sobre a geologia, hidrogeologia e da vulnerabilidade natural de parte do município de Araraquara-SP. O documentos cartográficos temáticos da área pesquisada foram

desenvolvidos na escala 1:25.000 e contemplam: mapa geológico; mapa de condutividade hidráulica da zona não-saturada; mapa da superfície de tendência da profundidade do nível d'água do aquífero livre; mapa de vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos e levantamento das fontes potenciais à poluição; e mapa das regiões de planejamento ambiental-RPA de Araraquara.

### **1.5 - Considerações sobre a aplicação dos documentos cartográficos da pesquisa**

Para a adequada utilização dos documentos cartográficos elaborados nessa pesquisa, o profissional/gestor deve levar em consideração o efeito limitante do fator da escala de trabalho (1:25.000) e o objetivo preventivo e orientativo dos documentos, pois, em geral, as aplicações diretas dos mapas em áreas e/ou empreendimentos de pequena dimensão em área, sempre requerem estudos de detalhe, compatíveis com o objetivo da intervenção no meio físico.

Dessa forma, sugere-se que se utilize o método das hipóteses progressivas (SANTOS, 2002). Em outras palavras, as escalas de trabalho dos documentos cartográficos estão intimamente relacionadas ao volume de dados primários (obtidos em campo) e secundários (obtidos na bibliografia) adquiridos para atender aquela necessidade específica. Para intervenções pontuais e específicas no meio físico, como por exemplo, a instalação de um empreendimento, há a necessidade de realização de novas aquisições de dados primários em escala de detalhe e/ou compatível com a área de influência do empreendimento.

Vale ressaltar que os documentos gerados são instrumentos de planejamento e gestão que contribuem para a tomada de decisão, principalmente dos gestores públicos e privados, com base na análise ambiental, de recursos hídricos, econômica, logística, imobiliária, entre outras aplicações.

A utilização coerente das informações apresentadas nesta pesquisa e sob a análise crítica de técnicos experientes, pode proporcionar a otimização de recursos financeiros e, em especial, minimizar os impactos negativos ao meio ambiente como um todo e aos recursos hídricos, em particular.

## **CAPÍTULO 2 - MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA**

Nesse capítulo apresenta-se a estratégia de abordagem dos diversos temas que compõem o escopo desta pesquisa. Descreve-se sumariamente a sistemática metodológica adotada e as atividades desenvolvidas para a plena realização da investigação.

### **2.1 – Revisão bibliográfica**

A condução das atividades referentes à pesquisa bibliográfica foi subdividida em segmentos, de acordo com a fonte de consulta predominante dos diversos documentos pesquisados. Os segmentos foram nomeados a partir de três fontes de consulta distintas: publicações científicas; relatórios técnicos; documentos legais e de recursos hídricos. Essa sistematização da revisão bibliográfica foi necessária em função da significativa diversidade de temas que envolveram o desenvolvimento dessa tese, facilitando a organização e consulta dos documentos. Enquadra-se como o referencial teórico da pesquisa.

A revisão bibliográfica foi realizada ao longo do desenvolvimento da pesquisa, ou seja sempre foram considerados assuntos e referências bibliográficas atuais, que reforçaram as proposições, apontamentos e considerações acerca dos dados obtidos.

As publicações científicas foram obtidas a partir de visitas técnicas em bibliotecas de universidades e centros de pesquisa, e também por meio de consultas via internet. Esse tipo de publicação predomina ante aos demais segmentos. Privilegiaram-se as publicações dos últimos 10 anos, enfocando os anais de eventos científicos, periódicos nacionais e internacionais, dissertações de mestrado e teses de doutoramento.

Os relatórios técnicos utilizados como fonte de consulta de dados foram obtidos junto às seguintes instituições: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT; Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental-CETESB; Prefeitura Municipal de Araraquara, Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo-DAEE e Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Araraquara-DAAE. O sistema de consulta dos documentos de interesse à pesquisa na CETESB foi realizado mediante “Vista Processual”, segundo Resolução SMA Nº66 de 17/12/76. Art. 1º - §1º.

A legislação ambiental e de recursos hídricos foi pesquisada a partir de consultas em sítios na internet e livros texto de direito ambiental.

## **2.2 - Seleção da área de estudo e confecção da base cartográfica**

A delimitação da área de estudo atendeu ao critério político-administrativo das áreas urbana e de expansão de Araraquara, assim como a critérios geológicos. As áreas urbana e expansão foram selecionadas com base na maior concentração de fontes potenciais à poluição e também por representar satisfatoriamente as Regiões de Planejamento Ambiental-RPA do Plano Diretor de Araraquara (ARARAQUARA, 2005). Do ponto de vista do meio natural, selecionou-se uma área geográfica representativa de todas as unidades geológicas que ocorrem na região. Outro fator relevante fundamenta-se nos dados bibliográficos disponíveis, como as pesquisas geológicas realizadas por Pejon (1988); Meaulo (2004 a, b); Meaulo et al. (2005) e Meaulo et al (2007).

Para a elaboração da base cartográfica da área de Araraquara foram utilizados os levantamentos planialtimétricos disponíveis, oriundos de pesquisas anteriores na escala 1:50.000 (MEAULO, 2004). A elaboração da base cartográfica na escala 1:25.000 foi confeccionada a partir de dados de campo e aprimorada com dados do Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Araraquara – DAAE. As atividades de campo envolveram o cadastramento de pontos de controle, a partir de um GPS (*Global Positioning System*) com altímetro e barômetro digitais. A partir da obtenção dos dados de campo e da base altimétrica do DAAE realizou-se uma interpolação entre as curvas de nível, resultando no mapa base para a área de estudo.

## **2.3 – Atividades de campo e o mapeamento geológico**

As atividades de campo objetivaram a obtenção dos dados primários dos meios natural e antrópico da área pesquisada. Os produtos desenvolvidos por meio dessas atividades são representados em documentos cartográficos específicos.

As atividades de campo basearam-se no aprimoramento e refinamento das informações dos meios natural e antrópico disponíveis na escala 1:50.000 (Meaulo, 2004; Meaulo et al.2006) e na transferência desses dados para a escala de trabalho de 1:25.000. Para realização dessa transferência de escala foram realizadas etapas de campo que culminaram no aumento significativo dos pontos estudados. A mudança de escala de trabalho resultou em uma significativa confiabilidade dos documentos cartográficos e conseqüentemente em um facilitador nas tomadas de decisão sobre o planejamento e a gestão ambiental. Outro fator relevante é a compatibilidade com a escala dos documentos do Plano Diretor do Município de

Araraquara. Em síntese, considera-se que a área de Araraquara possui atualmente um volume de dados satisfatório para a geração dos documentos cartográficos propostos.

O mapeamento geológico elaborado na escala 1:25.000 seguiu as técnicas de cartografia dos diferentes tipos de solos, sedimentos e rochas, além do levantamento de feições estruturais que contribuem para a percolação de fluídos nos aquíferos fraturados. Adicionalmente foram realizados ensaios granulométricos do “tipo conjunta” a fim de se conhecer a predominância do tamanho dos grãos que compõem os diferentes tipos de solos da área de estudo.

## **2.4 – Caracterização hidrogeológica**

A caracterização hidrogeológica contempla diversos objetivos específicos aplicados ao planejamento e à gestão ambiental de um determinado território. A base de dados utilizada para a construção do banco de dados da pesquisa está fundamentada em informações primárias (levantamento de campo) e secundárias (órgãos reguladores e pesquisas anteriores).

A fonte de dados direta se referem aos poços tubulares outorgados (cadastro Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo-DAEE) e os poços escavados (levantamento de campo). Em Araraquara, utilizaram-se, adicionalmente, os perfis geológicos dos poços do Departamento Autônomo de Água e Esgoto-DAEE. Nesse tipo de fonte de dados, as informações de interesse para o banco de dados são: profundidade do nível d'água; descrição do perfil geológico; aquífero explorado; entre outros. A partir de informações de campo elaboram-se três modelos conceituais para o aquífero livre (local) e um levantamento adicional das profundidades do nível d'água dos Bairros Ieda Norma e Chácara Flora.

Em síntese, para subsidiar a caracterização hidrogeológica foram utilizados métodos diretos e indiretos de análise, entre eles, ensaios de condutividade hidráulica *in situ*; sondagem de simples reconhecimento (fonte primária e secundária); e método geofísico da eletrorresistividade – sondagem elétrica vertical.

O tratamento das informações hidrogeológicas da área de estudo recebeu um aprimoramento a partir da utilização das análises estatística descritiva e espacial dos dados. A análise estatística descritiva permitiu o cálculo dos valores mínimos, médios e máximos, e a obtenção dos padrões de dispersão dos dados de condutividade hidráulica, nível estático e análise de vazão. Posteriormente, esses dados foram analisados utilizando-se a estatística espacial, que avalia a distribuição e comportamento dos dados na área de pesquisa. Para a

realização dessas análises empregou-se como instrumento básico de apoio, programas como o *Surfer* versão 8 da *Golden Software* e o *Geo-EAS* versão 1.2.1 (*Geostatistical Environmental Assessment Software*). As atividades finais da caracterização hidrogeológica visaram a elaboração de mapas da condutividade hidráulica e da superfície de tendência do aquífero livre da área de Araraquara.

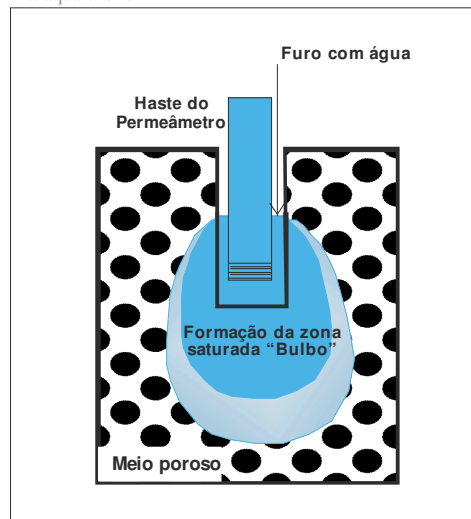
**a) Ensaios de condutividade hidráulica *in situ***

Considerando-se a condutividade hidráulica do solo como um parâmetro que traduz a facilidade com que a água se movimenta ao longo do perfil de solo. Pode ser entendida também como a taxa de infiltração de um fluido em um determinado meio poroso. Esse parâmetro também é denominado de coeficiente de permeabilidade (K). Existem diversas formas de se obter a condutividade hidráulica do solo, entretanto, nessa pesquisa optou-se em utilizar o Permeômetro de Guelph.

O Permeômetro Guelph é um equipamento que se opera em um furo no solo, empregando o Princípio de Mariotte (fornecimento de água sob carga hidráulica constante). O método envolve a medição da taxa de infiltração de água na zona não-saturada, a carga constante de água, dentro de um furo de dimensões conhecidas (6 cm de diâmetro e 60 a 80 cm de profundidade) realizado no solo.

Após estabilização do equipamento, que dependerá, dentre outros fatores, da umidade antecedente do solo e da sua textura, inicia-se a formação de uma área de saturação de água em torno do furo, denominada de bulbo (Figura 2), onde o fluxo passará a ser constante. A função do bulbo é simular à velocidade de percolação do fluido naquele meio poroso.





Fonte: Modificado SoilMoisture (1991).

Figura 2 – Exemplo hipotético da formação do bulbo.

A partir de uma formulação matemática, este valor de fluxo é utilizado no cálculo da permeabilidade. A recarga de água no furo, realizada pelo permeâmetro, está submetida a três tipos de fluxo: um de pressão radial ao longo das paredes e dois verticais na base, sendo o primeiro de pressão e o outro gravitacional. Ao considerar a variação destes fluxos ao longo da base e das paredes do furo, desenvolveu-se um método semi-analítico e numérico para a estimativa das propriedades do solo. Entretanto, para a aplicação deste método, torna-se necessário introduzir algumas considerações quanto à: meio poroso rígido, homogêneo e isotrópico; fluxo em equilíbrio constante; domínio de fluxo em um semi-espaço infinito.

Para os cálculos do coeficiente de permeabilidade, geralmente são feitos ensaios com duas cargas de pressão ( $H_1$  e  $H_2$ ). Nos ensaios realizados,  $H_1$  corresponde a altura de entrada de ar no equipamento igual a 5cm, cujo resultado é denominado de  $Q_1$  (vazão 1). O parâmetro  $Q_1$  obtém-se após estabilização da leitura no equipamento dividido por 60, tendo como unidade de medida cm/s. Esse procedimento encerra o primeiro conjunto de leituras. Posteriormente, repete-se esse mesmo procedimento para a altura de entrada de ar no equipamento igual a 10cm, obtendo-se  $Q_2$  (vazão 2). Com cada carga aplicada, se obtém as vazões ( $Q_1$  e  $Q_2$ ). O coeficiente de condutividade hidráulica *in situ* ( $K$ ) pode ser obtido por uma das seguintes expressões:

I (utilizando-se os reservatórios interno e externo do equipamento):

$$K = \{ \{ (0,0041)(35,22\text{cm}^2)(Q_2/60) \} - \{ (0,0054)(35,22\text{cm}^2)(Q_1/60) \} \} = \text{Em cm/s}$$

II (utilizando-se o reservatório interno do equipamento):

$$K = \{ \{ (0,0041)(2,15\text{cm}^2)(Q_2/60) \} - \{ (0,0054)(2,15\text{cm}^2)(Q_1/60) \} \} = \text{Em cm/s}$$

Caso seja necessária a conversão dos valores de permeabilidade de cm/s para:

- cm/h: multiplica-se 3600;
- m/dia: multiplica-se 864.

O equipamento utilizado para obter os dados de condutividade hidráulica, através dos ensaios de permeabilidade *in situ* foi o Permeômetro de Guelph, Modelo 2800 KI.

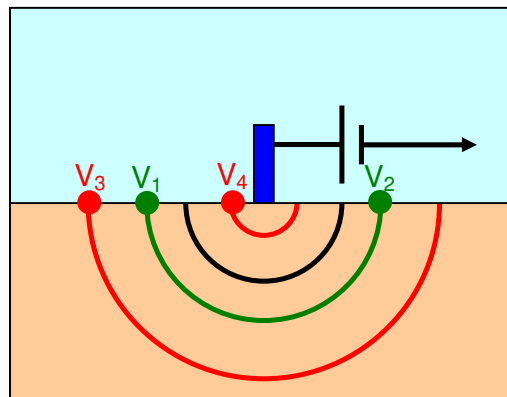
### b) Método geofísico da eletrorresistividade – Sondagem Elétrica Vertical-SEV

No método da eletrorresistividade, quanto maior for a distância entre os eletrodos, maior será a profundidade teórica de investigação, pois maior é o volume englobado pelas linhas equipotenciais (linhas e pontos vermelhos na Figura 3).

A resistividade é dada pela seguinte expressão:

$$\rho = (2 \cdot \pi \cdot r \cdot V) / I$$

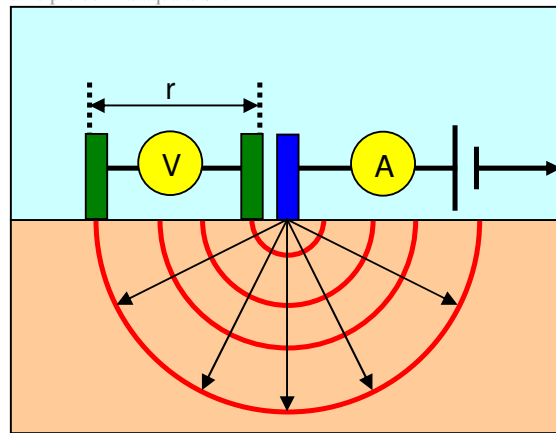
onde  $\rho$  é a resistividade do material ( $\Omega\text{m}$ ),  $V$  é potencial medido ( $\Omega$ ),  $I$  é a corrente medida (A) e  $r$  é a distância entre o eletrodo (estacas) de corrente (m) e o ponto onde é feita a medida (relação geométrica).



Fonte: Modificado de Braga (2001).

Figura 3: Diferença de potencial entre duas linhas equipotenciais.

Portanto, conforme ilustrado na Figura 4, para realizar uma medida da resistividade no meio geológico, considerando-o homogêneo (simplificação do método de análise) deve-se: conectar o eletrodo de corrente (azul) a uma bateria e medir a intensidade da corrente  $I$  que é injetada no solo, através de um amperímetro (A); cravar dois eletrodos de potencial (verdes, um próximo ao eletrodo de corrente e o outro mais afastado, a uma distância  $r$ ), ligá-los a um voltímetro (V) e medir a diferença de potencial  $\Delta V$  entre eles; calcular a resistividade  $\rho$ , utilizando-se a equação:  $\rho = (2 \cdot \pi \cdot r \cdot V) / I$



Fonte: Modificado de Braga (2001).

Figura 4: Procedimento para medição da resistividade do solo de um semi-espaço.

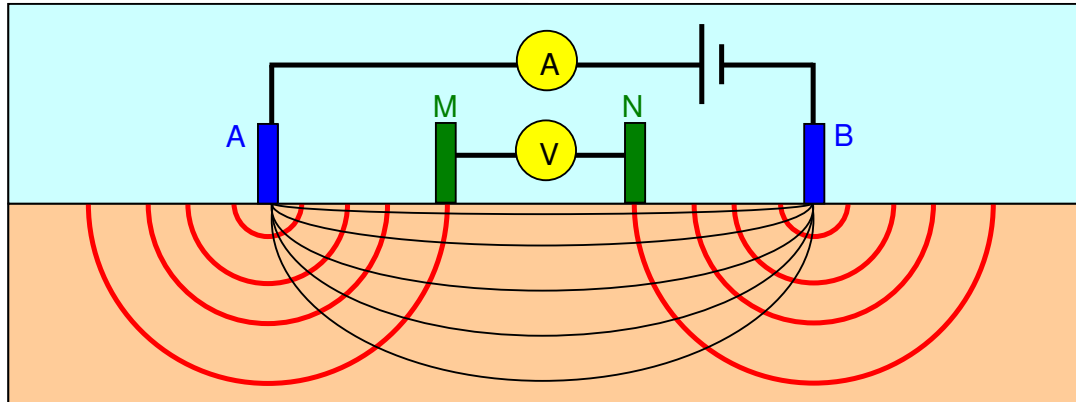
Em linhas gerais, os equipamentos atuais que medem a resistividade dos materiais, os resistivímetros, fornecem o valor final da resistividade aparente, dispensando os cálculos matemáticos. Entretanto, as relações geométricas dos eletrodos em campo são fundamentais para se obter uma informação de boa qualidade.

Os procedimentos para aquisição dos dados em campo são relativamente simples. Para tanto, coloca-se dois eletrodos de potencial M e N (verdes), fixos, ao centro, e dois eletrodos de corrente A e B (azuis), nas extremidades, fechando o circuito. As linhas de fluxo de corrente (pretas), que antes eram radiais (como na Figura 4), agora fazem um caminho curvo (trajetória similar a uma meia elipse) entre os dois eletrodos. A Figura 5 ilustra o descrito. Para a localização do ponto de estudo da sondagem elétrica vertical utiliza-se o ponto central entre o segmento dos eletrodos MN.

O método para medida da resistividade em campo é baseado na capacidade que o instrumento tem de injetar corrente no solo, através de diferentes espaçamentos dos eletrodos de corrente A e B, medindo a diferença de potencial que ocorre entre os eletrodos M e N, obtendo-se a resistividade do meio geológico em diferentes profundidades.

Os principais arranjos para medida da resistividade são constituídos de quatro eletrodos: dois eletrodos de corrente e dois eletrodos de potencial, como ilustrado na Figura 5.

Nessa configuração, a diferença de potencial entre os eletrodos M e N pode ser determinada da seguinte maneira:



Fonte: Modificado de Braga (2001).

Figura 5: Método para a medição da resistividade do meio geológico.

- considerando que os substratos constituem um meio homogêneo e isotrópico, o potencial no eletrodo M será dado por:  $V_M = (I \cdot \rho) / (2 \cdot \pi) \cdot [(1/AM) - (1/BM)]$
- o potencial no eletrodo N será dado por:  $V_N = (I \cdot \rho) / (2 \cdot \pi) \cdot [(1/AN) - (1/BN)]$
- portanto, a diferença de potencial  $\Delta V$  entre os eletrodos M e N pode ser obtida através de:

$$\Delta V_{MN} = V_M - V_N$$

$$\Delta V_{MN} = (I \cdot \rho) / (2 \cdot \pi) \cdot [(1/AM) - (1/BM) - (1/AN) + (1/BN)]$$

As variáveis AM, BM, AN e BN correspondem à distância entre os eletrodos em questão, configurando-se uma relação geométrica característica do arranjo.

A resistividade elétrica é uma das propriedades fundamentais dos diferentes tipos litológicos presentes no ambiente geológico, e serve para caracterizar seus estados, em termos de alteração, fraturamento, saturação, interpretação de litotipos, sem necessidade de escavações físicas, que geralmente oneram a pesquisa e prolongam o cronograma de execução das atividades (Braga, 2001).

Existem dois tipos de mecanismos de condução de corrente elétrica pelo solo: a condução eletrônica (ocorre através de elétrons livres presentes em minerais metálicos) e a condução eletrolítica ou iônica (devido ao deslocamento de íons presentes na água contida em fissuras e porosidades do solo e das rochas) (Souza et al, 1998). Esse último mecanismo, em especial, é de grande interesse para estudos hidrogeológicos e meio ambiente. De acordo com o tipo de material investigado, existem quatro fatores que afetam os mecanismos de condução: composição mineralógica, porosidade, teor de água e quantidade e natureza dos sais dissolvidos. Devido a esses fatores, as rochas e/ou sedimentos de mesma litologia podem apresentar diferentes valores de resistividade. Também podem influenciar os mecanismos o tamanho dos grãos, o metamorfismo e os efeitos tectônicos aplicado nos materiais.

Uma das formas de identificar os componentes do meio geológico é através dos valores de resistividades, medidos através de uma Sondagem Elétrica Vertical - SEV. O Quadro 1 apresenta as principais faixas de variações freqüentes nos valores de resistividade para alguns tipos de sedimentos e rochas. Esses valores são orientativos e podem variar significativamente em função dos fatores que influenciam os mecanismos de condução da corrente elétrica.

Sabe-se que o substrato geológico e o pedológico são ambientes que se caracterizam como meios heterogêneos. Neste sentido, entende-se que a diferença de potencial  $\Delta V$  medida (em campo) será diferente do valor obtido para um meio homogêneo, resultando em alterações do campo elétrico em função dessa heterogeneidade. Portanto, a resistividade medida é dita como aparente por se tratar de uma média ponderada sobre todos os valores de resistividade verdadeira lidos em um meio heterogêneo.

<b>Tipo Litológico</b>		<b>Resistividade (<math>\Omega.m</math>)</b>
Zona não-saturada		100 a 30000
Zona saturada	Argiloso	$\leq 20$
	Argilo-arenoso	20 a 40
	Areno-argiloso	40 a 60
	Siltito Argiloso	10 a 60
	Siltito Arenoso	
	Arenoso	$\geq 60$
	Argilito	10 a 20
	Arenito	80 a 200
Basalto/ Diabásio		200 a 500
Calcário		500 a 1000
Granito/ Gnaisse		3000 a 5000

Fonte: Modificado de Braga, (2001).

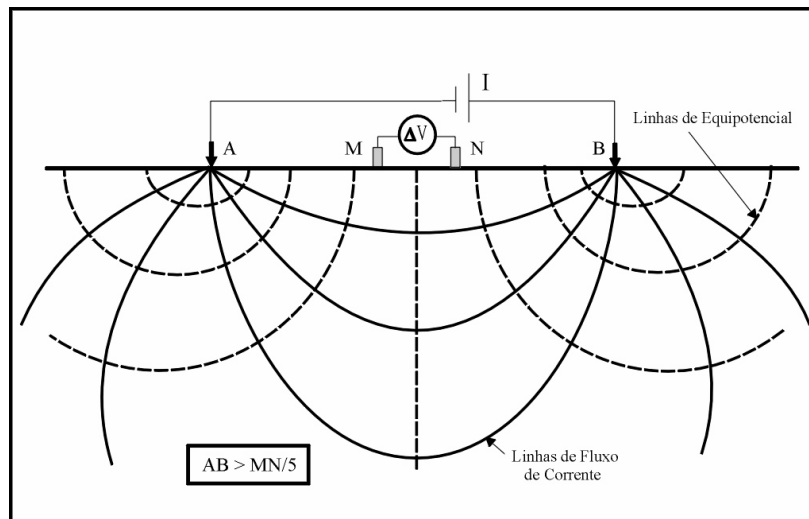
Quadro 1: Valores de resistividade de alguns tipos litológicos principais.

Para efeito de cálculos, pode-se considerar que os substratos constituem-se em um meio homogêneo e isotrópico; a partir dessa consideração pode-se determinar a resistividade aparente  $\rho_a$  através da relação (Souza et al, 1998):  $\rho_a = K(\Delta V/I)$  onde K corresponde ao fator geométrico característico para cada arranjo dos eletrodos. De modo geral, pode-se definir K como:  $K = 2\pi / [(1/AM) - (1/BM) - (1/AN) + (1/BN)]$

A unidade de medida da resistividade aparente, do mesmo modo que a resistividade, é dada por ohm.m ( $\Omega.m$ ).

Das técnicas disponíveis para os estudos de eletrorresistividade, optou-se pela Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e arranjo Schlumberger, pois o objetivo da investigação vertical é obter as variações de um parâmetro físico em função da profundidade, efetuadas na superfície do terreno a partir de um ponto fixo, denominadas de investigações verticais-pontuais (Braga, 2001).

Em síntese, tem-se em campo o seguinte cenário: os eletrodos de potencial M e N permanecem fixos no centro do arranjo (origem da SEV e anotação da coordenada geográfica), enquanto que os eletrodos de corrente A e B, nas extremidades, apresentam uma separação crescente em relação ao ponto de origem. Desse modo, a distância de separação MN tende à zero em relação à distância de separação AB, tornando os erros dos dados obtidos em campo praticamente insignificantes. Para minimizar esse erro, adota-se que as distâncias entre os eletrodos de corrente devem ser 5 (cinco) vezes maiores, ou iguais, às distâncias para os eletrodos de potencial ( $AB \geq 5MN$ ) (Souza et al, 1998). A Figura 6 ilustra esse arranjo Schlumberger.



Fonte: Caparica et al, 2006.  
Figura 6: Arranjo Schlumberger.

Segundo Braga (2001), no desenvolvimento de uma SEV (arranjo Schlumberger), ao aumentar-se o espaçamento entre os eletrodos AB ( $MN=fixo$ ), o valor de  $\Delta V$  diminui rapidamente, podendo atingir valores imprecisos. Uma das maneiras de se manter o  $\Delta V$  com

valor adequado para a aquisição de dados podem ser realizados a partir do aumento da intensidade da corrente (I); entretanto, existe uma limitação operacional de cada tipo de equipamento. Alternativamente, em campo, utiliza-se uma situação de contorno denominada de embreagem.

A finalidade da operação embreagem é minimizar eventuais imprecisões de leitura e maximizar a qualidade da obtenção dos dados. Os procedimentos de campo para a realização desta operação são: tomam-se duas medidas de resistividade aparente, mantendo-se A e B fixos; efetiva-se uma medida com a distância de separação entre os eletrodos de potencial M e N inicial e outra medida com a distância MN aumentada. Após essas duas leituras, continua-se a série de medidas com MN aumentada até que seja novamente necessário realizar uma nova operação de embreagem.

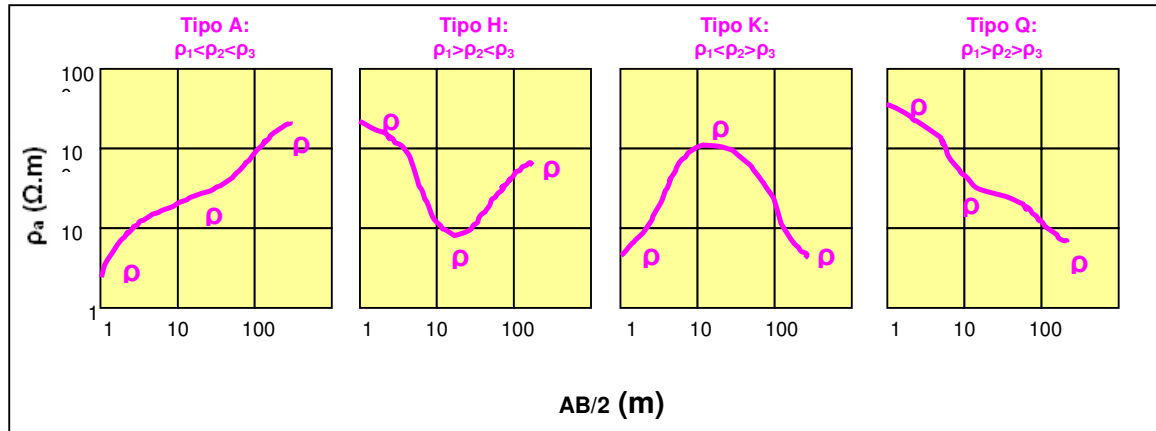
O resultado deste procedimento da operação embreagem no tratamento dos dados (plotagem dos pontos para a construção da curva de campo) se configura em linhas que mantêm trajetórias paralelas. Caso essa verificação não se aplique aos dados obtidos, deve-se voltar ao ponto original de divergência das curvas de campo e repetir o procedimento operacional. Outro fator operacional que pode ocorrer neste tipo de procedimento é a checagem física das conexões dos eletrodos.

Os dados de resistividade aparente de cada SEV obtido em campo são representados por meio de uma curva bilogarítmica em função das distâncias entre os eletrodos correspondentes ( $AB/2$ ). Durante as atividades de campo, sugere-se estabelecer um espaçamento de  $AB/2$  relativamente pequenos nas primeiras leituras até atingir  $AB/2=40/50m$ , posteriormente essa relação geométrica entre os eletrodos pode ser aumentada em distâncias superiores a 10m (na prática terá pouca interferência da configuração do padrão das curvas de campo). Ressalta-se que essa constatação é válida para o objetivo da aplicação da ferramenta e em razão das características locais dos materiais da área de estudo.

Segundo Orellana (1972) os padrões das curvas de campo podem ser agrupados em função da relação entre os valores obtidos de cada camada geolétrica. Considerando um substrato constituído de três camadas geolétricas, pode-se dividir as curvas de campo obtidas em 4 (quatro) tipos diferentes (Figura 7), de acordo com a resistividade aparente de cada camada, como segue: Tipo A:  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ ; Tipo H:  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ ; Tipo K:  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ ; Tipo Q:  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$ .

Essa classificação pode ser expandida para substratos com mais de três camadas, onde cada segmento da curva de campo configura-se uma camada, resultando em uma nomenclatura combinada, ou seja, KH:  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$ ; Tipo QH:  $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$ .

A partir da suavização e análise da morfologia das curvas de campo, gera-se um modelo geoeletrico preliminar, onde são reconhecidos os estratos geoeletricos. Vale ressaltar que esses estratos não refletem e/ou são conhecedentes aos estratos geológicos.



Fonte: Meaulo, et al. (2007).

Figura 7: Exemplos hipotéticos dos quatro principais tipos de curvas de campo.

Com a finalidade de aprimorar o modelo geoeletrico inicial se utiliza programas computacionais que simplificam e agilizam o processamento dos dados e determinação da curva de campo. Neste projeto de pesquisa optou-se em utilizar o *software* livre Interpex (2005), versão IX1D2.13, desenvolvido pela Interpex Limited (USA). Utilizou-se também Res2dinv 3.53g versão semi-demonstrativa (Geotomo Software, 2002), o qual fornece um modelo 2D do subsolo (pseudo-seção). Após a utilização dos *softwares* são gerados novos modelos geoeletricos, através da inversão dos dados de resistividade obtidos a partir do tratamento das informações dos ensaios em campo.

O modelo fornecido pelo programa é comparado com os padrões de curva de campo analógico. Para se obter o modelo geoeletrico final é necessário observar os dados geológicos e hidrogeológicos disponíveis. De posse dos dados interpretados é possível determinar o nível d'água subterrânea (NA), o topo do substrato rochoso e a distribuição espacial da resistividade no subsolo. O produto das informações geofísicas é aplicado no aprimoramento da confecção dos mapas geológico e hidrogeológico.

### c) Sondagem de simples reconhecimento

As informações referentes às sondagens de simples reconhecimento são oriundas de vista processual junto à CETESB (Resolução SMA N°66 de 17/12/76. Art. 1° - §1°). Outra fonte de dados foi obtida a partir de visitas técnicas em obras de engenharia que estavam em



fase de elaboração da fundação das edificações. Essas visitas foram realizadas concomitantemente às demais atividades de campo na área de pesquisa.

As principais informações extraídas dos perfis das sondagens basearam-se na identificação do litotipo, relações de contato entre as formações geológicas e em alguns casos a determinação da espessura do solo e da profundidade do nível d'água do aquífero livre. Em geral, a profundidade das sondagens não ultrapassava 20m. O produto obtido a partir das informações de sondagem foi aplicado na construção das seções geológicas, mapa geológico e mapa hidrogeológico.

## **2.5 – Levantamento das fontes potenciais e/ou efetivas de poluição**

O levantamento de fontes potenciais e/ou efetivas de poluição refere-se à identificação, georreferenciamento e localização de empreendimentos (atividades econômicas) potencialmente poluidor na área de estudo. O propósito deste tipo de levantamento é também de contribuir com órgão regulador no atendimento das recentes legislações que tratam as questões de perímetros, restrição e áreas de controle para instalação de novos empreendimentos (Deliberação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos N°052 de 15 de abril de 2005). Esse tipo de levantamento é de extrema importância para compor os instrumentos de planejamento e gestão de um território.

Os dados das fontes potenciais de poluição foram utilizados como atributos de caracterização das unidades de planejamento ambiental previstas no Plano Diretor do Município de Araraquara (SP).

## **2.6 - Levantamento do valor imobiliário territorial de Araraquara-SP**

O levantamento do valor imobiliário territorial da área de pesquisa foi baseado em um sistema de entrevistas com corretores de imóveis de empresas do município de Araraquara-SP, bem como a partir do monitoramento do preço de venda de terrenos e imóveis, por meio de classificados de jornais de abrangência local. O sistema de entrevista é intensamente difundido na área de ciências humanas. Porém esta prática é utilizada, também nas Ciências Naturais, geralmente, quando há necessidade de se levantar e conhecer o histórico de uma área urbana antes da instalação de empreendimentos públicos e privados e/ou outras obras estruturais.

As entrevistas junto aos corretores de imóvel podem ser caracterizadas como do tipo indicativas, ou seja, foram apresentadas regiões pré-definidas pelo autor. Posteriormente, buscou-se aprimorar o agrupamento inicial proposto, culminando na definição das seguintes regiões da cidade: região central, bairros consolidados de alto padrão, bairros consolidados de médio padrão, bairros periféricos, áreas industriais e área de expansão urbana. O primeiro questionamento aos entrevistados foi referente à setorização, em relação ao valor da terra, que os corretores utilizam no cotidiano para indicar em linhas gerais, onde estão localizadas as áreas nobres, de expansão e populares.

No município de Araraquara participaram das entrevistas os corretores das seguintes imobiliárias: Imobiliária Chalu, Imobiliária Jeremias Borsari e Organização Magdalena.

## **2.7 – Determinação da vulnerabilidade natural de aquíferos**

O método de mapeamento da vulnerabilidade natural à poluição de aquíferos consiste na hierarquização de índices relativos à maior ou menor sensibilidade à poluição da zona não-saturada (zona vadosa ou de aeração) do perfil pedológico (FOSTER et al., 2002). É citado na literatura como “Método GOD”.

Os mapas de vulnerabilidade natural à poluição combinam diferentes categorias de informações, que por sua vez, consideram as propriedades e/ou capacidade de proteção que cada tipo de material geológico apresenta ante os diversos tipos de poluentes. Por exemplo, pode-se considerar como capacidade protetora de um solo sobre um aquífero - sorção, filtrabilidade, decomposição, condutividade hidráulica - e relacioná-las a um poluente específico. Em outras palavras, as classes de vulnerabilidade são unidades que mensuram, de forma comparativa e relativa, a capacidade atenuadora da zona não-saturada.

O mapeamento da vulnerabilidade pode ser desenvolvido em diversas escalas de interesse (estadual e/ou municipal), de acordo com o tipo de aplicação que será dado para o documento cartográfico. Sugere-se que para os estudos de planejamento municipal sejam utilizadas escalas de trabalho a partir de 1:50.000 ou maiores. Definida a escala de trabalho, o mapa de vulnerabilidade natural pode nortear e/ou contribuir para o planejamento urbano, auxiliando e disciplinando as diversas formas de intervenção antrópica no meio físico (instalação de indústrias de porte, aterros sanitários, sistemas de saneamento, entre outros). Nesta pesquisa o mapa de vulnerabilidade natural será confeccionado na escala de trabalho 1:25.000.

O método de mapeamento da vulnerabilidade natural desenvolvido por Foster e Hirata (1988) e aprimorado por Foster et al. (2002), se fundamenta nos mecanismos de recarga da água subterrânea e na capacidade natural dos materiais que compõem os estratos da zona não-saturada em atenuarem fluidos, que varia em função das condições geológicas superficiais e das profundidades do nível d'água subterrânea. Vale informar que as principais diferenças entre o método desenvolvido em 1988 e 2002 estão presentes em Meaulo et al. (2005b).

Esses últimos autores sugerem que o mapeamento deve ser elaborado a partir das características intrínsecas dos materiais naturais. Tendo em vista a complexidade dos fatores que governam o transporte de poluentes nos aquíferos, em qualquer situação, tornam-se necessárias algumas considerações: as condições hidrogeológicas são muito complexas para serem limitadas por mapas (sistema de avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos). Nesses casos seria mais lógico focar cada atividade poluente individualmente e avaliá-la independentemente do risco à poluição gerado.

O método de mapeamento da vulnerabilidade natural de aquíferos não deve ser entendido como um manual de consulta, que estabelece todas as variáveis existentes para manejar as atividades potencialmente poluidoras, e as diversas e complexas condições hidrogeológicas.

Por outro lado, os mapas de vulnerabilidade são instrumentos para adoção de ações preventivas e são orientativos para subsidiar o planejamento do uso e ocupação do solo, na medida em que neles são definidas áreas de maior e/ou menor susceptibilidade à poluição antrópica.

Em síntese, o conceito e aplicação do Método GOD (FOSTER et al., 2002) podem ser expressos por dois fatores hidrogeológicos que controlam a vulnerabilidade natural: a) inacessibilidade hidráulica da zona não-saturada; b) capacidade de atenuação da zona não-saturada. O Quadro 2 resume esses fatores.

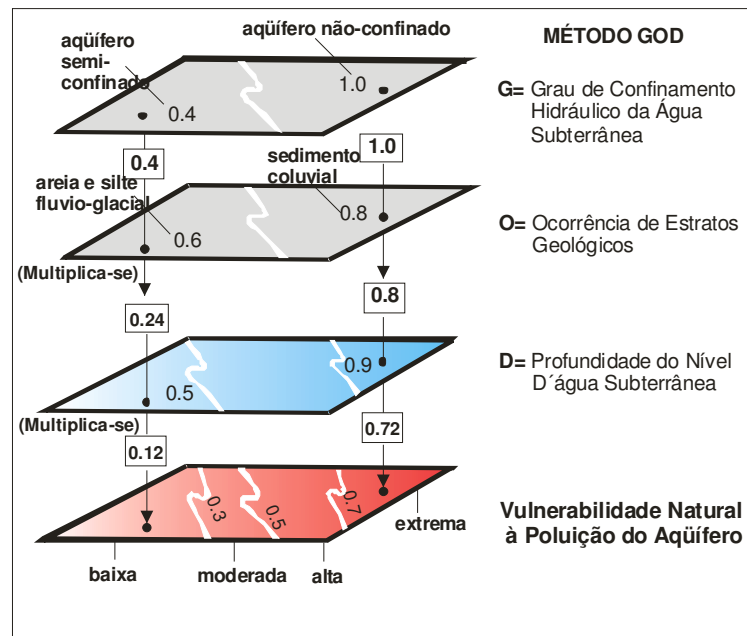
O método de mapeamento da vulnerabilidade natural de aquíferos, utilizado no presente trabalho, possui a denominação na língua inglesa de GOD, onde: Groundwater hydraulic confinement= G; Overlaying strata= O; Depth to groundwater table= D. Na língua portuguesa pode-se entender que a sigla corresponde: G= grau de confinamento hidráulico da água subterrânea; O= ocorrência de estratos geológicos e grau de consolidação da zona não-saturada ou camadas confinadas; D= profundidade do nível d'água subterrânea.

