

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO
MUNICÍPIO DE SOROCABA-SP :
UMA CONTRIBUIÇÃO**

Vinicius Rosa Rodrigues

Orientador: Antonio Celso de Oliveira Braga

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao curso de Pós-Graduação em Geociências – Área de Concentração em Geociências e Meio Ambiente, como parte dos subsídios necessários para obtenção do Título de Mestre em Geociências

Rio Claro (SP)

2004

551.49 Rodrigues, Vinicius Rosa
R696g Gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município de Sorocaba – SP : uma contribuição / Vinicius Rosa Rodrigues. – Rio Claro : [s.n.], 2004
89 f. : il., gráfs., tabs., quadros, fots. + mapas, cd-rom

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Antonio Celso de Oliveira Braga

1. Águas subterrâneas. 2. Hidrogeologia. 3. Poços tubulares. 4. Aquífero Cristalino. 5. Aquífero Tubarão. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Comissão Examinadora

Antonio Celso de Oliveira Braga

Valter Malagutti Filho

Fábio Taioli

Aluno: Vinicius Rosa Rodrigues

Rio Claro, 04 de maio de 2004.

Resultado: Aprovado

DEDICATÓRIA

Dedico essa pesquisa, em especial, aos meus pais e ao meu irmão e, também, a todos que tem consciência da importância das águas subterrâneas e que almejam lutar para que as futuras gerações desfrutem desse bem vital, porém, finito e vulnerável:

A água potável...

AGRADECIMENTOS

A realização da presente pesquisa seria muito mais difícil sem o auxílio precioso de pessoas, entidades e empresas, às quais gostaríamos de expressar nossos sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Antonio Celso de Oliveira Braga pela orientação e oportunidade.

Ao CNPQ pelo auxílio financeiro concedido através de bolsa para desenvolvimento da pesquisa.

A Hidrogeo Perfurações Ltda., em nome do Moacir, por ter me disponibilizado tempo, no primeiro semestre de 2002, para que eu pudesse cumprir os créditos necessários enquanto ainda era funcionário da empresa.

A Geoplan Acessoria Planejamento e Perfurações Ltda., empresa que me iniciou na captação de águas subterrâneas.

Ao DAEE, em nome da Edna, pelos dados prontamente cedidos.

Aos meus pais, Adriano e Neusa, e ao meu irmão Wagner, pela ajuda incondicional dispensada desde a minha existência.

À Luciana, pela ajuda na confecção da dissertação, além dos conselhos e incentivos.

Ao amigo e geólogo Alex (Gabiru), pela ajuda na elaboração dos mapas.

Aos amigos Thomaz, Miau, Cabañas e Andresa por se disponibilizarem a ajudar no que fosse necessário. Muito obrigado!

Aos amigos Chico, Paulo (Burguês), Pinga e Wendy que sempre me incentivaram durante a graduação, ajudando a tornar essa etapa possível.

À todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram com a realização dessa pesquisa.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| ÍNDICE..... | ii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | iv |
| ÍNDICE DE FOTOS..... | vi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | vii |
| ÍNDICE DE TABELAS..... | vii |
| RESUMO..... | x |
| ABSTRACT..... | xi |
| 1.INTRODUÇÃO..... | 01 |
| 2.ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO..... | 08 |
| 3.RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRANEOS..... | 15 |
| 4.DISSCUSSÃO DOS DADOS..... | 42 |
| 5.CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 81 |
| REFERÊNCIAS..... | 84 |
| ANEXOS..... | xii |