<b>Atributos Condicionantes da Vulnerabilidade</b>	<b>Dados hidrogeológicos</b>		
	<b>Informações ideais requeridas</b>	<b>Informações normalmente disponíveis</b>	<b>Informações disponíveis na presente pesquisa</b>
Inacessibilidade hidráulica da zona não-saturada, para a penetração de poluentes.	Grau de confinamento do aquífero.	Tipo de confinamento da água.	Delimitação da superfície do aquífero livre, através de poços escavados e sondagens de simples reconhecimento.
	Profundidade do N. A. ou superfície freática.	Profundidade do nível d'água ou topo do aquífero confinado.	Profundidade do N. A. e elaboração do mapa da superfície de tendência do N.A.
	Umidade da zona não-saturada e condutividade hidráulica vertical do estrato na zona não-saturada ou camadas confinadas.	-	-
Capacidade de atenuação da zona não-saturada, resultando na retenção e/ou reação físico-química dos poluentes.	Granulometria e distribuição das fissuras no estrato da zona não-saturada ou camadas confinadas.	Grau de consolidação/ fissuras no estrato.	Mapeamento geológico: caracterização mineralógica da zona não-saturada e elaboração de critérios de campo para diferenciar os tipos de coberturas.
	Mineralogia do estrato da zona não-saturada ou camadas confinantes.	Características litológicas deste estrato.	

Fonte: Modificado de Foster et al. (2002).

Quadro 2 – Fatores hidrogeológicos que controlam a vulnerabilidade à poluição do aquífero.

A Figura 8 ilustra a espacialização dos atributos mencionados que compõem o Método GOD. As classes de vulnerabilidade natural de aquíferos variam de desprezível à extrema, sendo que a nomenclatura de cada classe possui caráter restritivo, refletindo a sensibilidade natural das características dos estratos geológicos e pedológicos na zona não-saturada e das condições hidrogeológicas do aquífero (ocorrência e profundidade do nível d'água subterrânea), conforme apresentado no Quadro 3.



Fonte: modificado de Foster et al. (2002).

Figura 8 – Cálculo hipotético para a confecção do mapa de vulnerabilidade natural à poluição do aquífero usando o Método GOD.

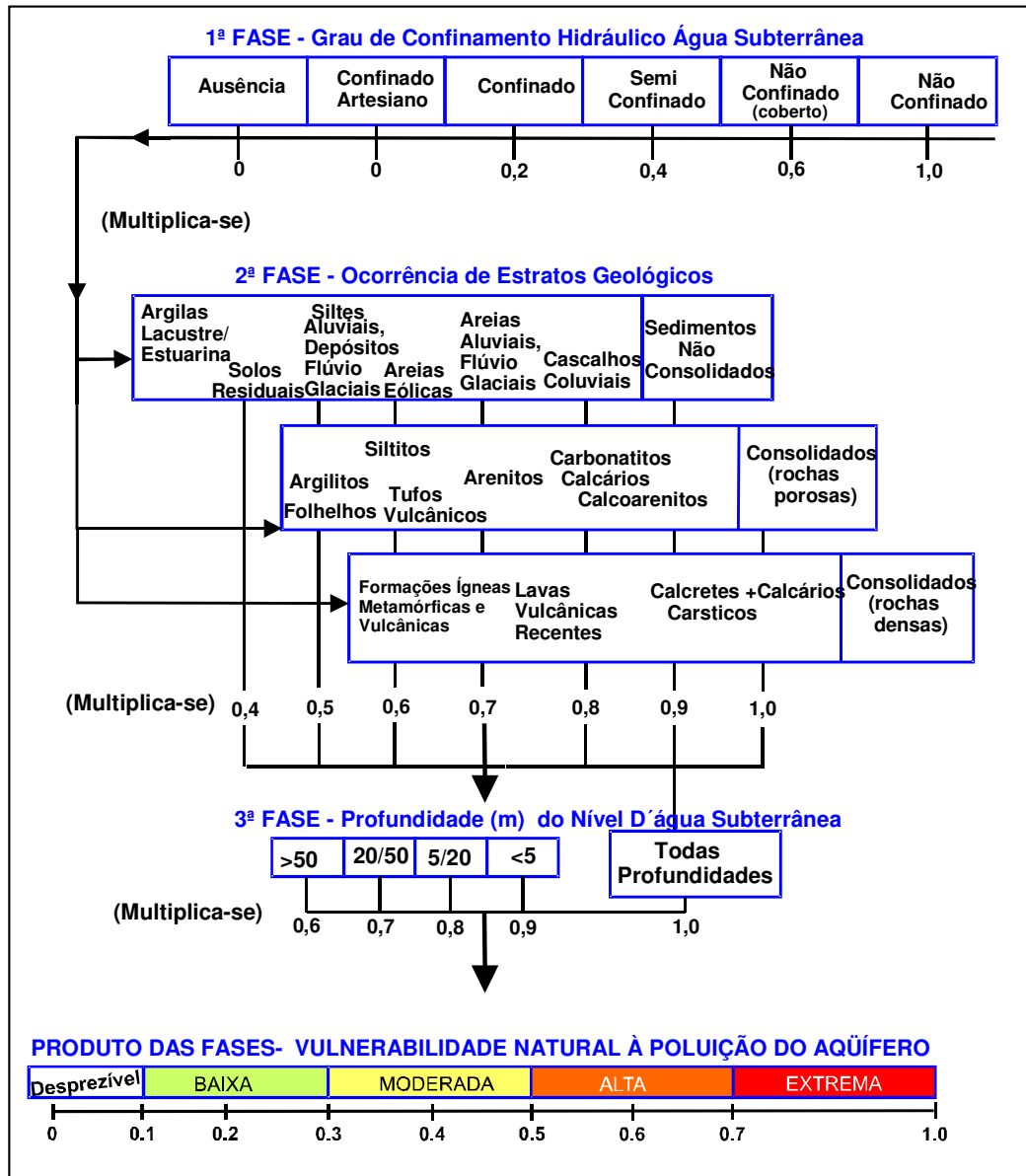
Classes de Vulnerabilidade	Definição Correspondente
Extrema	Imprescindível à realização de estudos qualitativos e quantitativos de detalhe (ensaios laboratoriais e geofísicos) para as intervenções antrópicas.
Alta	Necessário realizar estudos qualitativos e quantitativos (geofísicos) que identifiquem as condições hidrogeológicas locais.
Moderada	Apresenta capacidade atenuadora mais eficaz que as classes alta e extrema. Necessário realizar estudos de detalhe qualitativos e específicos para cada tipo de empreendimento.
Baixa	Necessários estudos de detalhe qualitativos para cada tipo de empreendimento.
Desprezível	Presente em camadas confinadas com insignificante fluxo subterrâneo vertical.

Fonte: Modificado de Foster et al. (2002).

Quadro 3 - Classes de vulnerabilidade natural de aquíferos e definições correspondentes.

O sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero está subdividido em três fases interligadas e sucessivas: 1ª Fase: identificação do tipo e grau de confinamento hidráulico da água subterrânea, apresentados num intervalo de 0 – 1,0; 2ª Fase: consiste na ocorrência e caracterização geológica da zona não-saturada, representada numa escala de 0,4 – 1,0; 3ª Fase: determinação da profundidade do nível d'água, exibido numa escala 0,6 – 1,0; Produto das Fases: o produto dos três parâmetros é o índice de vulnerabilidade natural à

poluição do aquífero, expresso numa escala de 0,1 – 1,0, em termos relativos. A Figura 9 ilustra o Método GOD (FOSTER et al. 2002).



Fonte: modificado de Foster et al. 2002.

Figura 09 – Sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural à poluição do aquífero, Método GOD.

Andersen e Gosk (1989) citam que as principais limitações associadas aos tipos de mapeamento aplicado à vulnerabilidade, estão relacionadas às escalas dos mapas, universo dos poluentes e o cenário no qual poluente está inserido.

Ocorrem também outras considerações sobre as condições hidrogeológicas limitadoras na aplicação do sistema de avaliação da vulnerabilidade natural à poluição do aquífero, quais

sejam: presença de cursos d'água superficiais indefinidos (permanentes ou intermitentes); incertezas na avaliação das suas condições hidrológicas; qualidade da água e da capacidade de atenuação dos estratos da zona não-saturada (principalmente na indicação das seções potenciais influentes dos cursos que cruzam os aquíferos livres); excessiva exploração do aquífero com propósito de abastecimento e conseqüente variação da profundidade do nível d'água subterrânea e, que também, pode variar o grau de confinamento do aquífero, fraturamento de sedimentos argilosos compactados que geralmente significam incertezas sobre a magnitude de qualquer componente de fluxo preferencial e aplicação em aquíferos fissurados (fraturados) (FOSTER et al., 2002).

## **2.8 – Integração das informações do meio natural e antrópico com o Plano Diretor Municipal de Araraquara-SP**

A Lei do Plano Diretor regulamenta a atuação da gestão municipal com respeito à ordenação de seu território, preconizado no Estatuto da Cidade, Lei 10.257/2001. A finalidade principal dessa etapa de trabalho é diagnosticar a situação técnico-legal do município de Araraquara, perante as leis que tratam da estrutura ambiental e de recursos hídricos do território, em especial, as que elegem as bacias hidrográficas como unidade básica de planejamento.

Foram realizadas no município campanhas de campo que constaram de reuniões técnicas com os grupos diretivos, conselhos deliberativos e secretariado, todos engajados no desenvolvimento e aplicação do Plano Diretor. Realizou-se também um reconhecimento expedito *in loco* a fim de vivenciar a implicação e as diretrizes de implementação dos instrumentos de ordenação urbanística previsto no Plano Diretor. Essa atividade foi fundamental para o entendimento da dinâmica do território e apontou onde os documentos cartográficos gerados nessa pesquisa podem fornecer subsídios de forma significativa na tomada de decisão dos gestores públicos e privados.

## **2.9 – Confeção dos documentos cartográficos temáticos**

Para a confeção dos documentos cartográficos temáticos, referente aos Anexos 1 a 6, foi utilizada a base cartográfica digital, conforme descrita no item 2.2 deste capítulo. O banco de dados utilizado para a construção dos documentos é oriundo de pesquisas de campo (dados primários) e a partir de informações secundárias (bibliografias/publicações).

## **CAPÍTULO 3 – RESULTADOS OBTIDOS**

No presente capítulo é apresentado e discutido as informações resultantes do cumprimento sistemático das metodologias e das etapas de trabalho propostas nessa tese de doutoramento.

### **3.1 – Área de estudo**

A caracterização da área de estudo em Araraquara está subsidiada por 929 informações referentes ao meio natural e ao meio antrópico (ANEXO 1). Essas informações são oriundas de investigações primárias de aquisição de dados e secundárias, cujas pesquisas estão fundamentadas em artigos, publicações de revistas e outros trabalhos científicos.

#### **3.1.1 – Caracterização geológica**

A caracterização geológica da área de Araraquara está abalizada por aspectos relacionados aos contextos regional e local. O contexto regional está apoiado em diversas publicações oriundas de artigos, revistas especializadas, dissertações e teses, tendo como finalidade principal dar subsídio à contextualização da geologia local da área de estudo. Com base nas diversas observações extraídas do contexto regional, é possível afirmar que certas feições da geologia (superfície e subsuperfície) foram também caracterizadas na escala local (1: 25.000).

O contexto da geologia local fundamentou-se em pesquisas geológicas anteriores desenvolvidas em escalas compatíveis ao escopo da pesquisa (PEJON, 1988; MEAULO, 2004; MEAULO et al., 2005; PERRONI et al., 2007-*no prelo*) e de diversas campanhas de campo (ANEXO 1) realizadas durante o desenvolvimento dessa pesquisa, entre elas, o mapeamento geológico da porção noroeste da Folha Araraquara e porção sudoeste da Folha Rincão, na escala 1:25.000 (ANEXO 2A; 2B; 2C e 2D).

##### **3.1.1.1 – Geologia regional**

A Bacia Sedimentar do Paraná é caracterizada como do tipo intracratônica, desenvolvida sobre crosta continental e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas. Corresponde ao produto de processos tectono-sedimentares, apresentando condições para que



ocorra a deposição, o empilhamento sedimentar, os hiatos de deposição e os eventos erosivos. A implantação desta Bacia ocorreu no Neo-Ordoviciano (MILANI, 1997).

Segundo Milani et al. (1998) a Bacia do Paraná é subdivida em seis supersequências: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As condições de Bacia intracratônica iniciam-se durante a deposição da Supersequência Gondwana I que culminou a partir do desenvolvimento de campos de dunas eólicas, as quais marcam o final do Jurássico. Segundo Milani (2004), durante o Eocretáceo, ocorreram rupturas do Paleocóntinente Gondwana marcadas por derrames de lavas basálticas de espessuras superiores a 1800 m (Formação Serra Geral), quando ainda prevaleciam condições desérticas (Deserto Botucatu). Posteriormente, no Neo-Cretáceo, representado pelo clima semi-árido e deposição da cobertura sedimentar da Supersequência Bauru (Grupo Bauru). Existem registros no Grupo Bauru evidenciando que a espessura dos sedimentos pode atingir 300 a 400m (SOARES et al., 1980). O adelgaçamento dos sedimentos do Grupo Bauru, de oeste para leste, resulta em uma espessura dessa unidade na área pesquisa de aproximadamente de 50-60m.

Com base na evolução da Bacia Sedimentar do Paraná (MILANI et al. 1998), apresenta-se uma descrição sumária das unidades geológicas representativas da área de estudo de Araraquara, resultando em um documento que norteou as atividades de campo durante o mapeamento geológico local (1:25.000; ANEXO 2A).

A Figura 10 exhibe a distribuição das unidades geológicas maiores no Estado de São Paulo e apresenta a coluna litoestratigráfica (MILANI, 2004 e RICCOMINI et al., 2004), destacando as unidades da área de estudo: Formação Botucatu; Formação Serra Geral; Grupo Bauru (Formação Adamantina); Sedimentos Cenozóicos.

### **Formação Botucatu**

Segundo Aguiar e Gandolfi (1996), o conhecimento das unidades litoestratigráficas do Grupo São Bento (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Grupo Bauru, deve-se a diversos trabalhos de mapeamento regionais e localizados, sobretudo, os de Almeida et al. (1981) e DAEE (1974).

Estratigraficamente, a Formação Botucatu está posicionada entre as formações Pirambóia (sotoposta) e Serra Geral (sobrepota). A Figura 10 ilustra a relação estratigráfica entre as formações e apresenta a distribuição das unidades geológicas no Estado de São Paulo. A relação estratigráfica basal da Formação Botucatu com a Formação Pirambóia (sotoposta) é

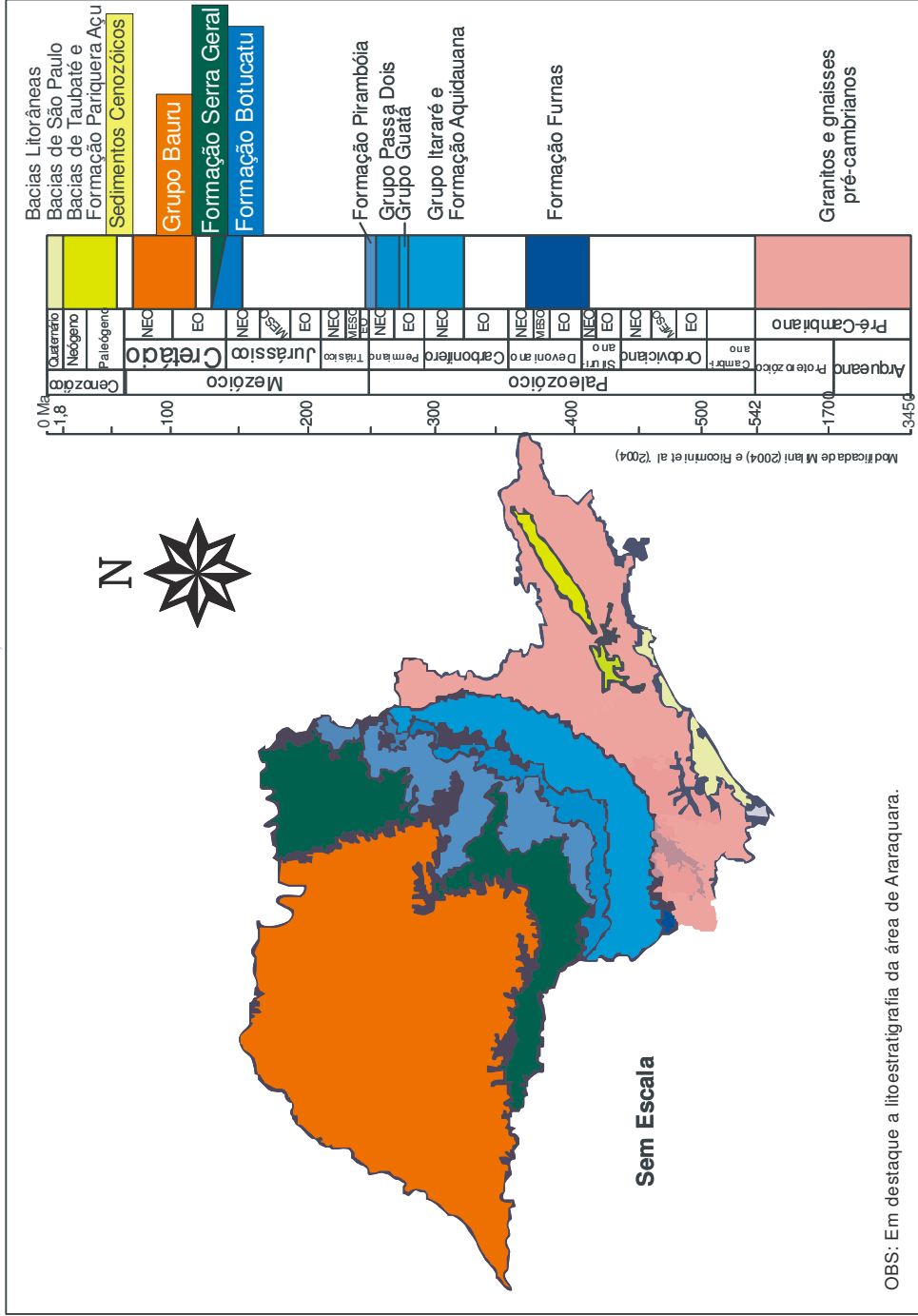
caracterizada por uma superfície de significativa mudança textural, de estrutura e de cor, configurando-se uma superfície regional de inconformidade (WU e CAETANO-CHANG, 1992) e caracterizada por uma acentuada assinatura Geofísica observada em poços tubulares.

Segundo Milani (1997) essa inconformidade corresponde a um hiato deposicional de aproximadamente 90 (milhões de anos) entre as formações geológicas. Essas constatações também foram registradas por Paula e Silva (2003) através de perfilagens geofísicas realizadas em poços tubulares profundos na região do oeste do Estado de São Paulo.

A Formação Botucatu possui caráter contínuo e de espessura variável, expressando-se comumente na forma de escarpas sub-verticais e alongadas e, menos expressivas, por afloramentos isolados, devidos à intensa cobertura proporcionada por sedimentos recentes, sobretudo aqueles de maior contribuição do próprio arenito (AGUIAR e GANDOLFI, 1996). Na área de Araraquara, Meaulo (2004) destaca a presença desses sedimentos recentes (cobertura), cuja constituição sedimentológica possui contribuição de sedimentos retrabalhados da Formação Botucatu, entre outras formações geológicas.

A litologia predominante da Formação Botucatu é constituída de um pacote, relativamente, homogêneo de arenito de coloração avermelhada com predomínio de granulometria fina a média composta de grãos quartzosos arredondados a bem arredondados (fração média) e subangulares a arredondados (fração fina), esféricos, foscos e a rocha variando entre muito friável a silicificada, desprovidos de matriz (WU e CAETANO-CHANG, 1992).

As rochas que compõem a Formação Botucatu são classificadas como quartzo-arenito e subarcóseos, com grau de seleção bom a muito bom e maturidade textural variando de maturo a supermaturo. Localmente podem ocorrer arenitos argilosos, mas sempre com porcentagens inferiores de 5% de material silto-argiloso (WU e CAETANO-CHANG, 1992). Segundo Portillo (1988), em geral a constituição mineralógica predominante é composta por grãos de quartzo (80%) imersos em cimento microcristalino (calcedônia) e microclínio (1,5%). Os acessórios são micas, estauroilita, zircão, magnetita e ilmenita.



Fonte: Modificado de DAEE et al. (2005). Figura 10: Unidades geológicas maiores do Estado de São Paulo.

As estruturas marcantes nesta formação são estratificações cruzadas de médio à grande porte, refletindo a geometria de paleodunas, caracterizando um ambiente essencialmente desértico, com significativa contribuição de processos eólicos. Essas paleodunas contribuíram para o estabelecimento de marcantes irregularidades na geometria basal dos derrames basálticos da Formação Serra Geral (sobrepota). Maldaner et al. (2006) reconheceram falhas transcorrentes com predomínio de deslocamentos horizontais (zonas de cisalhamento) e também variação altimétricas do contato entre as formações Serra Geral (derrames com mecanismo passivo) e Botucatu. Essas variações seriam resultantes da preservação do relevo original das paleodunas que compõem a Formação Botucatu. Ainda segundo aqueles autores, as dimensões das ondulações das paleodunas podem atingir comprimento de onda de 2Km, com amplitude entre 50 a 100m.

### **Formação Serra Geral**

Sob o ponto de vista estratigráfico, a Formação Serra Geral está posicionada entre as formações Botucatu (sotoposta) e os sedimentos do Grupo Bauru (sobrepota). Na região do leste paulista essa relação estratigráfica é definida na base pela Formação Botucatu, marcada por discordâncias e relevo com assinaturas de irregularidade, responsável pelas significativas variações de espessuras e do seu relacionamento de contato (AGUIAR e GANDOLFI, 1996). Cumpre ressaltar que estudos mais recentes estão considerando as feições intertrapianas (associação das formações Botucatu e Serra Geral) como a idade superior (Neo-Jurássico) da Formação Botucatu e o início dos derrames basálticos. Na porção superior pelos sedimentos silto-arenosos da Formação Adamantina e localmente por coberturas formadas por sedimentos recentes (Cenozóicos). A Figura 10 apresenta a distribuição da unidade geológica no Estado de São Paulo.

Segundo Petri e Fúlfaro (1983) podem ser observados em alguns locais na área de afloramento da Formação Serra Geral, evidências de um vulcanismo de modo geral passivo, com penetração de magma em zonas de fraquezas estruturais por tração, ocasionando a formação de domos e *horsts*. Localmente é possível reconhecer nas rochas hospedeiras um metamorfismo de contato de pequenas proporções (de 2 a 4 m de espessura). A partir dos estudos geológicos e hidrogeológicos locais (área de Araraquara) são reconhecidas às mesmas feições de caráter regional, entretanto, exibindo dimensões relativamente menores (escala de afloramento).

Segundo Monteiro (2003), a Formação Serra Geral está associada à ruptura do oeste do Gondwana, sendo composta essencialmente por basaltos, mas também por riolitos e riodacitos, sobrepondo-os. Os derrames basálticos (Eocretáceo) na Bacia do Paraná recobrem uma área superior a 1,2 milhões de Km<sup>2</sup>. São observados na área da bacia diversos *sills* (soleiras) e diques. O derrame vulcânico continental da Bacia do Paraná é composto em mais de 90% em volume por basaltos toleíticos e andesito basáltico, geralmente apresentando vesículas e amídalas no topo e na base do derrame. Intercalado aos sucessivos derrames, localmente, há depósitos de arenitos eólicos, formando um sistema intertrapeano (MEAULO, 2004).

A partir dos estudos desenvolvidos por Ruiz (2001), os derrames basálticos caracterizam-se por uma camada vítrea, correspondente a base, camadas com diaclasamento, predominando disjunções colunares na parte central do derrame e disjunções horizontais na parte inferior e superior. Nas porções superiores predomina a textura microcristalina, exibindo, em geral, um enriquecimento em vesículas ou amígdalas.

Segundo Campos et al. (2000 apud LIMA, 2004) o contorno da superfície do topo da Formação Serra Geral (base do Grupo Bauru), sob o ponto de vista estrutural, é de extrema importância para o entendimento da deposição dos sedimentos do Grupo Bauru e também possui significativa influência na hidrogeologia local e regional.

### **Grupo Bauru (Formação Adamantina)**

Os sedimentos que compõem o Grupo Bauru (Formação Caiuá, Formação Santo Anastácio, Formação Adamantina, Formação Marília) estão assentados sobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral, por meio de uma discordância do tipo erosiva (BRANDT NETO et al., 1977; SOARES et al., 1980; ALMEIDA et al., 1981, RICOMINI et al., 1981). Na década de noventa, Fernandes e Coimbra (1994) propuseram uma nova separação e nomenclatura para o Grupo Bauru, com a definição dos grupos Bauru e Caiuá, ambos pertencentes à Bacia Bauru. Entretanto, ressalta-se que para o objetivo desta pesquisa, as novas subdivisões litoestratigráficas não serão abordadas e as discussões centralizam-se sobre o contexto referente apenas à Formação Adamantina.

Segundo as interpretações de Soares et al. (1980), a Formação Adamantina é caracterizada como um conjunto de fácies predominantemente formada por bancos arenosos de granulação fina a muito fina, cor rósea a castanho, portando estratificações cruzadas alternadas por lamitos, siltitos e arenitos lamíticos. Há também a ocorrência de seixos de argilito, cimento e nódulos

carbonáticos. Reconhece-se espessura desta formação de até 190m na região dos rios Santo Anastácio e Paranapanema (área sudoeste do Estado) até espessuras de 10m na região de Araraquara (área central do Estado), configurando-se um significativo adelgaçamento de oeste para leste. Esta formação possui a maior área de afloramento no Estado de São Paulo, entre as formações que compõem o Grupo Bauru.

A partir dos estudos de Fernandes e Coimbra (1996) atribuiu-se que a deposição da Formação Adamantina ocorreu em ambiente fluvial entrelaçado, marcada por extensa planície aluvial com lagoas de vida temporária.

A relação estratigráfica da Formação Adamantina com a Formação Santo Anastácio é transicional e interdigitado, podendo ocorrer também por discordância erosiva diretamente sobreposta aos derrames basálticos da Formação Serra Geral (ALMEIDA et al., 1980; ALMEIDA et al., 1981). Segundo registro de Batezelli et al. (2003), na porção oeste do Estado de São Paulo, a Formação Adamantina também está assentada sobre os sedimentos silto-arenosos de coloração cinza esverdeado, com variação lateral para siltitos argilosos e arenitos lamíticos (Formação Araçatuba). A discussão das relações estratigráfica entre as formações que compõem o Grupo Bauru deve ser pesquisada em artigos específicos que tratam da evolução da nomenclatura da subdivisão estratigráfica. A Figura 10 exhibe o posicionamento estratigráfico da Formação Adamantina (contida no Grupo Bauru) e apresenta a distribuição das unidades geológicas maiores no Estado de São Paulo.

Na região de Araraquara o contato entre as formações Adamantina e Serra Geral, em geral, é marcada por uma linha de seixos e cascalhos quartzosos de geometria predominantemente subarredondados a arredondados (MEAULO et al., 2005), configurando uma discordância erosiva.

A constituição mineralógica da Formação Adamantina é formada pela predominância de 93,4% de quartzo monocristalino e 2,1% de quartzo policristalino, aproximadamente 2% de feldspatos e o restante composto por fragmentos líticos – quartzitos – e acessórios – silicatos e óxidos. A matriz predominante é composta por argilominerais do tipo montmorilonitas e illitas. Esses argilominerais se distribuem desde a superfície até em profundidade (BARISON, 2003).

## **Sedimentos Cenozóicos**

Os Sedimentos Cenozóicos abrangem uma cobertura de sedimentação pós-Grupo Bauru ocorrendo na forma áreas irregulares espraçadas, cujo contexto de evolução morfo-tectônica ainda não é satisfatoriamente esclarecido. Entretanto, o mapeamento das ocorrências desses sedimentos (em escala adequada) pode contribuir significativamente para minimizar diversos problemas de ordem geológico-geotécnico e da vulnerabilidade natural em áreas urbanas.

Em geral, nos mapas geológicos de escala regional (1:50.000 ou maior) esses sedimentos também são denominados de coberturas indiferenciadas e representados graficamente pela sigla TQdI (Terciário e Quaternário indiferenciado). Em escala semi-regional (não representativa como unidade de mapeamento independente para a área de Araraquara) esses materiais podem ser associados ao tectonismo Terciário, resultando no soerguimento de algumas áreas e a subsidência de outras no contexto geológico paulista, através da reativação de estruturas pré-existentes, retrabalhando sedimentos relativamente mais antigos (Sedimentos Recentes ou Inconsolidados). Litologicamente, predominam sedimentos arenosos quartzosos inconsolidados, granulometria variada (grossa a muito fina), localmente conglomerático, má seleção, ausência de estruturas, com presença localizada de superfície laterítica e ocorrem capeando as unidades geológicas pré-existentes, suavizando a geomorfologia de determinadas áreas.

Os depósitos aluviais de várzea e terraços têm uma expressão areal restrita ao longo das principais drenagens da região. Geralmente são constituídos de associações entre cascalhos, areias e argilas de origem fluvial, imaturos, mal selecionados, predominantemente associados aos fundos de vale.

### **3.1.1.2 – Geologia local**

Segundo Meaulo et al. (2007), o arcabouço geológico da área de estudo é representado pelas seguintes unidades geológicas: Formação Botucatu; Formação Serra Geral; Formação Adamantina; Sedimentos Cenozóicos (sedimentos arenosos inconsolidados) e sedimentos associados aos fundos de vales.

A constituição da caracterização da geologia local está amparada, entre outras ferramentas de análise, por estudos que envolveram a realização de atividades de descrição mesoscópica (afloramentos e amostras de mão); estereomicroscópica (características dos grãos); petrográfica (reconhecimento mineralógico) e análise granulométrica (predominância modal), visando reunir

o maior número de atributos, de caráter expedito e de baixo custo operacional, e que podem ser desenvolvidos por profissionais da área de Geociências inseridos no contexto do planejamento e gestão territorial.

O produto das atividades de campo no tocante ao mapeamento geológico, na escala 1:25.000 (ANEXO 2A; 2B; 2C; e 2D), resultaram em uma nova distribuição em área das unidades geológicas. Entretanto, em linhas gerais, manteve-se as características litológicas do mapa geológico elaborado na escala 1:50.000 (MEAULO, 2004) e aprimorado por Meaulo et al. (2005). Foi implementada uma mudança de nomenclatura em relação aos Sedimentos Recentes, atualmente, denominados de Sedimentos Cenozóicos. Realizou-se essa alteração em função da normatização da linguagem ante aos estudos geológicos regionais disponíveis na literatura.

Sob o ponto de vista litológico, o ensaio de granulometria das unidades geológicas indicou ser uma ferramenta eficaz para individualizar os diferentes sedimentos, porém deve ser utilizado com cautela e apoiado fundamentalmente em outras características de campo, tais como: posicionamento geomorfológico, pedológico, topográfico e aspectos sedimentológicos, como coloração, textura, estrutura, morfologia dos grãos, composição mineralógica da fração argila e a presença e/ou ausência de minerais pesados.

Durante a etapa de campo do mapeamento geológico foi identificado um único afloramento, referente ao ponto geológico nº 239 (ANEXO 1 – Localização 790,50/7591,63/629m), que representa uma nova evidência sobre as relações estratigráficas da área de estudo. Esse afloramento foi nomeado nessa pesquisa como a “feição-tipo” para a unidade dos Sedimentos Cenozóicos. Reconhece-se a dificuldade em construir qualquer tipo de interpretação baseada em um único afloramento. Entretanto, existem relatos na literatura que descrevem feições semelhantes em outras partes do Grupo Bauru em contato com sedimentos dessa natureza. A característica do material é elucidada junto à descrição dos Sedimentos Cenozóicos.

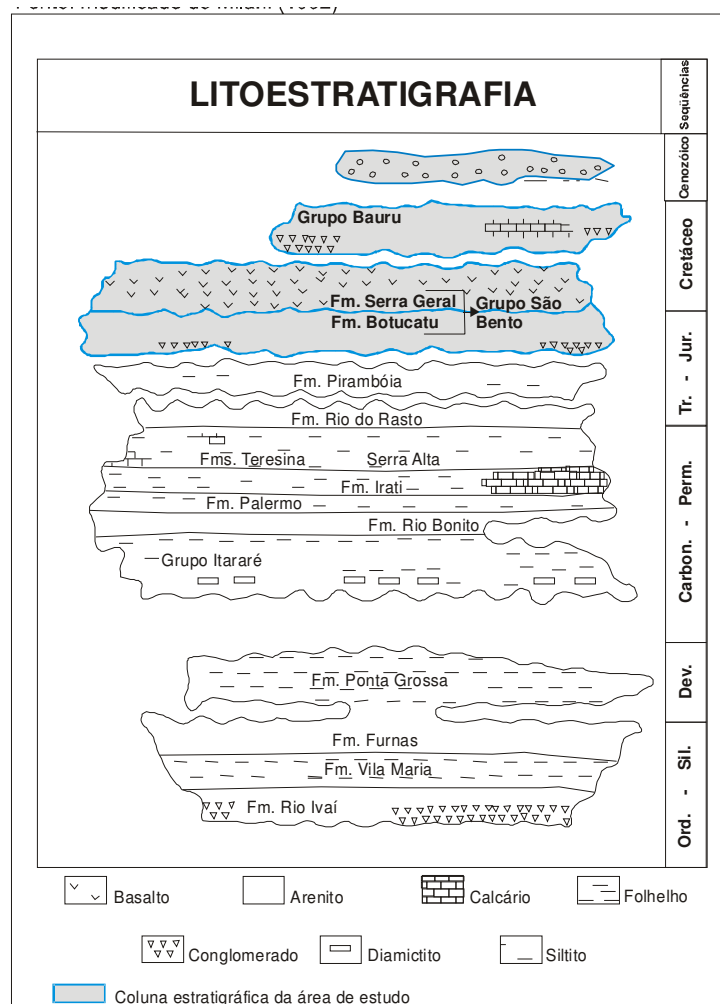
O detalhamento geológico proporcionou também aferir as relações de contato entre as unidades mapeadas, eleger um efetivo *datum* geológico local (linha de seixos e cascalhos quartzosos), bem como reconhecer em subsuperfície a geometria irregular dos topos dos derrames basálticos.

A Figura 11 ilustra a litoestratigrafia local e posteriormente apresenta-se uma síntese sobre as características das unidades geológicas na área de estudo.



## Formação Botucatu

A Formação Botucatu representa a base da coluna estratigráfica da área de estudo. Constitui-se por arenito de coloração alaranjada, amarelada a rosado, avermelhada, creme e raramente branca e consolidação friável. Localmente, no extremo leste da área, ocorre afloramento dessa unidade, cujo processo de silicificação é marcante e onde são observadas estruturas como estratificações cruzadas de médio a pequeno porte. Nessas imediações (fora da área de estudo, Pedreira São Bento) há exploração desse sedimento silicificado para ser aplicado na construção civil como rocha de revestimento, principalmente, para pavimentação de calçadas. São observados também registros fósseis expressos na forma de “paleo-pegadas” (icnofósseis, possui origem do grego, significando vestígios decorrentes da atividade de organismos) descritos na literatura por Marconato e Bertini (2007).



Fonte: Modificado de Milani (1992).

Figura 11: Coluna estratigráfica da área de estudo.

Os grãos dessa unidade são compostos por quartzo hialinos e alaranjados, raras magnetitas, granulometria predominante fina, subordinada por grãos médios (Figura 12), subarredondados a arredondados, subesféricos, bem selecionados e raramente apresentam matriz argilosa. Os resultados das análises granulométricas demonstram que aproximadamente 70% deles concentram-se na fração areia fina e em torno de 15% na fração média. A fração muito fina corresponde a aproximadamente 10% do volume total das amostras (Figura 12). O padrão obtido a partir das análises granulométricas pode ser considerado satisfatório e representativo para a unidade geológica.

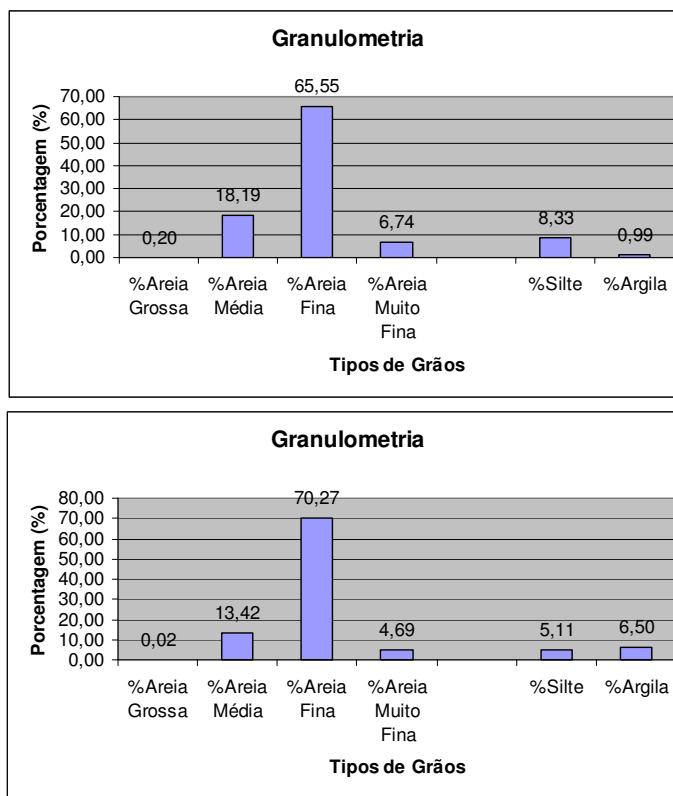


Figura 12: Histograma da análise granulométrica conjunta da Fm. Botucatu. Amostras: P-188 –superior; P-227 –inferior, ANEXO 1.

Em escala de afloramento observam-se estruturas do tipo laminação plano-paralela, marcada pela variação de coloração do sedimento e estratificação cruzada de pequeno à grande porte. O exame macroscópico e de detalhe das características do solo de alteração da Formação Botucatu mostra correlação direta com a rocha sotoposta. As propriedades visuais são: solo arenoso de coloração vermelha alaranjada, composto por quartzo e raramente magnetita,

granulometria muito fina a fina, pouco argiloso, subarredondado, bem selecionado, pouca matriz, facilmente lavável e não estruturado.

As ocorrências dos afloramentos da Formação Botucatu estão localizados na porção Sudoeste e extremo Leste da área de estudo. Na área SW os arenitos ocorrem intercalados aos derrames basálticos da Formação Serra Geral (Prancha 01) e na área Leste o arenito apresenta-se silicificado. Em ambas as regiões ocorrem estruturas do tipo estratificação cruzada.

A Prancha 01 exibe uma seqüência de fotos referente ao afloramento na SP-255 (Trecho Araraquara-Jaú) que representa o contato entre as formações Serra Geral (porção superior do afloramento) e Botucatu (base do afloramento). Trata-se de um cenário típico dos sucessivos derrames basálticos intercalados com arenito eólico (não configura uma inversão estratigráfica). A Foto “A” apresenta uma visão geral do afloramento corte de estrada. A Foto “B” mostra a geometria côncava do derrame basáltico, moldando-se passivamente sobre a paleo-duna formada pelo arenito eólico. Essa geometria também foi evidenciada em outras partes da área de estudo, através de estudos geofísicos e hidrogeológicos, servindo de base para construção do modelo conceitual hidrogeológico, discutido posteriormente nesta pesquisa. A Foto “C” exibe em detalhe o contato entre as formações Serra Geral (superior) e Botucatu (inferior). A tonalidade cinza escuro é o produto de um incipiente metamorfismo de contato (*hornfels*).

### **Formação Serra Geral**

A Formação Serra Geral é caracterizada por rochas intrusivas e extrusivas básicas em forma de soleiras, sucessivos derrames e diques de basalto. Localmente também são reconhecidos corpos de diabásio. Ocorrem preferencialmente na porção W da área de estudo e se distribuem ao longo do leito das principais drenagens, tais como Ribeirão das Cruzes, Córrego Águas do Paiol e Ribeirão do Ouro (ANEXO 2A).

As rochas estudadas caracterizam-se por apresentarem fraturas verticais a subverticais e secundariamente por fraturas subhorizontais de alívio, que localmente configuram disjunções colunares em forma de pilares euhedrais de dimensões métricas e porções marcadas por intenso fraturamento, formando disjunções esferoidais.