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1 – INTRODUÇÃO..... | 01 |
| 1.1 Considerações Iniciais..... | 01 |
| 1.2 Objetivos..... | 03 |
| 1.3 Metodologia e Procedimentos..... | 03 |
| 1.3.1 Pesquisa e Compilação Bibliográfica..... | 04 |
| 1.3.2 Cadastro de Poços Tubulares Profundos..... | 04 |
| 1.3.3 Avaliação das Obras de Captação..... | 05 |
| 1.3.4 Análise da Outorga como Instrumento de Gestão..... | 06 |
| 1.3.5 Tratamento e Interpretação dos Dados..... | 06 |
| 2 – ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO..... | 08 |
| 2.1 Localização da Área de Estudo..... | 08 |
| 2.2 Geomorfologia e Clima..... | 09 |
| 2.3 Hidrografia..... | 10 |
| 2.4 Geologia..... | 10 |
| 2.4.1 Contexto Geológico Regional..... | 10 |
| 2.4.2 Contexto Geológico Local..... | 13 |
| 3 – RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS..... | 15 |
| 3.1 Aspectos Gerais..... | 15 |
| 3.2 Importância das Águas Subterrâneas..... | 17 |
| 3.3 Aquíferos Cristalinos..... | 18 |
| 3.4 Aquífero Tubarão..... | 20 |
| 3.5 Legislação para Recursos Hídricos Subterrâneos..... | 21 |
| 3.5.1 Licença de Execução de Obras para Extração de Águas Subterrâneas..... | 21 |
| 3.5.2 Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos Subterrâneos..... | 22 |
| 3.5.2.1 Procedimentos para Elaboração da Outorga de Uso..... | 23 |
| 3.6 Poços Tubulares Profundos..... | 26 |
| 3.6.1 Elementos do Poço Tubular Profundo..... | 29 |
| 3.6.2 A Perfuração e os Condicionantes Geológicos..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 4 – DISCUSSÃO DOS DADOS..... | 37 |
| 4.1 Contexto Hidrogeológico de Sorocaba..... | 42 |
| 4.1.2 A Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba..... | 42 |
| 4.1.2 Aquífero Cristalino..... | 43 |
| 4.1.3 Aquífero Tubarão..... | 43 |
| 4.2 Classificação e Profundidade dos Poços Tubulares Profundos..... | 48 |
| 4.3 Produtividade dos Poços Tubulares..... | 51 |
| 4.3.1 Produtividade dos Poços no Aquífero Cristalino..... | 51 |
| 4.3.2 Produtividade dos Poços no Aquífero Tubarão..... | 54 |
| 4.3.3 Produtividade dos Poços Mistos..... | 55 |
| 4.3.4 Distribuição da Vazão Específica no Município de Sorocaba..... | 58 |
| 4.3.5 Análise Comparativa da Produtividade dos Poços Locados Com e Sem Critérios Geológicos Apropriados..... | 62 |
| 4.4 Comportamento do Nível Estático nos Diferentes Aquíferos..... | 63 |
| 4.4.1 Aquífero Cristalino..... | 64 |
| 4.4.2 Poços Mistos..... | 65 |
| 4.4.3 Aquífero Tubarão..... | 65 |
| 4.5 Aspectos Construtivos dos Poços Tubulares Profundos..... | 71 |
| 4.5.1 Sistemas de Perfuração dos Poços Tubulares..... | 71 |
| 4.5.2 Diâmetros de Perfuração..... | 72 |
| 4.5.3 Tubo de Proteção Sanitária..... | 75 |
| 4.5.4 Coluna de Revestimento e Pré-Filtro..... | 76 |
| 4.5.5 Cimentação..... | 77 |
| 4.5.6 Laje de Proteção Sanitária..... | 75 |
| 4.6 Usos das Águas Subterrâneas..... | 78 |
| 4.7 Instrumentos de Gestão..... | 79 |
| 4.7.1 Uma Reflexão sobre o Processo de Licença para Perfuração de Poços..... | 79 |
| 4.7.2 Uma Reflexão sobre a Eficácia do Processo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos..... | 80 |
| 5 –CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 81 |
| REFEÊNCIAS..... | 84 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Localização da área de Estudo..... | 08 |
| Figura 2 – Mapa Geológico de Sorocaba (modificado de IG, 2000)..... | 14 |
| Figura 3 – Modelo Esquemático do Ciclo Hidrológico..... | 16 |
| Figura 4 – Representação Esquemática da Distribuição Vertical da Água no Solo e Subsolo, Mostrando as Diversas Zonas de Umidade (CPRM, 997)..... | 17 |
| Figura 5 – Províncias Hidrogeológicas do Brasil (modificado de FEITOSA, 1997)..... | 19 |
| Figura 6- Perfil Esquemático de um Poço que Capta Água de Um Aquífero Sedimentar..... | 28 |
| Figura 7- Perfil Esquemático de um Poço que Capta Água do Aquífero Cristalino..... | 28 |
| Figura 8- Perfil Esquemático de Um “Poço Misto”..... | 28 |
| Figura 9 – Perfuração Não Atinge o NE, Resultando Num Poço Improdutivo..... | 38 |
| Figura 10 – Locação Equivocada dos Filtros, Comprometendo a Produção do Poço..... | 40 |
| Figura 11 – Poço Mal Projetado Conduzindo Contaminação Para Aquífero Subjacente..... | 41 |
| Figura 12 – Mapa de contorno da Cota Topográfica do Embasamento Cristalino..... | 45 |
| Figura 13 – Mapa da Espessura Representando a Espessura de Aquífero Tubarão na área de Estudo..... | 46 |
| Figura 14 – Comparação entre a Morfologia da Superfície da Cota do Embasamento e a Espessura do Aquífero Tubarão em Sorocaba..... | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 15 – Distribuição da Vazão Específica no Município de Sorocaba..... | 60 |
| Figura 16 – Mapa Representando a Variação da Profundidade do Nível Estático de Acordo com os Poços Cadastrados..... | 68 |
| Figura 17 – Mapa Potenciométrico do Aquífero Tubarão no Município de Sorocaba..... | 69 |
| Figura 18 - Representação Esquemática da Cota do Nível Estático no Aquífero Tubarão..... | 70 |
| Figura 19 – Perfil Esquemático Típico dos Poços que Captam Água do Aquífero Cristalino. | 74 |
| Figura 20 – Perfil Esquemático Típico para os Poços que Captam água do Aquífero Tubarão..... | 74 |
| Figura 21 – Perfil Esquemático Típico para os Poços Mistos..... | 74 |

ÍNDICE DE FOTOS

| | |
|---|----|
| Foto 1 - Circuito para Circulação do Fluido de Perfuração..... | 33 |
| Foto 2 – Broca Tricônica..... | 33 |
| Foto 3a – Vista Lateral do Bit de Perfuração..... | 33 |
| Foto 3b – Detalhe da Face do Bit de Perfuração..... | 33 |
| Foto 4 – Martelo Pneumático..... | 38 |
| Foto 5a – Água Indo à Superfície juntamente com os fragmentos de Rocha..... | 33 |
| Foto 5b – Momento em que se Atinge Descontinuidade Saturada..... | 34 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Frequência de Ocorrência dos Diferentes Tipos de Poços Tubulares..... | 48 |
| Gráfico 2 – Frequência das Profundidades dos poços que Captam Água do Aquífero Cristalino..... | 49 |
| Gráfico 3 - Frequência das Profundidades dos Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão..... | 50 |
| Gráfico 4 - Frequência das Profundidades nos Poços Mistos..... | 51 |
| Gráfico 5 – Frequência das Vazões nos Poços que Captam Água do Aquífero Cristalino..... | 51 |
| Gráfico 6 - Frequência da vazão específica nos poços que captam água do Aquífero Cristalino..... | 52 |
| Gráfico 7 - Distribuição da Vazão Específica nos Poços que Captam Água do Aquífero Cristalino..... | 53 |
| Gráfico 8 – Vazão Específica dos Poços que Captam Água do Aquífero Cristalino em Função da Profundidade..... | 53 |
| Gráfico 9 – Frequência das Vazões nos Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão..... | 54 |
| Gráfico 10 – Frequência da Vazão Específica para os Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão..... | 55 |
| Gráfico 11 – Distribuição da Vazão Específica para os Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão. | 55 |
| Gráfico 12 – Frequência da Vazão nos Poços Mistos..... | 56 |