Com base no estudo desenvolvido por Meaulo (2004), essas fraturas caracterizam por: estruturas abertas, com espaçamento centimétrico, sem preenchimento e paredes levemente rugosas. Essas propriedades das fraturas possuem relevância no contexto hidrogeológico e da vulnerabilidade natural, pois assumem a função de caminhos preferenciais de percolação de fluídos.

Sob o ponto de vista estrutural, pode-se afirmar que o fraturamento vertical a subvertical (predominante) encontrado nos derrames basálticos, certamente, imprime influência favorável na percolação de fluídos superficiais, alimentando o aquífero das formações geológicas sotopostas (Formação Botucatu).



Fonte: Meaulo et al. (2007). Prancha 01: Afloramento na SP-255, Ponto 01, Anexo1 (Trecho Araraquara-Jaú).

Entretanto, para a caracterização da vulnerabilidade natural, essas estruturas podem contribuir com a catálise, do eventual processo de alteração da qualidade da água de aquíferos sotopostos (Sistema Aquífero Guarani-SAG). Deve-se considerar também o posicionamento estratigráfico das formações e as camadas sobrepostas (solo) que exercem uma função de reduzir a percolação de fluídos.

Ocorrem também amígdalas (com quartzo, ametista, zeólitas, calcita e argilo minerais) e vesículas (topo do derrame basáltico). Segundo estudos realizados por Ruiz (2001), na cidade de Araraquara, a caracterização mineralógica do grupo das zeólitas, dispostas em amígdalas de derrames basálticos (topo da formação) pertencentes à Formação Serra Geral, pode-se uma ferramenta eficaz para distinguir a origem daquele grupo mineral e correlacioná-lo com outros tipos de derrame, como os oriundos da região de Serrana (SP). Aquele autor, focado na determinação mineralógica das porções superiores dos sucessivos derrames basálticos, contribuiu também para o entendimento das áreas de topos de derrames basálticos, onde predominam áreas com feições de escape de gases e de intenso fraturamento.

Essas feições são caracterizadas por cavidades de geometria diversas, em geral, de dimensões milimétricas a centimétricas que resultam em importantes áreas em subsuperfície para o armazenamento de água do aquífero livre. Predominam nas amígdalas os minerais como o quartzo e do grupo das zeólitas.

Conforme descrito por Ruiz (2001), para cada localidade estudada existe uma predominância de determinados minerais sobre outros minerais (acessórios). Todavia, a origem das zeólitas da região de Araraquara está relacionada à mobilização de sais da rocha hospedeira (basaltos) a partir da ação de águas meteóricas, diferenciando de outras das zeólitas formadas por ação de fluídos hidrotermais (por exemplo: Serrana-SP).

A rocha basáltica exhibe coloração cinza esverdeada, rosada a ocre no horizonte pedológico C/R, granulação fina, localmente média (diabásio), estrutura compacta, textura afanerítica e geralmente intenso padrão de disjunção esferoidal, resultado do processo de intemperismo.

O solo oriundo da Formação Serra Geral caracteriza-se pela coloração avermelhada, grãos alaranjados, comumente com envoltos por óxido de ferro, granulometria predominante fina a muito fina, subordinado por grãos médios e raramente grossos. A fração fina corresponde aproximadamente a 75 % do volume total das amostras (Figura 13). Ocorre também em quantidade significativa o mineral magnetita e goethita, cuja morfologia é angular a subangular e

raramente aspectos de polimento nos grãos. A maior abundância de magnetita no solo, assim como a textura e coloração, são atributos expeditos de campo que diferenciam o solo da Formação Serra Geral e o solo da Formação Adamantina (unidade geológica sobreposta).

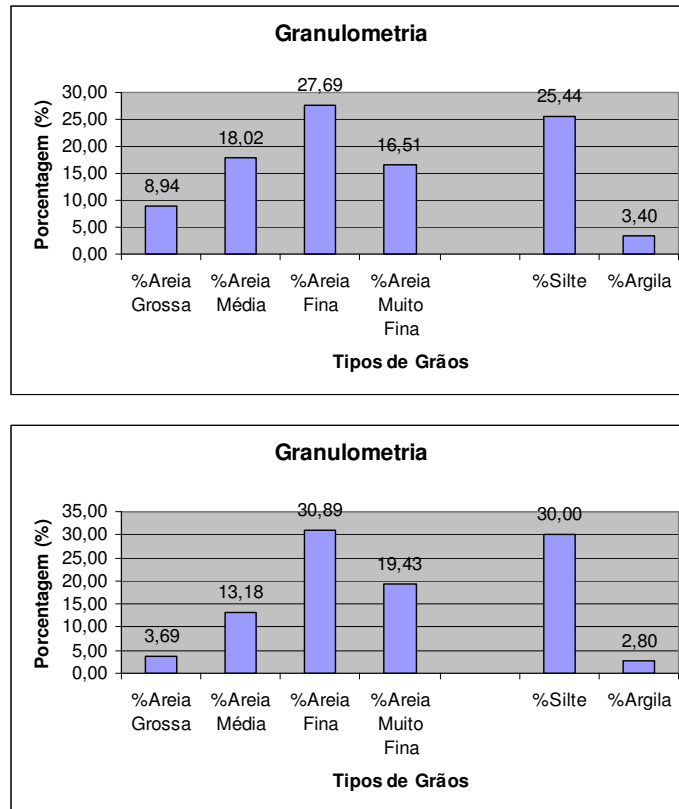


Figura 13: Histograma da análise granulométrica conjunta do solo da Fm. S.Geral.Amostras: P-196 –superior; P-213 –inferior, ANEXO 1.

Quanto à estratigrafia local, o contato litológico superior é do tipo abrupto e ocorre com a Formação Adamantina. Em geral, este contato é reconhecido em campo por um nível de seixos e cascalhos quartzosos com geometria variada (angulosos a subarredondados). O material oriundo do nível conglomerático é composto por seixos de quartzitos, arenito cimentado por óxido de ferro, nódulos milimétricos a centimétricos de goethita de coloração preto a ocre, raramente fragmentos de basalto alterado e todos sustentados por matriz argilo-arenosas. A espessura do *datum* geológico local pode variar entre 20cm e 80cm. Ao longo da Rodovia Washington Luiz (SP-310), a partir do Km 268 (sentido São José do Rio Preto) até a praça de pedágio (Triângulo

do Sol) é possível observar as exposições descritas nos taludes que margeiam a estrada. O contato estratigráfico com a Formação Botucatu ocorre na forma de sucessivas camadas basalto/arenito, configurando um sistema intertrapiano (principalmente no SW da área). A partir de análise de perfis de poços tubulares profundos para o abastecimento público (DAAE) é possível identificar essas sucessões até profundidade de aproximadamente 250m.

Outra constatação relevante aos estudos geológicos e hidrogeológicos, baseia-se na irregularidade da geometria do topo dos derrames, os quais podem formar feições de embaciamento (concavidade) e de convexidade e/ou formação de domos e *horsts* (PETRI e FÚLFURO, 1983).

O fato descrito foi caracterizado nesta pesquisa a partir de observações de afloramentos (suave mergulho para os vales entalhados), geometria e posicionamento da linha de seixos (*datum* geológico local que ocorre no contato entre a Formação Serra Geral-topo e a Formação Adamantina-base), confecção de seções geológicas perpendiculares ao padrão de drenagem (ANEXO 2), interpretação das pseudo-seções geolétricas (geofísica), medição da variação da profundidade do nível d'água do aquífero livre em regiões de relevo plano (platôs) e também a partir de estruturas tectônicas (pós-derrames basálticos).

Existem na literatura que trata da evolução da Bacia do Paraná duas correntes de autores, cuja primeira defende a tese de que a ocorrência de irregularidades no topo dos derrames basálticos (Formação Serra Geral) está baseada em uma severa erodibilidade pré-deposição dos sedimentos da Grupo Bauru (PAULA E SILVA, 2003), outra corrente sustenta a hipótese de que o posicionamento dos derrames basálticos está sendo afetado por reativações tectônicas de antigas estruturas pré-existentes que posteriormente foi recoberto pelos processos de sedimentação pós-derrames, propiciando uma configuração distinta da proposta pela primeira corrente de autores (PERRONI et al., no prelo).

Contudo, esse cenário descrito deve ser tema de pesquisas específicas futuras, entretanto, fundamentado no levantamento dos dados primários desta pesquisa (hidrogeológicos e geológicos) pode-se apontar que na área de Araraquara e em escala local (1:25.000) são reconhecidas ambas as feições defendidas pelas duas correntes de autores. A construção das seções geológicas (ANEXO 2) e dos modelos conceituais hidrogeológicos do aquífero livre (Hidrogeologia Local) permitem exhibir graficamente exemplos sobre ambas as configurações do posicionamento dos derrames basálticos da Formação Serra Geral.



O reconhecimento dessas feições que são apresentadas nesta pesquisa corrobora com os resultados dos estudos realizados na região de Ribeirão Preto (~90 km à N da área de estudo) por Maldaner et al. (2006), onde foram reconhecidas falhas transcorrentes com predomínio de deslocamentos horizontais (zonas de cisalhamento) e variações altimétricas do contato entre as formações Serra Geral (derrames com mecanismo passivo) e Botucatu. Essas variações seriam resultantes da preservação do relevo original das dunas que compõem a Formação Botucatu. As dimensões das ondulações das paleo-dunas podem atingir comprimento de onda de 2Km, com amplitude entre 50 a 100m.

Reconhece-se que há necessidade de um aprimoramento do conhecimento a cerca das questões apresentadas, porém, para o escopo desta pesquisa, os resultados discutidos são satisfatórios para subsidiar pesquisas específicas que devem ser realizadas posteriormente.

### **Formação Adamantina**

A área urbana do município de Araraquara encontra-se predominantemente assentada sobre os sedimentos silto-arenosos da Formação Adamantina (ANEXO 2A), sendo que as características principais do solo de alteração são: coloração vermelha a vermelha alaranjada, bem estruturada, com fraturas que configuram formas de blocos e prismas, textura silto-arenosa, composto de quartzo e subordinado por magnetita. Os grãos são avermelhados, subordinados por hialinos, granulometria fina a média, angulares a subangulares, subesféricos, moderadamente selecionado, matriz argilosa e localmente presença de cutans de argila. As magnetitas apresentam formas subangulares, levemente polidas, granulometria fina a média e compõem menos que 3% do total do solo. (MEAULO, 2004).

As análises granulométricas mostram que a unidade geológica da Formação Adamantina é constituída por aproximadamente 60% de finos e subordinadamente por 30 a 35% de grãos de granulometria média e 5 a 8% de grãos grossos (Figura 14). Em campo, a realização de análises macroscópicas do solo é dificultada pela similaridade táctil-visual entre os solos da Formação Adamantina e os materiais oriundos da Formação Serra Geral. Os aspectos geomorfológicos, como quebra de relevo, e o nível de seixos e cascalhos quartzosos (*datum* local) são importantes guias utilizados durante desenvolvimento das atividades de mapeamento geológico.

O contato geológico entre a Formação Adamantina e Formação Serra Geral é geralmente marcado por um nível conglomerático, conforme descrito. A Formação Adamantina ocorre sobreposta ao substrato basáltico e nas porções norte e leste da área faz contato com os sedimentos arenosos da unidade denominada de Sedimentos Cenozóicos (ANEXO 2A). O contato geológico entre as unidades é tênue e de difícil reconhecimento em campo, entretanto, ele geralmente se dá a partir de cotas topográficas superiores a 660-680m. Localmente foi possível encontrar afloramentos que ocorrem em cotas topográficas inferiores. As maiores espessuras da Formação Adamantina na área de estudo pode ser constatada a partir da profundidade de poços escavados, cujo máximo atinge aproximadamente 40m (MEAULO, 2004).

A Formação Adamantina é considerada, localmente, um importante aquífero livre, responsável comumente pelo abastecimento de propriedades rurais e bairros restritos da área urbana (residencial de chácaras), desprovidos de abastecimento público de água.

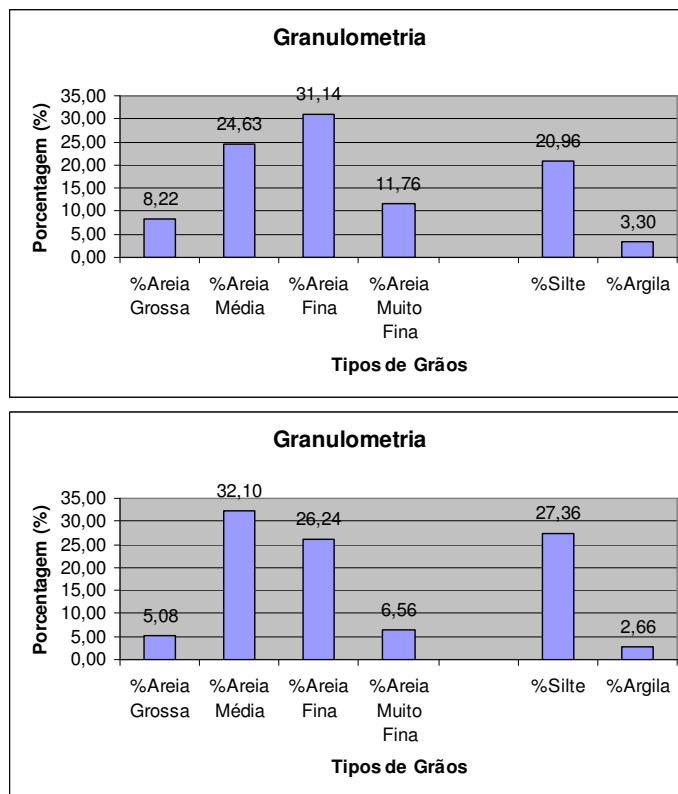


Figura 14: Histograma da análise granulométrica conjunta da Fm. Adamantina. Amostras: P-238 –superior; P-233 –inferior, ANEXO 1.

## **Sedimentos Cenozóicos**

Os Sedimentos Cenozóicos predominantemente arenosos representam o topo da estratigrafia local e ocorrem espalhados sobre as Formações Adamantina, Formação Botucatu (ANEXO 2) e Formação Serra Geral (observado em afloramentos fora da área de estudo). Nas seções geológicas do ANEXO 2 os Sedimentos Cenozóicos (recentes) aparecem com a nomenclatura representada pela letra T.

Em geral, na área de estudo, as cotas topográficas entre 660-680 podem ser consideradas como um balizador para o reconhecimento dessa unidade, juntamente com outros aspectos macroscópicos descritos nesse item. Vale ressaltar que as características granulométricas desses sedimentos guardam certa similaridade aos sedimentos arenosos provenientes das formações Botucatu e Adamantina (Figura 15). Todavia, interpreta-se que os Sedimentos Cenozóicos representa um produto do retrabalhamento de todas as unidades geológicas locais, caracterizado por receber contribuições de materiais dessas outras unidades, inclusive da Formação Serra Geral. Todas as formações geológicas transferiram assinaturas distintas dessa unidade. Entre elas destacam-se a o padrão granulométrico das formações Botucatu e Adamantina e a presença de grãos de magnetitas oriundas da Formação Serra Geral.

O exame macroscópico do concentrado de solo mostrou as seguintes características: quartzo e magnetita, grãos alaranjado e hialino (subordinado), granulometria muito fina a média, com predominância da fração fina, arredondada a bem arredondada, esférica, moderada seleção. A magnetita é arredondada e demonstra claramente ser retrabalhada (MEAULO, 2004).

Identificou-se um único afloramento (P-239, ANEXO 1 – Localização 790,50/7591,63/629m), que representa uma nova evidência sobre as relações estratigráficas entre a Formação Adamantina e os Sedimentos Cenozóicos. Trata-se de um arenito conglomerático com granulometria distribuída por todas as modas, predominantemente na fração grossa a muito grossa, grãos de geometria angulosa a subangulosa, suportada por matriz silicosa e intenso processo de óxido de ferro sobre os grãos. A transformação total dessa rocha em solo resulta em uma material arenoso, geralmente, desprovido de matriz, resultando em unidade que apresenta os maiores valores relativos de condutividade hidráulica da área de estudo.

Devido à importância deste afloramento para o contexto local, foi realizada uma lâmina petrográfica para identificar a mineralogia predominante e as características em detalhe dos grãos. A Prancha 02 ilustra os detalhes do descrito a partir de fotomicrografias.

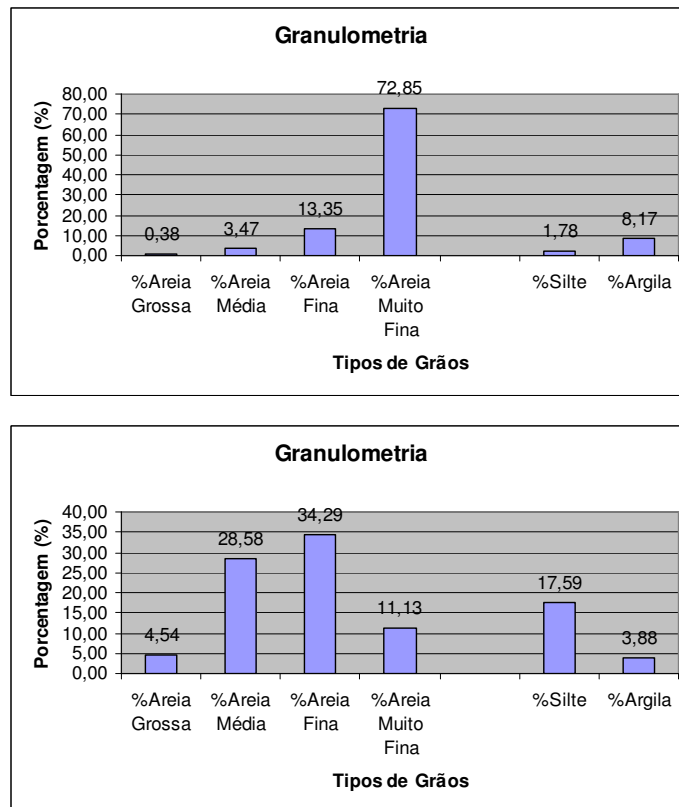
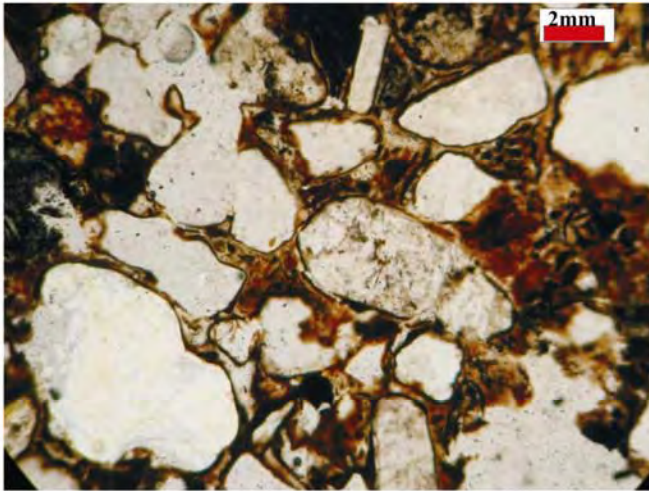


Figura 15: Histograma da análise granulométrica conjunta dos Sedimentos Cenozóicos. Amostras: P-229 –superior; P-222 –inferior, ANEXO 1.

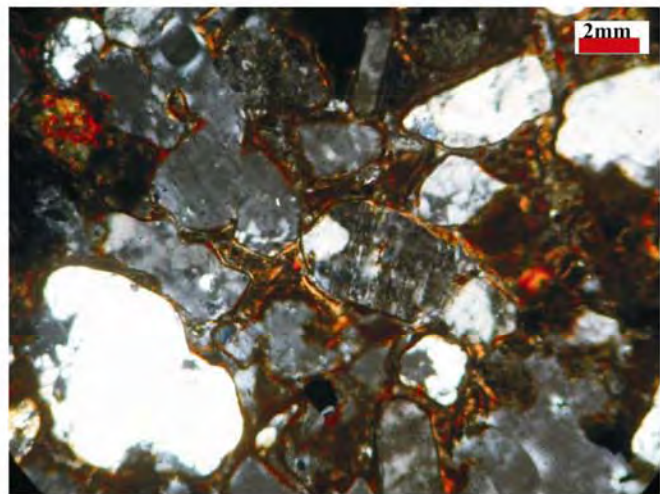
O solo dessa unidade possui coloração amarelada a alaranjado, localmente creme a avermelhado, com fraturas que configuram formas de blocos e prismas, textura arenosa, pouca matriz e facilmente lavável.

### Sedimentos associados aos fundos de vales

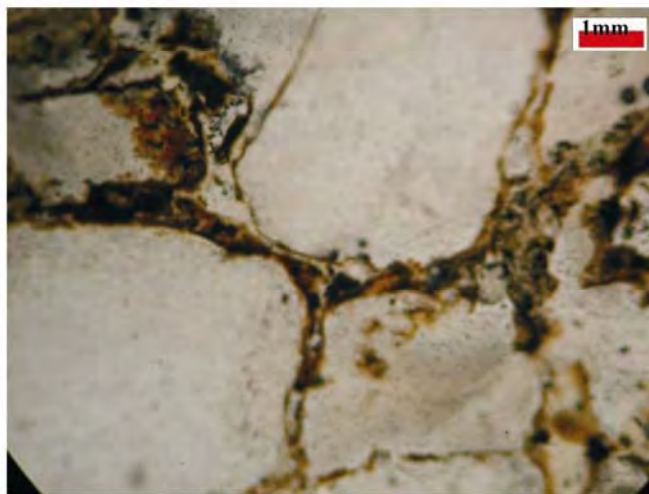
Sedimentos associados aos fundos de vales são sedimentos que resultam de processos de retrabalhamento das rochas que compõem os vários conjuntos litológicos locais. Estes sedimentos ocorrem associados às áreas de inundação das drenagens, tais como Ribeirão do Ouro, Ribeirão das Cruzes, Ribeirão do Lajeado e Rio Chibarro (MEAULO, 2004).



Fotomicrografia: Ponto 239  
Arenito Conglomerático com  
grãos angulares a subangulares  
envoltos por óxido de ferro  
intersticial.



Fotomicrografia: Ponto 239  
Arenito Conglomerático com  
grãos angulares a subangulares  
envoltos por óxido de ferro  
intersticial. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia: Ponto 239  
Detalhe da relação de contato  
entre os grãos subangulares do  
Arenito Conglomerático. Presença  
de óxido de ferro intersticial.

Fonte: Meaulo et al. (2007).

Prancha 02: Fotomicrografias do ponto geológico 239, Sedimentos Cenozóicos.

## **Geomorfologia e Pedologia**

Segundo a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo a área de estudo está inserida na província geomorfológica Planalto Ocidental (IPT, 1981). O relevo caracteriza-se por vales relativamente pouco profundos com encostas de inclinações suaves, proporcionando um relevo ondulado sob a forma de colinas amplas e baixas com topos aplainados (ROSS E MOROZ, 1997). A altimetria da área de estudo varia entre 500 e 762m. Predomina neste sistema, valores de declividade no intervalo de 2,5% a 20% (PEJON, 1987).

A partir dos estudos pedológicos realizados por Oliveira (1999) os solos que ocorrem na região de Araraquara – SP são predominantemente latossolos vermelhos, subordinados por latossolos vermelho amarelo e localmente neossolos quartzarênicos.

### **3.1.2 – Caracterização Hidrogeológica**

A caracterização hidrogeológica da área de Araraquara está fundamentada em informações disponíveis na literatura especializada de abrangência regional e com base na análise dos dados primários obtidos nas campanhas de campo nessa pesquisa.

#### **3.1.2.1 – Hidrogeologia Regional**

O Estado de São Paulo está subdividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI, Figura 16). Essa subdivisão está fundamentada no conceito de delimitação por Bacias Hidrográficas, conforme institui a Política Nacional de Recursos Hídricos – a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Lei Federal 9.433, de 08 de Janeiro de 1997).

Segundo o DAEE-IGC (2003) as estimativas de consumo da água superficial no Estado, por tipo de uso são, respectivamente, irrigação (40,85%); abastecimento público (31,43%); uso industrial (26,57%); uso doméstico rural (1,14%). Os valores gerais de consumo no Estado demonstram que a disponibilidade hídrica, ainda, supera a demanda, entretanto, em algumas UGRHI podem apresentar *déficit* hídrico, ou seja, falta o recurso hídrico.

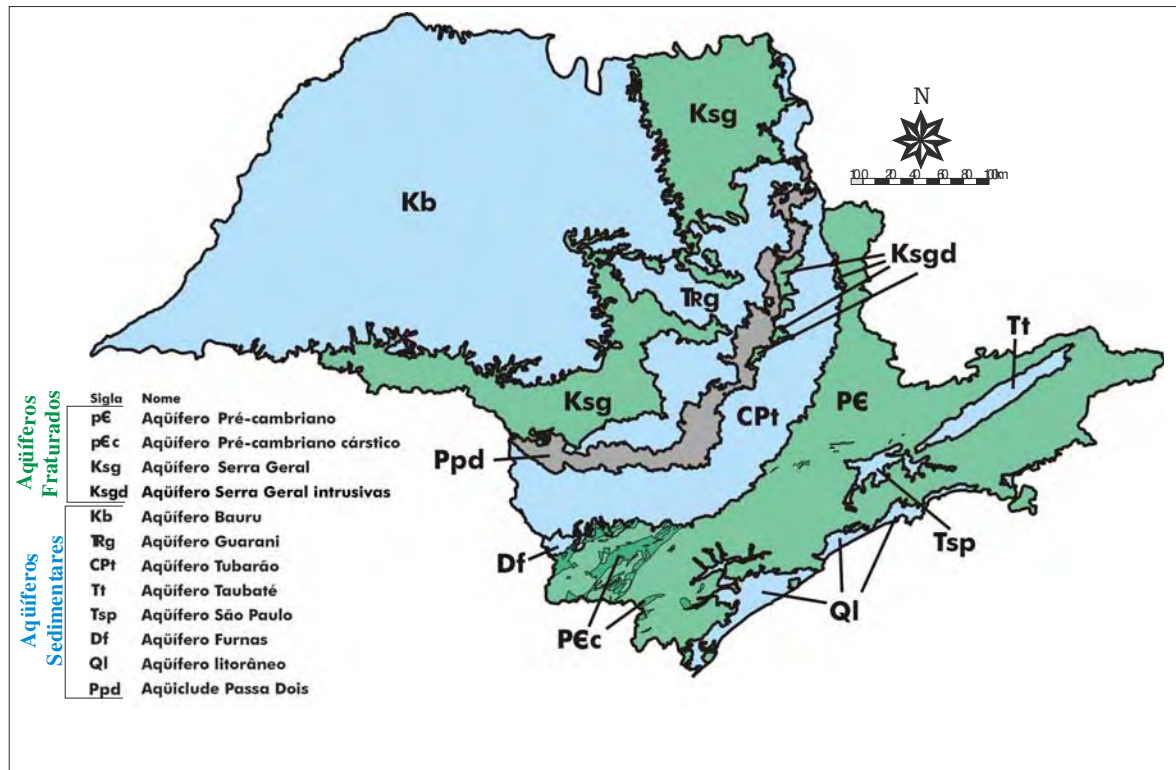


Fonte: DAEE et al (2005).

Figura 16: Localização das UGRHI no Estado de São Paulo.

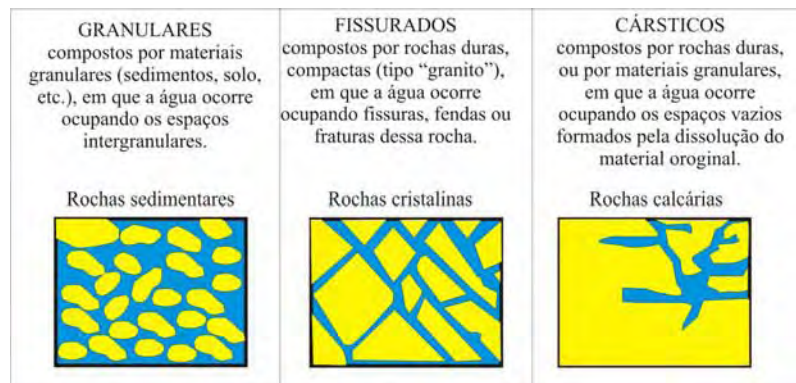
Neste contexto, as UGRHI Tietê/Jacaré (Nº 13 - Região de Araraquara), onde se encontra inserida a área de pesquisa, exhibe, segundo DAEE-IGC (2003), índices de utilização de água em relação ao *escoamento básico* em torno de 31 a 50%. Entende-se escoamento básico como o volume de águas subterrâneas que, na fase terrestre do ciclo hidrológico, mantém o nível de base dos rios durante o período seco, correspondendo para o Estado de São Paulo a 40% do escoamento total.

Para o objetivo da presente pesquisa, destaca-se as unidades aquíferas que compõem as UGRHI Tietê/Jacaré (Figura 17). As unidades aquíferas exibidas na Figura 18 são subdivididas em: unidade aquífera granular ou sedimentar (meio poroso) e unidade aquífera fraturada (meio fraturado).



Fonte: DAEE et al (2005).  
 Figura 17: Unidades aquíferas no Estado de São Paulo.

A Figura 18 ilustra também a diferença de percolação da água subterrânea nos diferentes meios.



Fonte: Modificado de BRAGA (1999).  
 Figura 18: Exemplos dos tipos de porosidade em diferentes aquíferos.



Segundo CRH (2005) a UGRHI Tietê/Jacaré possui sede administrativa no município de Araraquara ([comitetj@serhs.sp.gov.br](mailto:comitetj@serhs.sp.gov.br)) e foi instalada em 10 de Novembro de 1995. Atualmente abrange 34 municípios (Agudos, Araraquara, Arealva, Areiópolis, Bariri, Barra Bonita, Bauru, Boa Esperança do Sul, Bocaina, Boracéia, Borebi, Brotas, Dois Córregos, Dourado, Gavião Peixoto, Iacanga, Ibaté, Ibitinga, Igarçu do Tietê, Itaju, Itapuú, Itirapina, Jaú, Lençóis Paulista, Macatuba, Mineiros do Tietê, Nova Europa, Pederneiras, Ribeirão Bonito, São Carlos, São Manuel, Tabatinga, Torrinha e Trabiju), área total de 15.808Km<sup>2</sup> e população total estimada (IBGE, 2000) de 1.326.145 habitantes. As maiores aglomerações urbanas da unidade são os municípios de Araraquara, Bauru, Jaú, São Carlos e São Manuel. A Figura 19 exhibe a localização da UGRHI Tietê/Jacaré no Estado de São Paulo.



Fonte: Modificado DAEE et al (2005).

Figura 19: Localização da UGRHI Tietê/Jacaré no Estado de São Paulo.

Os aquíferos sedimentares representados na UGRHI 13 são Bauru e Guarani (aflorante), os quais apresentam, respectivamente, faixas de vazão explorável (m<sup>3</sup>/h) de < 10 a 80 e >20 a 80. Vale ressaltar que o procedimento aplicado para obtenção do zoneamento das vazões exploráveis obedeceu aos requisitos da Lei de Darcy.

Em função das características distintas de governância do fluxo da água em aquíferos fraturados, em especial para a presente pesquisa – Aquífero Serra Geral (basaltos) – o

zoneamento de vazões prováveis, obedeceram aos critérios estruturais dos corpos rochosos. A base dos estudos hidrogeológicos deste tipo de aquífero é marcada pela correlação entre a capacidade específica (vazão retirada por metro rebaixado do nível d'água no poço, em  $m^3/h/m$ ) e transmissividade (obtida em testes de bombeamento,  $\geq 20h$ ) DAEE, 1981 e 1982. Adicionalmente, utilizou-se o seguinte critério: tipos de rocha, blocos geológicos (contexto geotectônico), espessura do manto inconsolidado e fraturas. Para a UGRHI T/J as faixas de vazões prováveis variam entre 7 a  $100m^3$ .

Segundo DAEE et al. (2005) a UGRHI 13 constitui-se pelas unidades aquíferas sedimentares Bauru e Guarani e pela unidade aquífera fraturada Serra Geral. Estratigraficamente as rochas que compõem as unidades aquíferas comportam-se, da base para o topo, Aquífero Guarani, Aquífero Serra Geral, Aquífero Bauru. Cumpre ressaltar que a escala de trabalho daquele estudo não permite cartografar a unidade Aquífera Cenozóica, entretanto, em escalas de trabalho maiores, essa unidade é formada por sedimentos arenosos inconsolidados, de ocorrência do tipo livre, porosidade granular, descontínuo e geralmente, na área de Araraquara-SP, associa-se as cotas topográficas superiores a 680m (MEAULO et al. 2005).

### **Aquífero Bauru**

O Aquífero Bauru caracteriza-se como uma das unidades de maior extensão no Estado de São Paulo, com área aproximada de  $97.000 Km^2$ , apresentado-se como uma das principais fontes de abastecimento da área oeste do Estado. Segundo Fernandes e Coimbra (1992) e Fernandes (1998) as litologias sedimentares que compõem o aquífero estão associadas ao Grupo Bauru. A Figura 20 exhibe o modelo hidráulico simplificado do Aquífero Bauru (HIRATA, 2005 apud DAEE et al, 2005), onde as setas indicam o sentido do fluxo da água subterrânea.

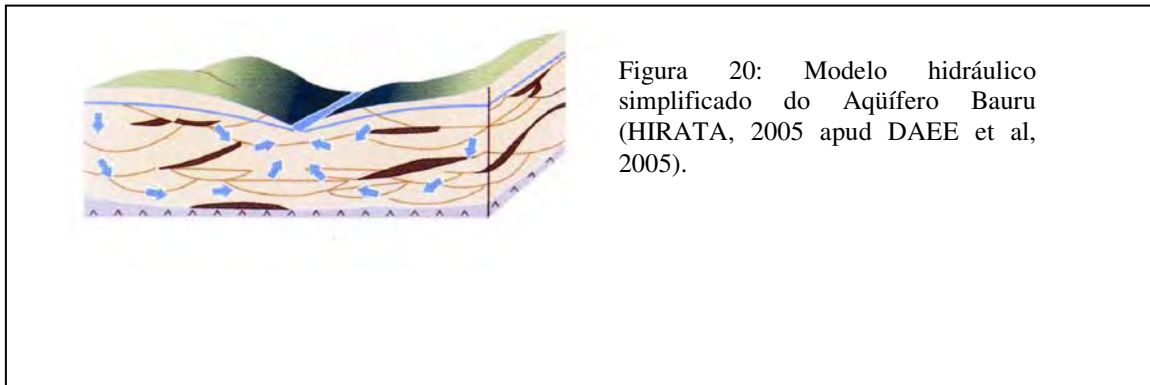


Figura 20: Modelo hidráulico simplificado do Aquífero Bauru (HIRATA, 2005 apud DAEE et al, 2005).

A primeira fase de sedimentação ocorreu em condições áridas, formada por arenitos finos, maciços, baixo teor de matriz, arenitos finos a médios com boa seleção, cuja unidade hidroestratigráfica basal (Bauru Inferior) ocorre de forma livre a localmente semiconfinado, granular, contínuo e uniforme. A segunda fase de sedimentação, denominada de Bauru Médio/Superior, ocorreu em condições climática semi-árida, com relativa maior presença de água, resultando numa significativa mudança litológica, formada por arenitos grossos imaturos, com abundantes nódulos e cimento calcífero, bancos de arenitos finos intercalados com lamitos e siltitos (FERNANDES, 1998). A ocorrência da água subterrânea é do tipo livre a localmente confinado, porosidade granular, contínuo e não uniforme, e características hidráulicas distintas.

Em linhas gerais, a análise dos perfis de poços tubulares permite estabelecer e entender o comportamento das rochas sedimentares que compõem o Aquífero Bauru. Pode-se dizer que o basalto da Formação Serra Geral, sotaposto a unidade Bauru, sustenta o Aquífero do Grupo Bauru. Na UGRHI T/J, em especial na região de Araraquara, essa relação estratigráfica é comumente observada em poços escavados e também em afloramento (predominantemente do tipo corte de estrada) que cortam diferentes cotas topográficas. Localmente, outro *datum* geológico-hidrogeológico (delimitado em campo) entre as formações geológicas é o nível conglomerático composto de seixos e cascalhos de quartzo e fragmentos limoníticos (MEAULO, 2004 e MEAULO et al. 2005 e 2007).

A espessura saturada do Aquífero Bauru é significativamente variável, desde alguns metros até 300m, cujas menores espessuras ocorrem nas proximidades dos afloramentos dos basaltos da Formação Serra Geral, nos limites sul, leste e norte do aquífero (DAEE et al., 2005).

O potencial aquífero da unidade Bauru na área da UGRHI T/J possui representação secundária dentro do contexto de todo o aquífero, em função da pequena espessura saturada dos sedimentos do Grupo Bauru (Formação Adamantina). Entretanto, apresentam-se as seguintes propriedades hidráulicas: capacidade específica (Q/s) com valores médios de 0,57 m<sup>3</sup>/h/m; condutividade hidráulica (K) com valores predominantes de 50m<sup>2</sup>/dia, porosidade efetiva aproximada de 5% no Bauru Médio/Superior (UGRHI T/J) e 10 a 15% no Bauru Inferior/Caiuá (DAEE, 1979).

Com base em uma equação específica de vazão foram delimitadas cinco áreas diferenciadas de vazão explorável, cujos extremos são valores inferiores a 10m<sup>3</sup>/h até 120m<sup>3</sup>/h. Nos terrenos de predomínio do Bauru Médio/Superior, dominam as vazões exploráveis inferiores a 10m<sup>3</sup>/h.

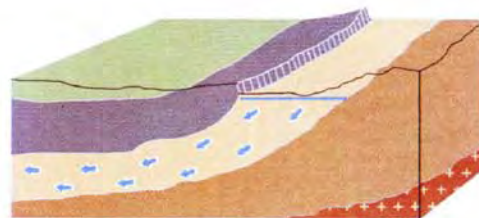
Sob o ponto de vista da composição química natural das águas, a UGRHI T/J possui predominância do tipo bicarbonatada cálcica e subordinada pelas águas tipo bicarbonatada sódica. Quanto aos teores salinos, os mesmos variam de 50 a 150 mg/L (CAMPOS, 1993).

## Aquífero Guarani

O Aquífero Guarani possui dimensões continentais equivalentes a vários países europeus, estendendo-se além dos domínios brasileiros, também em países como Uruguai, Argentina e Paraguai. Este tópico limita-se a apresentar características gerais da ocorrência desta importante e estratégica unidade aquífera, especificamente, sobre as áreas aflorantes na UGRHI T/J. A unidade aquífera ocorre em 76% do Estado de São Paulo, considerando as áreas aflorantes (16.000 Km<sup>2</sup>) e confinadas (174.000 Km<sup>2</sup>). A geometria da área aflorante possui largura irregular e extensão alongada em um eixo NE-SW, estratigraficamente associado aos basaltos da Formação Serra Geral.

A unidade Guarani é formada por sedimentos arenosos pertencentes as formações Pirambóia e Botucatu. A Formação Pirambóia, de idade triássica (MILANI, 2004), constituída de arenitos de granulometria média a fina, subordinadamente grossos e conglomeráticos, depositado em ambiente flúvio-lacustrino e eólico (CAETANO-CHANG e WU, 1992; ASSINE et al., 1994), representa a base da unidade aquífera. O aquífero também é formado por arenitos de granulometria média a fina, avermelhados, esféricos, boa seleção, de deposição eólica, idade juro-cretácia, denominados de Formação Botucatu. A Figura 21 exibe o modelo hidráulico simplificado do Aquífero Guarani (HIRATA, 2005 apud DAEE, 2005), onde as setas indicam o sentido do fluxo da água subterrânea.

Figura 21: Modelo hidráulico simplificado do Aquífero Botucatu (HIRATA, 2005 apud DAEE et al., 2005).



Segundo IPT(1981) toda a unidade aquífera está sobreposta, em discordância angular, ao Grupo Passa Dois e parte dela (área confinada) está recoberta pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, que localmente exhibe *intertraps* de arenito.

O Aquífero Guarani (formações Pirambóia e Botucatu) caracteriza-se como granular, homogêneo e regionalmente livre na área aflorante, a predominantemente confinado nas demais regiões do Estado de São Paulo, extrapolando ainda o limite do Estado (DAEE et al. 2005).

A espessura do aquífero na área aflorante pode variar desde poucos metros até valores superiores a 100m. Em geral, a potenciometria indica fluxo de leste para sudoeste e um gradiente hidráulico com valores entre 0,008 e 0,003, ao longo das drenagens do Rio Pardo e Jacaré Pepira (UGRHI 13).