| | |
|---|----|
| Gráfico 13 - Frequência da Vazão Específica nos Poços Mistos..... | 57 |
| Gráfico 14 – Distribuição da Vazão Específica nos Poços Mistos..... | 57 |
| Gráfico 15 – Frequência do Nível Estático nos Poços que Captam Água do Aquífero Cristalino | 64 |
| Gráfico 16 – Frequência das Profundidades do Nível Estático nos Poços Mistos..... | 65 |
| Gráfico 17 – Frequência das Profundidades do Nível Estático nos Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão..... | 66 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Produtividade e Profundidade dos Poços Locados Com e Sem Critérios Geológicos.. | 62 |
| Tabela 2 – Razão entre a Profundidade e a Vazão Específica..... | 63 |
| Tabela 3 – Sistemas de Perfuração Utilizados na Área de Estudo..... | 71 |
| Tabela 4 – Produtividade no Aquífero Tubarão em Virtude dos Diferentes Sistemas de Perfuração..... | 72 |
| Tabela 5 – Ausência de Proteção Sanitária nos Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão..... | 75 |
| Tabela 6 – Tipos de Tubos Lisos Utilizados em Função do Sistema de Perfuração..... | 76 |
| Tabela 7 – Tipos de Filtros Utilizados em Função do Sistema de Perfuração..... | 77 |
| Tabela 8 - Usos da água Subterrânea no Município de Sorocaba..... | 78 |

RESUMO

Sorocaba é um município em franco desenvolvimento que vem intensificando o uso de recursos hídricos subterrâneos para o atendimento de sua demanda, nesse sentido se fazem necessários estudos que auxiliem na gestão desse recurso. Na presente pesquisa, buscou-se o melhor entendimento dos Aquíferos Tubarão e Cristalino baseando-se em dados obtidos através do cadastramento de poços tubulares profundos e através do conhecimento da geologia local. Cadastraram-se poços que captam água do Aquífero Cristalino, Aquífero Tubarão e de ambos aquíferos e analisaram-se seus aspectos técnico-construtivos e seus parâmetros hidráulicos. Dessa forma pôde-se discutir a produção dos poços em função dos condicionantes geológicos e construtivos, além de compor a geometria do Aquífero Tubarão e confeccionar o seu mapa potenciométrico. Na presente pesquisa, objetivou-se também, deflagrar na comunidade envolvida com os recursos hídricos subterrâneos o ímpeto pela reflexão, através de questionamentos sobre a eficácia de dois importantes instrumentos de gestão – a “Licença para Execução de Poços Tubulares Profundos” e a “Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos”.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos Hídricos, Aquífero Tubarão, Aquífero Cristalino, Poço Tubular Profundo

ABSTRACT

The municipality of Sorocaba is in the clear process of development and intensifying the use of groundwater resources in order to meet the population's demands. This increases the importance of studies that can be applied to the management of this resource. This study is aimed to investigate the Tubarão and Cristalino aquifers, based upon data obtained by the registration of tubular deep wells and also the local geology studies. It was registered wells that tap water from the Cristalino, the Tubarão, or both aquifers, and their technical aspects as well as their hydraulic parameters were analyzed. The wells' production was discussed according to their geological and building characteristics, and a geometric design of the Tubarão Aquifer and a map of the Aquifer potential were composed. This work was also aimed to encourage the community involved with the groundwater subject to reflect on the efficiency of the two most important management instruments - the "License for Executing Deep Tubular Wells" and the "Process of Water Use Authorization for underground water".

KEY WORDS: Undergorund water, Tubarão Aquifer, Cristalino Aquifer, Deep Tubular Well.

1 . INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

As águas subterrâneas constituem a maior reserva estratégica de água doce do planeta, sendo que, no Brasil, as reservas são estimadas em 112 bilhões de metros cúbicos, com uma disponibilidade de 5.000m³/habitante/ano.

A utilização dos recursos hídricos subterrâneos apresenta muitas vantagens, em relação aos mananciais de superfície. Na maioria dos casos, especialmente nas pequenas e médias cidades, o abastecimento é facilmente atendido por poços tubulares profundos ou outras obras de captação, cujos prazos de execução são mais curtos e de menor custo, o que possibilita a maior flexibilidade nos investimentos. Além disso, como os mananciais subterrâneos são naturalmente mais bem protegidos dos agentes poluidores do que as águas superficiais, a água captada quase sempre dispensa tratamento.

A importância das águas subterrâneas ainda não é totalmente reconhecida, embora esse recurso seja disponível no Estado de São Paulo em quantidade e qualidade, e com baixo custo de exploração. O seu desconhecimento pela sociedade é incompatível com a sua importância, visto que 308 municípios do Estado são totalmente abastecidos por esse recurso hídrico.

Segundo levantamento efetuado pela Cetesb (1997), 72% dos municípios paulistas (462) são total ou parcialmente abastecidos por águas subterrâneas, atendendo uma população de 5.525.340 habitantes. Desses municípios, 48% são totalmente abastecidos por águas subterrâneas. Embora predominem, dentre estes últimos, os municípios com menos de 10.000 habitantes, cidades como Ribeirão Preto, Matão, Jacareí e Lins dependem totalmente desse recurso para o seu abastecimento. Esse quadro tende a se acentuar, no Estado de São Paulo, onde as reservas de águas subterrâneas são estimadas em 45 milhões de metros cúbicos por ano.

Como em outras cidades que, a exemplo de Sorocaba, também estão em franco desenvolvimento, a utilização de recursos hídricos subterrâneos passa a ser costumeira. Em decorrência, o problema quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos alcança dimensões preocupantes.

À medida que se intensifica o seu uso, a água vai se tornando escassa, gerando conflitos entre os usuários, além de aumentar o risco de colapso, devido à degradação

Capítulo 1: Introdução

irreversível da qualidade dos corpos de água. Nesse sentido, torna-se importante suplementar o conhecimento sobre a água subterrânea na área estudada e dar suporte à melhor administração desse recurso.

A par da preocupação com a contaminação e desperdício das águas superficiais, os líderes técnicos e governamentais, reunidos em Kyoto, no 3º Fórum Mundial da Água, lançaram um alerta sobre a grave situação dos aquíferos. Embora cerca de 1,5 bilhão de pessoas dependam, hoje, das águas subterrâneas para abastecimento, ainda faltam políticas de conservação dos aquíferos, capazes de garantir a necessária recarga e controle da contaminação. Os casos mais graves são dos aquíferos dos Estados Unidos, México, Índia, China e Paquistão, mas também há crise em algumas partes da Europa, África e Oriente Médio.

A administração racional desse problema constitui um enorme desafio que, nos últimos anos, a comunidade vem procurando enfrentar, por intermédio de vários segmentos, agindo nas áreas técnica, jurídica e política.

Os estudos hidrogeológicos podem auxiliar o enfrentamento desse desafio, uma vez que a Hidrogeologia apresenta como seus principais campos de atuação a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos: (1) para captação, visando ao abastecimento de água; e (2) estudos ambientais, no controle e monitoramento do lençol freático e águas subterrâneas, frente aos poluentes resultantes de aterros, vazamentos de combustíveis etc.

Os estudos hidrogeológicos têm como finalidade estabelecer o conhecimento para se obter uma avaliação dos recursos hídricos, de forma a estabelecer uma exploração e conservação racional das águas subterrâneas.

Os estudos hidrogeológicos avaliam, principalmente:

- A geologia e os diferentes tipos de aquíferos;
- As características hidrogeológicas da rocha armazenadora;
- Os fatores que condicionam o surgimento das águas subterrâneas;
- As características físico-químicas das águas subterrâneas;
- O balanço hídrico;
- O potencial dos aquíferos.

Conhecendo-se esses dados, é possível estabelecer normas de exploração, proteção e conservação das águas subterrâneas, auxiliando os órgãos gestores no trato dos recursos hídricos subterrâneos.

Por conseguinte, a execução da presente pesquisa motivou-se pela necessidade e desafio de se alcançar um maior conhecimento da água subterrânea, na área estudada, além

Capítulo 1: Introdução

de auxiliar na gestão desse recurso - levando à tona a discussão sobre a eficácia de processos como a “Licença para Execução de Poços Tubulares Profundos” e a “Outorga de Direito de Uso de Águas Subterrâneas”. Para tanto, valeu-se de informações provenientes de dados cadastrais de poços tubulares profundos, processos de pedido de Outorga de Uso, requerimentos de Licença de Execução e de mapas temáticos diversos. Dessa forma, caracterizaram-se os aquíferos Tubarão e Cristalino e pôde-se fornecer subsídio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos, no município de Sorocaba.

1.2 Objetivos

O objetivo geral da presente pesquisa é discutir aspectos pertinentes à importância do conhecimento geológico, nas obras para captação de águas subterrâneas, e fornecer auxílio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos, no município de Sorocaba

Objetivou-se, também, levar à tona a discussão sobre a eficácia de instrumentos de gestão como a “Licença de Perfuração de Poços Tubulares Profundos” e a “Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos Subterrâneos”, possibilitando a reflexão sobre o assunto.

Como objetivos específicos, citam-se os principais:

- Elaboração do mapa potenciométrico do Aquífero Tubarão;
- Configuração da geometria do Aquífero Tubarão;
- Análise da produtividade dos poços tubulares profundos, em função dos condicionantes geológicos e técnico-construtivos;
- Determinação do topo do Embasamento Cristalino;
- Determinação do modelo técnico-construtivo dos poços tubulares profundos cadastrados na área.

1.3 Metodologia e Procedimentos

A pesquisa realizou-se com o emprego de métodos quantitativos e qualitativos, seguindo-se os seguintes procedimentos: pesquisa bibliográfica, coleta e tratamento de dados de poços tubulares profundos, integração e análise dos dados, avaliação das obras de captação, análise das principais ferramentas para gestão de recursos hídricos subterrâneos – em especial, as Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos e a elaboração dos produtos.

1.3.1 Pesquisa e Compilação Bibliográfica

Na etapa inicial do estudo, procedeu-se ao levantamento da bibliografia relativa ao estágio atual de conhecimento da geologia, geomorfologia e hidrogeologia da região de Sorocaba. Adquiriram-se mapas planialtimétricos, geológicos e hidrogeológicos existentes, em diversas escalas, a fim de se fazer a integração para o estudo regional e local.

Tratando-se da geologia, são vários os autores que contribuíram para o melhor entendimento da área. Em escala regional, discorrendo sobre as rochas cristalinas, destacam-se: Hasui et al. (1978); Coutinho (1980); Santoro (1984); Batista et al. (1986); Tassinari (1988); Godoy (1989); Campos Neto et al. (1990); IG/SMA (1991) e Hackspacher et al. (1993).