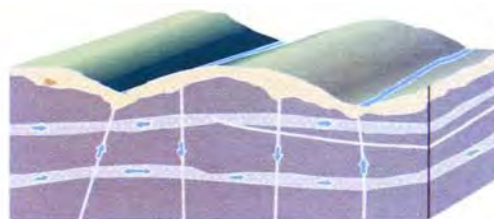
Segundo Silva (1983), a geometria irregular da área de surgência do Aquífero espelha-se na topografia regional. Esse mesmo cenário pode ser observado no comportamento geral do nível d'água na área de Araraquara (MEAULO et al., 2005 a, b).

Os valores das propriedades hidráulicas de interesse para este estudo limitam-se aos dados obtidos para a Formação Botucatu (área aflorante). Os estudos do DAEE (1974) obtiveram os seguintes valores: condutividade hidráulica (K) 3,0m/dia; média do coeficiente de armazenamento (S) de 0,25 (SILVA, 1983), vazão explorável entre < 20 a 80m<sup>3</sup>/h. O quimismo natural da água subterrânea classifica-se como bicarbonatadas cálcicas e salinidade inferior a 50 mg/L (CAMPOS, 1993).

### **Aquífero Serra Geral**

O Aquífero Serra Geral é do tipo fraturado, e caracteriza-se pela porosidade e permeabilidade secundárias, oriundas de processo de cristalização dos derrames basálticos, correspondente as rochas que compõem a Formação Serra Geral. Segundo Turner et al. (1994), Stewart et al. (1996), as rochas que compõem a Formação datam do Eocretáceo e ocorrem irregularmente na região central do Estado de São Paulo. A Figura 22 exhibe o modelo hidráulico simplificado do Aquífero Serra Geral (HIRATA, 2005 apud DAEE, 2005), onde as setas indicam o sentido do fluxo da água subterrânea.

Figura 22: Modelo hidráulico simplificado do Aquífero Serra Geral (HIRATA, 2005 apud DAEE et al, 2005).



Do ponto de vista hidroestratigráfico, o Aquífero Fraturado Serra Geral está assentado sobre o Aquífero Guarani e sobreposto pelo Aquífero Bauru. Conforme descrito por Meaulo (2004), essa relação estratigráfica fica evidente em escala de afloramento na região do município de Araraquara (UGRHI 13).

Quanto às espessuras deste aquífero, estas variam desde poucos metros na porção centro-oeste do Estado, podendo atingir 300m em sua área aflorante. Seguindo-se em direção ao oeste paulista, existem registros na região do Pontal do Paranapanema de espessuras de basalto que atingem aproximadamente 2000m (MILANI, 2004).

Para elaboração dos estudos coordenados pelo DAEE em 2005 foram utilizados diversos materiais de consulta e introduzidas e/ou adaptadas novas técnicas de análise para geração do atual mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Considerou-se a variação da capacidade específica (vazão retirada por metro rebaixado do nível d'água no poço –  $m^3/h/m$ ) dos poços em relação aos seguintes fatores: tipo de rocha, blocos geológicos, espessura do manto inconsolidado e fraturas.

A partir dos fatores apresentados, obteve-se que o Aquífero Fraturado Serra Geral destaca-se em relação aos demais aquíferos fraturados do Estado, pois exibem valores de capacidade específica significativamente elevada. Neste caso, as feições responsáveis pela potencialidade diferenciada do aquífero, podem ser atribuídas pelas fraturas tectônicas, descontinuidades verticais (disjunções colunares) ou sub-horizontais e vesículas. Essas feições norteiam a circulação e armazenamento da água subterrânea.

Em função do grau de importância do mapa de lineamentos, dentro do conceito de produtividade do aquífero, pode-se dizer que as áreas associadas aos lineamentos de drenagem mostraram-se relativamente mais produtivas (atributo: capacidade específica), do que as demais áreas. Segundo os dados do DAEE (1979), as relações de produtividade dos poços que exploram os basaltos próximos às feições de lineamentos são 10 vezes maiores que outras da unidade aquífera.

A partir da análise do potencial hidrogeológico dos aquíferos fraturados paulista, identificaram-se 4 classes. Os basaltos foram classificados como classe 4, os quais apresentam vazões prováveis de exploração entre 7 e 100  $m^3/h$ , caracterizando-se como as melhores áreas para captação das águas subterrâneas.

Segundo Bittencourt et al. (2003), o quimismo das águas do Aquífero Serra Geral corresponde aos processos de dissolução dos basaltos e o equilíbrio com minerais secundários, ocorrendo à mistura com águas de aquíferos sotopostos. Essa última condição deve-se em função

de discontinuidades geológicas que propiciam condições hidráulicas favoráveis. Nesse cenário descrito, as águas da Formação Serra Geral podem ser classificadas como bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas cálcio-sódicas, bicarbonatadas cálcio-magnesianas e, raramente, bicarbonatadas sódicas.

### **3.1.2.2 – Hidrogeologia local**

Para a caracterização hidrogeológica local da área de Araraquara foram executados em campo 99 ensaios de condutividade hidráulica da zona não-saturada (ANEXO 3), 190 poços escavados (ANEXO 4), 37 sondagens elétricas vertical, utilizado dados de poços tubulares, sondagens de simples reconhecimento e poços de monitoramento. Outra ferramenta fundamental para amparar a análise hidrogeológica foram os dados geológicos (ANEXO 2). Certamente as exposições apresentadas foram formuladas com base no banco de dados descrito, ou seja, a partir do refinamento das informações primárias e do conhecimento prévio do autor. Vale ressaltar que interpretações distintas as apresentadas nessa tese de doutoramento também podem ser válidas, a partir do cumprimento de sistemáticas de investigação diferentes.

#### **a) Generalidades e modelos hidrogeológicos conceituais**

Ruiz (2001) contribuiu para o entendimento das áreas de topos de derrames basálticos onde predominam áreas com feições de escape de gases e de intenso fraturamento. Essas feições são importantes para o acúmulo de água freática oriunda dos processos de infiltração.

Sob o ponto de vista hidrogeológico, essas áreas representam os topos de derrames basálticos e possuem significativa relevância local, pois essas feições favorecem o armazenamento da água subterrânea, principalmente as águas oriundas do aquífero livre que alimentam os poços escavados.

O armazenamento da água subterrânea nessas regiões contribui para exploração do recurso hídrico subterrâneo através de poços escavados (cacimbas) que, embora com baixas vazões, podem atender especialmente o abastecimento de propriedades rurais (sítios e chácaras) desprovidas do abastecimento público.

Sob o ponto de vista estrutural, pode-se afirmar que o fraturamento vertical a subvertical, caracterizado nos derrames basálticos, certamente, imprimem influência favorável na percolação

de fluídos superficiais, alimentando o aquífero das formações geológicas sotopostas (Formação Botucatu, ANEXO 2A). É importante ressaltar que durante a implantação de sistemas de gestão de recursos hídricos, contemplando o aquífero livre, deve-se levar em consideração as estruturas geológicas de subsuperfície. A geofísica, em especial, o método da eletrorresistividade (técnica da sondagem elétrica vertical e do caminhamento elétrico) é uma ferramenta de investigação indireta que contribui para o processo de análise de estruturas subterrâneas.

Observaram-se também irregularidades na geometria do topo dos derrames, os quais podem formar feições de embaciamento (concavidade) e de convexidade. Apoiado no banco de dados das informações hidrogeológicas, geológicas e geofísicas foi possível a construção de modelos conceituais hidrogeológicos do aquífero livre que permitem exemplificar as configurações do posicionamento dos derrames basálticos da Formação Serra Geral. O reconhecimento dessas feições que são apresentadas nessa pesquisa corrobora com outras pesquisas desenvolvidas na região de Ribeirão Preto (MALDANER et al., 2006 e FERNANDES et al., 2006).

A partir dos estudos realizados por Meaulo (2004) e Meaulo et al. (2005 a,b), juntamente com os resultados desta pesquisa sobre o aquífero livre da área de Araraquara, confeccionaram-se três modelos hidrogeológicos conceituais (exploratório, Figuras 23 a 28) sobre a interação entre as formações geológicas da área de estudo e a água do aquífero livre.

A veracidade desses modelos conceituais ainda requer estudos específicos sobre a hidrodinâmica e hidroquímica dos aquíferos. Vale informar que esse desdobramento da investigação hidrogeológica não está contemplado nesta pesquisa. Portanto, a proposta de apresentar os modelos, ainda que de forma exploratória, pode ser entendida como uma contribuição para pesquisas futuras. Registradas as considerações sobre o conhecimento que, de certa forma, pode sustentar o modelo conceitual do aquífero livre, apresenta-se a representação gráfica a cerca das subdivisões do aquífero (Figuras 23 a 28).

O Modelo 1 A (Figura 23) apresenta a relação entre a rocha sã e o solo autóctone da Formação Botucatu. O limite do nível d'água do aquífero livre é marcado, parcialmente, pela litificação da rocha sã. Ocorrem também em afloramentos (tipo corte de estrada) a percolação da água a partir de planos das estratificações cruzadas e eventuais fraturas. Essas evidências de campo são observadas predominantemente na porção sudoeste da área de estudo (ANEXOS 2 e 4).



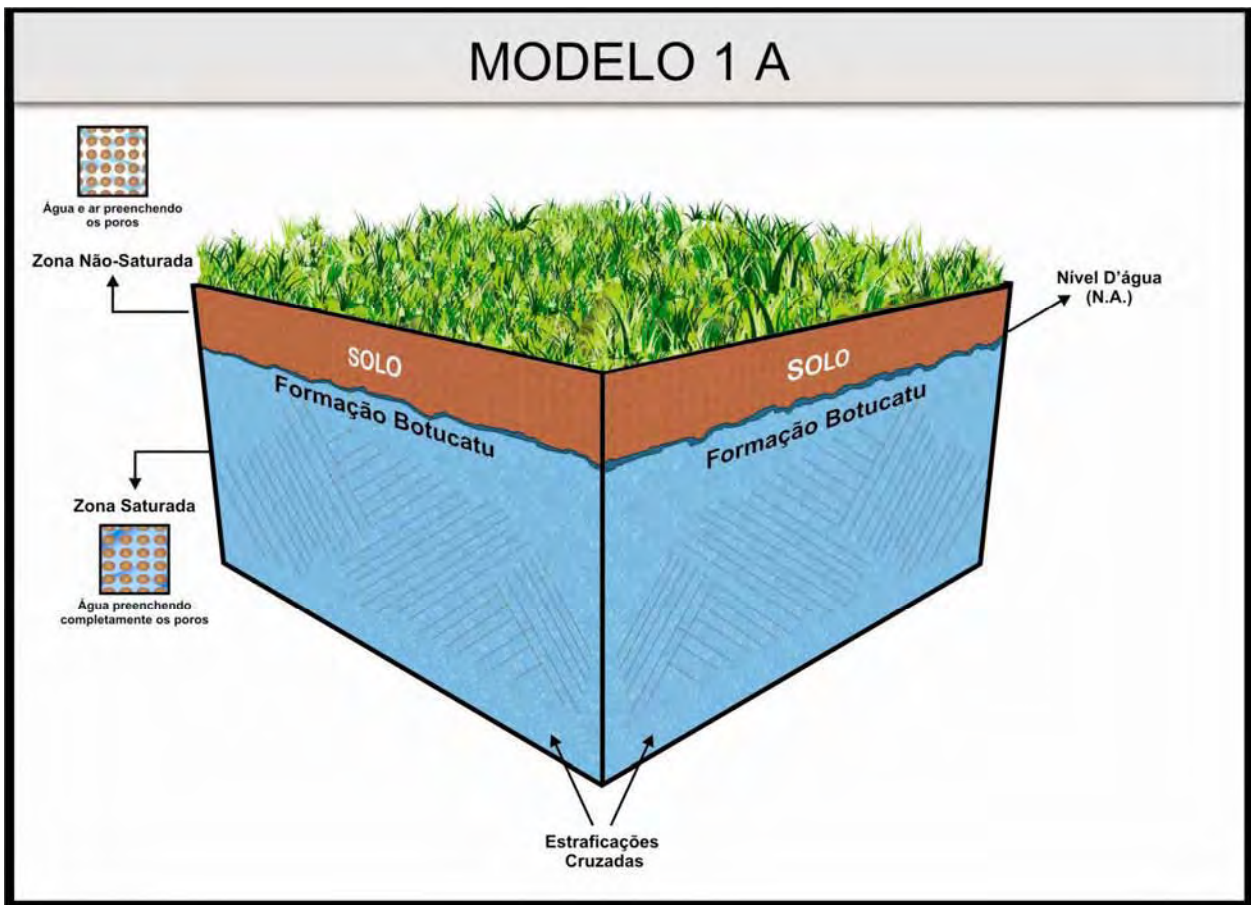


Figura 23: Modelo (1A) conceitual hidrogeológico para a Formação Botucatu

O Modelo 1 B (Figura 24) exhibe a relação entre a rocha sã e o sedimento inconsolidado (solo) da Formação Botucatu assentado sobre o basalto da Formação Serra Geral. Vale destacar que esta condição litoestratigráfica não representa uma inversão da estratigrafia local (provocada por falhas geológicas), todavia, correspondem às áreas onde está presente o sistema intertrapiano (intercalações locais de arenito eólico nos derrames basálticos). O limite superior do nível d'água do aquífero livre encontra-se nos sedimentos inconsolidados, contemplando o arenito (areias) e o saprolito basáltico (geralmente apresentando esfoliação esferoidal). As porções onde predominam essas feições toleram, relativamente, melhor a influência dos efeitos da sazonalidade da água subterrânea do aquífero livre. Essa constatação é baseada no monitoramento do nível d'água dos poços cacimba pesquisados. Essas evidências de campo são válidas para a porção sudoeste da área de estudo (ANEXOS 2 e 4).

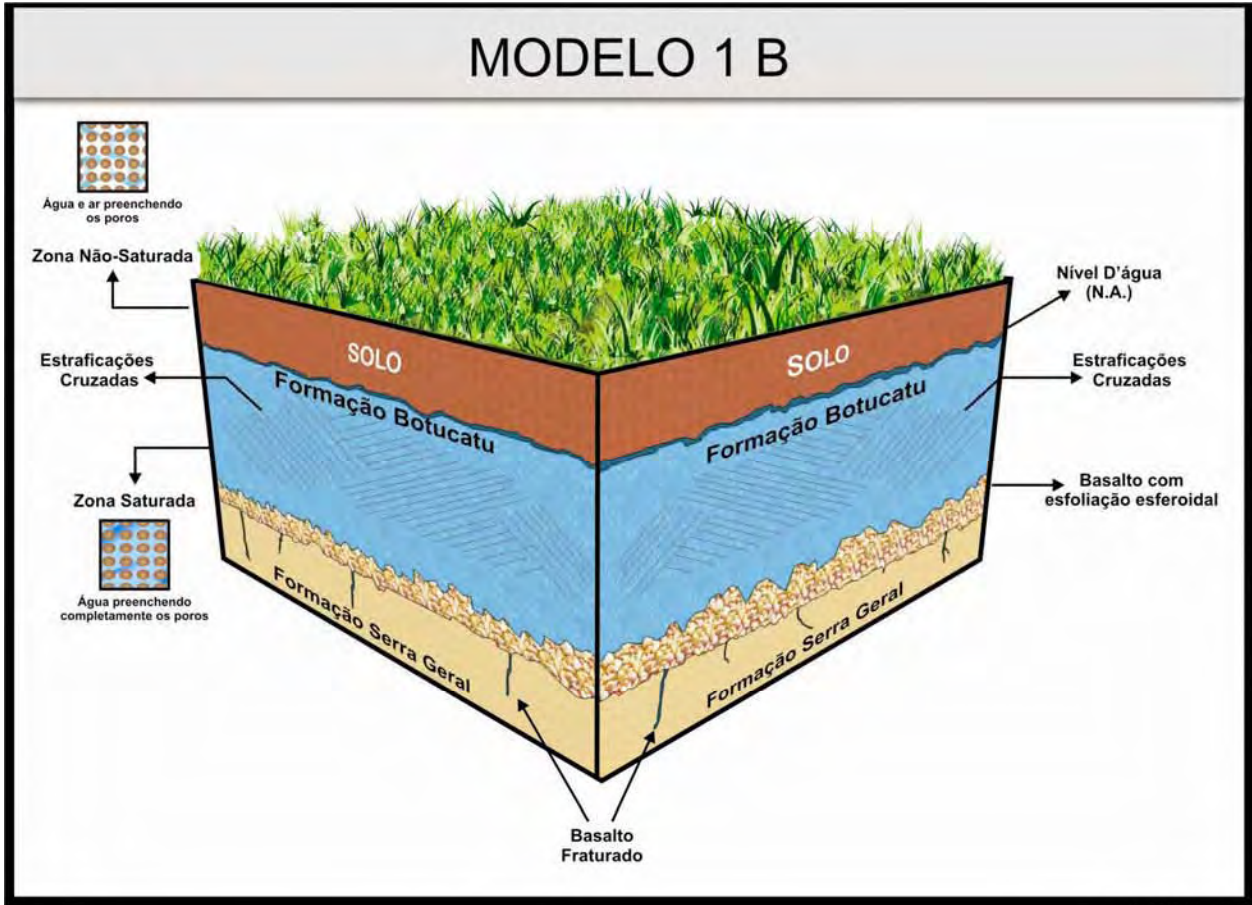


Figura 24: Modelo (1B) conceitual hidrogeológico para as formações Botucatu e Serra Geral (SW da área).

O Modelo 2 A (Figura 25) mostra a relação entre os sedimentos silto-arenosos (solo residual) da Formação Adamantina sobreposto ao derrame basáltico da Formação Serra Geral. Na região de Araraquara o contato entre a Formação Adamantina e Formação Serra Geral, em geral, é marcado por uma linha de seixos e cascalhos quartzosos de geometria predominantemente subarredondados a arredondados (MEAULO et al., 2005). O limite superior do nível d'água do aquífero livre ocorre diretamente no solo residual da Formação Adamantina e este aquífero estende-se até o saprolito basáltico (geralmente com esfoliação esférica). A base do aquífero é representada pela rocha sã (basalto) da Formação Serra Geral, onde também pode ocorrer a percolação da água através das discontinuidades. Nesse cenário o nível d'água apresenta significativa correlação com a superfície topográfica e os efeitos da sazonalidade do nível da água do aquífero livre são minimizados em função da favorabilidade de armazenamento da água

junto ao saprolito com esfoliação esferoidal. A ocorrência deste tipo de modelo é comumente encontrada em toda área de estudo.

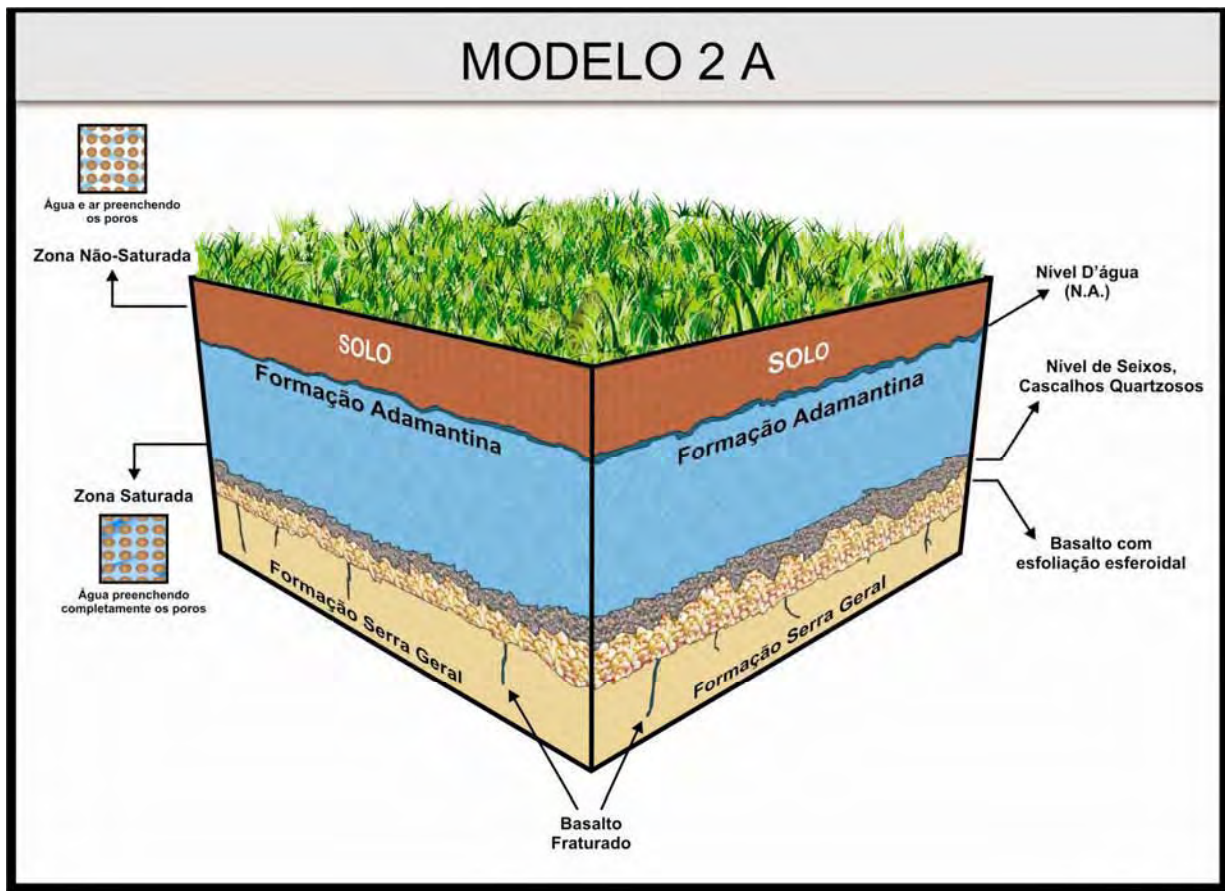


Figura 25: Modelo (2A) conceitual hidrogeológico para as formações Adamantina e Serra Geral.

O Modelo 2 B (Figura 26) expõe a relação entre os sedimentos silto-arenosos (solo residual) da Formação Adamantina sobreposta ao derrame basáltico da Formação Serra Geral, juntamente com a linha de seixos e cascalhos quartzosos (*datum* geológico local). Os limites do nível d'água do aquífero livre é similar ao descrito no Modelo 2 A (Figura 25). Contudo, a estrutura em formato côncavo do topo do derrame basáltico proporciona um aumento da espessura da camada sedimentar e, por conseguinte, na espessura saturada do aquífero. O reflexo dessa estrutura no mapa hidrogeológico (ANEXO 4) pode resultar em uma configuração peculiar, onde a seqüência de isolinhas progressivas indicam a geometria da concavidade, ocorrendo o aumento da profundidade do nível d'água para o centro da estrutura. A ocorrência desse tipo de feição foi mapeada com base nos dados geofísicos, geológicos e através da medição absoluta da

profundidade do nível d'água. As seções geológicas (ANEXO 3) também exibem, localmente, os aspectos descritos.

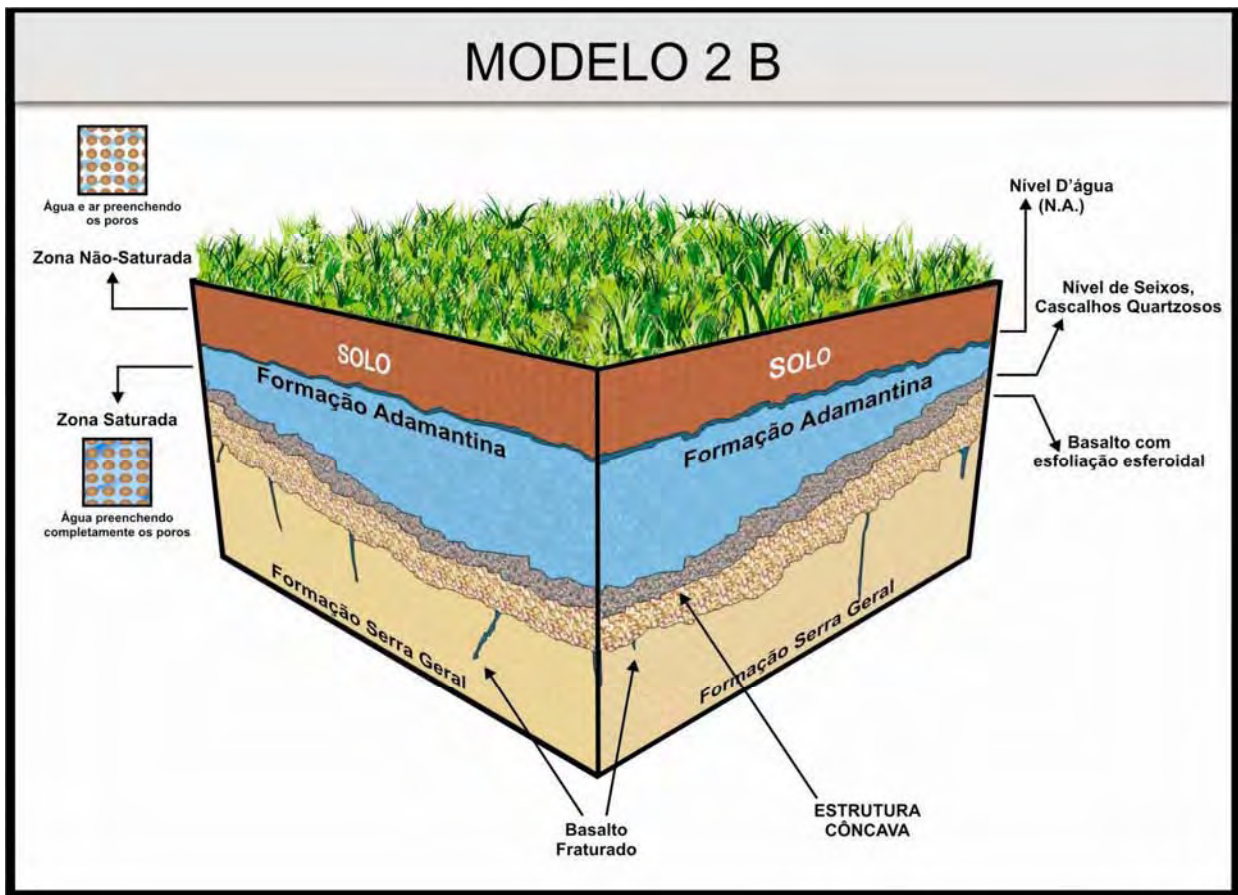


Figura 26: Modelo (2B) conceitual hidrogeológico para as formações Adamantina e Serra Geral, estrutura côncava.

O Modelo 2 C (Figura 27) ilustra conceitualmente a relação estratigráfica entre a Formação Adamantina (topo) e a Formação Serra Geral. A estrutura em formato convexo do topo do derrame basáltico proporciona uma redução da espessura da coluna da água subterrânea e da unidade geológica, imprimindo reflexos no ordenamento das isolinhas do mapa hidrogeológico (ANEXO 4).

As isolinhas tendem a diminuir para o cume da convexidade, ocorrendo a diminuição da profundidade do nível d'água para o centro da estrutura. Essa verificação pode explicar, parcialmente, as distorções no arranjo das isolinhas (mapas potenciométrico e de superfície de tendência) geralmente observadas nos documentos cartográficos, ou seja, há influência de estruturas de subsuperfície pré-existentes. Em locais onde a declividade do terreno é acentuada essas distorções passam a ser significativas.

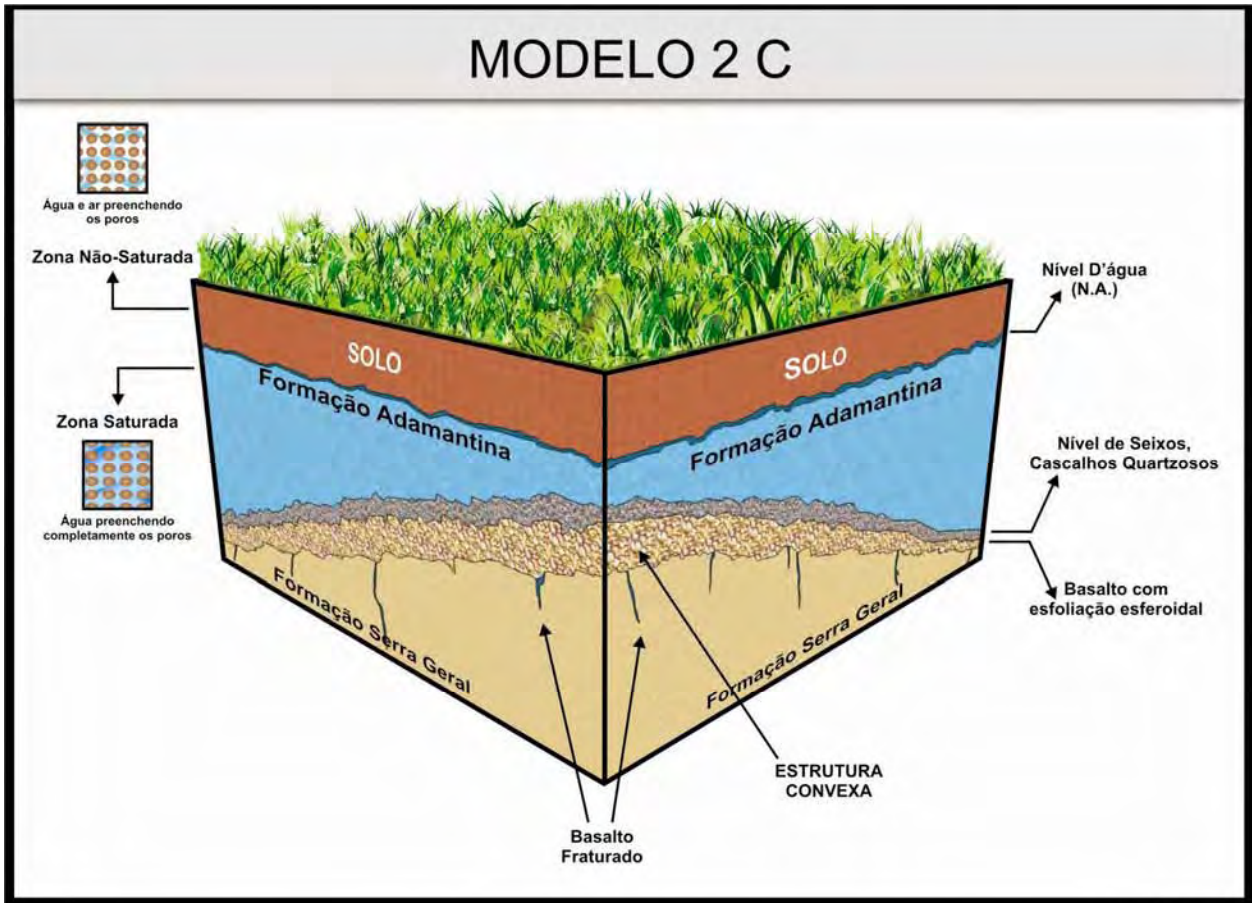


Figura 27: Modelo (2C) conceitual hidrogeológico para as formações Adamantina e Serra Geral, estrutura convexa.

O Modelo 3A (Figura 28) é apresentado em caráter exploratório e sob o ponto de vista conceitual, pois ainda existem algumas lacunas no conhecimento da porção centro-leste da área de estudo que não permite avançar na construção do modelo.

As complexidades inerentes ao modelo estão centradas na temática da geologia estrutural e hidrogeoquímica que não serão solvidas nessa pesquisa. Entretanto, mostra-se a relação entre as unidades geológicas dos Sedimentos Cenozóicos (topo) e das formações Serra Geral e Botucatu. Essas últimas unidades geológicas podem apresentar relação de contato por falha e/ou por discordância erosiva e elas em relação ao contato com os Sedimentos Cenozóicos por discordância erosiva.

Na porção leste da área de estudo (ANEXOS 3 e 4) o limite superior do nível d'água do aqüífero livre ocorre diretamente nos sedimentos arenosos inconsolidados da unidade Cenozóica. Neste modelo as formações sotopostas (Formação Serra Geral e Formação Botucatu) representam o nível de base para o aqüífero livre.

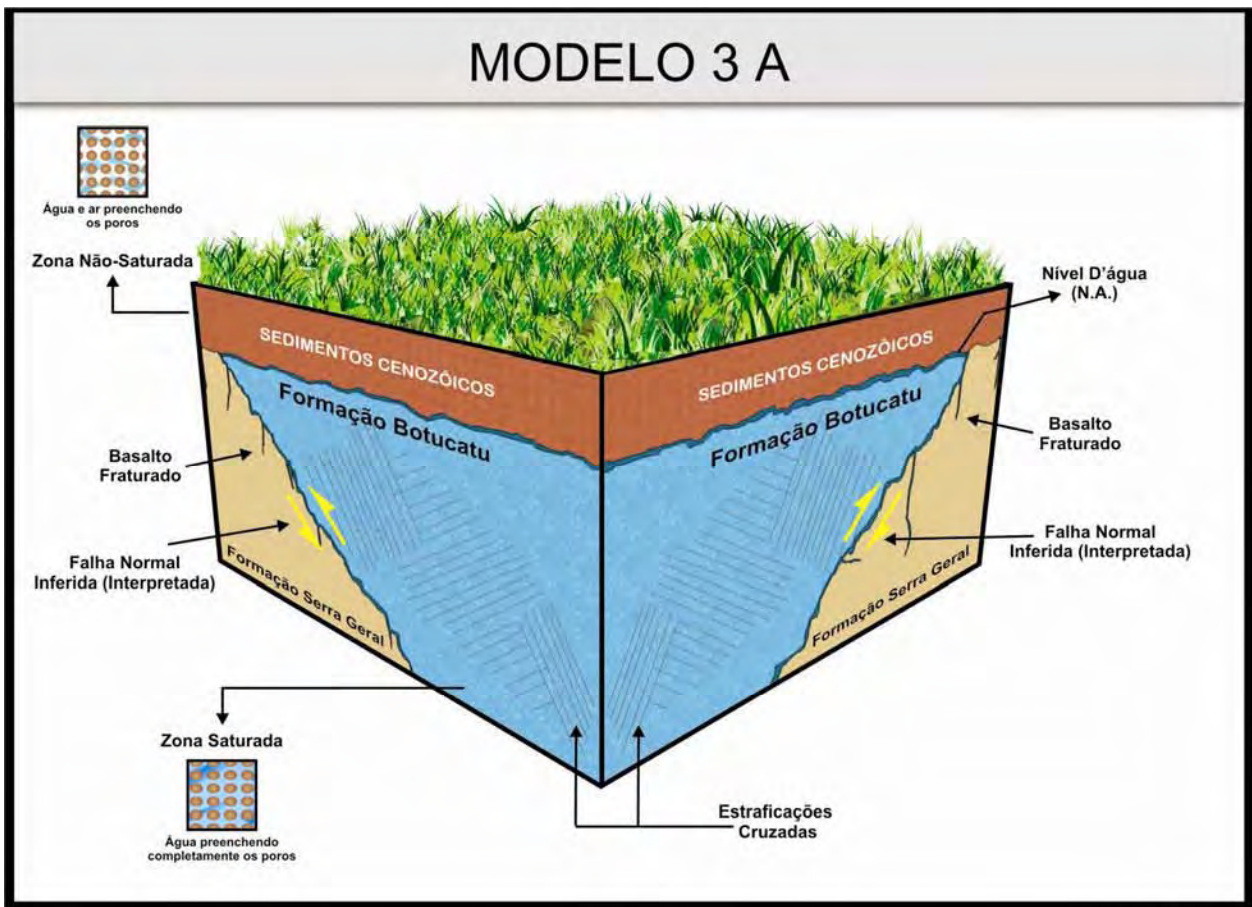


Figura 28: Modelo (3A) conceitual hidrogeológico para os Sedimentos Cenozóicos e as formações sotopostas.

Na porção leste da área de estudo (ANEXOS 3 e 4) o limite superior do nível d'água do aquífero livre ocorre diretamente nos sedimentos arenosos inconsolidados da unidade Cenozóica. Neste modelo as formações sotopostas (Formação Serra Geral e Formação Botucatu) representam o nível de base para o aquífero livre. Nas áreas de ocorrência dos Sedimentos Cenozóicos podem estar presentes ambas as associações apresentadas na representação gráfica do Modelo 3A (Figura 28), entretanto, predominam as feições associadas entre os Sedimentos Cenozóicos e a Formação Botucatu.

## **b) Análise da profundidade do nível d'água e de vazão**

Foram realizados estudos localizados de monitoramento do nível da água subterrânea do aquífero livre em dois bairros, Jardim Ieda Norma (SW da área) e Jardim Chácara Flora (N da área) no município de Araraquara (ANEXO 1) com a finalidade de compreender, o comportamento de infiltração das águas superficiais (principalmente as pluviais). Essa avaliação está apoiada na análise dos dados de condutividade hidráulica (ANEXO 3) e do substrato geológico da área (ANEXO 2), sendo possível traçar algumas relações no tocante a recarga do aquífero livre.

Ambas as áreas escolhidas possuem características de urbanização similar, composta por sítios e chácaras, onde a impermeabilização do solo é relativamente baixa quando comparada a outras áreas do município e o abastecimento de água é predominantemente oriundo de poços escavados (cacimba). Entretanto, sob o ponto de vista geológico, a área do bairro Ieda Norma está assentada sobre os sedimentos silto-arenosos da Formação Adamantina e corroboram com os modelos conceituais hidrogeológicos da série nº 2 (modelos 2A, 2B, 2C, Figuras 25, 26 e 27, respectivamente). A segunda área do bairro Chácara Flora está localizado sobre a região de afloramento dos Sedimentos Cenozóicos (arenosos) e se apóiam no modelo conceitual hidrogeológico da série 3 (Modelo 3A, Figura 28).

Os resultados do monitoramento do nível d'água do aquífero livre das duas áreas estudadas permitem apresentar algumas considerações, até o momento inédito para a área de estudo, que podem contribuir com o planejamento e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. São eles:

- o índice pluviométrico do período chuvoso para a área de estudo não possui reflexo imediato na recarga do aquífero livre;
- a partir da análise da pluviometria e da profundidade do nível d'água, pode-se constatar que existe um tempo de infiltração estimado de 3 a 4 meses para se iniciar a recarga do aquífero livre. Isso equivale a dizer que, no período de seca (maio a outubro), o aquífero livre está atingindo o nível máximo para aquele período do ano (válido para o ano de 2006);
- a variação sazonal do nível d'água, em geral, é da ordem de 3 a 4 m de profundidade, aferida através de medidas absolutas em poços escavados (sem bombeamento). Nas áreas adjacentes aos platôs (relevo plano) a variação da profundidade do nível d'água é

acentuada e nas regiões próximas as drenagens a variação do nível diminui relativamente por influência da água superficial;

- informações de campo obtidas junto aos perfuradores de poços escavados (poceiros) apontam que o período chuvoso é o indicado para abertura de um poço, pois o N.A. encontra-se mais profundo, garantindo o abastecimento nas épocas de escassez do recurso hídrico subterrâneo;
- verificou-se que nas áreas de afloramento dos Sedimentos Cenozóicos (Chácara Flora) o tempo de infiltração é relativamente maior que na área de exposição dos sedimentos da Formação Adamantina (Ieda Norma). Entretanto, os poços escavados perfurados nos sedimentos arenosos são susceptíveis em secar e em receber fluídos (poluentes) que interferem na qualidade da água do aquífero livre.

Na análise da profundidade do nível estático, foram utilizados dados de poços tubulares, poços escavados (cacimbas), sondagens e através de dados de geofísica, por meio da técnica da sondagem elétrica vertical (SEVs). Cabe ressaltar que os terrenos naturais em vazios urbanos e próximos a fontes potenciais de poluição, foram selecionados de forma criteriosa para a realização das Sondagens Elétricas Verticais, atendendo a Lei CRH 052 de 15 de Abril de 2005. Visando facilitar o manuseio das informações hidrogeológicas, os dados foram divididos em grupos semelhantes e de mesma fonte de origem, sendo analisados independentemente e posteriormente analisados de forma conjunta. Para averiguação das dispersões de valores do conjunto e do comportamento dos dados de forma descritiva empregou-se a ferramenta de análise da estatística básica de grupo de dados.