Com relação às rochas sedimentares da Bacia do Paraná, mais especificamente, as rochas do Grupo Tubarão – Subgrupo Itararé, dá-se destaque aos seguintes autores: Rocha Campos (1967); Landim (1973); Saad (1977); Soares et al. (1977); Fulfaro et al. (1980); Cotas et al. (1981); Gama Jr. et al. (1982); Perinotto (1987); Stevaux et al. (1987) e IG/SMA (1990b). No presente trabalho, adota-se a designação Subgrupo Itararé, de acordo com Stevaux et al. (1987), que reconheceram quatro associações faciológicas representativas dos seguintes ambientes: marinho de águas rasas, de leques deposicionais, pró-deltáico a frente deltáica e de planície deltáica.

Tratando-se da hidrogeologia e mais especificamente dos aquíferos Cristalino e Itararé, enumeram-se os seguintes autores: Lopes (1984), Stevaux et al. (1987), Caicedo (1993), Rebouças (1996), Feitosa (1997), Baggio (1998) e Oda (1998).

1.3.2 Cadastro de Poços Tubulares Profundos

Posteriormente à pesquisa bibliográfica, efetuou-se a coleta de dados cadastrais de poços tubulares profundos, nas empresas de perfuração, Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e SAEE, com posterior verificação, no campo. Locaram-se, devidamente, os poços em folha topográfica com escala 1:50.000, possibilitando a correlação de dados entre os diferentes poços (**Anexo V**).

Essa etapa possibilitou a análise da produção dos poços nos Aquíferos Cristalino e Itararé e, também, dos poços que captam água de ambos os aquíferos. Analisaram-se outros parâmetros hidráulicos, tais como: o nível estático, tornando possível a confecção do mapa potenciométrico do Aquífero Tubarão; o nível dinâmico, podendo

Capítulo 1: Introdução

determinar o rebaixamento e, conseqüentemente, a vazão específica – parâmetro que melhor expressa a eficiência do poço tubular profundo.

Com relação à elaboração do mapa potenciométrico do Aquífero Tubarão, utilizaram-se apenas dados de nível estático coletados nos últimos três anos, reconhecendo-se que costumeiramente se utilizam dados obtidos em diferentes décadas. Explica-se a utilização de dados mais recentes pelo fato de, anualmente, notar-se o rebaixamento do nível estático, devido à maior exploração dos mananciais subterrâneos, ocasionando um erro significativo ao se utilizar dados coletados em grandes intervalos de tempo. Escolheram-se os dados de poços perfurados nos últimos três anos, alguns dos quais com o acompanhamento do autor desta pesquisa, por julgá-los mais confiáveis.

Essa etapa tornou-se importante, também, para a aquisição dos perfis litológicos que auxiliaram na análise da produção dos poços, em função dos condicionantes geológicos e na configuração espacial do Aquífero Tubarão, já que a grande maioria dos poços que captam água desse aquífero atingem o Embasamento Cristalino. Desse modo, tem-se, em diferentes pontos, a espessura do aquífero.

1.3.3 Avaliação das Obras de Captação

Avaliou-se o atual estágio de exploração e utilização da água subterrânea, por meio da avaliação das obras de captação na área. Abordaram-se questões relativas às condições de uso e proteção das águas, de construção, manutenção e operação dos poços rasos e profundos.

Nessa etapa, atentaram-se aos aspectos técnico-construtivos dos poços tubulares profundos, procurando-se analisá-los de forma crítica. Primeiramente discutiram-se, genericamente, alguns casos em que a falta do conhecimento geológico implica poços mal construídos, resultando o comprometimento da produção e, em alguns casos, da qualidade da água subterrânea.

Em seguida, focaram-se os poços tubulares profundos perfurados no município de Sorocaba. Procurou-se analisar o aspecto construtivo de cada poço, considerando-se condicionantes geológicos, os diferentes usos dados às águas provindas dos poços e o regime de bombeamento, para atender às necessidades de demanda.

1.3.4 Análise da Outorga como Instrumento de Gestão

Analisou-se de maneira criteriosa a forma como são elaborados os processos de pedido de Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos Subterrâneos e de Licença para Perfuração de Poços Tubulares Profundos, procurando-se apontar pontos passíveis de discussão.

Essa etapa do trabalho motivou-se pela necessidade de uma ampla discussão a respeito de importantes instrumentos de gestão: a “Licença para Perfuração de Poços Tubulares Profundos” e a “Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos Subterrâneos”.

De forma crítica, fizeram-se questionamentos objetivando remeter a comunidade envolvida a uma reflexão e discussão sobre o assunto considerado de tamanha importância no âmbito da Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Estado de São Paulo.

Primeiramente, discutiu-se a Licença de Perfuração e como age o órgão gestor frente à sua solicitação. Em seguida, discorreu-se sobre alguns aspectos da legislação que envolve os Recursos Hídricos Subterrâneos, dando-se ênfase à Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos Subterrâneos.

Com relação à legislação dos recursos hídricos subterrâneos, destaca-se o trabalho de Monteiro (2003), que, em sua tese de doutorado, faz um resumo do histórico de aspectos legais desse recurso.

1.3.5 Tratamento e Interpretação dos Dados

Na etapa de tratamento dos dados, utilizaram-se as seguintes fontes de informação: mapa geológico compilado, mapa de localização dos poços, cadastro de poços, processos de pedido de Outorga de Direito de Uso, requerimentos de Licença de Execução de Poços e dados provenientes de trabalhos anteriores. A partir do cadastro geral de dados de poços, foram gerados novos arquivos menores, contendo dados selecionados, que foram exportados para outros aplicativos, para a geração de produtos específicos, como figuras, tabelas, gráficos e mapas de isovalores etc. Para tanto, utilizou-se recurso computacional, com programas como AUTOCAD, EXCEL, STATISTICA e SURFER.

Primeiramente, trabalhou-se com as informações contidas nos relatórios técnicos dos poços tubulares profundos, cedidos pelo DAEE – Departamento de Águas e

Capítulo 1: Introdução

Energia Elétrica. Atentou-se à posição geográfica dos poços, vazão, ao nível estático e nível dinâmico, perfil litológico e aos aspectos técnico-construtivos.

Com auxílio dos softwares supracitados, montaram-se planilhas com os dados obtidos e confeccionaram-se – entre outros – o mapa de localização dos poços, o mapa de distribuição da vazão específica e o mapa potenciométrico do aquífero Itararé, seguindo-se um tratamento estatístico, relacionando o aquífero explorado e seus parâmetros hidráulicos (vazão, vazão específica, nível estático, nível dinâmico e rebaixamento).

Trataram-se as informações referentes ao perfil litológico, aspectos técnico-construtivos e parâmetros de produção (vazão e vazão específica), de forma associada, subsidiando a discussão da produção dos poços, em função dos condicionantes geológicos e da forma como foram projetados e construídos.

Analisou-se de forma crítica os processos de Licença de Execução de Poços Tubulares Profundos e de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos Subterrâneos, bem como o comportamento do órgão gestor, levantando-se questões e incitando-se à reflexão sobre o assunto.

2 . ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização da Área de Estudo

O Município de Sorocaba localiza-se no sudeste do Estado de São Paulo (**Figura 1**), a 92 km da capital. Com posicionamento privilegiado no Estado, de fácil acesso por vias aéreas ou terrestres, possui importantes eixos viários, como a Rodovia Raposo Tavares e Castelo Branco, que permitem acesso às Rodovias Anhangüera e Bandeirantes. É servida, também, pela Ferroban (Ferrovia dos Bandeirantes) que dá acesso ao porto de Santos e à capital, e fica a 80 km do Aeroporto de Viracopos.

Sorocaba é sede da região administrativa de maior extensão territorial, no Sudeste do Estado, e rota de passagem para todo o oeste paulista e para os Estados do sul e centro-oeste do País.

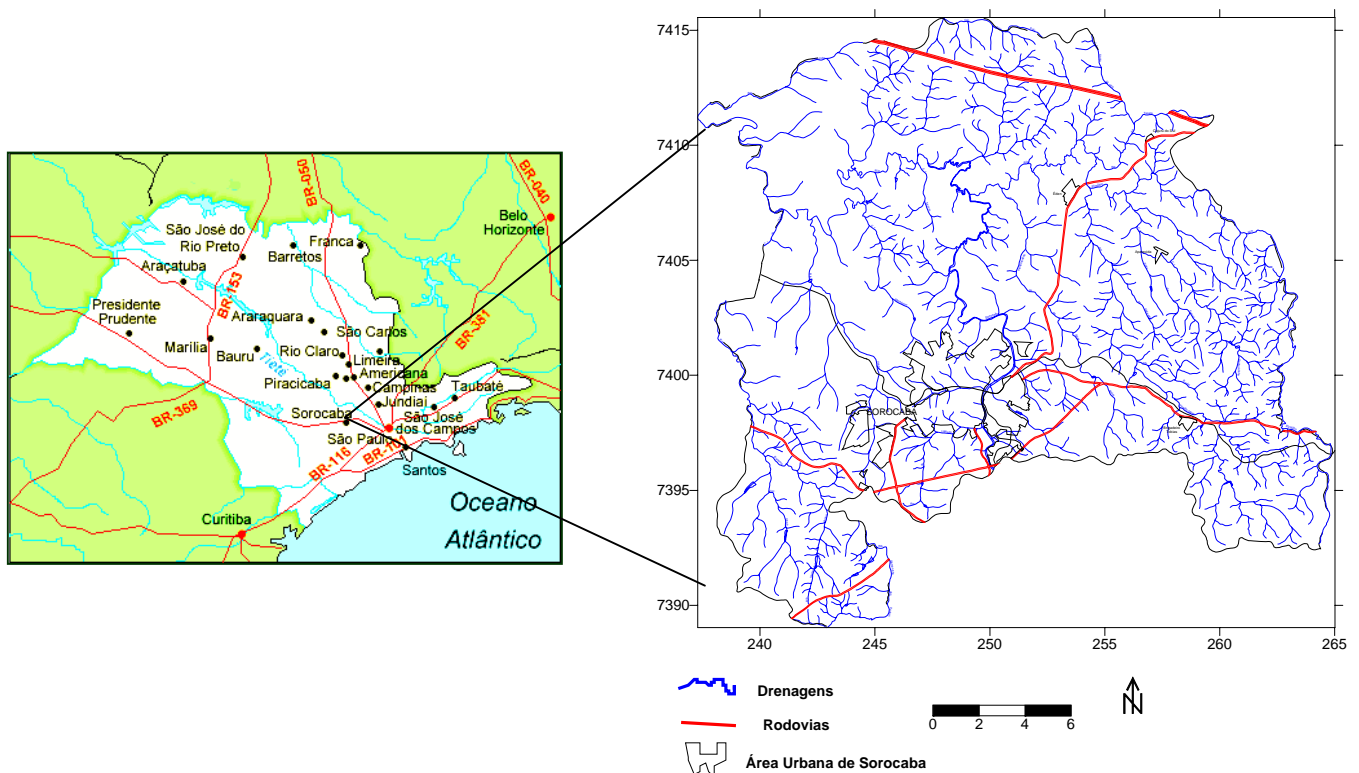


Figura 1 – Localização da Área de Estudo

2.2 Geomorfologia e Clima

Em um contexto regional, a área de estudo encontra-se delimitada entre dois grandes domínios geomorfológicos, denominados de Planalto Atlântico (porção sudoeste da Zona da Serrania de São Roque e pequena porção noroeste da Zona do Planalto de Ibiúna) e a Depressão Periférica (porção sudeste da Zona do Médio Tietê) (ALMEIDA, 1964).