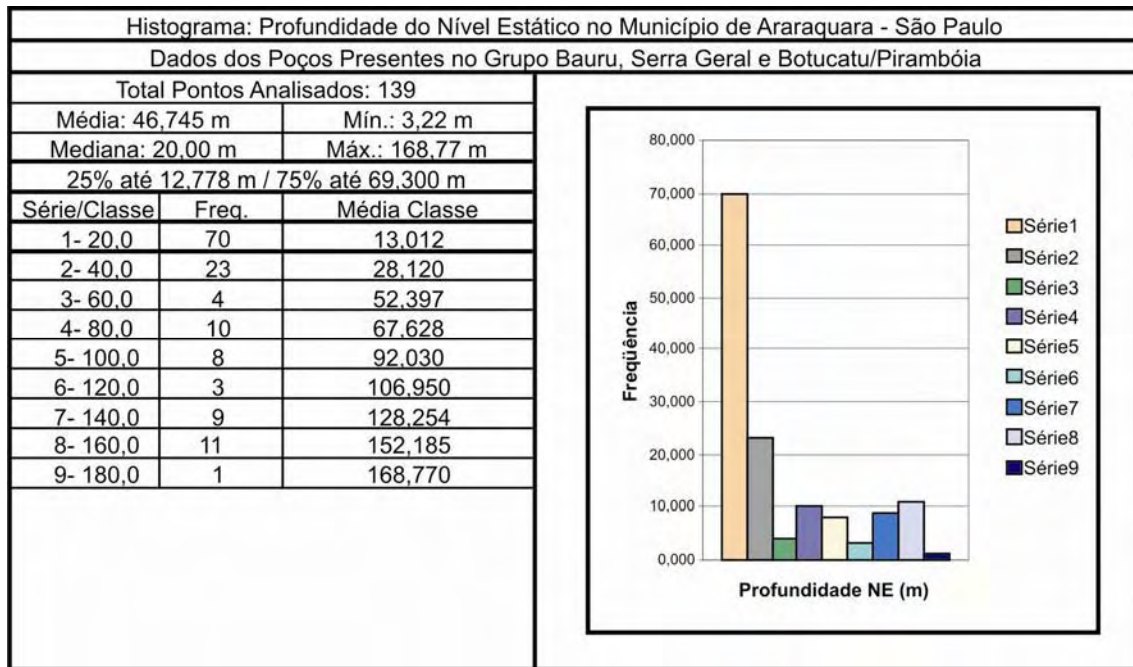
As principais divisões praticadas foram os dados provenientes de cadastro de poços tubulares do DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo), DAAE (Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Araraquara), poços escavados (cacimba) e por intermédio das interpretações dos dados geofísicos (SEV).

Foram cadastrados, através Sistema de Cadastro de Poços Tubulares do DAEE 191 poços que exploram água através dos sistemas aquíferos Bauru, Botucatu/Pirambóia e Aquífero Serra Geral, sendo que desse total, foram utilizados 139 dados para análise descritiva. Os dados que não foram utilizados na análise estatística apresentavam algum tipo de inconformidade (ausência de parâmetros) que não contemplava o objetivo dessa pesquisa.

O resultado da análise exibido no histograma (Quadro 4), foi elaborado com base em 139 poços cadastrados e apresenta os seguintes valores para: média calculada de 46,74m para a



profundidade do nível estático; 3,22m e 168,77m são os valores mínimos e máximos, respectivamente, para a profundidade do nível estático. Esses dados devem ser avaliados e utilizados com algumas ressalvas, pois não é possível assegurar que para os poços analisados, estejam realmente representando o nível estático (aquíferos livres), pois estas formações geológicas podem estar confinadas ou sob sistema de *inter-traps*.

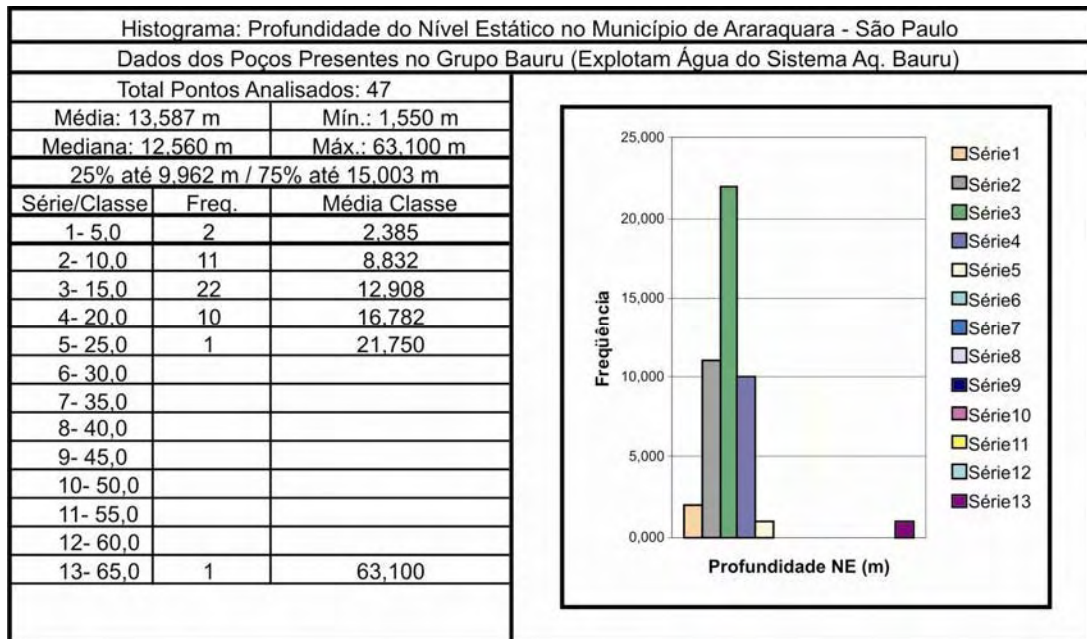


Quadro 4 – Análise conjunta da profundidade do nível estático no município de Araraquara (SP).

Com a finalidade de minimizar eventuais desacertos e manter a qualidade dos dados aqui analisados, os dados referentes aos poços tubulares foram separados e analisados somente os poços que explotam água do sistema aquífero Bauru, pois estes apresentam comportamento de aquífero livre na área de estudo, sendo o nível estático representado pela profundidade do nível de água subterrâneo (lençol freático).

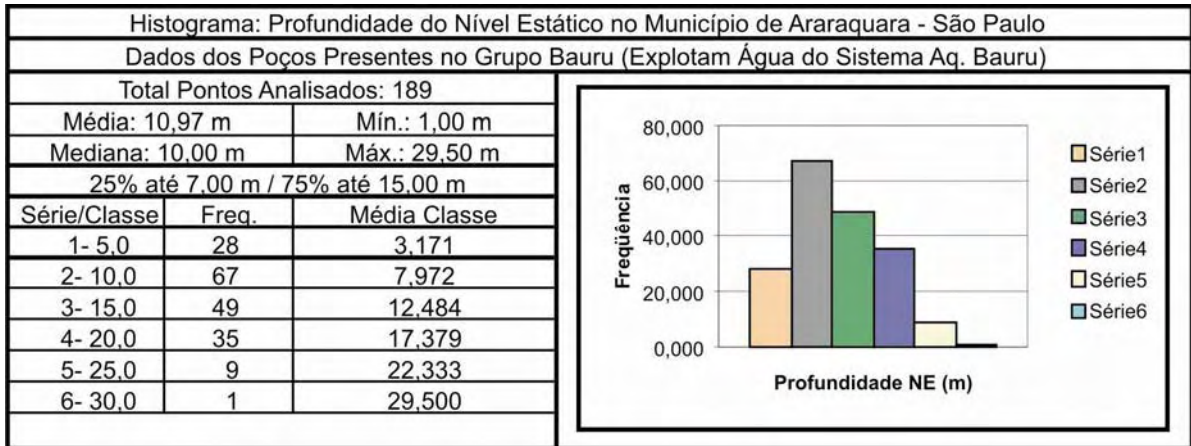
Do total dos poços cadastrados através SIDAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas, 191 poços), utilizaram-se 47 poços que explotam água do sistema aquífero Bauru. Na análise do histograma, representado no Quadro 5, observa-se que a média dos dados para a profundidade do nível estático foi de 13,5m, próximo ao valor da mediana (12,5m). Nota-se também que 75% dos dados não ultrapassam a profundidade de 15,00m. Realizou-se uma análise em separado dispensando os dados referentes à série 13, no entanto, não se observaram significativas alterações nos resultados da análise. Os valores descritos possuem fundamental relevância para os órgãos reguladores e gestores dos recursos hídricos subterrâneos, pois esses

dados estão significativamente próximos aos limites de intervenção para a execução e instalação de poços de monitoramento e análise da qualidade da água subterrânea durante os trabalhos de levantamentos de passivo ambiental, segundo as normas estabelecidas pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Os dados apresentados também podem ser utilizados como referência na implantação de novos empreendimentos e principalmente em projetos construtivos de novos poços que exploram água do sistema Aquífero Bauru.



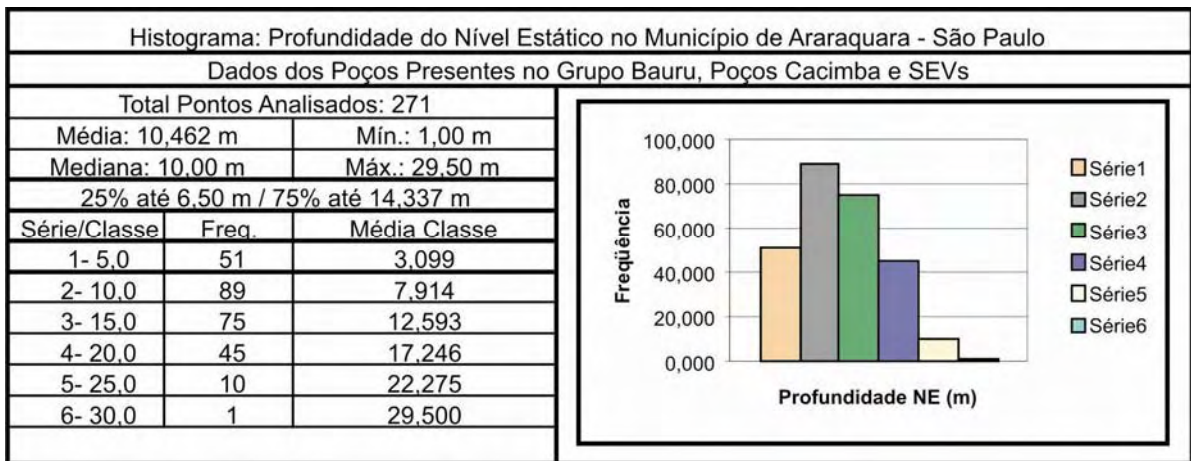
Quadro 5 – Análise da profundidade do nível estático dos poços que explotam água do Aquífero Bauru.

Na análise dos poços escavados (ANEXO 1), do total de 190 poços, foram analisados 189 poços, conforme demonstrado no histograma do Quadro 6, representando uma síntese da estatística básica para os poços escavados (cacimbas) da área de estudo. A média calculada do nível estático para os poços foi de 10,97m, sendo que 75% dos dados não ultrapassam valores de 15m para a profundidade do nível d'água subterrânea. Em geral os dados se mostram relativamente bem distribuídos, sendo que os limites de classe entre 10 e 15m, ocorrem a maior concentração dos valores. Posteriormente a análise dos grupos apresentados, desenvolveu-se uma análise conjunta dos dados, propiciando representa-los de forma espacial.



Quadro 6– Análise da profundidade do nível estático dos poços escavados (tipo cacimba).

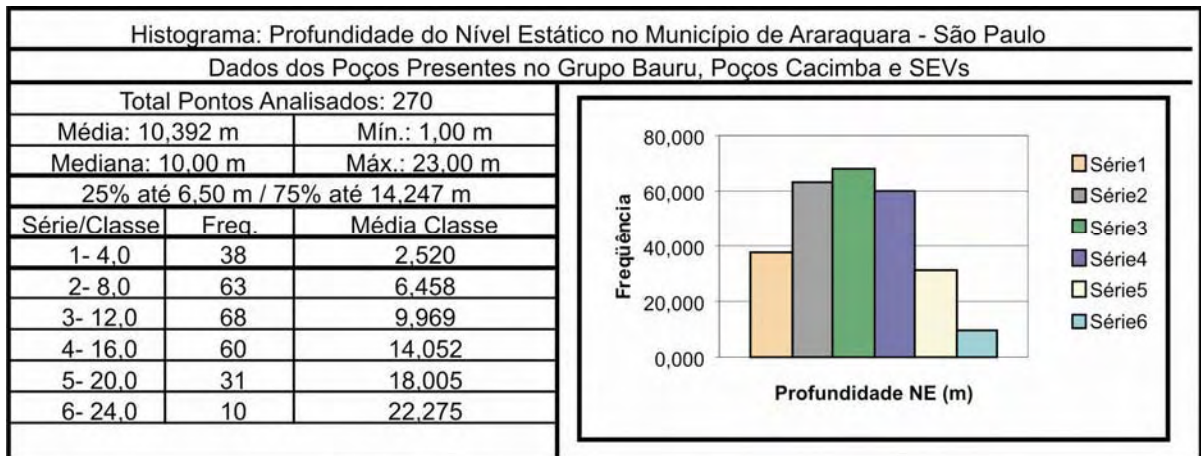
A partir da avaliação do histograma do Quadro 7, observa-se que a média conjunta dos dados dos poços presentes no Aquífero Bauru, poços escavados e SEV são da ordem de 10,46m (~10,5m) de profundidade para o nível estático e de 10m para o valor da mediana.



Quadro 7 – Análise geral da profundidade do nível estático no município de Araraquara (SP).

Na análise descritiva final (270 informações hidrogeológicas) para os dados referentes aos valores de nível estático, observa-se um valor médio de 10,4 m de profundidade (Quadro 8), sendo que este valor, no entanto, fica sujeito a variações de bombeamento de poços vizinhos, imprecisão na medição, e até mesmo ao período do ano que os dados foram coletados (variação sazonal).

Verifica-se também que 75% dos dados não ultrapassam 14,2 m, e que a média, em geral, possui valores próximos a mediana, indicando uma dispersão tênue entre os dados, aumentando com isso significativamente a confiabilidade da análise estatística descritiva utilizada na presente tese de doutoramento. Ressalta-se também no histograma (Quadro 8) que no limite de classe entre 8 a 16 m ocorre a maior concentração dos dados referentes ao nível estático.



Quadro 8 – Análise descritiva final da profundidade do nível estático no município de Araraquara (SP).

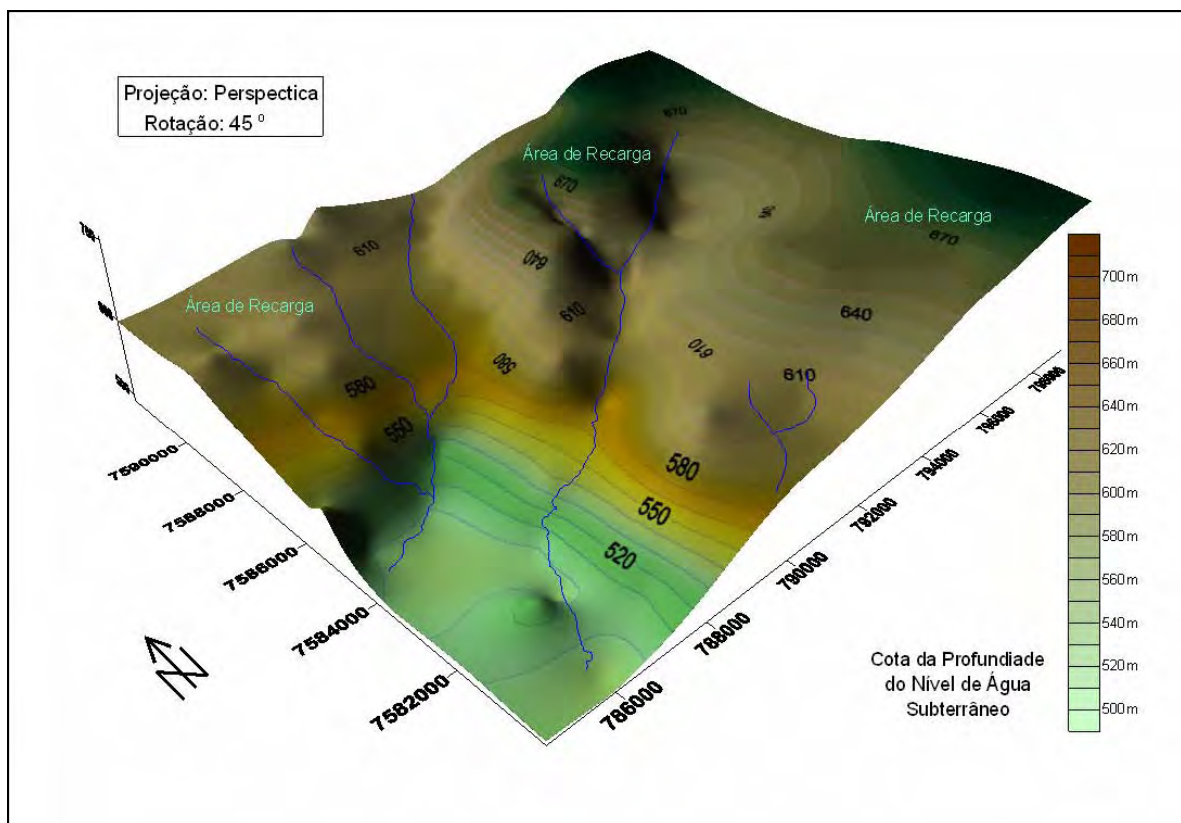
Com base nos resultados estatísticos apresentados foi elaborado o mapa de superfície de tendência do nível d'água do aquífero livre da área de Araraquara (ANEXO 4). A análise do comportamento do fluxo de água subterrânea pode auxiliar na adoção de medidas que minimizem os riscos de impactos ambientais causados por empreendimentos potencialmente poluidores. Contudo, a aplicação desse documento cartográfico deve considerar que o nível d'água subterrâneo (aquífero livre) é influenciado pela sazonalidade imposta pelo regime pluviométrico daquele território. Existem ainda fatores de ordem meteorológicas, hidrológicas, grau de impermeabilização do solo, características da urbanização do território, super-exploração dos recursos hídricos que influenciam a recarga do aquífero.

Nesta pesquisa, programou-se a realização das campanhas de coleta de dados em campo (poços escavados) no período entre os meses de abril a agosto (2006), plenitude da recarga do sistema aquífero, com a finalidade de dimensionar a espessura da zona não-saturada.

Conforme apresentado no ANEXO 4, o critério de escolha dos intervalos das linhas de isovalores da profundidade da água subterrânea foi balizado a partir dos limites contemplados no Método GOD de avaliação da vulnerabilidade natural (FOSTER et al., 2002).

Em posse do mapa do nível d'água (ANEXO 4) observa-se que a configuração das isolinhas acompanha o desenvolvimento da topografia. Em linhas gerais o fluxo subterrâneo percorre o sentido das cotas topográficas mais altas para as mais baixas, alimentando a rede de drenagem local. A Figura 29 (MEAULO et al., 2005) esboça a superfície potenciométrica da área de Araraquara.

Constatou-se que o nível freático local alimenta as principais drenagens, portanto, a locação dos poços de monitoramento, para diversas finalidades, deve considerar a direção do fluxo subterrâneo. Deve-se também levar em consideração a presença de estruturas pré-existentes, em especial, nas áreas onde os derrames basálticos representam o nível de base do aquífero livre. Analisando-se o bloco diagrama da superfície potenciométrica (Figura 29), verifica-se que as cotas de maior valor numérico estão associadas às regiões em que a zona não-saturada apresenta maiores espessuras.



Fonte: Meaulo et al. (2005).

Figura 29 - Bloco diagrama ilustrando a superfície potenciométrica na área de estudo.

## **Análise da vazão**

A construção de poços para captação de águas subterrâneas, está amparada por normas técnicas fixadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os projetos de poços devem ser elaborados em acordo com a ABNT-NBR 588 (1990) e os procedimentos para a construção dos poços são definidos na norma ABNT-NBR 1290 (1992). Os aspectos construtivos dos poços são muito importantes para o ideal funcionamento do poço, além de interferir na quantidade e qualidade de água a ser explorados. A boa produção dos poços está relacionada a fatores diversos, como a qualidade técnica construtiva do poço, a profundidade do poço, a localização, bem como o adequado dimensionamento dos equipamentos do sistema de bombeamento.

Na análise de vazão, não foi possível considerar o aspecto construtivo dos poços, em função da ausência de dados. Nesse sentido, os cálculos exibidos são orientativos e enquadram-se como referência local para as diferentes unidades aquíferas. Para a análise da vazão, 150 poços foram cadastrados, desse total, 46 poços exploram água do Aquífero Adamantina (Grupo Bauru), 48 no Aquífero Serra Geral e 56 no Aquífero Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani).

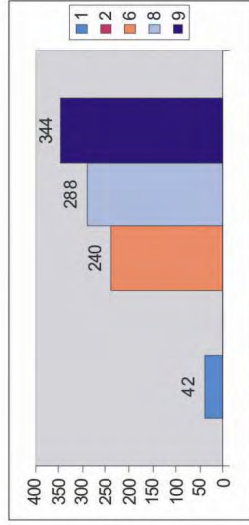
A análise de vazão dos poços que exploram o aquífero fraturado da Fm. Serra Geral (Quadro 9), possui média de 36,38 m<sup>3</sup>/h e expressa uma diferença significativa entre o valor mínimo de 0,90 m<sup>3</sup>/h e máximo de 344 m<sup>3</sup>/h. Essa diferença pode estar associada a caracterização do fraturamento do maciço rochoso, em função do maior e/ou menor número de fraturas presentes na rocha, tipo de fratura (aberta ou fechada) e também pela presença ou ausência de preenchimento mineral.

Para os poços que exploram água no sistema Aquífero Botucatu/Pirambóia (Aquífero Guarani), obteve-se o valor médio de 170,35 m<sup>3</sup>/h para a vazão de água e 75% dos poços apresentam valores de até 164 m<sup>3</sup>/h. O Quadro 10 exhibe que o limite de 0-300m<sup>3</sup>/h concentra a maior frequência dos dados.

Na análise dos poços no Aquífero Adamantina (Grupo Bauru), pode-se calcular a média de 4,36 m<sup>3</sup>/h de vazão de água, sendo que 75% dos poços apresentam vazão de até 4,50 m<sup>3</sup>/h e no limite de 0-5 m<sup>3</sup>/h, ocorre a maior concentração dos dados (Quadro 11).

Estatística Descritiva - Vazão (m³/h) - Aquífero Serra Geral				
Intervalo	Limite	Freq	Max Valor	Média Classe
1	0	40	2250	6,43
2	40	80	64,00	64,00
3	80	120	0,00	0,00
4	120	160	0,00	0,00
5	160	200	0,00	0,00
6	200	240	240,00	225,00
7	240	280	0,00	0,00
8	280	320	288,00	288,00
9	320	360	344,00	337,00
10	360	400	0,00	0,00

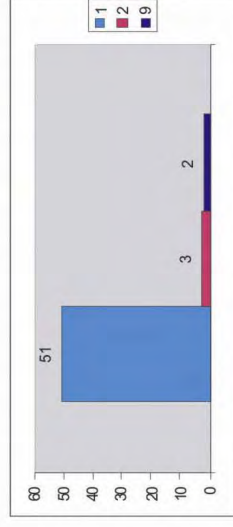
Resumo Geral - Estatística Básica					
N total	48,00	36,382	12,83	Mediana	5,77
Variancia	7561,07	Mínimo	0,90	25% th	2,57
Desvio Padrão	86,95	Máximo	344,00	75% th	10,00



Quadro 9: Histograma e tabela de vazão (m³/h) dos poços no aquífero Serra Geral, Mun. Araraquara-SP

Estatística Descritiva - Vazão (m³/h) - Aquífero Guarani				
Intervalo	Limite	Freq	Max Valor	Média Classe
1	0	300	230,00	69,04
2	300	600	350,00	336,00
3	600	900	0,00	0,00
4	900	1200	0,00	0,00
5	1200	1500	0,00	0,00
6	1500	1800	0,00	0,00
7	1800	2100	0,00	0,00
8	2100	2400	0,00	0,00
9	2400	2700	2527,80	2505,20
10	2700	3000	0,00	0,00

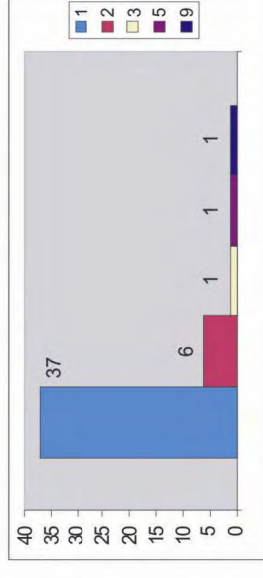
Resumo Geral - Estatística Básica					
N total	56,00	Média	170,35	Mediana	35,00
Variancia	214469,60	Mínimo	1,50	25% th	6,50
Desvio Padrão	463,11	Máximo	2527,80	75% th	164,00



Quadro 10: Histograma e tabela de vazão (m³/h) dos poços no aquífero Guarani, Mun. Araraquara-SP

Estatística Descritiva - Vazão (m³/h) - Aquífero Adamantina (Aq. Bauru)				
Intervalo	Limite	Freq	Max Valor	Média Classe
1	0	5	5,00	2,20
2	5	10	10,00	7,33
3	10	15	10,30	10,30
4	15	20	0,00	0,00
5	20	25	1	21,00
6	25	30	0	0,00
7	30	35	0	0,00
8	35	40	0	0,00
9	40	45	1	44,00
10	45	50	0	0,00

Resumo Geral - Estatística Básica					
N total	46,00	Média	4,36	Mediana	2,30
Variancia	48,58	Mínimo	0,40	25% th	1,20
Desvio Padrão	6,97	Máximo	44,00	75% th	4,50



Quadro 11: Histograma e tabela de vazão (m³/h) dos poços no aquífero Adamantina (Aq. Bauru), Mun. Araraquara-SP

### **c) Condutividade hidráulica *in situ***

O crescimento desordenado das cidades é fato e pode acarretar a conseqüências indesejáveis, seja no meio antrópico ou no meio natural. Dentre os impactos possíveis onde se podem destacam-se as inundações, os deslizamentos de terra e contaminação de águas subterrâneas. Entender como se estabelece o fluxo de água nos solos é um modo de remediar ou de prevenir esses problemas.

O coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica (**K**) pode ser considerado como um dos mais importantes parâmetros hidráulicos e exprime a maior ou menor facilidade com que a água percola através de um meio poroso.

Nos meios porosos isotrópicos a permeabilidade é uma constante calculada pela equação de Darcy, que relaciona a quantidade de água que passa através da unidade de área do material sob uma perda de carga igual a 1 (TUCCI, 2002). Em outras palavras, o **K** pode ser definido como a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

A condutividade hidráulica (**K**) é influenciada por diversos fatores, dentre eles: densidade do solo; densidade do líquido; distribuição, forma e arranjo das partículas; porosidade total; macroporosidade (volume de poros com diâmetro maior que 50 mm); microporosidade; características do fluído e teor de umidade volumétrica do material (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

Segundo Souza e Alves (2003), a compactação e a descontinuidade dos poros também são responsáveis pela significativa redução da permeabilidade no solo.

Existe carência de estudos de dinâmica da água em condições de campo, principalmente em condições não-saturadas. Porém, os estudos realizados indicam grande variação da condutividade hidráulica para uma mesma região.

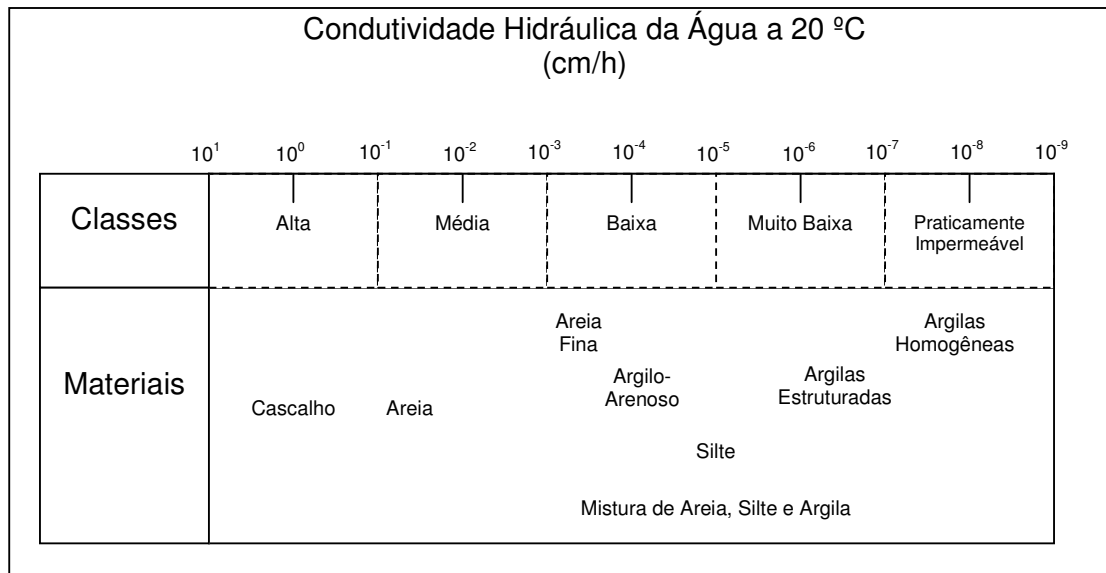
Áreas que parecem uniformes podem apresentar grandes variações para qualquer parâmetro. Portanto a representação espacial dos dados de condutividade hidráulica são documentos orientativos e de apoio ao planejamento e a gestão territorial (ANEXO 3).

A penetração de água no solo constitui-se em uma forma de prever a velocidade do processo erosivo ou de inundações, pois quando a taxa de infiltração diminui, aumenta o escoamento superficial (COSTA, 2005).



Sabe-se, por exemplo, que o principal mecanismo de desestabilização de encostas não-saturadas é a infiltração de água no solo, caracterizada pelo fluxo de água de um meio saturado para um meio não-saturado (JESUS, 2006). Desse modo, é de grande interesse determinar a condutividade hidráulica do solo, especialmente em problemas relacionados à agricultura, engenharias, geologia e meio ambiente.

Na literatura existem diversos outros artigos que propõem classificações simplificadas para a caracterização dos materiais pedológicos da zona não-saturada. Nessa pesquisa adotaram-se as categorizações propostas por Klute e Dirksen (1986), exibidas no Quadro 12, que apresenta classes de condutividade baseadas em diferenças texturais dos materiais, e por Fetter (1988), contemplado no Quadro 13 que relaciona as características intrínsecas dos materiais aos valores de **K** de sedimentos inconsolidados. Em ambas as classificações são expressas os valores numéricos que facilitam a consulta junto ao documento cartográfico (ANEXO 3). As unidades comumente utilizadas para expressar a condutividade hidráulica são: m/s (metros por segundo), cm/s (centímetros por segundo), cm/h (centímetro por hora), m/dia (metros por dia). No mapa de condutividade hidráulica da zona não-saturada (ANEXO 3), foi adotada a unidade cm/h.



Fonte: modificado de Klute e Dirksen, 1986 apud Costa,2005.

Quadro 12: Classificação da condutividade hidráulica de acordo com diferentes faixas texturais.

Na área de pesquisa no município de Araraquara foi realizado um total de 99 ensaios permeabilidade *in situ*, utilizando-se o permeâmetro de Guelph (modelo 2800KI) para obtenção de dados referente à condutividade hidráulica (ANEXO 1).

<b>Material</b>	<b>Permeabilidade Intrínseca (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Condutividade Hidráulica (cm/s)</b>
Argila	$10^{-14} - 10^{-11}$	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte; Silte arenoso	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia argilosa	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia siltosa; Areia fina	$10^{-10} - 10^{-8}$	$10^{-5} - 10^{-3}$
Areia bem distribuída	$10^{-8} - 10^{-6}$	$10^{-3} - 10^{-1}$
Cascalho bem distribuído	$10^{-7} - 10^{-5}$	$10^{-2} - 10^0$

Fonte: Fetter, 1988.

Quadro 13 - Permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados.

O ANEXO 3 exibe os dados de condutividade hidráulica em formato de documento cartográfico. Para elaboração do mapa de condutividade hidráulica da zona não-saturada foram selecionados locais aquisição de dados primários (campo) preferencialmente em vazios urbanos (terrenos naturais), sendo que algumas localidades ocorreram próximas às fontes potenciais de poluição. Outra característica da distribuição dos pontos é a relativa uniformidade espacial (ANEXO 1).

A Tabela 1 apresenta os dados de condutividade hidráulica expressos em diferentes unidades, devidamente georreferenciados e informando a formação geológica correspondente à realização dos ensaios de permeabilidade. Para relacionar os dados de condutividade com a formação geológica foi utilizado o mapa geológico confeccionado nesta pesquisa (ANEXO 2A).

Com base nos dados apresentados na Tabela 1, iniciou-se o processo de tratamento dos dados a partir da aplicação da ferramenta de apoio da geoestatística. Primeiro foram realizados diversas avaliações utilizando-se a análise estatística descritiva e posteriormente foi possível construir uma adequada espacialização dos dados (regionalização).

Na análise da estatística descritiva conjunta, foram descartados os pontos: números 825, 827, 833, 844, 845, 855, 867, e 879, pois estes apresentaram valores negativos calculados para o parâmetro de condutividade hidráulica. Esses valores se referem às dificuldades encontradas na aquisição de dados em campo e também pela característica

intrínseca dos materiais avaliados, ou seja, a condutividade hidráulica atingiu valores inferiores que  $10^{-6}$  (**K** muito baixo), os quais são considerados o limite de detecção do permeâmetro de Guelph.

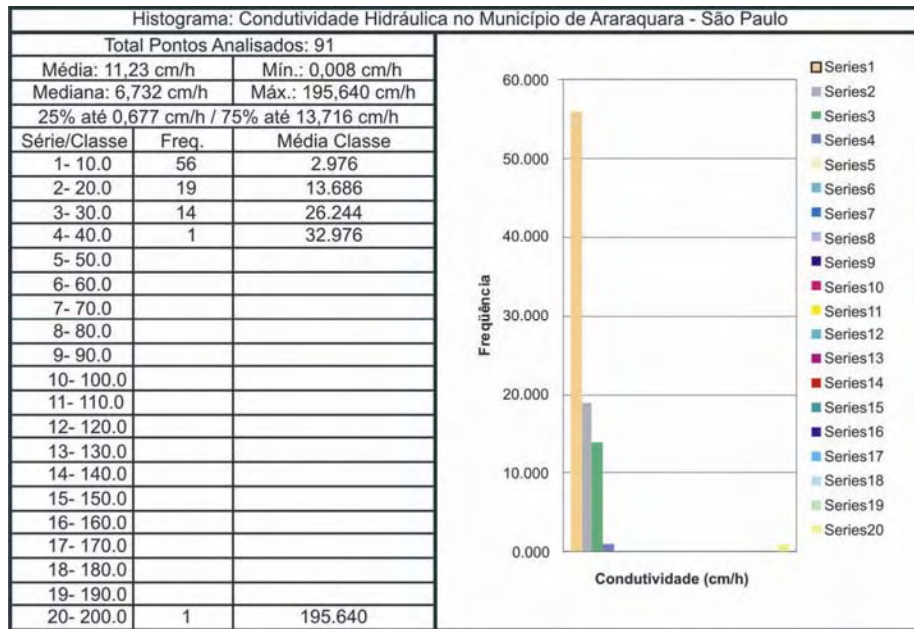
Em seguida, foi analisado um total de 91 pontos, relativos aos valores de condutividade hidráulica (Tabela 1). Observa-se que a média dos valores de **K** é de 11,23cm/h e 75% dos dados atingem no máximo 13,716cm/h. Entretanto, a série 20 representada por um único dado (Ponto 866) no histograma (Quadro 14), pode ser considerada um dado anômalo ante ao conjunto dos dados. Descartou-se o Ponto 73 e realizou-se uma nova análise da estatística descritiva dos dados. Para a nova análise da estatística dos dados (Quadro 15), foi mantida a mesma metodologia empregada anteriormente, dispensando os pontos: números 825, 827, 833, 844, 845, 855, 867, e 879, por apresentarem valores negativos, e o Ponto 73, por representar uma dispersão anômala em relação aos demais pontos estudados. Cumpre ressaltar que, para análises de condutividade pontuais na área de ocorrência do Ponto 866 (SW da área de estudo), o valor obtido deve ser relacionado com outros pontos circunvizinhos.