A Zona da Serrania de São Roque é um planalto cristalino montanhoso, constituída por metamorfitos do Grupo São Roque até gnaisses e migmatitos intrudidos por rochas graníticas. Na área estudada, o relevo é representado por morrotes alongados paralelos (IPT, 1981).

A Zona do Planalto de Ibiúna é determinada pela superfície Japi (ALMEIDA, 1964) não deformada, mal alcançando 1.100 metros de altitude, enquanto seus vales estão entre 850 e 900 metros. O relevo dessa zona é sustentado por rochas graníticas e gnáissicas, ocorrendo também metassedimentos em ampla faixa.

A sudeste dessa província, constituída por terrenos sedimentares que bordejam os maciços cristalinos, ocorre a Depressão Periférica. Nela, a Zona do Médio Tietê constitui-se basicamente de rochas sedimentares e vulcânicas básicas, com topografia pouco acidentada, e desníveis locais máximos de 200 metros, predominando colinas amplas e colinas médias.

Na zona de transição entre a Zona de Médio Tietê e o Planalto Atlântico, as formas de relevo relacionam-se aos tipos litológicos, porém o limite geológico, dado pelo escudo – bacia sedimentar, não corresponde ao limite geomorfológico (IPT, 1981).

Santos (1952) e Modenesi (1974) estudaram a região de contato entre a Zona do Médio Tietê e o Planalto Atlântico e registraram a ocorrência de níveis de relevo que decrescem gradualmente de altitudes de leste para oeste, correspondentes a patamares erosivos, que se destacam no relevo.

Quanto ao clima, de acordo com a classificação empírico-descritiva de Köppen, é do tipo “Cwa” tropical úmido, com verões quentes e chuvosos e invernos secos. A temperatura média anual é de 21,6°C. A estação chuvosa na região, de outubro a março, concentra 80% da distribuição pluviométrica anual, com média anual de 1230mm. Segundo o IG/SMA (1991), a umidade relativa do ar registra marcas de 70% e a evapotranspiração efetiva é de 1.100mm/ano.

2.3 Hidrografia

A hidrografia de Sorocaba é servida pelo rio Sorocaba, que corta o município no sentido norte-sul e desemboca no rio Tietê. O rio Sorocaba é formado pelos rios Sorocabuçu e Sorocamirim, cujas cabeceiras se encontram nos municípios de Ibiúna, Cotia, Vargem Grande Paulista e São Roque. É o afluente mais importante da margem esquerda do médio Tietê, drenando 5.269 Km², com trecho superior no Planalto Atlântico e o restante na Depressão Periférica, abrangendo sua bacia 18 municípios.

Com uma barragem na cidade de Votorantim, represando as águas do rio Sorocaba, é formado o reservatório de Itupararanga, conhecida popularmente como a antiga "Light", importante manancial da região, que banha os municípios de Ibiúna, Mairinque, Alumínio, Piedade e Votorantim, onde, após o barramento, o rio atravessa as cidades de Votorantim e Sorocaba, percorrendo, a seguir, 180 km em zona rural, antes de desembocar no rio Tietê, já no município de Laranjal Paulista.

O rio Sorocaba faz parte da Bacia Sorocaba/Médio Tietê e, em Sorocaba, percorre aproximadamente 38,8 Km de extensão, tendo como principais afluentes o rio Sarapuí, Tatuí e os formadores, os rios Sorocamirim e o Sorocabuçu, onde sete municípios utilizam a água da represa de Itupararanga e cinco do rio Sorocaba.

2.4 Geologia

Neste item, faz-se uma descrição da geologia regional, de forma simplificada, mostrando a evolução do conhecimento, a partir do ponto de vista de variados autores. Em seguida, focaliza-se o contexto geológico do município de Sorocaba.

2.4.1 Contexto Geológico Regional

A região engloba desde rochas cristalinas, ígneas e metamórficas, do embasamento pré-cambriano constituinte da Plataforma Sul-Americana, até rochas sedimentares das seqüências paleozóica e mesozóica da Bacia Sedimentar do Paraná, além de rochas básicas intrusivas e extrusivas, e sedimentos cenozóicos.

O embasamento cristalino é constituído por rochas gnáissico-migmatíticas intercaladas às rochas metavulcânicas básicas, a norte da Zona de Cisalhamento Itu-Jundiuvira. Foram designadas de Complexo Itapira, por Batista et al. (1986); Hackspacher et

al. (1993) e IG/SMA (1991). Hasui et al. (1978) e Santoro (1984) designaram essa unidade de Grupo Amparo.

Fazem parte, também, do embasamento, os metassedimentos com intercalação subordinada de rochas metabásicas, passando a rochas gnáissico-migmatíticas, que ocorrem a sul da Zona de Cisalhamento de Taxaquara. Foram designados de Grupo Açungui por Hasui (1973) e Campos Neto et al. (1990); Complexo pré-Açungui, por Stein (1984), ou ainda, de Pilar do Sul e Embu, por Hasui & Sadowski (1976).

Outros constituintes do embasamento cristalino são os metassedimentos diversos, predominantemente de baixo grau metamórfico, entre as Zonas de Cisalhamento Itu-Jundiuvira e Taxaquara, designados de Grupo São Roque, por diversos autores (Hasui, 1969; Hasui, 1973; Coutinho, 1980; Bergmamm, 1988; IG/SMA, 1990; IG/SMA, 1991; Hackspacher et al, 1993 e Fernandes da Silva, 1997). O Grupo Serra de Itaberaba foi reconhecido, na região, como basal em relação ao Grupo São Roque, por Juliani et al (1986) e Hackspacher et al. (1992), compreendendo um conjunto de rochas metavulcano-sedimentares em fácies anfibolito.