Ponto	Coordenadas			Condutividade Hidráulica			Unidade
	UTM (E-O)	UTM (N-S)	Cota (m)	K (cm/s)	K (cm/h)	K (m/dia)	Geológica
794	792324	7586403	624	2,54E-04	0,91	0,22	Fm.Serra Geral
795	792112	7579579	690	1,11E-03	4,00	0,96	Sed. Cenozóicos
796	788400	7583341	572	1,87E-03	6,73	1,62	Fm.S.Geral
797	794888	7582125	710	6,74E-05	0,24	0,06	Sed. Cenozóicos
798	791930	7584477	648	1,25E-04	0,45	0,11	Fm.Adamantina
799	789667	7586275	639	4,89E-03	17,60	4,22	Fm.Adamantina
800	787683	7588028	639	1,28E-04	0,46	0,11	Fm.Adamantina
801	792216	7589230	687	5,74E-04	2,07	0,50	Fm.Adamantina
802	790603	7592646	682	4,59E-04	1,65	0,40	Sed. Cenozóicos
803	791016	7595650	700	1,91E-03	6,88	1,65	Sed. Cenozóicos
804	794694	7584693	692	2,11E-04	0,76	0,18	Fm.Adamantina
805	796005	7586691	679	2,77E-04	1,00	0,24	Fm.Adamantina
806	786230	7583669	588	1,15E-03	4,14	0,99	Fm.Serra Geral
807	789454	7584052	584	1,34E-04	0,48	0,12	Fm.Serra Geral
808	792647	7589028	679	1,74E-03	6,26	1,50	Fm.Adamantina
809	795291	7590434	704	4,79E-04	1,72	0,41	Sed. Cenozóicos
810	796125	7592718	719	1,06E-05	0,04	0,01	Sed. Cenozóicos
811	794696	7595427	727	3,28E-04	1,18	0,28	Sed. Cenozóicos
812	793728	7585584	675	5,15E-04	1,85	0,44	Fm.Adamantina
813	798164	7588250	671	1,12E-03	4,03	0,97	Fm.Adamantina
814	798000	7590000	745	2,71E-05	0,10	0,02	Sed. Cenozóicos
815	797890	7590230	741	3,07E-05	0,11	0,03	Sed. Cenozóicos
816	797204	7589143	719	6,02E-04	2,17	0,52	Sed. Cenozóicos
817	793225	7590754	673	3,43E-04	1,23	0,30	Fm.Adamantina
818	789302	7595702	694	2,22E-03	7,99	1,92	Sed. Cenozóicos
819	789520	7594781	688	7,93E-04	2,85	0,69	Sed. Cenozóicos
820	790271	7591648	665	9,16E-04	3,30	0,79	Fm.Adamantina
821	792163	7587068	649	5,21E-04	1,88	0,45	Fm.Adamantina
822	790573	7586305	653	2,39E-03	8,60	2,06	Fm.Adamantina
823	786010	7591486	610	2,39E-03	8,60	2,06	Fm.Adamantina
824	787005	7593649	666	3,12E-03	11,23	2,70	Fm.Adamantina
826	792151	7586146	630	7,57E-04	2,73	0,65	Fm.Serra Geral
828	787393	7582070	550	1,77E-04	0,64	0,15	Fm. Botucatu
829	790020	7586890	627	1,63E-03	5,87	1,41	Fm.Serra Geral
830	788966	7588780	656	3,25E-04	1,17	0,28	Fm.Serra Geral
831	789800	7588300	616	2,47E-04	0,89	0,21	Fm.Serra Geral
832	793284	7587948	704	2,85E-03	10,26	2,46	Fm.Adamantina
834	793076	7588779	695	6,90E-05	0,25	0,06	Fm.Adamantina
835	795454	7587789	693	3,04E-03	10,94	2,63	Fm.Adamantina
836	797856	7586482	665	1,87E-03	6,73	1,62	Fm.Adamantina
837	794169	7588952	716	5,92E-03	21,31	5,11	Sed. Cenozóicos
838	793891	7589516	718	2,94E-04	1,06	0,25	Sed. Cenozóicos
839	795062	7589881	708	1,41E-03	5,08	1,22	Sed. Cenozóicos
840	795305	7589350	714	2,53E-03	9,11	2,19	Sed. Cenozóicos
841	792143	7585462	624	2,20E-03	7,92	1,90	Fm.Serra Geral
842	791306	7582927	671	9,56E-05	0,34	0,08	Fm.Adamantina
843	796262	7584952	683	7,24E-03	26,06	6,26	Sed. Cenozóicos
846	790365	7589074	646	1,88E-04	0,68	0,16	Fm.Adamantina
847	794233	7596433	711	1,88E-03	6,77	1,62	Sed. Cenozóicos
848	792625	7596397	706	4,93E-04	1,77	0,43	Sed. Cenozóicos
849	794537	7591826	668	8,12E-04	2,92	0,70	Fm.Adamantina

Tabela 1: Base de dados de condutividade hidráulica da área de Araraquara-SP (Continuação)

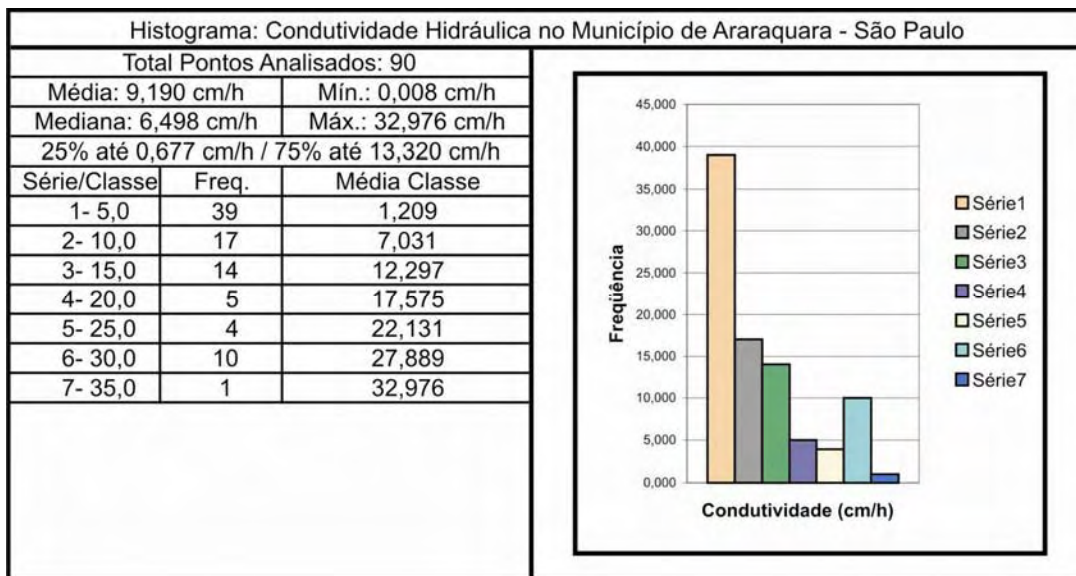
Continuação							
Ponto	Coordenadas			Condutividade Hidráulica			Unidade
	UTM (E-O)	UTM (N-S)	Cota (m)	K (cm/s)	K (cm/h)	K (m/dia)	Geológica
850	794468	7592675	686	5,70E-04	2,05	0,49	Fm.Adamantina
851	793613	7593909	680	2,11E-06	0,01	0,00	Sed. Cenozóicos
852	793446	7595778	677	4,05E-03	14,58	3,50	Fm.Adamantina
853	795601	7594782	725	3,73E-04	1,34	0,32	Sed. Cenozóicos
854	790622	7596588	689	3,67E-03	13,21	3,17	Sed. Cenozóicos
856	793067	7583465	666	3,62E-04	1,30	0,31	Fm.Adamantina
857	798958	7580080	745	3,36E-04	1,21	0,29	Sed. Cenozóicos
858	799115	7581986	748	1,65E-04	0,59	0,14	Sed. Cenozóicos
859	794190	7580664	682	9,90E-05	0,36	0,09	Fm.Adamantina
860	792589	7580080	628	9,10E-04	3,28	0,79	Fm.Serra Geral
861	793357	7581198	655	7,57E-04	2,73	0,65	Fm.Adamantina
862	792296	7581802	645	1,65E-04	0,59	0,14	Fm.Adamantina
863	790359	7581173	654	1,65E-04	0,59	0,14	Fm.Adamantina
864	786863	7581188	537	4,06E-04	1,46	0,35	Fm. Botucatu
865	785065	7581071	549	1,54E-03	5,54	1,33	Fm. Botucatu
868	787293	7586581	599	1,88E-04	0,68	0,16	Fm.Serra Geral
869	785055	7586117	604	3,14E-04	1,13	0,27	Fm.Serra Geral
870	785215	7588139	629	1,06E-03	3,82	0,92	Fm.Adamantina
871	785670	7589526	596	1,65E-05	0,06	0,01	Fm.Serra Geral
872	787129	7597998	703	8,16E-04	2,94	0,71	Sed. Cenozóicos
873	788694	7596975	708	9,65E-05	0,35	0,08	Sed. Cenozóicos
874	787394	7594799	695	4,28E-05	0,15	0,04	Sed. Cenozóicos
875	788507	7590796	631	5,21E-05	0,19	0,05	Fm.Adamantina
876	786026	7592800	644	6,91E-04	2,49	0,60	Fm.Adamantina
877	785136	7592805	626	2,09E-03	7,52	1,81	Fm.Adamantina
878	784851	7591681	619	3,00E-05	0,11	0,03	Fm.Serra Geral
880	784461	7587400	625	7,24E-04	2,61	0,63	Fm.Adamantina
881	784244	7585780	593	2,33E-03	8,39	2,01	Fm.Serra Geral
882	798776	7591885	740	9,44E-05	0,34	0,08	Sed. Cenozóicos
883	800000	7590000	723	1,05E-03	3,78	0,91	Sed. Cenozóicos
884	797952	7585171	691	3,53E-04	1,27	0,30	Fm.Adamantina
885	799232	7584346	713	8,21E-04	2,96	0,71	Sed. Cenozóicos
886	799849	7586923	718	1,06E-03	3,82	0,92	Sed. Cenozóicos
887	798964	7582751	728	3,30E-04	1,19	0,29	Sed. Cenozóicos
888	798015	7581295	721	7,24E-04	2,61	0,63	Sed. Cenozóicos
889	796027	7596446	725	1,69E-03	6,08	1,46	Sed. Cenozóicos
890	785779	7593701	631	7,40E-04	2,66	0,64	Fm.Adamantina
891	784530	7595086	657	1,51E-03	5,44	1,30	Fm.Adamantina
892	784062	7597384	675	8,19E-04	2,95	0,71	Fm.Adamantina

**Tabela 1: Base de dados de condutividade hidráulica da área de Araraquara-SP**



Quadro 14 – Análise conjunta da condutividade hidráulica da área de Araraquara.

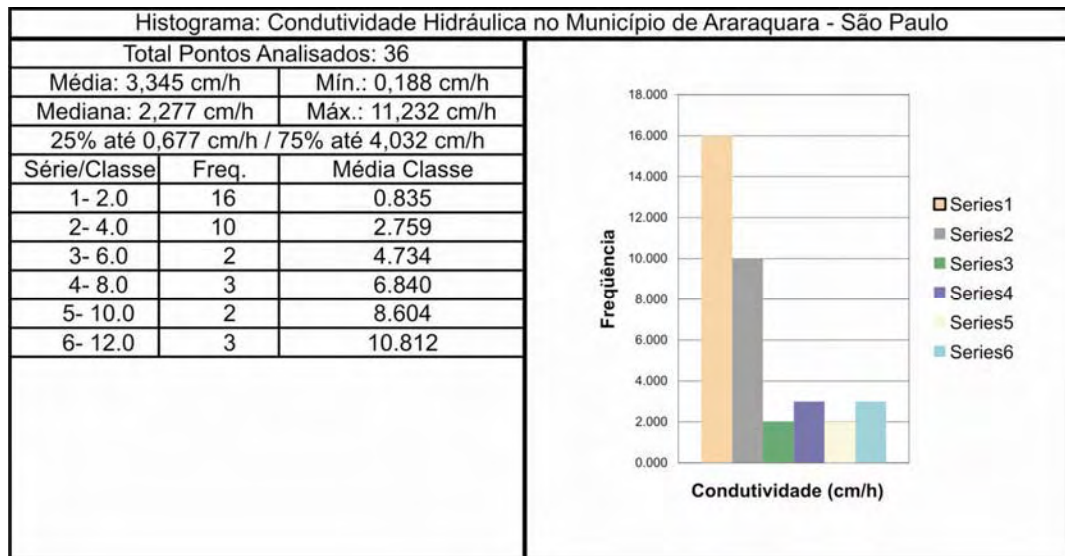
Através da análise do histograma (Quadro 15), observa-se uma média de valores de 9,19 cm/h para o conjunto dos dados estudados (total de 90 pontos) e que 75% dos dados não apresentam valores acima de 13,32 cm/h. A série 1 apresenta amplo predomínio dos valores, permanecendo a média nesse limite de classe em 1,20 cm/h.



Quadro 15: Nova análise conjunta da condutividade hidráulica da área de Araraquara.

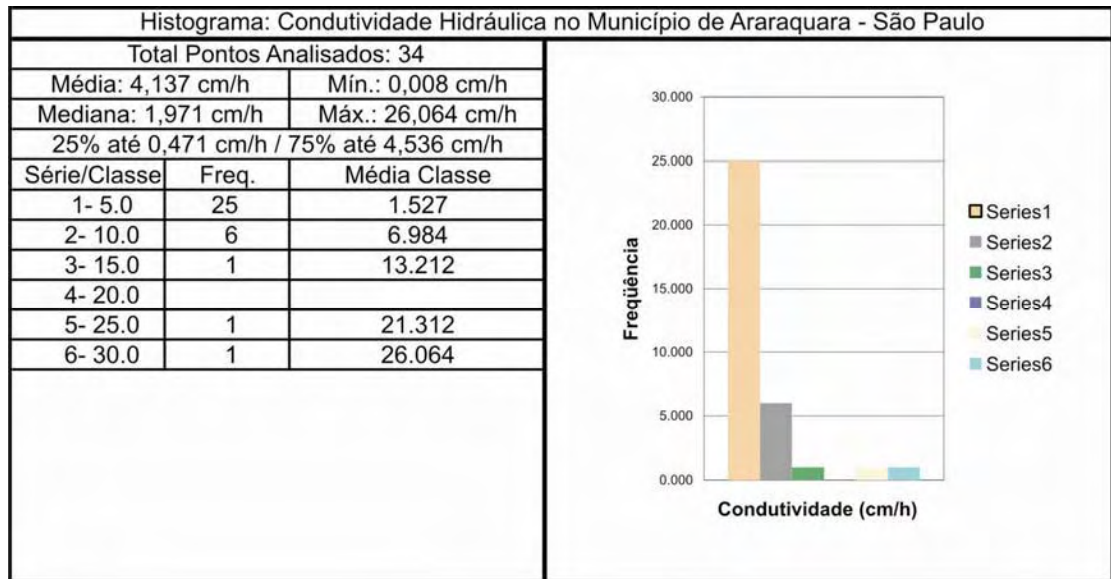
Estes valores são orientativos e podem ser utilizados para traçar uma tendência regional onde foram executados os ensaios na área de Araraquara. Outra forma de avaliação dos resultados foi separá-los de acordo com a ocorrência das unidades geológicas, com o intuito de compreender os valores relacionados a cada tipo de formação geológica analisada.

Do total de 41 dados, foram pesquisados 36 pontos na Formação Adamantina para o parâmetro condutividade hidráulica, cuja média observada (Quadro 16) foi de 3,34cm/h, sendo que 75% dos dados não ultrapassam 4,03 cm/h. O valor mínimo foi de 0,188cm/h e o máximo de 11,232cm/h, sendo que as séries 1 e 2, representadas respectivamente pelos limites de classe 0-2 e 2-4, apresentam a maior concentração dos dados.



Quadro 16: Análise da condutividade hidráulica da Formação Adamantina.

Para a unidade geológica denominada por Meaulo (2004) e Meaulo et al., (2005), como Sedimentos Recentes (nesta pesquisa nomeada de Sedimentos Cenozóicos), pode-se observar significativa semelhança em relação à análise realizada para a Formação Adamantina. Entretanto, os valores de referência dos Sedimentos Cenozóicos apresentam-se maiores que os referentes da Formação Adamantina. Essa constatação pode ser explicada pelo padrão granulométrico também semelhante entre as duas unidades geológicas. Na zona de contato entre essas formações acentua-se ainda mais a semelhança. A média observada (Quadro 17) foi de 4,13cm/h e os valores mínimo e máximo são, respectivamente, 0,008cm/h e 26,06cm/h, cuja concentração dos dados está associadas as séries 1 e 2. A Quadro 17 mostra os dados que representam os Sedimentos Cenozóicos.

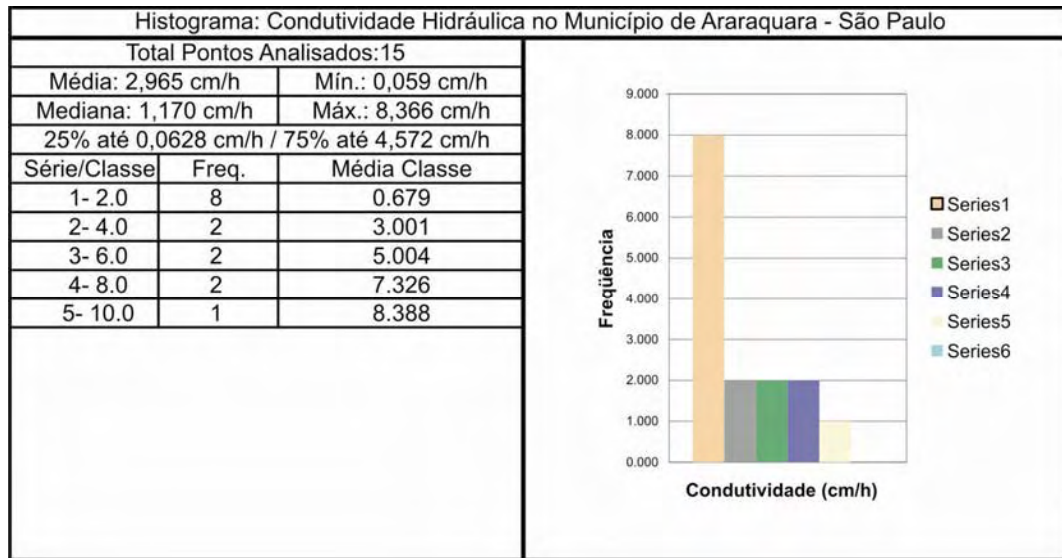


Quadro 17: Análise da condutividade hidráulica dos Sedimentos Cenozóicos.

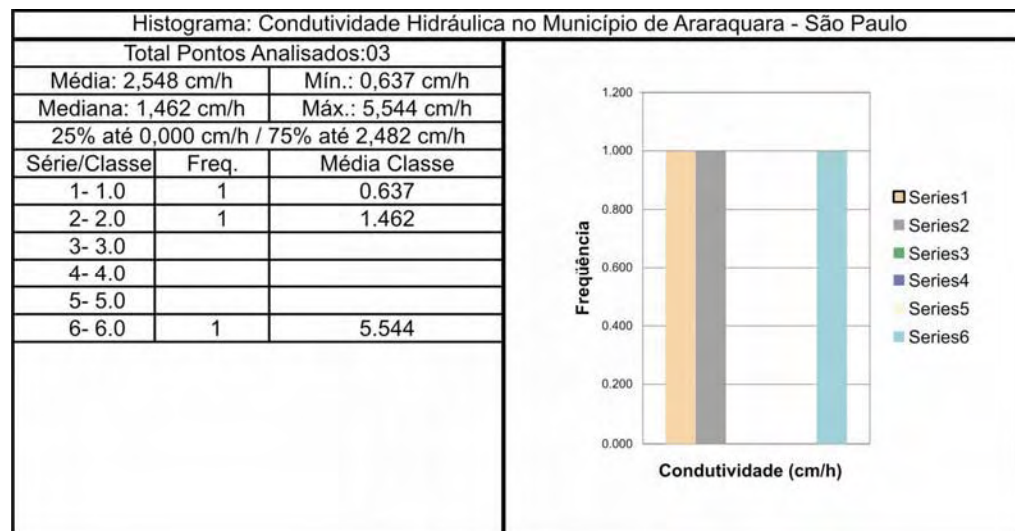
Na análise da Formação Serra Geral (Grupo São Bento), pode-se calcular uma média de 2,96cm/h para condutividade hidráulica, para o total de 15 pontos analisados (Quadro 18). Observa-se ainda, que o valor representado pelas séries 1, apresenta a maior concentração dos dados, e 75% dos dados não ultrapassam valores de 4,57 cm/h. Em função da reduzida dimensões em área, disponível para a realização dos ensaios de condutividade hidráulica, esclarece-se que o número de amostras não é suficiente para uma análise da estatística descritiva, portanto a representação dos dados assume caráter apenas indicativo.

Para a unidade representada pela Formação Botucatu, foram efetuados três ensaios de condutividade hidráulica, baseada nas mesmas dificuldades encontradas na área correspondente à Formação Serra Geral. Através da análise do histograma (Quadro 19), nota-se, porém, que a média dos valores obtidos em campo, para os três pontos analisados, estão próximos a média das demais unidades geológicas.





Quadro 18: Análise da condutividade hidráulica da Formação Serra Geral.



Quadro 19: Análise da condutividade hidráulica da Formação Botucatu.

A partir da análise conjunta dos dados de condutividade hidráulica (Tabela 2) pode-se afirmar que as médias para os diferentes tipos de materiais das unidades geológicas que ocorrem na área de Araraquara possuem limites tênues, dificultando a análise isolada do parâmetro **K** aplicado no reconhecimento de unidades geológicas. Contudo, os valores de condutividade discutidos são extremamente úteis para serem utilizados em conjunto com

outros parâmetros identificados em campo e, também, para a avaliação da vulnerabilidade natural.

<b>Unidade Geológica</b>	<b>No. de Ensaios</b>	<b>Analizados</b>	<b>Média da Condutividade Hidráulica</b>
Fm. Botucatu	3	3	2.55cm/h
Fm. Serra Geral	18	15	2.96cm/h
Fm. Adamantina	41	39	3.34cm/h
Sedimento Cenozóico	37	34	4.13cm/h
<b>Total</b>	<b>99</b>	<b>91</b>	<b>3.245cm/h</b>

Tabela 2: Dados de condutividade hidráulica associada às unidades geológicas.

O fator escala de trabalho também deve ser considerado para que se tenha confiabilidade nos dados. Em áreas de dimensões menores e com significativo volume de dados, por exemplo, os resultados passam a ser localmente determinísticos.

Segundo Salomão e Antunes (1998), o horizonte B (onde foram realizados os ensaios de condutividade hidráulica) pode ser caracterizado, em relevos suaves, como os de Araraquara, pela baixa drenabilidade do terreno, dificultando a remoção de elementos solúveis e facilitando a concentração, em subsuperfície, de argila.

Com base nos dados primários de campo apresentados e sintetizados graficamente no mapa de condutividade hidráulica da área de Araraquara (ANEXO 3), se pode explicar satisfatoriamente o descrito por aqueles autores.

Em síntese, a distribuição das isolinhas de condutividade hidráulica assume, predominantemente, valores menores de condutividade em regiões próximas as áreas de drenagens (vales, áreas topograficamente baixas) e naquele que os valores relativamente maiores estão associados a posições de meia vertente e, principalmente, nos platôs (áreas topograficamente altas, ANEXO 3).

Os dados aqui apresentados são de extrema importância em projetos futuros que envolvam impactos ambientais e ações antrópicas no meio natural. O mapa de condutividade hidráulica, em conjunto com dados hidrogeológicos e geológicos, tornam-se ferramentas indispensáveis para futuras pesquisas nas áreas das Geociências, em particular, e do Meio Ambiente, como um todo. Deve-se, portanto, considerar na fase de planejamento, que antecede a intervenção antrópica no meio ambiente, a profundidade e a sazonalidade do nível d'água, para uma adequada instalação de empreendimentos potencialmente poluidores.

Para empreendimentos que atingem a zona saturada é necessária a realização de ensaios de permeabilidade do tipo *slug test*, pois, nos estudos efetuados por Santos (2005) e Oliva (2006) observou-se que os valores de condutividade hidráulica são relativamente

maiores que na zona não-saturada, principalmente se associados com áreas de intenso fraturamento e/ou em porções saprolíticas.

#### **d) Caracterização geofísica - sondagem elétrica vertical-SEV**

Nessa etapa da pesquisa foram executadas 37 sondagens elétricas verticais-SEV, distribuídas em diferentes pontos da área de estudo, conforme ilustrado no ANEXO 1. As SEV's exercem um importante papel como ferramenta complementar na determinação da profundidade do N.A., refinando a qualidade dos dados obtidos a partir das medições diretas em poços escavados (cacimbas).

Os critérios de seleção dos pontos para a aquisição dos dados de resistividade foram: topografia favorável do local, ausência de vegetação e formigueiros de grande porte, cupinzeiros, tubulações subterrâneas, transformadores de tensão, linhas de transmissão de energia elétrica, antenas de rádio e transmissão ou qualquer outra fonte de campos eletromagnéticos.

Realizou-se também um aferimento em campo do equipamento em locais onde a estratigrafia e a profundidade do N.A. eram conhecidas e absolutas. Essa rotina operacional é fundamental para validar a qualidade de aquisição dos dados em campo. Posteriormente cada ponto estudado foi georreferenciado a partir do centro de cada SEV (ponto de origem ou ponto zero).

A abertura dos eletrodos foi escolhida de modo a obter-se o grau de detalhamento desejado, suficiente para detectar as camadas geológicas e o nível d'água subterrâneo, atentando-se as dimensões da área disponível para a execução de cada SEV.

Do total de 37 SEV observa-se a predominância das curvas de campo do tipo K, seguido do tipo Q e tipo KQ, além de outros tipos de curvas de ocorrência restrita. A Tabela 3 exhibe esses dados de forma sintética. A caracterização do tipo de curva de campo é uma das informações que pode ser extraída do processo de tratamento dos dados de campo.

<b>Tipo de Curva</b>	<b>SEV nº</b>	<b>Nº de ocorrências</b>
K	6, 13, 14, 17, 25, 32, 34, 35, 37	9
Q	3, 4, 7, 19, 21, 26, 29, 31	8
KQ	10, 12, 15, 18, 22, 28, 33	7
AK	9, 20, 30, 36	4
A	5, 8, 11	3
KH	16, 23, 24	3
H	1	1
AH	27	1
HK	2	1
Total		37

Tabela 3: Estatísticas das curvas de campo.

Outra forma de agrupamento e análise dos dados é a relação entre as curvas de campo a as características dos diferentes materiais geológicos e pedológicos da área de estudo. Neste sentido, avalia-se a presença ou ausência de correlação entre as curvas de campo e uma possível característica padrão para todas as formações geológicas da área de pesquisa. A Tabela 4 exhibe as características das formações Adamantina, Botucatu e Sedimentos Cenozóicos. Obtiveram-se informações da Formação Serra Geral posteriormente ao tratamento dos dados, pois não foram executadas sondagens sobre as áreas de afloramento dessa unidade.

<b>Formação</b>	<b>SEV nº</b>	<b>Nº de ocorrências</b>
Adamantina	1, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 20, 23, 26, 31, 33, 34, 35, 36, 37	20
Botucatu	13, 14	2
Sedimentos Cenozóicos	2, 5, 6, 8, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 32	15
Total		37

Tabela 4: Características das formações geológicas segundo o padrão das curvas de campo.

Adicionalmente ao tratamento dos dados no formato das curvas de campo, utilizou-se o *software Res2dinv* para construir as pseudo-seções da resistividade aparente de cada SEV. A geração das pseudo-seções constitui-se uma ferramenta auxiliar para o entendimento da resistividade em profundidade e um refinamento da interpretação dos dados. Originalmente esse *software* foi desenhado para o tratamento de informações referente a técnica de caminhamento elétrico, todavia, a saída gráfica pode ser utilizada para ilustrar o comportamento em profundidade das sondagens elétricas.

A Figura 30 mostra um modelo exploratório da pseudo-seção a partir dos dados da SEV-37. As pranchas de dados para cada SEV, apresentam os seguintes dados: profundidade teórica do N.A.; formação geológica correspondente ao ponto da SEV; tipo e gráfico da curva de campo; perfil geoeletrico interpretado (camadas geoeletricas); pseudo-seção com o modelo conceitual da resistividade aparente calculada. Optou-se em não apresentar todas as pseudo-seções de cada SEV, em razão do volume de dados que seria disposto em anexo.

A caracterização Geológica e Geofísica de uma determinada área de interesse é de suma importância, por exemplo, para a Geologia de Engenharia e Meio Ambiente, pois a análise dos dados geofísicos, juntamente com informações obtidas pelos mapeamentos do meio físico, permite a tomada de decisões, subsidiando a definição dos locais adequados para implantação de obras (SOUZA et al., 1998). A importância do conhecimento das características geoeletricas se reflete também no planejamento e na gestão de recursos ambientais. Estudos sobre evolução de contaminação na zona não-saturada são importantes, pois apresentam uma possibilidade de acompanhar o processo e avaliar o risco e o grau de contaminação das camadas inferiores.

Segundo Meaulo (2004), na área de estudo afloram quatro formações geológicas principais: Formação Botucatu; Formação Serra Geral; Formação Adamantina e Sedimentos Cenozóicos.

A caracterização geral das 37 SEV executadas na área de estudo apresenta configurações distintas para cada sítio investigado, porém, é possível sumarizar as seguintes informações: as unidades geológicas exibem entre 1 e 3 camadas geoeletricas, antes de atingir o N.A.; profundidade de investigação entre 1,0m e 13,0m; resistividade aparente entre  $10\Omega.m$  e  $40000\Omega.m$  (ampla variação); presença do topo do substrato rochoso resultando em resistividade aparente entre  $200\Omega.m$  (rocha alterada/saprolito) e  $10000\Omega.m$  (rocha sã).

A seguir apresenta-se uma síntese sobre as formações geológicas estudadas.

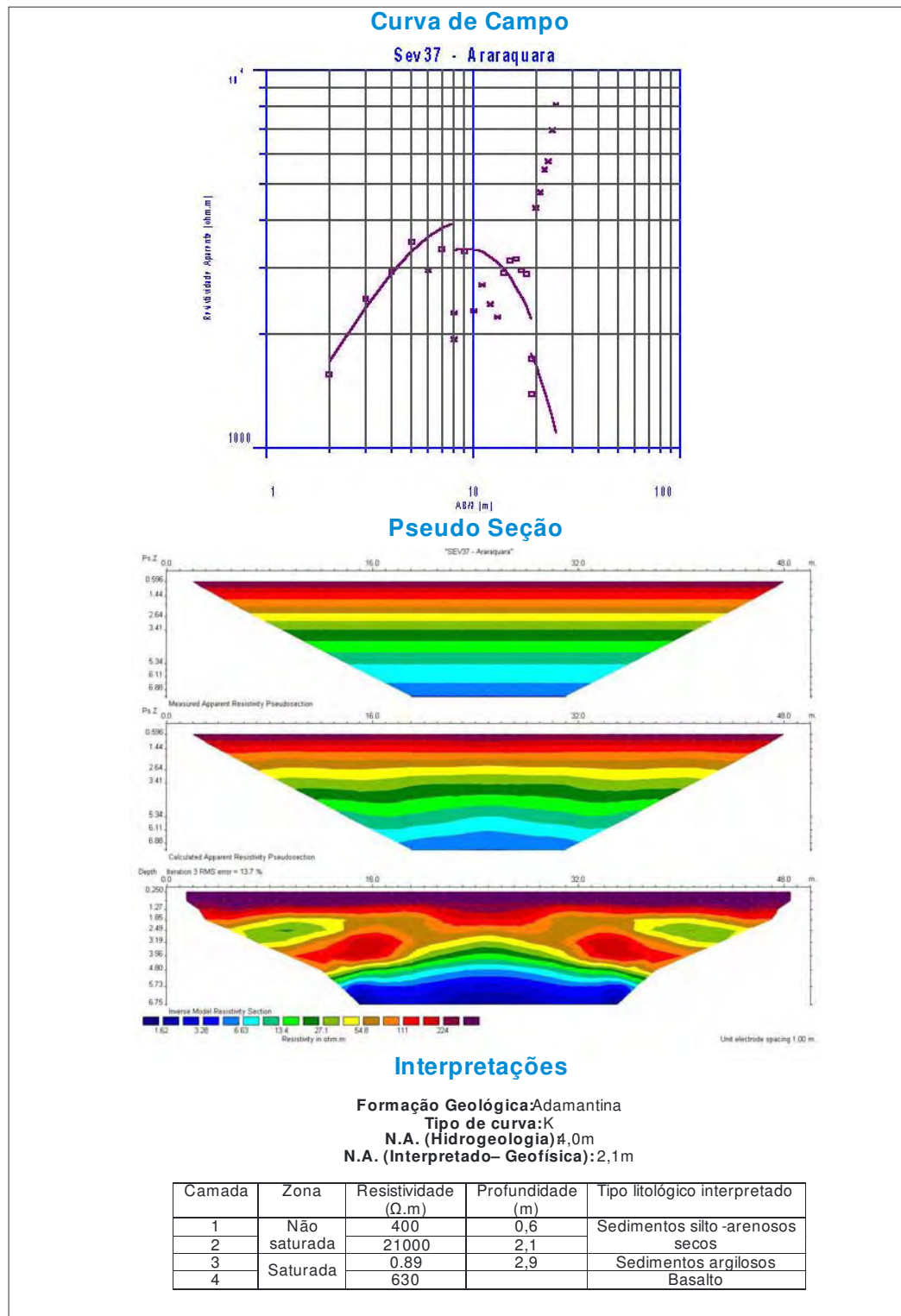


Figura 30: Modelo conceitual do processo de interpretação da Sondagem Elétrica Vertical

## **Formação Botucatu**

Nesta formação identificaram-se duas camadas iniciais, cujas resistividades variam entre  $300\Omega.m$  a  $37000\Omega.m$  (sendo que esse último valor apresenta indícios de ser uma intercalação do basalto da Formação Serra Geral), correspondendo a profundidades de aproximadamente 5,5m, as quais foram interpretadas como a zona não-saturada composta predominantemente por solos arenosos.

A terceira camada indica resistividades entre  $5\Omega.m$  e  $60\Omega.m$ , indicando a presença de areias. Esses valores caracterizam o início da zona saturada e as profundidades variam entre 2m e 6m, aproximadamente.

A quarta camada apresenta resistividades aparentes que variam entre  $700\Omega.m$  e  $4500\Omega.m$ , sendo interpretada como uma intercalação do derrame basáltico.

## **Formação Serra Geral**

Observa-se que o substrato rochoso local, correspondente aos derrames basálticos da Formação Serra Geral, apresenta-se em geral com valores relativos elevados de resistividade, característicos de rochas desta natureza.

As áreas onde o fraturamento da rocha é intenso (provavelmente porção saprolítica) os valores nas SEV são anômalos, pois a resistividade aparente apresenta-se menor que o esperado para o contexto local. Foram determinados valores variando entre  $200\Omega.m$  a  $10000\Omega.m$ , com profundidades superiores a 16m, caracterizando o substrato com os seguintes valores para a rocha alterada  $200\Omega.m$  a  $700\Omega.m$  e para rocha sã  $700\Omega.m$  a  $10000\Omega.m$ .

## **Formação Adamantina**

Identificaram-se, através das SEV realizadas nessa formação, duas ou três camadas iniciais, cujas resistividades variam de  $10\Omega.m$  a  $20000\Omega.m$ , correspondendo a profundidades entre 2,0m e 13m. Em continuidade a análise dos dados, observa-se uma tendência de incremento acentuado (de  $200\Omega.m$  para  $5400\Omega.m/20000\Omega.m$ ) dos valores de resistividade aparente, indicando a proximidade aos derrames basálticos da Formação Serra Geral. Essas camadas podem ser interpretadas como a zona não-saturada e exibindo significativo range de variação da resistividade aparente em razão de dois fatores principais: tipo litológico e fração de água presente no solo.

Em seguida, verificam-se variações abruptas na resistividade indicando o início da zona saturada, que apresenta valores de resistividade aparente entre  $1\Omega.m$  e  $60\Omega.m$ , evidenciando a presença de porções argilosas e silto-arenosas. O nível d'água interpretado encontra-se em profundidades que variam entre 2,0m e 13,0m, em geral, acompanhando o perfil topográfico. Localmente são interpretadas estruturas em subsuperfície que alteram o padrão para a área investigada. Essas informações colaboraram para a construção dos modelos conceituais hidrogeológicos.

### **Sedimentos Cenozóicos**

Os Sedimentos Cenozóicos correspondem ao topo da estratigrafia local. Apresenta duas ou três camadas iniciais, correspondentes à zona não-saturada, com resistividades variando entre  $10\Omega.m$  a  $40.000\Omega.m$ , variações que representam o tipo litológico (sedimentos predominantemente arenosos) e à fração de água presente no solo, atingindo a profundidade teórica de investigação de 12m.

Após essas camadas iniciais, verificam-se variações abruptas na resistividade ( $1\Omega.m$  até cerca de  $60\Omega.m$ ) caracterizando a zona saturada, cujas resistividades menores são características de porções argilosas ( $\leq 20 \Omega.m$ ) e as maiores ( $\geq 20\Omega.m$  e  $\leq 60\Omega.m$ ) características de areias.

A característica da resistividade aparente desse litotipo assemelha-se ao comportamento dos sedimentos silto-arenosos da Formação Adamantina. Essa mesma constatação também pode ser observada utilizando-se outros tipos de análise realizada nessa pesquisa (análise macroscópica, granulométrica e de condutividade hidráulica). Porém a origem, gênese, área fonte, grau de consolidação, coloração, formato dos grãos são características que diferem essas unidades geológicas.

A última camada identificada apresenta resistividade aparente superior que  $200\Omega.m$ , tendo como substrato, o arenito silicificado da Formação Botucatu, e profundidade média em torno de 25m. Essa relação ocorre na porção leste e nordeste da área de estudo.



### e) Levantamento das fontes potenciais e/ou efetivas de poluição

Realizou-se a identificação, georreferenciamento e cadastramento das fontes potenciais à poluição localizadas na área de pesquisa dentro do município de Araraquara (SP). Nessa atividade, foram cadastrados 138 empreendimentos potencialmente poluidores (ANEXO 1 e 5), sendo que essas fontes estão espacialmente distribuídas na área urbana e concentradas na região central do município de Araraquara.

A Figura 31 ilustra a distribuição por atividade das principais fontes potenciais à poluição da área de Araraquara. As porcentagens das atividades levantadas são similares às porcentagens da distribuição estadual das fontes potenciais, realizado em 2003 pela CETESB, com diferenças aproximadas de no máximo 4%, onde os postos de serviço representaram 63%, seguido das atividades industriais (22%) e disposição de resíduos (6%).

Com a finalidade de simplificar a caracterização tipológica das fontes potenciais, utilizaram-se as terminologias definidas na Deliberação nº. 052 de 15 de abril de 2005 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos-CRH.

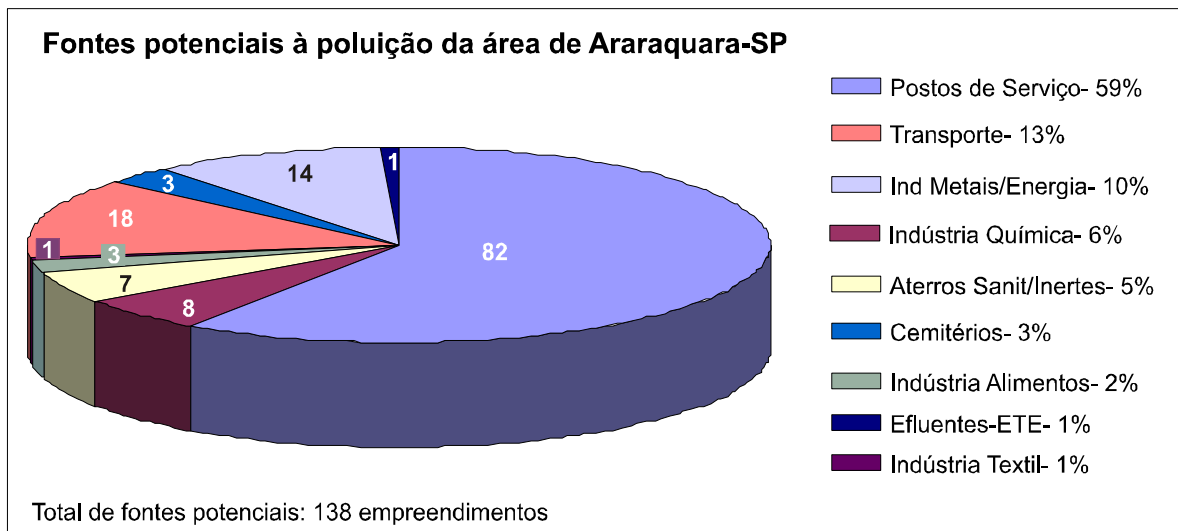


Figura 31 – Distribuição por atividade das principais fontes potenciais à poluição da área de Araraquara.

### **3.1.3 - Levantamento do valor imobiliário territorial**

A finalidade dessas informações sobre o levantamento do valor imobiliário territorial constitui-se como um parâmetro de apoio à decisão sob o ponto de vista econômico para a aquisição de imóveis em determinados setores da área de estudo. Com base nos dados exibidos na Tabela 5 torna-se possível consultar o preço da terra urbana; buscando nortear o poder público municipal e os futuros empreendedores no município.

A configuração das informações obtidas nessa pesquisa são compatíveis a escala 1:25.000. Porém é possível efetuar alguns detalhamentos em áreas específicas, dentro do conceito do detalhamento progressivo. Nesse sentido, foca-se uma área geográfica de interesse e realiza-se a interação dos dados disponíveis nessa pesquisa para determinar se a decisão tomada será sob ponto de vista ambiental ou econômico, ou de ambos. Entretanto, é impraticável, na escala de trabalho de 1:25.000, a quantificação da influência da supervalorização e/ou depreciação de algumas áreas urbanas como decorrência da instalação de novos empreendimentos (shoppings, centros empresariais, empresas, pólos/corredores lineares de comércios, arruamentos diferenciados, melhora na infra-estrutura municipal).

A importância desse tipo de avaliação pode ser aplicada em empreendimentos que necessitam de algum tipo de recurso natural específico (por exemplo, indústria de bebidas – tomada de decisão ambiental) ou em atividades que precisam de um posicionamento estratégico sob ponto de vista comercial (tomada de decisão econômica). No primeiro tipo de análise, os investimentos necessários para a captação do recurso hídrico (superficial ou subterrâneo) podem inviabilizar a instalação do empreendimento e/ou ter o processo de licenciamento ambiental indeferido por ausência de conhecimento técnico sobre a área, principalmente no tocante às áreas de restrição e controle (prevista na legislação).

No segundo caso, desde que não haja impedimento legal, o custo por metro quadrado do imóvel pode não ser relevante, pois a localização passa a ser o fator preponderante. Vale informar que as informações da Tabela 5 foram pesquisadas no segundo semestre de 2006.

Áreas/regiões alvos		Imobiliárias entrevistadas			Valor Médio (R\$ por m <sup>2</sup> )
		Chalu (R\$ por m <sup>2</sup> )	Jeremias Borsari (R\$ por m <sup>2</sup> )	Organização Magdalena (R\$ por m <sup>2</sup> )	
Região Central	Centro financeiro e áreas circunvizinhas	500,00 à 2.500,00 (Média: 1.500,00)	500,00 à 3.000,00 (Média: 1.750,00)	400,00 à 900,00 (Média: 650,00)	1.300,00
Bairros consolidados de alto padrão	Fonte	300,00	250,00	350,00	300,00
	Vila Harmonia/Roseiras	120,00	100,00	200,00	140,00
Bairros consolidados de médio padrão	São Geraldo/São José	100,00	150,00	150,00	133,00
	Carmo / Santa Angelina	100,00	150,00	120,00	123,00
	José Bonifácio	100,00	50,00	150,00 à 200,00	108,00
	Morumbi	80,00	80,00	120,00	93,00
	Marivan	90,00	80,00	100,00	90,00
	Vila Xavier/Jd. Tabapuã/Jd. Estações/Jd. Imperador	80,00	80,00	100,00	87,00
Bairros periféricos	Circunvizinhos de áreas consolidadas	15,00 à 50,00 (Média: 40,00)	17,00	15,00 à 30,00 (Média: 22,50)	26,50
		30,00	30,00	10,00 à 20,00 (Média: 15,00)	25,00
Áreas industriais	Distritos Industriais	30,00	30,00	10,00 à 20,00 (Média: 15,00)	25,00
Área de Expansão Urbana (grandes áreas)		4,00 à 6,00 (Média: 5,00)	10,00	2,00 à 6,00 (Média: 4,00)	6,30

Fonte: Meaulo et al. (2006).

Tabela 5: Valores do preço da terra urbana no município de Araraquara (SP) em 2006.

Optou-se em utilizar os valores médios (média aritmética) do preço do metro quadrado da terra em razão do caráter orientativo da pesquisa. De acordo com as seis regiões urbanas definidas, o preço da terra urbana no município de Araraquara (SP) atingiu o máximo, R\$ 3.000,00 (Três mil reais/m<sup>2</sup>) na região central (área considerada o centro financeiro e comercial do município, Rua 9 de Julho), e o valor mínimo, R\$ 2,00 (Dois reais/m<sup>2</sup>) na área de expansão urbana (grandes áreas). Os valores médios, máximo e mínimo, atingiram R\$

1.300,00 (Hum mil e trezentos reais) e R\$ 6,30 (Seis reais e trinta centavos), respectivamente. A Tabela 5 apresenta detalhadamente os valores do preço da terra para cada setor do município de Araraquara.

### **3.1.4 – Informações da área de Araraquara aplicado às regiões de planejamento ambiental- RPA**

O histórico de aplicação dos métodos de vulnerabilidade natural no Brasil e, especificamente, no Estado de São Paulo datam da década de 70 (SINELLI, 1974), desenvolvidos no âmbito acadêmico e raramente aplicados por empresas. Naquele período, a legislação aplicada aos recursos naturais não apresentava nenhum tipo de preocupação em relação a esse tipo de instrumento de planejamento.

Na década de 80 foram publicadas as primeiras aproximações acerca de uma sistematização metodológica multi-paramétrica. No final dessa década Foster e Hirata (1988) apresentam o método GOD, o qual foi assimilado pela academia e, posteriormente, na década de 90, aplicado por órgãos governamentais reguladores e de pesquisa.

Segundo estudos realizados por Gogu et al. (2003), existem cinco métodos principais de avaliação da vulnerabilidade natural e algumas outras variações e/ou adaptações dos métodos primários. No Brasil, observa-se uma tendência de aplicação dos métodos GOD (FOSTER et al., 2002) e DRASTIC (ALLER et al., 1987). Entre as unidades federativas brasileiras, o Estado de São Paulo pode ser considerado pioneiro na aplicação e confecção do mapa de vulnerabilidade com cobertura de todo o território estadual. Porém, as áreas referentes às unidades aquíferas fraturadas não foram contempladas, em função de uma necessidade de aprimoramento do método GOD (FOSTER et al., 1988). O aperfeiçoamento do método (FOSTER et al., 2002) viabilizou a contemplação daquelas unidades aquíferas, possibilitando incluí-las no escopo do mapeamento da vulnerabilidade natural.

Atualmente existem diversos trabalhos, principalmente científicos que utilizam os métodos de vulnerabilidade como ferramenta auxiliar aplicada ao planejamento e gestão territorial. Recentemente, durante as atividades do 14º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas foram discutidos diversos aspectos sobre a temática, em uma seção específica, abordando a vulnerabilidade de aquíferos e a utilização de águas subterrâneas em áreas de proteção e recarga. Naquele evento foi apresentada, pelo grupo de trabalho do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, a principal discussão sobre a formulação de uma nova resolução que pode eleger a elaboração dos mapas de vulnerabilidade como mandatória

nos estudos ambientais para instalação de empreendimentos (públicos e privados) potencialmente poluidores e/ou que podem impactar os recursos hídricos de uma determinada região.

A partir dos dados apresentados no documento técnico do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos-SIGRH (2007) relata-se as ações conjuntas entre DAEE, CETESB e Instituto Geológico com a finalidade de caracterizar os diferentes sistemas aquíferos quanto à vulnerabilidade natural à poluição, cadastrar a carga contaminante e mapear e classificar as áreas de riscos de poluição. Maldaner et al. (2006) destacam a importância do entendimento e da quantificação do fluxo vertical em aquíferos fraturados (Fm. Serra Geral), pois esse tipo de caracterização pode minimizar impacto indesejáveis relacionados a disponibilidade hídrica e na vulnerabilidade à poluição, em especial, para o Sistema Aquífero Guarani-SAG.

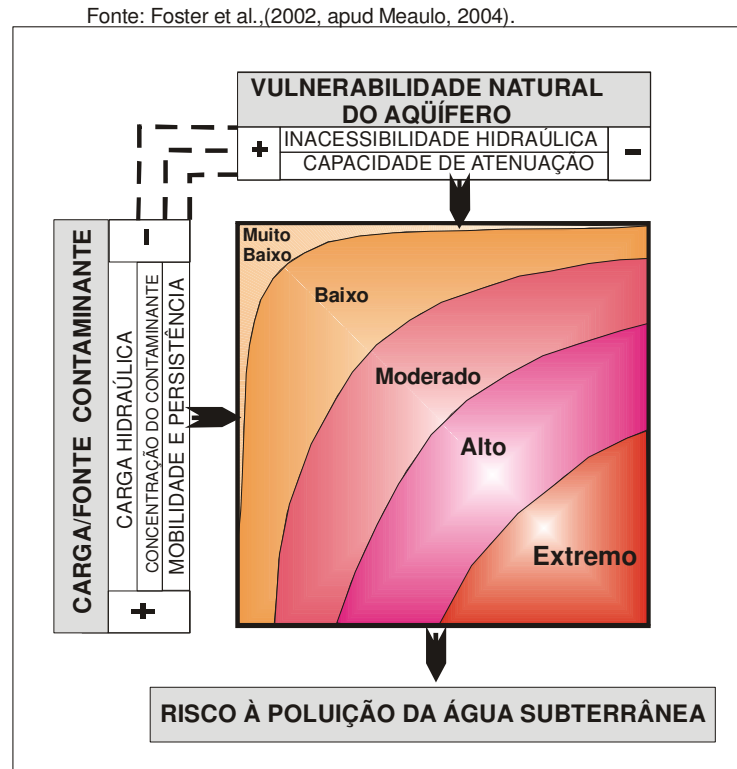
Os resultados dos estudos (CETESB, 1997) apontam como áreas críticas de maior preocupação ambiental as seguintes regiões do Estado: Ribeirão Preto/Franca e arredores; Bauru e arredores; no vale do Paraíba, abrangendo São José dos Campos, Taubaté e Pindamonhangaba; na região de Campinas e arredores, além da zona de recarga do aquífero Guarani, onde se encontra inserida a região de Araraquara. A título de recomendações à política de gestão, nas áreas de maior risco deverão ser desenvolvidas investigações de detalhe que abordem aspectos relacionados sobre a hidrogeologia e contemplem a análise da atividade potencialmente poluidora, monitoramento, entre outras medidas preventivas e orientativas.

Segundo CETESB (1997), regionalmente, a área de estudo de Araraquara é caracterizada por apresentar vulnerabilidade natural entre as classes baixa (variação alta) e média (variação baixa e alta). Em linhas gerais, os sedimentos arenosos são classificados com a vulnerabilidade, relativamente, mais alta ante aos sedimentos silto-arenosos. As unidades aquíferas fraturadas não foram classificadas naquele mapeamento.

Sob o ponto de vista da remediação, as áreas que possuem maior concentração relativa de argila, em geral, dificultam o processo de reabilitação das áreas contaminadas dentro dos padrões toleráveis, segundo a legislação pertinente. Dentro do contexto da vulnerabilidade natural, essa mesma área que contém material argiloso pode ser classificada como de vulnerabilidade baixa.

Diante dessa situação ambígua, deve-se lembrar que os mapas de vulnerabilidade natural de uma determinada região são instrumentos de planejamento de caráter preventivo e orientativo. Portanto, a eficácia da aplicação dos mapas de vulnerabilidade está diretamente

relacionada ao entendimento prévio do conceito metodológico que fundamenta a elaboração de documentos cartográficos dessa natureza. Pode ainda ser realizada uma simulação expedita e específica para cada tipo de fonte potencial, utilizando-se o esquema conceitual para a avaliação do risco de poluição dos recursos hídricos subterrâneos. A Figura 32 ilustra o princípio da simulação proposta.



Fonte: Foster et al., (2002, apud Meaulo, 2004).

Figura 32: Esquema conceitual para avaliação do risco de poluição dos recursos hídricos subterrâneos.

Localmente, a pesquisa sobre a vulnerabilidade natural realizada por Meaulo (2004) na área de Araraquara, aplicando o método GOD (FOSTER et al., 2002), caracteriza as seguintes classes de vulnerabilidade para região estudada: **extrema, alta, moderada e baixa**. A classe “desprezível” não ocorre. Esse estudo foi o balizador para o desenvolvimento da presente pesquisa, alterando-se a escala de trabalho de 1:50.000 para 1:25.000.

A caracterização das classes de vulnerabilidade natural (modificado de FOSTER et al., 2002) está fundamentada segundo um conceito restritivo, ou seja, conforme aumenta a susceptibilidade intrínseca dos materiais que representam determinadas áreas investigadas. À medida que se realizam intervenções antrópicas no meio natural, em áreas que a hierarquia vulnerabilidade aumenta, torna-se necessário intensificar as investigações de superfície e subsuperfície, munido inclusive de ferramentas computacionais de modelamento matemático

(fluxo subterrâneo) e da aplicação de um contínuo monitoramento. A seguir, apresenta-se a hierarquia das classes de vulnerabilidade (baixa a extrema) e uma síntese sobre as principais atividades recomendadas para nortear os estudos geológicos, geotécnicos, geofísicos e hidrogeológicos. Essa hierarquia foi construída e aprimorada com base em Foster et al., 2002 e Meaulo et al., 2006.

-**Vulnerabilidade Baixa:** possui significativa capacidade de atenuação, mas requer estudos específicos, dependendo do tipo de solicitação/fonte potencial (tipo, concentração e persistência) imposta ao meio;

-**Vulnerabilidade Moderada:** apresenta capacidade atenuadora mais eficaz que as classes alta e extrema. Necessário realizar estudos de detalhe específicos para cada tipo de empreendimento;

-**Vulnerabilidade Alta:** necessidade de realizar estudos geológicos; geotécnicos; geofísicos e hidrogeológicos com o apoio de ensaios laboratoriais para subsidiar a implementação das intervenções antrópicas. Plano de monitoramento deve ser adotado;

-**Vulnerabilidade Extrema:** imprescindível realizar estudos geológicos; geotécnicos; geofísicos e hidrogeológicos, incluindo ensaios laboratoriais e aplicação de ferramentas computacionais de simulação hidrogeológica. Plano de monitoramento rigoroso deve ser adotado.

O mapa de vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos, na escala 1:25.000, produzido nessa pesquisa e apresentado no ANEXO 5 pode ser avaliado segundo: hierarquia de distribuição areal; número de empreendimentos potencialmente poluidores; produto (resultado do sistema de avaliação FOSTER et al., 2002) da vulnerabilidade natural por formações geológicas da área e integração da vulnerabilidade com as regiões de planejamento ambiental, prevista no Plano Diretor do Município de Araraquara-SP.

O Quadro 20 apresenta uma hierarquia crescente da distribuição em área e quantifica os empreendimentos potencialmente poluidores por classe de vulnerabilidade natural. Segundo o critério apresentado, a classe de vulnerabilidade moderada é predominante na área estudada e recebe o maior número de empreendimentos potencialmente poluidores. A unidade de vulnerabilidade denominada de extrema corresponde a segunda maior classe em área e representa a terceira classe em número de fontes potenciais. A classe de vulnerabilidade alta possui 24 fontes potenciais e representa a penúltima classe em distribuição em área. A classe de vulnerabilidade baixa, por sua vez, é restrita a um pequeno polígono da porção oeste da área de pesquisa, estando isenta de fontes potenciais à poluição (ANEXO 5).

Atributos/parâmetros	Classes de vulnerabilidade			
	Baixa	Moderada	Alta	Extrema
Hierarquia crescente da distribuição areal da classe	1	4	2	3
Número de empreendimentos potencialmente poluidores	0	96	24	18

Fonte: Meaulo et al., (2006).

Quadro 20: Características das unidades de vulnerabilidade natural, quanto à distribuição areal e empreendimentos potencialmente poluidores. Fonte: Meaulo et al., (2006).

Segundo o sistema de avaliação da vulnerabilidade de Foster et al. (2002), a área de Araraquara possui a distribuição de todas as classes contempladas pela metodologia, conforme exibido no Quadro 21. Os valores representam o produto das fases da vulnerabilidade natural.

O Plano Diretor (PD) de Araraquara prevê como instrumentos de ordenação urbanística a delimitação de áreas formais para a aplicação dos modelos de planejamento e gestão. A proposta dessa integração de informações possui a finalidade de apresentar os dados de caracterização da área de estudo, elegendo as áreas e/ou zonas de planejamento contidos no Plano Diretor como um referencial para examinar os dados dos meios natural e antrópico.

Unidade Geológica	Baixa	Moderada	Alta	Extrema
Formação Botucatu			0,56 – 0,63	
Formação Serra Geral			0,56 – 0,63	
Formação Adamantina	0,28	0,36		
Sedimento Cenozóico				0,7-1,0

Quadro 21: Variação do produto da avaliação da vulnerabilidade natural por unidade geológica da área de Araraquara.

Entende-se também que essa integração das informações pode contribuir para o entendimento e aplicação da legislação orgânica dos municípios. Faz-se uso da legislação federal (Lei No. 9433/97-art1º) e elege a bacia hidrográfica como unidade física territorial de planejamento e gestão ambiental para implementação da Política Municipal de Recursos Hídricos (Art. 60 do P.D.) e atuação no sistema de gestão dos recursos hídricos (subterrâneo e superficial).



Para o objetivo dessa pesquisa, apoiou-se no Macrozoneamento de Gestão Ambiental-MGA (Art. 149 do P.D.), o qual define a divisão territorial por sub-bacia, determinando as Regiões de Planejamento Ambiental-RPA, como forma de planejamento e gestão de políticas ambientais e regionais. Foram definidas 6 (seis) RPA's na escala do desenvolvimento urbano-regional, por meio de critérios fisiográficos e ambientais, segundo a legislação federal e estadual pertinentes: a) Os divisores das microbacias das redes hidrográficas estruturais; b) Elementos de paisagem e barreiras fisiográficas existentes.

Do total das seis RPA's, estão inseridas na área de estudo quatro regiões. Dessas quatro regiões, encontram-se integralmente na área de estudo as RPA 1 - Macrozona do Ribeirão das Cruzes; RPA 2- Macrozona do Ribeirão do Ouro. Com base na delimitação do macrozoneamento ambiental do plano diretor do município de Araraquara, confeccionou-se o mapa das regiões de planejamento ambiental –RPA, conforme ilustra o ANEXO 6. Segundo Meaulo et al. (2007) o intuito da elaboração do cartograma foi o de apresentar uma contribuição ao Programa de Gestão de Recursos Hídricos (superficial e subterrâneo). Acredita-se que a partir da apresentação de diversos dados importantes, pode-se auxiliar a tomada de decisões, bem como utilizá-los para a concepção de novos projetos hidrogeológicos e geológicos na região.

O Quadro 22 sumariza a integração das informações a cerca da vulnerabilidade natural e o preconizado na legislação do município de Araraquara. Consiste na unificação das informações das regiões de planejamento ambiental e dos índices relativos de vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos.

Sob os pontos de vistas sócio-ambiental e econômico, as implementações de atividades nas áreas classificadas como de vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos, alta e extrema, podem onerar a instalação de empreendimentos e maximizar a magnitude dos impactos negativos ao meio ambiente. Caso o território e/ou localidade escolhida para a instalação do empreendimento se assente nessas áreas, sugere-se seguir os apontamentos descritos sobre o tipo de investigação necessária a ser realizada para cada classe de vulnerabilidade natural presente no território pesquisado, além de fundamentar-se na legislação vigente.

Macrozonas de Gestão Ambiental		Vulnerabilidade Natural
Região de Planejamento Ambiental	Micro Bacia Hidrográfica	Índice Relativo de Vulnerabilidade
RPA 1	Macrozona Ribeirão das Cruzes	Baixa, Moderada, Alta e Extrema
RPA 2	Macrozona Ribeirão do Ouro	Moderada, Alta e Extrema
RPA 3	Macrozona Rio Chibarro	Moderada, Alta e Extrema
RPA 4	Macrozona Córrego do Tanque e Rio Itaquerê	Não abrange a área de estudo
RPA 5	Macrozona Rio MogiGuaçu a) Córrego Rancho Queimado, Córrego do Rincão e Córrego do Monte Alegre b) Ribeirão do Anhumas	a) Não abrange a área de estudo b) Extrema
RPA 6	Macrozona Rio Jacaré Guaçu	Não abrange a área de estudo

Fonte: Meaulo et al., (2006).

Quadro 22 – Informações integradas da área de Araraquara-SP.

Salienta-se a importância da integração de dados dessa natureza, os quais aprimoram os instrumentos de gestão de recursos hídricos e estão amparados por estudos técnico-científicos. Sugere-se criar também programas educacionais específicos para inserção dos munícipes no processo decisório das ações estruturais e não-estruturais (atuais e futuras), a serem contempladas nas Regiões de Planejamento Ambiental - RPA

Segundo Araújo et al. (2006), os resultados do mapeamento da vulnerabilidade natural servem de base para uma discussão ampla a respeito da definição de políticas públicas para um desenvolvimento adequado, na busca da solução para um novo paradigma em nossa sociedade: a manutenção da qualidade ambiental das águas subterrâneas, de importância vital para a sustentabilidade de nosso Planeta.

## **CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Com base nas informações apresentadas e discutidas nos capítulos anteriores, podem-se tecer as seguintes conclusões:

- Provido dos documentos cartográficos temáticos dos meios natural e antrópico, na escala 1:25:000, consideram-se satisfatórias as informações apresentadas para aplicação em um processo de gestão ambiental;

- Com base no objetivo proposto, foi possível atingir com êxito, a partir da apresentação da caracterização geológica, hidrogeológica e do mapeamento da vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos. Também foi contemplada integralmente a confecção dos documentos cartográficos temáticos propostos;

- A estrutura metodológica desenvolvida e aplicada, bem como a concatenação das etapas da pesquisa resultou em uma forma de organização das informações primárias (trabalhos de campo) e secundárias (bibliografias e pesquisas anteriores), que facilitou o cumprimento sistemático da pesquisa;

- O contexto geológico da área de estudo é representado pelas formações Botucatu, Serra Geral, Adamantina (Grupo Bauru) e pelos Sedimentos Cenozóicos. A caracterização das unidades geológicas regionais contribuiu para o entendimento de diversos aspectos da geologia local, entre eles, a estratigrafia, reconhecimento de estruturas pré-existentes, discordâncias erosivas, irregularidades na geometria dos corpos de derrames basálticos, indícios de falhas do tipo normal, em geral, associadas às drenagens atuais. Em outras palavras, caracteriza-se uma repetição das feições regionais em uma escala local (1:25.000). O processo de caracterização da geologia local (1:25.000) foi desenvolvido com base em descrições macroscópicas, mesoscópicas, estereomicroscópicas, petrográficas e em análises granulométricas. O produto dessa caracterização está expresso no mapa geológico (Anexo 2A) e nas seções geológicas construídas (Anexos 2B; 2C; 2D);

- O padrão granulométrico da Formação Botucatu é representado por aproximadamente 65 a 70% dos grãos na moda de areia fina. As áreas de afloramento da Formação Botucatu

ocorrem nas porções Leste e Sudoeste da área de estudo. Na porção Sudoeste, este arenito ocorre associado aos derrames basálticos, caracterizando o sistema *intertraps*;

- A Formação Serra Geral aflora preferencialmente na porção Sudoeste da área de estudo (relevo dissecado) e no leito das principais drenagens. Em subsuperfície a unidade ocorre em todas as porções das áreas mapeadas. Predominantemente os derrames basálticos apresentam fraturas verticais, contribuindo com a percolação de fluídos superficiais para posições mais profundas na estratigrafia. O padrão granulométrico do solo oriundo da Formação Serra Geral é caracterizado por 75% do volume total das amostras analisadas pertencerem à fração fina (areia fina, areia muito fina, silte e argila). O mineral magnetita constitui-se um indicador expedito de campo eficaz para diferenciar os solos oriundos entre as formações Serra Geral (maior concentração) e Adamantina (menor concentração). A textura e a coloração dos materiais também pode ser utilizada como atributo de diferenciação. A irregularidade da geometria dos derrames basálticos ocorre na área estudada em função de dois fatores: a) os derrames moldaram-se ao relevo das paleodunas da Formação Botucatu; b) ocorrem reativações tectônicas (pós-derrames) que afetaram o posicionamento e continuidade dos derrames;

- O padrão granulométrico da Formação Adamantina é caracterizado por 60% da fração fina e aproximadamente 30 a 35% da fração granulométrica média. Em campo, os aspectos geomorfológicos (quebra de relevo) e o reconhecimento de seixos e cascalhos quartzosos angulares e subangulares (*datum* local) são relevantes guias aplicados ao mapeamento geológico. As maiores espessuras aferidas na Formação Adamantina atingem 40m, adquiridas a partir de poços escavados;

- Os Sedimentos Cenozóicos correspondem ao topo da seqüência estratigráfica local e ocorrem espalhados sobre as demais unidades geológicas, com exceção dos sedimentos dos fundos de vales. Em geral, ocorrem em cotas topográficas superiores a 660m em relação ao nível do mar. Apresentou-se uma nova evidência sobre as relações estratigráficas locais entre a Formação Adamantina (base) e os Sedimentos Cenozóicos (topo). Litologicamente trata-se de um arenito conglomerático com granulometria distribuída por todas as modas, predominantemente na fração grossa a muito grossa, grãos de geometria angulosa a subangulosa, suportada por matriz silicosa e intenso processo de óxido de ferro sobre os grãos. Foram realizados também ensaios granulométricos a fim de estabelecer um padrão para

a unidade geológica, entretanto, em função da diversidade de materiais sedimentológicos que compõem os Sedimentos Cenozóicos, não foi possível atingir essa padronização granulométrica;

- A água do aquífero livre da área de estudo, explotada através de poços escavados (cacimbas), possui extrema importância para o abastecimento de pequenas propriedades rurais e residenciais de chácaras, pois essas áreas, em geral, são desprovidas de abastecimento público de água;

- O Aquífero Guarani (formações Botucatu e Pirambóia) corresponde à principal unidade hidroestratigráfica da área de estudo. Na porção Sudoeste, o aquífero é do tipo não confinado (livre);

- O Aquífero Serra Geral é o único do tipo fraturado e caracteriza-se pela porosidade e permeabilidade secundárias, desenvolvidas após a consolidação da rocha basáltica. O fluxo da água subterrânea obedece ao sistema de fraturamento do maciço rochoso, atribuídas as fraturas tectônicas, descontinuidades verticais e/ou sub-horizontais e áreas com estruturas vesiculares (topo e base dos derrames). Constatou-se que existe favorabilidade no armazenamento da água subterrânea em área de topos de derrames basálticos (feição vesicular) e de saprolito com predominância de disjunções esferoidais, pois essas áreas são, relativamente, pouco afetadas pela sazonalidade do aquífero livre;

- Foram elaborados diversos modelos conceituais sobre a hidroestratigrafia local, em especial, do aquífero livre. Entretanto, não foi possível demarcar e/ou mapear exatamente os limites de cada relação hidroestratigráfica estudada. A sazonalidade do aquífero livre para o ano de 2006 atingiu a variação entre 4 a 4,5 metros, entre o período de máximo e mínimo da coluna da água subterrânea. Com base no monitoramento do nível d'água subterrânea avaliou-se um tempo de recarga do aquífero livre entre 3 a 4 meses (Ano 2006). Registrou-se que no período pluviométrico chuvoso o aquífero livre apresentou os menores valores da coluna d'água subterrânea e no período de seca, os maiores valores da coluna d'água. Constatou-se que, em linhas gerais, o nível d'água do aquífero livre expressa significativa semelhança com o perfil topográfico atual. Vale dizer também o nível d'água subterrânea assume um papel importante na manutenção das drenagens da área de estudo. A análise da estatística descritiva da profundidade do nível estático dos poços escavados analisados (190 poços, em 2006) foi de

aproximadamente 11 m, apresentando proximidade no valor da mediana (10m). Nota-se também que 75% dos dados não ultrapassaram 15m de profundidade;

- Existem estruturas tectônicas (falhas normais) e irregularidades na geometria do topo dos derrames basálticos que devem ser levadas em consideração nos estudos prévios hidrogeológicos e ambientais. Para a identificação dessas estruturas sugere-se a aplicação de métodos geofísicos de eletrorresistividade e a construção de perfis geológicos a partir de poços tubulares perfilados;

- No mapa hidrogeológico, a geometria do topo dos derrames é marcada pelas formas circulares e concêntricas das isolinhas de profundidade do nível d'água. Estruturas de subsuperfície convexas caracterizam-se pela diminuição do valor das isolinhas para o centro da estrutura e para estruturas côncavas ocorre o aumento do valor das isolinhas para o centro da estrutura. O modelo conceitual hidrogeológico 3A é representado em caráter exploratório. Há necessidade de estudos de detalhe para o pleno entendimento da relação estratigráfica entre a unidade geológica dos Sedimentos Cenozóicos (topo) e as formações Serra Geral e Botucatu (base);

- O valor global da condutividade hidráulica é de 9,19cm/h para um total de 90 ensaios realizados e validados. Desse total, 75% apresenta valor de 13,32cm/h. Vale ressaltar que esse valores são orientativos. O tratamento dos dados de condutividade por unidade geológica obteve a seguinte seqüência em ordem crescente de valores em cm/h: Formação Botucatu (2,55); Formação Serra Geral (2,96); Formação Adamantina (3,34); Sedimentos Cenozóicos (4,13). Não foi possível aplicar a análise estatística descritiva para os dados da Formação Botucatu, em função do reduzido número de ensaios de campo realizados. Em síntese, o mapa de condutividade hidráulica demonstra a tendência de que os menores valores estão associados aos vales das drenagens e os maiores valores correspondem às posições de meia-vertente e, principalmente, nos platôs;

- A caracterização geofísica das unidades geológicas a partir do método da eletrorresistividade, técnica da Sondagem Elétrica Vertical - SEV e arranjo Schlumberger, foi utilizada como ferramenta auxiliar no aprimoramento dos modelos conceituais hidrogeológicos (profundidade do nível d'água subterrânea), no reconhecimento dos contatos geológicos e dos tipos litológicos da área de estudo;

- No total foram levantadas 138 fontes potenciais à poluição dos recursos naturais. Destaca-se que 59% correspondem a postos de serviços, os quais se encontram concentrados na região central do município de Araraquara e nos corredores comerciais. A tipologia de empreendimentos potencialmente poluidores da área de Araraquara é similar à configuração dos empreendimentos registrados no Estado de São Paulo pela Cetesb;
  
- As análises qualitativa e quantitativa das Regiões de Planejamento Ambiental-RPA sob o ponto de vista da vulnerabilidade natural (Método GOD), resultaram em um instrumento básico e fundamental para o processo de gestão ambiental e de recursos hídricos. O entendimento do território dentro do conceito de micro-bacias é um agente facilitador para aplicação de ações de planejamento e de execução das estratégias pertinentes;
  
- As informações apresentadas sobre os meios natural e antrópico das RPA pode minimizar os impactos ambientais negativos e potencializar os impactos positivos;
  
- A partir da aplicação do Método GOD, verifica-se que na área estudada ocorrem as seguintes classes de vulnerabilidade natural, apresentadas em ordem crescente da dimensão em área: baixa, alta, extrema e moderada. Nas classes moderada e extrema está assentada praticamente toda a área urbana do município. As fontes potenciais de poluição estão concentradas predominantemente na classe moderada, seguida das classes alta e extrema;

## **RECOMENDAÇÕES**

As recomendações apresentadas neste capítulo possuem a finalidade apontar os principais assuntos que podem ser desenvolvidos de forma específica em pesquisas futuras, como segue:

- O mapeamento geológico das porções sedimentares da área de estudo requer a aplicação de características geomorfológicas, pedológicas, topográficas e sedimentológicas. Em campo há dificuldades em definir exatamente o contato geológico entre as unidades sedimentares. Neste sentido, recomenda-se a realização de ensaios granulométricos, pois as distribuições das porcentagens das modas, representadas na forma de histogramas, contribuem para separar os sedimentos das formações Botucatu, Adamantina e os Sedimentos Cenozóicos. Em termos das dimensões das áreas de afloramento das unidades geológicas mapeadas, estabelece-se a seguinte ordem: Formação Adamantina; Sedimentos Cenozóicos; Formação Serra Geral; Formação Botucatu;

- Os modelos conceituais hidrogeológicos foram confeccionados com base no banco de dados disponível nesta pesquisa, cujos aprimoramentos podem ser balizados em investigações específicas sobre a hidrodinâmica e hidroquímica dos aquíferos. Vale informar que esse desdobramento da investigação hidrogeológica não foi contemplado nesta pesquisa. Portanto, a proposta de apresentar os modelos, ainda que de forma exploratória, pode ser entendida como uma contribuição para o desenvolvimento de pesquisas futuras;

- O levantamento do valor imobiliário territorial se mostrou um atributo eficaz de apoio à tomada de decisão. Ele pode contribuir para uma decisão sob o ponto de vista econômico, ambiental ou de ambos. Outra constatação refere-se que o vetor de crescimento do município não está associado em nenhum tipo de parâmetro relacionado ao meio físico (geologia, hidrogeologia e vulnerabilidade natural). O crescimento segue uma tendência do tipo e padrão de infra-estrutura disponível ou a ser instalada pelo empreendedor;

- O mapa de vulnerabilidade não possui caráter impeditivo, porém, o documento pode orientar a instalação de novos empreendimentos e subsidiar o monitoramento e/ou a remediação das áreas onde estes se encontram instalados. Seguindo os conceitos do Método GOD, há uma necessidade de se intensificar as investigações do meio natural (superficial e subterrâneo) a



medida que se aumenta a hierarquia das classes de vulnerabilidade (da baixa para a extrema), o que pode, ainda, onerar as instalações de empreendimentos potencialmente poluidores;

- Recomenda-se a criação, pelo poder público municipal em parceria com a iniciativa privada e autarquias, o desenvolvimento de programas educacionais específicos para a inserção dos munícipes no processo decisório das ações estruturais e não-estruturais a serem contempladas nas Regiões de Planejamento Ambiental do Município de Araraquara – RPA/Araraquara.

## CAPÍTULO 5 – REFERÊNCIAS

AGUIAR, R.L.; GANDOLFI, N. Condicionantes geológicos na exploração de materiais de construção na região de São Carlos-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8.1996, Rio de Janeiro. **Anais...**São Paulo:ABGE, 1996. v.1, p.399-413.

ANDERSEN, L.J.; GOSK, J. Applicability of vulnerability maps. TNO Committee for Hydrological Research: **Proceeding and Informations**, The Netherlands, v.38, p. 321-332, 1987.

ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.J.; HACKETT, G. **DRASTIC**: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Washington: Environmental Protection Agency, 1987. Report 600/2-87-035.

ALMEIDA, M.A.; FERNANDES, L.A.; DANTAS, A.S.L.; SAKATE, M.T.; GIMENEZ, A.F.; TEIXEIRA, A.L.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M. de Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Bauru na região do Pontal do Paranapanema do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, Curitiba. **Atas...** Curitiba: SBG/Núcleo SP, 1981. v.2, p. 77-89.

ARARAQUARA. Prefeitura Municipal. **Plano Diretor de Desenvolvimento e Política Urbana e Ambiental de Araraquara**, 2005. Disponível em: <[www.araraquara.sp.gov.br](http://www.araraquara.sp.gov.br)>. Acesso em: 15 jun. 2006.

ARAÚJO, P.P.,; MARQUES, V.J.; MARQUES, S.S. Águas subterrâneas: vulnerabilidade dos aquíferos à poluição como ferramenta para instalação de empreendimentos industriais. ZEE da área de consolidação e expansão da BR-163, Vale do Jamaxim (PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracajú. **Anais...** Aracajú: SBG, 2006. v.1, p. 44.

ASSINE, M. L.; SOARES, P. C.; MILANI, E. J. Seqüências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-89, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NB 1290**: Construção de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 1992. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NB 588**: Projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 1990. 5 p.

BARISON, M.R. **Estudo hidrogeoquímico da porção meridional do sistema aquífero Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. 153f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

BATEZELI, A.; ETCHEBEHERE, M.L. de C.; FULFARO, V.J.; PERINOTTO, J.A. de J.; SAAD, A.R. Análise Estratigráfica Aplicada à Formação Araçatuba (Grupo Bauru – K) no Centro-Oeste do Estado de São Paulo. **Geociências**, São Paulo, v.22, p.5-19, 2003.

BITTENCOURT, A.V.L.; ROSA FILHO, E.F.; HINDI, E.C.; BUCHMANN FILHO, A.C. A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do sistema aquífero Serra Geral na bacia do Rio Piquiri, Paraná - BR. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v.17, n.1, p.67-75, 2003.

BRAGA, B. (Coord.). **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 308p.

BRAGA, A.C.O. **Material didático para os cursos de Hidrogeologia e Mecânica de Fluidos**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, 1999. 1 CD-ROM.

BRANDT NETO, M.; PETRI, S.; COIMBRA, A.M. Considerações sobre a estratigrafia e ambiente de sedimentação da Formação Bauru. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais...** Recife: SBG, 1978. v.2, p.557-566.

CAMPOS, H. C. N. S. **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo**. 1993. 117 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.

CAMPOS, J.E.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; ODA, G.H.; IRITANI, M.A.; PERROTA, M.M.; SILVEIRA, R.E.I.; TAKAHASHI, A.T. Carta hidrogeológica do Estado de São Paulo (Brasil) na escala 1:1.000.000. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 1, Fortaleza: Brasil. **ABAS...** Fortaleza: 2000.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 1997**. São Paulo, 1998. 2v.

COSTA, A. R. C. Condutividade hidráulica in situ e sua relação com o potencial matricial em parcelas de erosão com diferentes usos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2005. v.1, p.1

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS **Deliberação número 052 de 15 de abril de 2005**: Diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle da captação e uso das águas subterrâneas. Disponível em: <[www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin](http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin)> . Acesso em: 10 fev. 2006.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: CPRM/ REFO, 2000.

FERNANDES, A.J.; MALDANER, C.H.; WAHNFRIED, I.; FERREIRA, L. M.; PRESSINOTTI, M.M.N.; VARNIER, C.; IRITANI, M.A.; HIRATA, R. Estratigrafia e Estruturas dos basaltos da Formação Serra Geral em Ribeirão Preto, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBG, 2006. v.1, p. 43.

FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. 216f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERNANDES L.A.; COIMBRA A.M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, p.195-205, 1996.

FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 24, n.3, p.164-176, 1994.

FERNANDES, L.A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. 1992. 129f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 2ª ed. New York: Macmillon, 1988.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. Lima: World Health Organization, Pan American Health Organization, Centre for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, 1988. Technical Report.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A.; GOMES, D.; D'ELIA, M. PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies**. Washington: The World Bank, 2002.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 2ª Ed. São Paulo: Atlas, 1989. 159p.

GOGU, C.R.; HALLET, V.; DASSARGUES, A. Comparison of aquifer vulnerability assessment techniques. Application to the Néblon river basin (Belgium). **Environmental Geology**, Berlin, v.44, p. 881-892, 2003.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Record, 1998, 107p.

HIRATA, R. Representação gráfica dos modelos hidrogeológicos dos aquíferos do Estado de São Paulo. In: SÃO PAULO. (SP). DAEE. IG. IPT. CPRM. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**, 2005. 119 p. 1 CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base topográfica do mapa geológico da porção noroeste da folha Araraquara (SF-22-X-D-VI-4): região Sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro, 1988. 1 mapa Escala: 1:50.000.

\_\_\_\_\_. **Censo demográfico**. Rio de Janeiro, 2000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. 2v. (Série Monografias, 5).

JESUS, A.C.; MIRANDA, S.B.; CAMPOS, L.E.P.; BURGOS, P.C. Estudo da Frente de Umedecimento de um Solo Residual da Cidade do Salvador-Ba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 13, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABMS, 2006. v.1, p. 1-6.

LIMA, A.A. de **Hidrogeologia do sistema aquífero Bauru no município de São José do Rio Preto**. 2004. 77f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

MALDANER, C.H.; FERNANDES, A.J.; WAHNFRIED, I.; FERREIRA, L. M.; PRESSINOTTI, M.M.N.; VARNIER, C.; IRITANI, M.A.; HIRATA, R. Representação tridimensional do aquífero Serra Geral na região de Ribeirão Preto, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBG, 2006. v.1, p. 43.

MARCONATO, L. de P, BERTINI, R.J. Caracterização icnológica de lajes da Formação Botucatu, Jurássico inferior, na borda da piscina da Universidade Federal de São Carlos, SP. **Boletim Informativo**. Disponível em: <[http://www.propg.ufscar.br/publica/vicic/C\\_Bio\\_Agra/BA008.html](http://www.propg.ufscar.br/publica/vicic/C_Bio_Agra/BA008.html)>. Acesso em 20 abr. 2007.

MEAULO, F. Mapeamento da vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos de Araraquara-SP. **Holos Environment**, Rio Claro, v.6, n. 2, p. 70-90, 2006.

MEAULO, F. (Coord.). **Desenvolvimento do software de vulnerabilidade natural à poluição ambiental**: FORTGEO Planejamento Ambiental<sup>®</sup>. Rio Claro: FORTGEO. 2007. 189 p. Relatório Parcial de Pesquisa FAPESP, Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas – Fase II.

MEAULO, F.; LIMA, A.A.; CERRI, L.E.S. Análise das principais alterações dos sistemas de avaliação dos índices de vulnerabilidade natural à poluição do aquífero, método GOD. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, 2005. **Anais...** João Pessoa: ABAS, 19p, 2005.

MEAULO, F. (Coord.). **Desenvolvimento do software de vulnerabilidade natural à poluição ambiental**: FORTGEO Planejamento Ambiental<sup>®</sup>. Rio Claro: FORTGEO. 2005 (a). 96 p. Relatório Final de Pesquisa FAPESP, Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas – Fase I.

MEAULO, F. **Vulnerabilidade natural à poluição dos recursos hídricos subterrâneos da área de Araraquara (SP)**. 2004. 108f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2004.

MILANI, E.J.; VICTOR, A.; RAMOS, V.A. Orogenias Paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.28, n.4, p.473-484, 1998.

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO NETO, V. et al. (Org.). **Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 265-280.

MILANI, E.J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. 1997. 255f. 2v. Tese (Doutorado em Estratigrafia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MILANI, E.J. Intraplate tectonics and the evolution of the Paraná Basin, SE Brazil. Figura litoestratigráfica. In: Wite; Ransorne. **Inversion Tectonics of the Cape Fold Belt, Karoo and Cretaceous Basins of Southern África**, 1992. p. 101-108.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, n.8, v.1, p. 69-82. 1994.

MONTEIRO, R.C. **Estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do sistema aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil**. 2003. 212f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

OLIVA, A. **Estudo hidrofaciológico do aquífero Rio Claro no município de Rio Claro-SP**. 2006. 105f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

OLIVEIRA, J. B. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. **Boletim Científico, IAC**, Campinas, n.45. 111p. 1999.

PAULA E SILVA, F. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. 166 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

PEJON, O.J. **Estudos geológicos-geotécnicos da região urbana de Araraquara-SP**. 1987. 2v. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PERRONI J.C.; MEAULO, F.J.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L. **Construção de seções geológicas a partir de dados de poços tubulares profundos para o abastecimento do município de Araraquara (SP)**. 2007. No prelo.

PETRI, S.; FÚLFARO, V.J. **Geologia do Brasil (Fanerozóico)**. São Paulo: EDUSP, 1983. 631p.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: MANTESSO NETO, V. et al. (Org.). **Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 77-92.

RICCOMINI, C.; GIMENEZ FILHO, A.; STEIN, D.P.; ALMEIDA, F.F.M.; PIRES NETO, A.G.; DEHIRA, L.K.; MELO, M.S. de; BRAGA, T. de O.; PONÇANO, W.L. Características da porção basal da Formação Caiuá no noroeste do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, Curitiba. **Atas...** Curitiba: SBG/Núcleo SP, 1981. v.2, p. 34-48.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia. Departamento de Geografia. FFLCH. USP. Laboratório de Cartografia Geotécnica - IPT/FAPESP, 1997. 2 v. 1 mapa Escala 1:500.000.

RUIZ, M. **Zeólitas em amígdalas do basalto das cidades de Araraquara e Serrana-SP**. 2001. 89f. Tese (Doutorado em Química)-Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara.

SALOMÃO, F.X. de T.; ANTUNES, F. dos S. Solos em Pedologia In: OLIVEIRA, H. M. S.; BRITO, S. M. S. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998, cap. 6, p.87-109.

SANTOS, M.M. **Avaliação hidrogeológica para a determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)**. 2005. 122f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SANTOS, A.R. dos. **Geologia de Engenharia: conceitos, método e prática**. 1. ed. São Paulo: ABGE/IPT, 2002. 222p.

SÃO PAULO. (SP). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto Geológico. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**: nota explicativa. São Paulo, 2005. 119 p. + 1 CD-ROM. Escala 1:1.000.000.

SÃO PAULO. (SP). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto Geográfico e Cartográfico. **Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo** - UGRHI. São Paulo, 2003. 1 mapa.

SÃO PAULO. (SP). Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Estudo de águas subterrâneas: Região administrativa 4: Sorocaba**. São Paulo, 1982. 2v.

SÃO PAULO. (SP). Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Estudo de águas subterrâneas: Região administrativa 5: Campinas**. São Paulo, 1981. 2v.

SÃO PAULO. (SP). Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Estudo de águas subterrâneas: Regiões administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília**. São Paulo, 1979. 3v.

SILVA, R. B. G. **Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no estado de São Paulo**. 1983. 133 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SINELLI, O. Vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos na região NNE do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBG, 1974. v.7, p.89-98.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FÚLFARO, V.J.; SOBREIRO NETO, A.F. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.10, p.177-185, 1980.

SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP. **Manual de operações e instruções do permeâmetro de Guelph**: modelo 2800KI. Santa Barbara: Soilmoisture equipment corporation, 1991. 28p.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.237, p.133-139, 2003.

SOUZA, L.S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.77-86, 1998.

STEPHENS, D. B. *Vadose Zone Hydrology*. New York: CRC Press; Lewis Publishers, 1996.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. Mapas geológicos das planícies costeiras quaternárias do Estado de São Paulo e sul do Rio de Janeiro: Folhas de Cananéia, Iguape, Itanhaém, Santos, Bertioga, Caraguatatuba, Ubatuba e Parati. São Paulo: DAEE/SOMA, 1978. Escala 1:100.000.

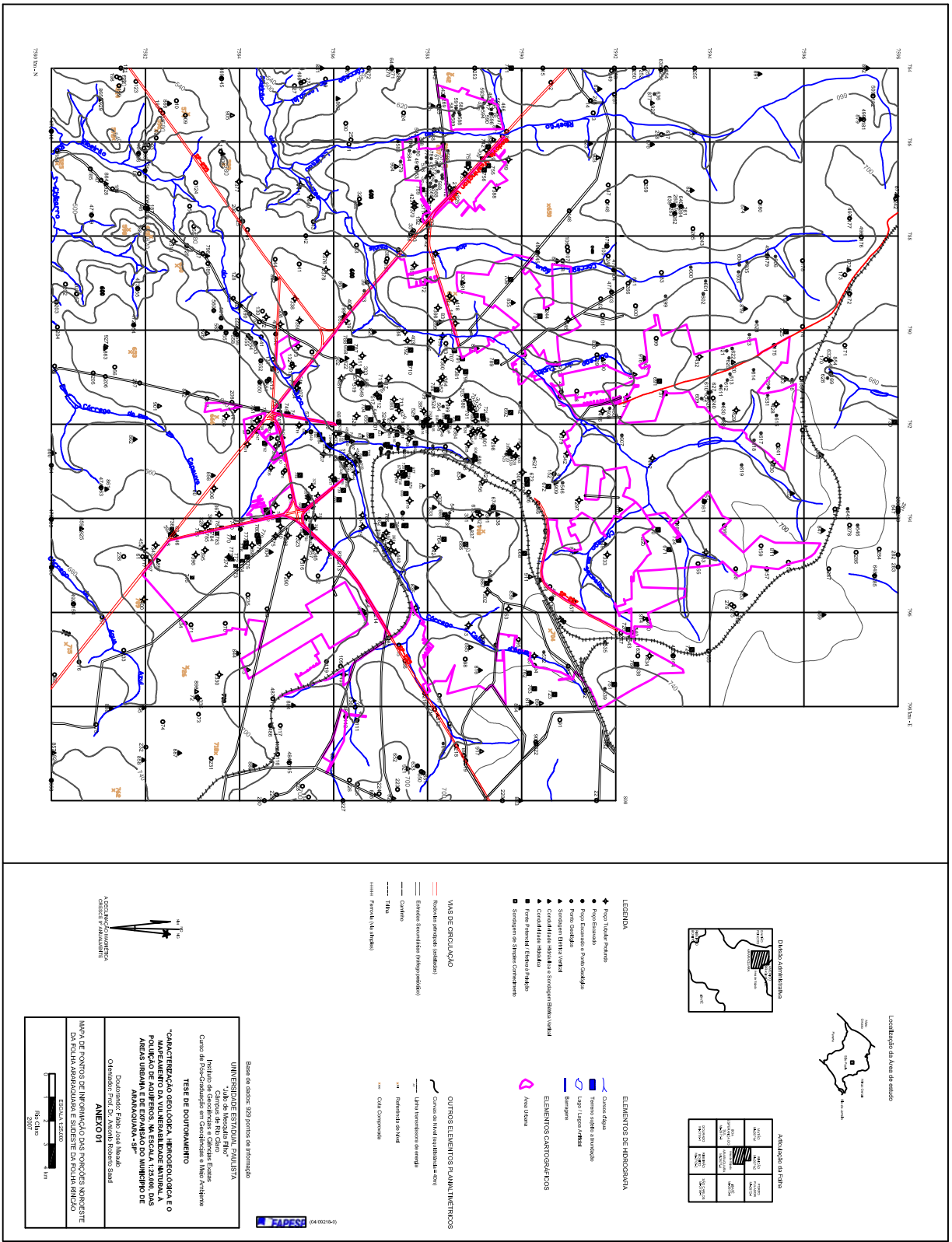
TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 944p.

WU, F.T.; CAETANO-CHANG, M.R. Estudo mineralógico dos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu no centro-leste do Estado de São Paulo. **Revista IG**, São Paulo, v.13, n.1, p.58-68, 1992.

ZHOURI, A.; LASCHEFSKI, K.; PEREIRA, D. **A insustentável leveza da política ambiental**: desenvolvimento e conflitos socioambientais. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2005.



# **ANEXOS**



**LEGENDA**

**Elementos de Hidrografia**

- ▲ Nível Médio
- ▲ Nível Máximo
- ▲ Nível Mínimo
- ▲ Nível Estuário
- ▲ Nível de Cheia
- ▲ Nível de Secagem
- ▲ Nível de Secagem Total
- ▲ Nível de Secagem Parcial
- ▲ Nível de Secagem Total
- ▲ Nível de Secagem Parcial

**Elementos Cartográficos**

- ▲ Nível Médio
- ▲ Nível Máximo
- ▲ Nível Mínimo
- ▲ Nível Estuário
- ▲ Nível de Cheia
- ▲ Nível de Secagem
- ▲ Nível de Secagem Total
- ▲ Nível de Secagem Parcial
- ▲ Nível de Secagem Total
- ▲ Nível de Secagem Parcial

**Outros Elementos Cartográficos**

- ▲ Nível Médio
- ▲ Nível Máximo
- ▲ Nível Mínimo
- ▲ Nível Estuário
- ▲ Nível de Cheia
- ▲ Nível de Secagem
- ▲ Nível de Secagem Total
- ▲ Nível de Secagem Parcial
- ▲ Nível de Secagem Total
- ▲ Nível de Secagem Parcial

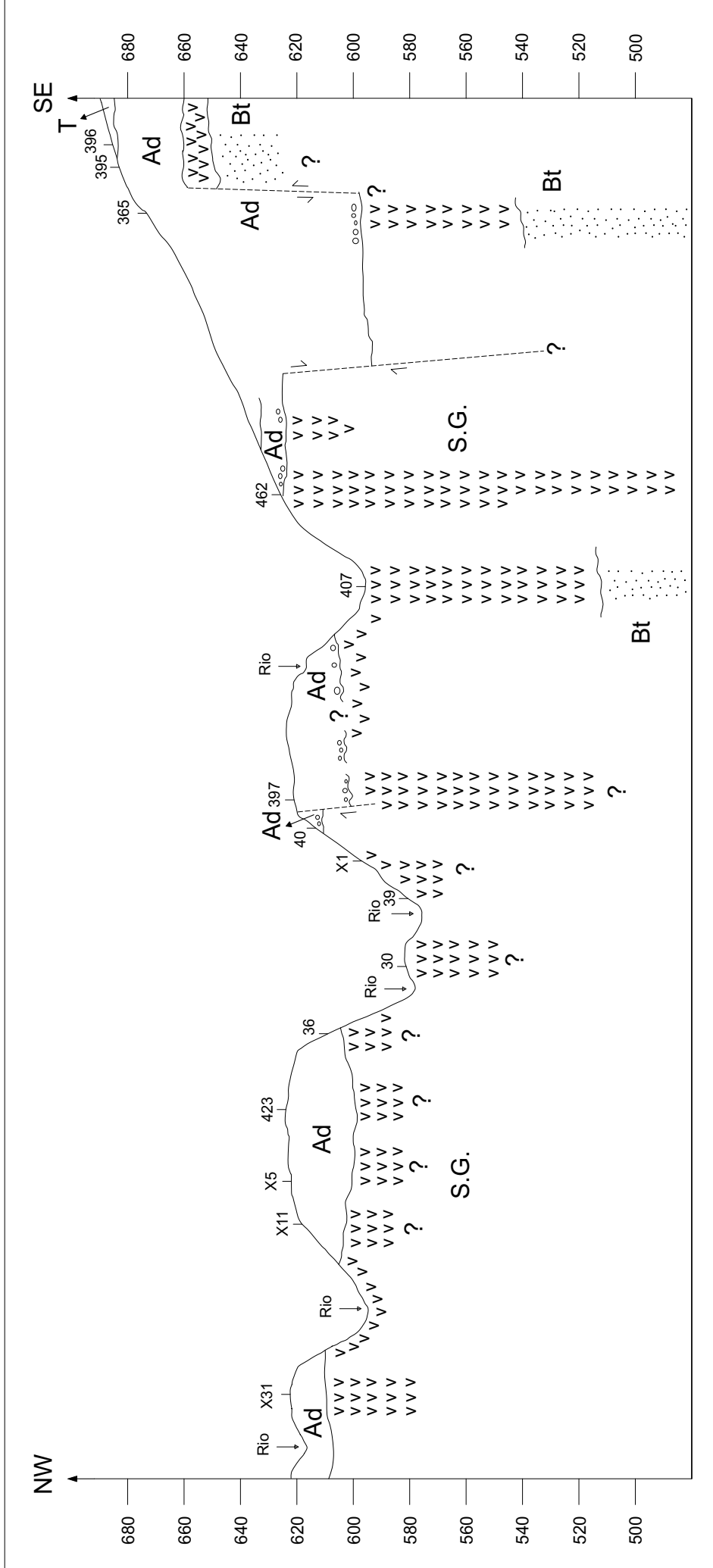
**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
 "Júlio de Mesquita Filho"  
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
 Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente  
**TESE DE DOCTORADO**  
**"CARACTERIZAÇÃO GEOLOGICA, HIDROGEOLOGICA E O**  
**MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL A**  
**POLUIÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM UMA ÁREA URBANA**  
**ARARAQUARA - SP - 2007**  
 Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ribeiro Sassi

**ANEXO 01**  
 MAPA DE PONTOS DE INTERESSE DAS REPERTEC KENNETE  
 DA FOLHA ABRANGENDO E SUPOSTE DA FOLHA INÍCIO

ESCALA 1:25000  
 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

2007





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
 "Julio de Mesquita Filho"  
 Câmpus de Rio Claro  
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
 Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente

**TESE DE DOUTORAMENTO**

"CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA E O MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO DE AQUÍFEROS, NA ESCALA 1:25.000, DAS ÁREAS URBANAS E DE EXPANSÃO DO MUNICÍPIO DE ARARAQUARA - SP"

Doutorando: Fábio José Meaulo  
 Orientador: Prof. Dr. Antonio Roberto Saad

**ANEXO 02 - B**

SEÇÃO GEOLÓGICA A-B DAS PORÇÕES NOROESTE DA FOLHA ARARAQUARA E SUDESTE DA FOLHA RINÇÃO

**LEGENDA**

- T → Sedimentos Cenozóicos
- Ad → Formação Adamantina
- Bt → Formação Botucatu
- S.G. → Formação Serra Geral
- ⊗ → Norte
- ↗ → Falha Normal Inferida
- ? → Informação Indisponível

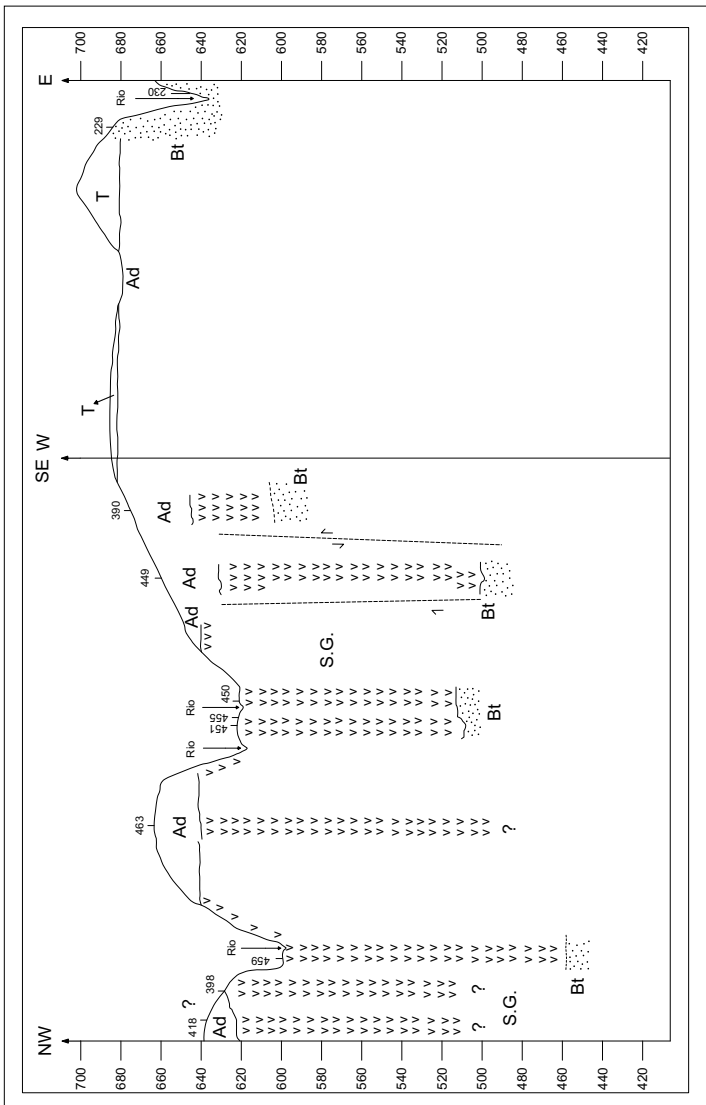
Escala Horizontal 1:25.000  
 Escala Vertical 1:100

**Seção Geológica Esquemática**  
**Seção A - B**





Seção Geológica Esquemática  
Seção C - D



**LEGENDA**

- T → Sedimentos Cenozóicos
- Ad → Formação Adamantina
- Bt → Formação Botucatu
- S.G. → Formação Serra Geral
- ⊗ → Norte
- F → Falha Normal Inferida
- ? → Informação Indisponível

Escala Horizontal: 1:25.000  
 Escala Vertical: 1:100

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
 Juho de Mesquita Filho  
 Câmpus de Rio Claro  
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
 Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente

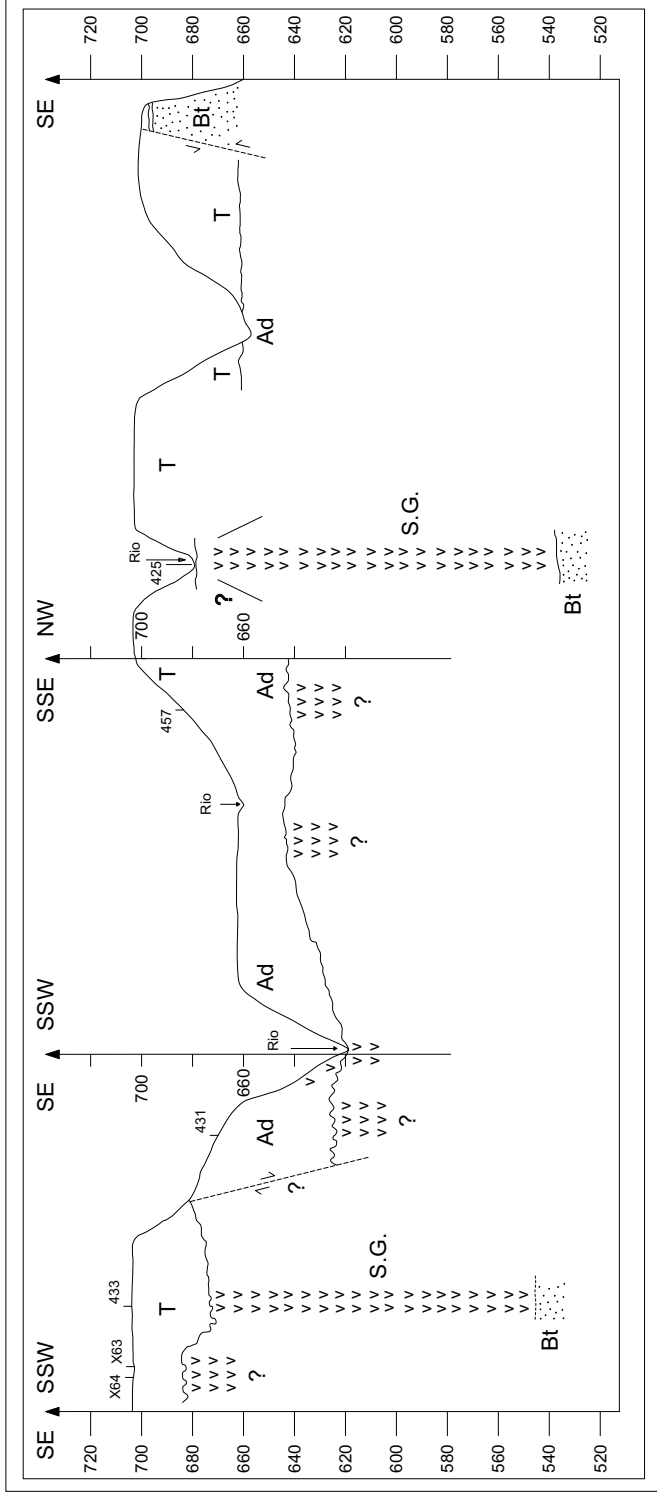
**TESE DE DOUTORAMENTO**

"CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-HIDROGEOLÓGICA E O MAPEAMENTO DA VIABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO DE AQUIFEROS, NA ESCALA 1:25.000, DAS ÁREAS URBANAS E DE EXPANSÃO DO MUNICÍPIO DE ARARAQUARA - SP"

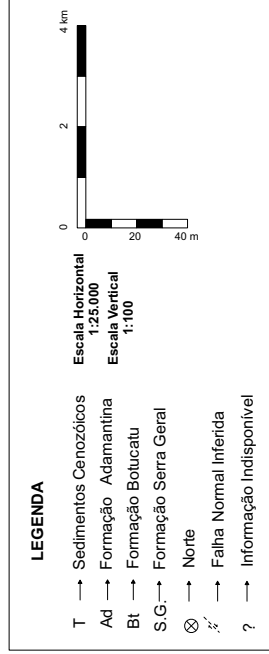
Doutorando: Fábio José Mesaulo  
 Orientador: Prof. Dr. Antonio Roberto Saad

**ANEXO 02 - C**

SEÇÃO GEOLÓGICA C-D DAS PORÇÕES NOROESTE DA FOLHA ARARAQUARA E SUDESTE DA FOLHA RINÇÃO



**Seção Geológica Esquemática**  
Seção E - F



(04/09218-0)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"Júlio de Mesquita Filho"  
Campus de Rio Claro  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente

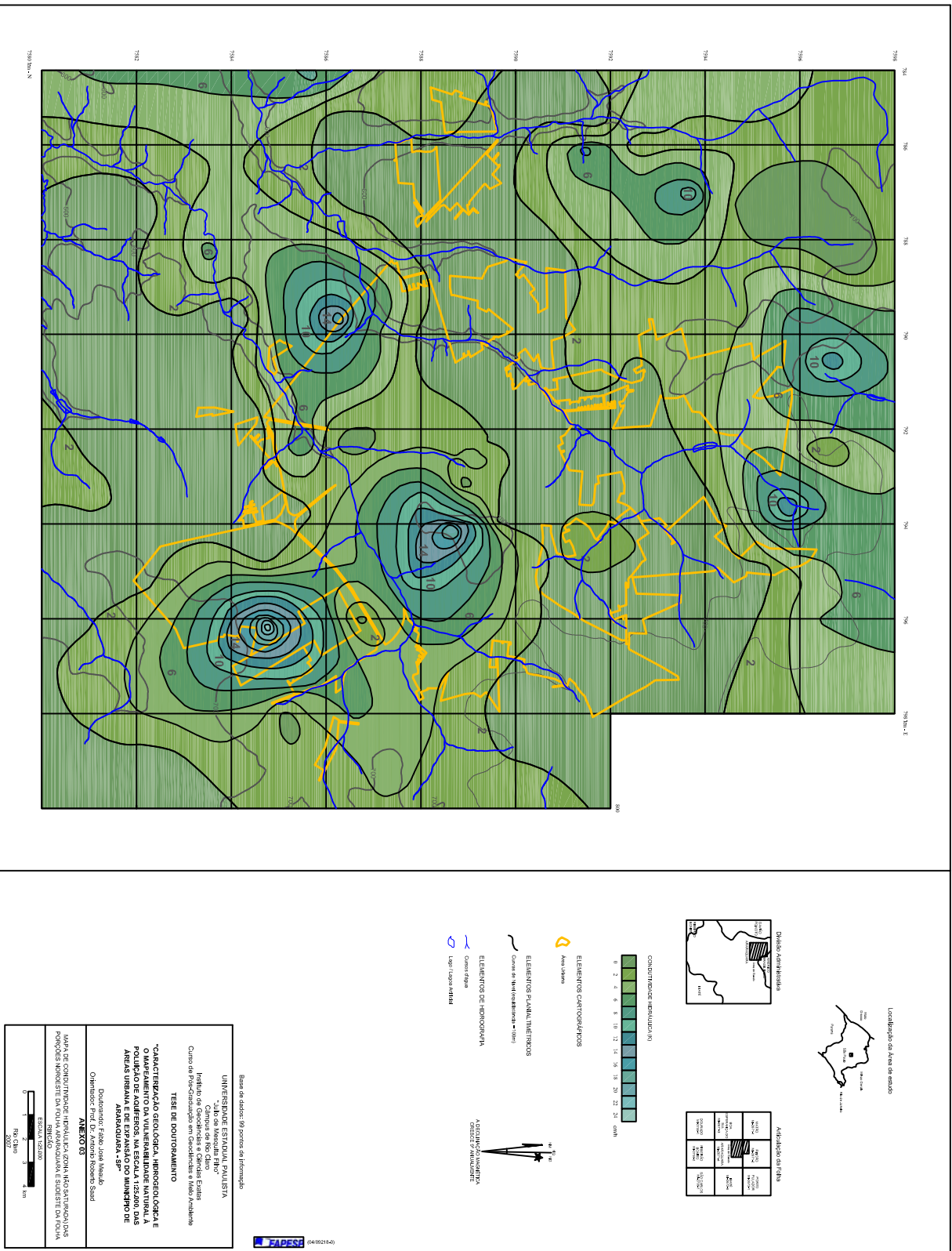
**TESE DE DOUTORAMENTO**

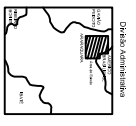
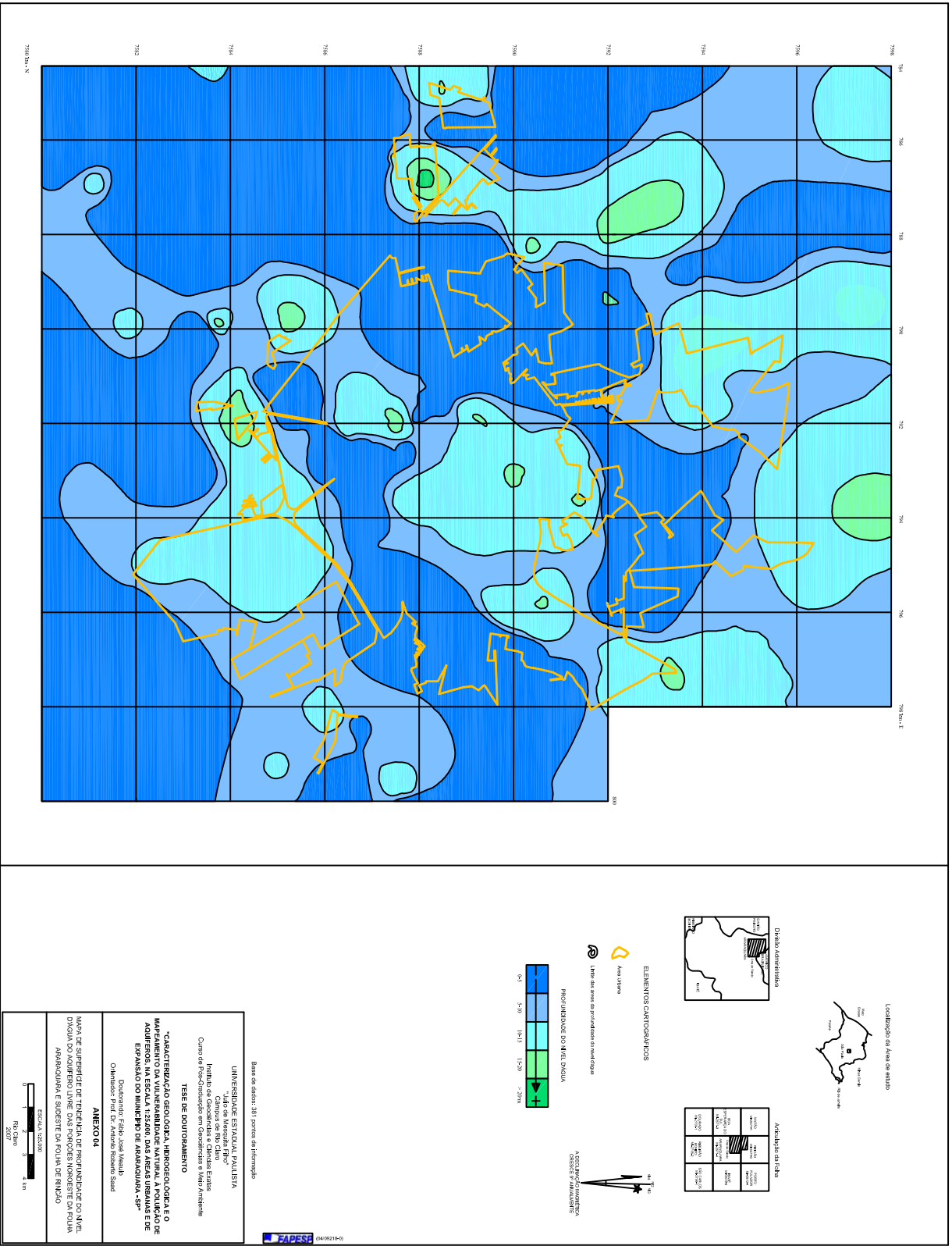
"CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA E O Mapeamento DA VULNERABILIDADE NATURAL A POLUIÇÃO DE AQUIFÉROS SUBSÓLICOS EM ÁREAS URBANAS E DE EXPANSÃO DO MUNICÍPIO DE ARARAQUARA - SP"

Doutorando: Fábio José Mesaulo  
Orientador: Prof. Dr. Antonio Roberto Saad

**ANEXO 02 - D**

SEÇÃO GEOLÓGICA E-F DAS PORÇÕES NOROESTE DA FOLHA ARARAQUARA E SUDESTE DA FOLHA RINCÃO





Atividade da Folha

Atividade	Simbologia	Atividade	Simbologia
Área Urbana	[Symbol]	Área Rural	[Symbol]
Área de Proteção Ambiental	[Symbol]	Área de Preservação Ambiental	[Symbol]
Área de Interesse Social	[Symbol]	Área de Proteção Ambiental	[Symbol]
Área de Proteção Ambiental	[Symbol]	Área de Proteção Ambiental	[Symbol]

**ELEMENTOS CARTOGRAFICOS**

Área Urbana

Limite das áreas de profundidade em metros

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA

0-50	50-100	100-150	150-200
[Color]	[Color]	[Color]	[Color]

0 10 20

1:50.000

ESCALA NUMÉRICA

0 3 6 km

ESCALA GRÁFICA

2007

FAPESP (04/08219-0)

Base de dados: 381 pontos de levantamento

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
 Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira  
 Curso de Engenharia de Geodésia e Engenharia Cartográfica  
 Curso de Pós-graduação em Geodésia e Engenharia Cartográfica

**TESE DE DOUTORAMENTO**

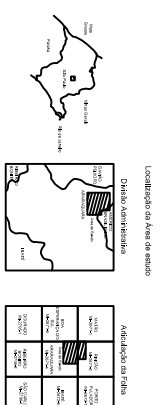
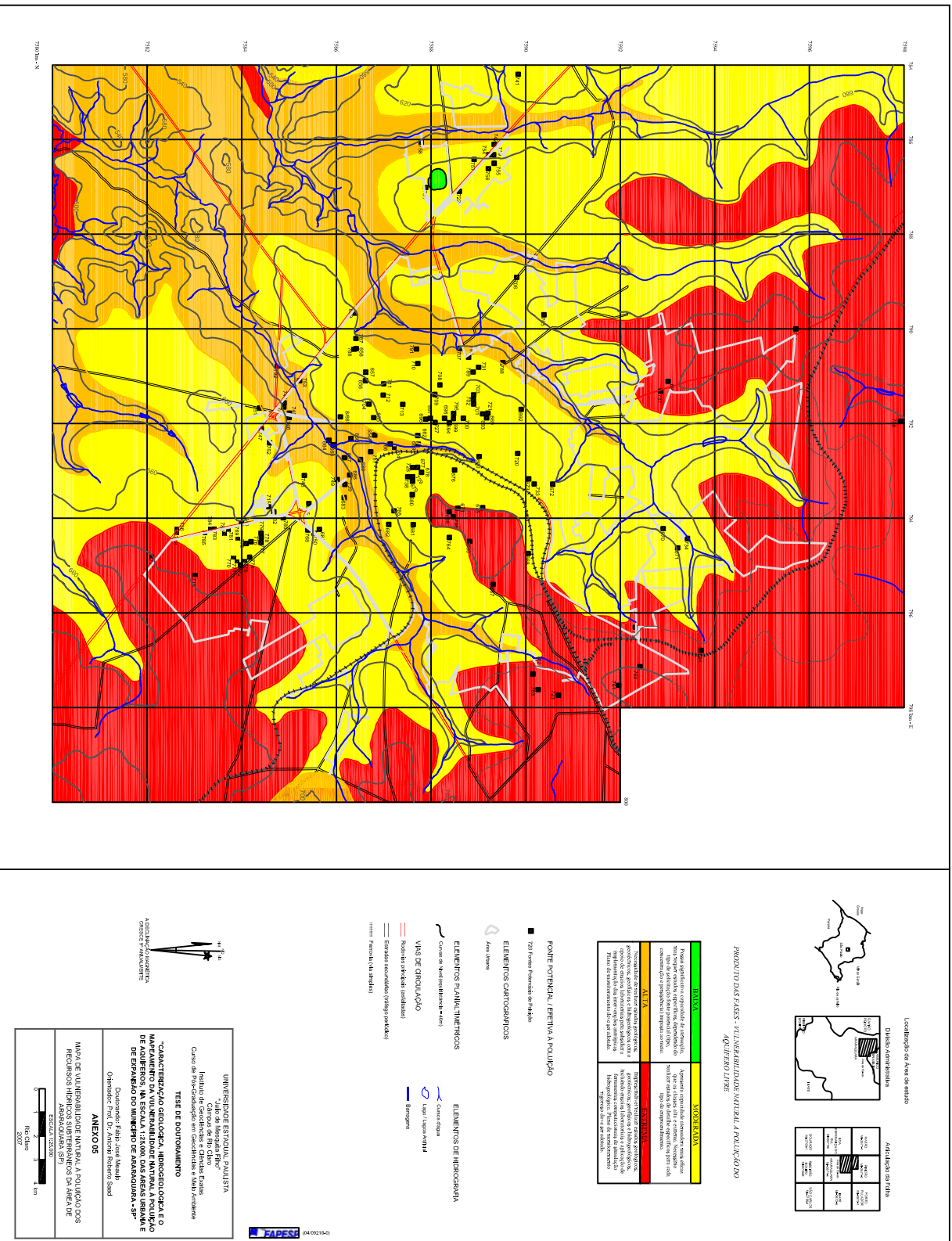
"CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA E O MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL, A POLUIÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E O MAPEAMENTO DAS ÁREAS IMBIBIDAS DE AQUIFERO DO AQUIFERO LIVRE DAS PORÇÕES NORESTE DA FOLHA ARARAQUÃ E SUDESTE DA FOLHA DE RINCÃO

Doutorando: Fábio José Assis  
 Orientador: Prof. Dr. Antônio Manoel Sassi

**ANEXO 04**

MAPA DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA DE PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA DO AQUIFERO LIVRE DAS PORÇÕES NORESTE DA FOLHA ARARAQUÃ E SUDESTE DA FOLHA DE RINCÃO

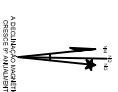




FAIXA	MODERADA
<p>Áreas com potencial de contaminação ambiental, onde a utilização é restrita para evitar a propagação de poluentes para o solo.</p>	<p>Áreas com potencial de contaminação ambiental, onde a utilização é restrita para evitar a propagação de poluentes para o solo.</p>
ALTA	BAIXA
<p>Áreas com alta vulnerabilidade ambiental, onde a utilização é restrita para evitar a propagação de poluentes para o solo.</p>	<p>Áreas com baixa vulnerabilidade ambiental, onde a utilização é restrita para evitar a propagação de poluentes para o solo.</p>

PRODUTO DAS FASES - FULNERABILIDADE NATURAL A POLUICAO QUILERO LIMAO

- 7500 Fontes Potenciais de Poluição
- Elementos Cartográficos
- Área Urbanas
- Elementos Planimétricos
- Curvas de Nivelamento (m)
- Vias de Circulação
- Rodovias (linha dupla)
- Estradas secundárias (linha simples)
- Ferrovias (linhas)
- Elementos de Hidrografia
- Contornos
- Lago (linha azul)
- Barragem



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
 Instituto de Geografia  
 Campus de Rio Claro  
 Curso de Pós-Graduação em Geodésia e Mapeamento

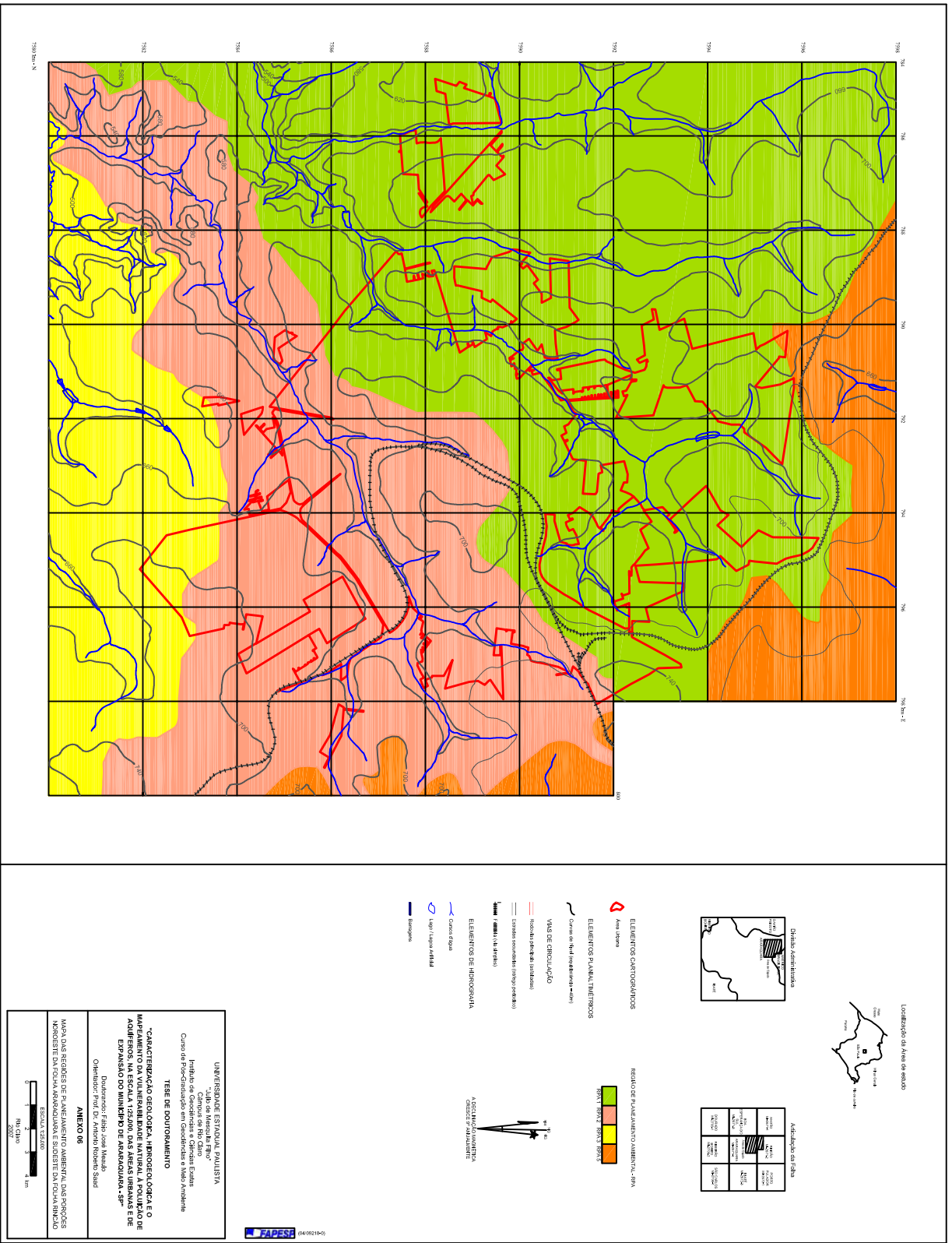
TESE DE DOUTORAMENTO

"ANÁLISE DE VULNERABILIDADE NATURAL A POLUIÇÃO DE ÁREAS URBANAS E DE EXPANSÃO DO MUNICÍPIO DE MADAOQUARA - SP"

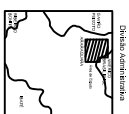
Orientador: Prof. Dr. Antonio Roberto Saad

ANEXOS 05

MAPA DE VULNERABILIDADE NATURAL A POLUIÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DA ÁREA DE MADAOQUARA, SP



Localização da Área de estudo



Atribuição dos Símbolos

Área de estudo	Rede de planejamento ambiental - RPA
Elementos cartográficos	Rede de planejamento ambiental - RPA
Elementos pluviométricos	Rede de planejamento ambiental - RPA
Vias de circulação	Rede de planejamento ambiental - RPA
Elementos de hidrografia	Rede de planejamento ambiental - RPA

REDE DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL - RPA



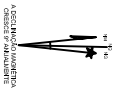
**ELEMENTOS CARTOGRAFICOS**  
 Área de estudo

**ELEMENTOS PLUVIOMETRICOS**

**VIAS DE CIRCULAÇÃO**

**ELEMENTOS DE HIDROGRAFIA**

- Contorno de nível (contorno = elevação)
- Roadas (linha de localização)
- Cursos hidrográficos (rios e córregos)
- Limite e direção de drenagem
- Contorno de elevação
- Capa / Linha de nível
- Estação



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
 Instituto de Geografia  
 Campus de Rio Claro  
 Curso de Pós-graduação em Geodésia e Mapeamento  
 TESI DE DOUTORAMENTO  
 "CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA E O  
 Mapeamento da Vulnerabilidade Natural à Poluição de  
 Aquíferos em uma Área de Expansão de Assanópolis-SP"  
 Debetora Fátima Julia Mendes Sales  
 Orientador Prof. Dr. Anderson Roberto Sales

**ANEXO 06**

MAPA DAS REDES DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL DAS PORÇÕES  
 NOROCCIDENTE DA FOLHA ARROZALVA/EM 5408100-1

ESCALA GRÁFICA  
 0 1 2 3 4 km  
 0 1 2 3 4 500m