Coutinho (1972) propôs a reunião das rochas de idade pré-cambriana superior numa mesma unidade, argumentando a continuidade geográfica existente entre os grupos São Roque e Açungui. Tal proposição foi reforçada por Hasui (1973), ao estudar a geologia das folhas São Roque e Pilar do Sul. Posteriormente, Hasui (1975a, b) reviu a conclusão anterior, reconhecendo a disposição das unidades em blocos justapostos e diferentes histórias deformacionais, reconsiderando o Grupo São Roque como parte distinta.

A partir da segunda metade da década de 80, trabalhos de mapeamento sistemático, conduzidos pelas equipes de IGCE/UNESP-Rio Claro, IG/USP, IG-UNICAMP, Instituto Geológico/SMA e IPT, permitiram o maior detalhamento do Grupo São Roque, na porção sudeste do Estado de São Paulo. Dentro do contexto regional, os trabalhos de Tassinari et al (1985) e Tassinari (1988) proporcionaram uma série de informações geocronológicas relativas à sedimentação, vulcanismo e plutonismo, no Bloco São Roque. Os anfibolitos da Serra de Itaberaba apresentaram idades K/Ar de 1.52 Ga, para cristalização e metamorfismo, e de 0.53 Ga, para o resfriamento regional. Rochas metabásicas da região de Pirapora do Bom Jesus apresentaram idades K/Ar entre 1.65 e 1.05 Ga. Os metaconglomerados próximos ao Pico do Jaraguá forneceram idades Rb/Sr de 1.2 Ga, para o metamorfismo Brasileiro que afetou todo o Grupo São Roque.

Godoy (1989) efetuou estudos em dois complexos granitóides do tipo rapakivi, denominados São Francisco e Sorocaba, ambos intrusivos nos metamorfitos do Grupo São

Roque. O granito São Francisco estaria vinculado às falhas transcorrentes de Taxaquara e de Pirapora, que determinariam parte de seus contatos. Sua disposição geral segue os eixos das estruturas sinformais e antiformais ligados à fase de dobramento D3. O granito Sorocaba teria sua colocação controlada pela continuidade de falha transcorrente de Jundiuvira e apresentaria alojamento tardi a pós-D3.

Na Bacia do Paraná, destacam-se as rochas sedimentares do Grupo Tubarão, corpos de diabásio e corpos restritos de provável filiação alcalina (ODA, 1998).

O Grupo Tubarão é composto de rochas de idade Permo-Carbonífera, da Bacia do Paraná, limitado na base pelo embasamento cristalino e no topo por rochas do Grupo Passa Dois. É subdividido em uma unidade inferior, portadora de diamictitos e rochas associadas, em grande parte, de origem glacial, representada pelo Subgrupo Itararé e pela Formação Aquidauana (porção norte da bacia), e outra sobrejacente desprovida de evidências glaciais (seqüência pós-glacial, representada pelas rochas da Formação Tatuí, no Estado de São Paulo (ROCHA CAMPOS, 1967; LANDIN, 1973).

Várias tentativas de subdivisão foram realizadas para a unidade Itararé, em diversas áreas, destacando-se os trabalhos de Andrade & Soares (1971), na Zona do Médio Tietê; Soares (1972); Landim (1973); Schneider et al. (1974); Saad (1977); Soares et al. (1977); DAEE/UNESP (1979) e Landim et al. (1980).

Fulfaro et al. (1980) e Gama Jr. et al. (1982) rebaixaram o Itararé à categoria de formação, considerando-o uma unidade estratigraficamente indivisível. No mapa geológico do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000, do IPT (1981), adotou-se a designação do Grupo Tubarão, subdividido nas formações Itararé, Aquidauana e Tatuí. Na década de 80, as tentativas de subdivisão estratigráfica tiveram prosseguimento, com Gama Jr. et al. (1980); Cottas et al. (1981); Caetano Chang (1984); Maniakas (1986); Souza Filho (1986); Perinotto (1987); Santos (1987); França (1987); França & Potter (1988).

Stevaux et al. (1987) reconheceram quatro associações faciológicas representativas dos seguintes ambientes: marinho de águas rasas, de leques deposicionais, pró-deltáico a frente deltáica e de planície deltáica.

No mapeamento geológico do Município de Sorocaba (IG/SMA, 1990b), a unidade Itararé foi novamente subdividida em três unidades, com predominância dos seguintes termos litológicos: arenitos, lamitos e ritmitos. A primeira, de maior importância para as correlações hidrogeológicas, predomina sobre as demais unidades e ocorre em camadas métricas a submétricas, com intercalações de camadas decimétricas de lamitos e argilitos.

2.4.2 Contexto Geológico Local

Abordando mais especificamente a área de estudo e a distribuição dos conjuntos litológicos, mencionados no item anterior, tem-se o quadro descrito a seguir **(Figura 2)**.

No município de Sorocaba, predominam os sedimentos do Subgrupo Itararé, ocupando cerca de 70% da área. Observa-se, também, que, dentro do Subgrupo Itararé, predominam arenitos sobre as demais litologias. Estes são texturalmente imaturos, mal selecionados, com granulação predominantemente fina, podendo ser muito fina a grossa, com cores bege claro, rosadas, amareladas, esbranquiçadas e marrom avermelhadas. Ocorrem em camadas submétricas a métricas, com intercalações de camadas dessimétricas de lamitos, siltitos, argilitos e diamictitos. Os diamictitos apresentam clastos de diversas litologias, como granitos, gnaisses, migmatitos, quartzitos, além de outras rochas do embasamento.

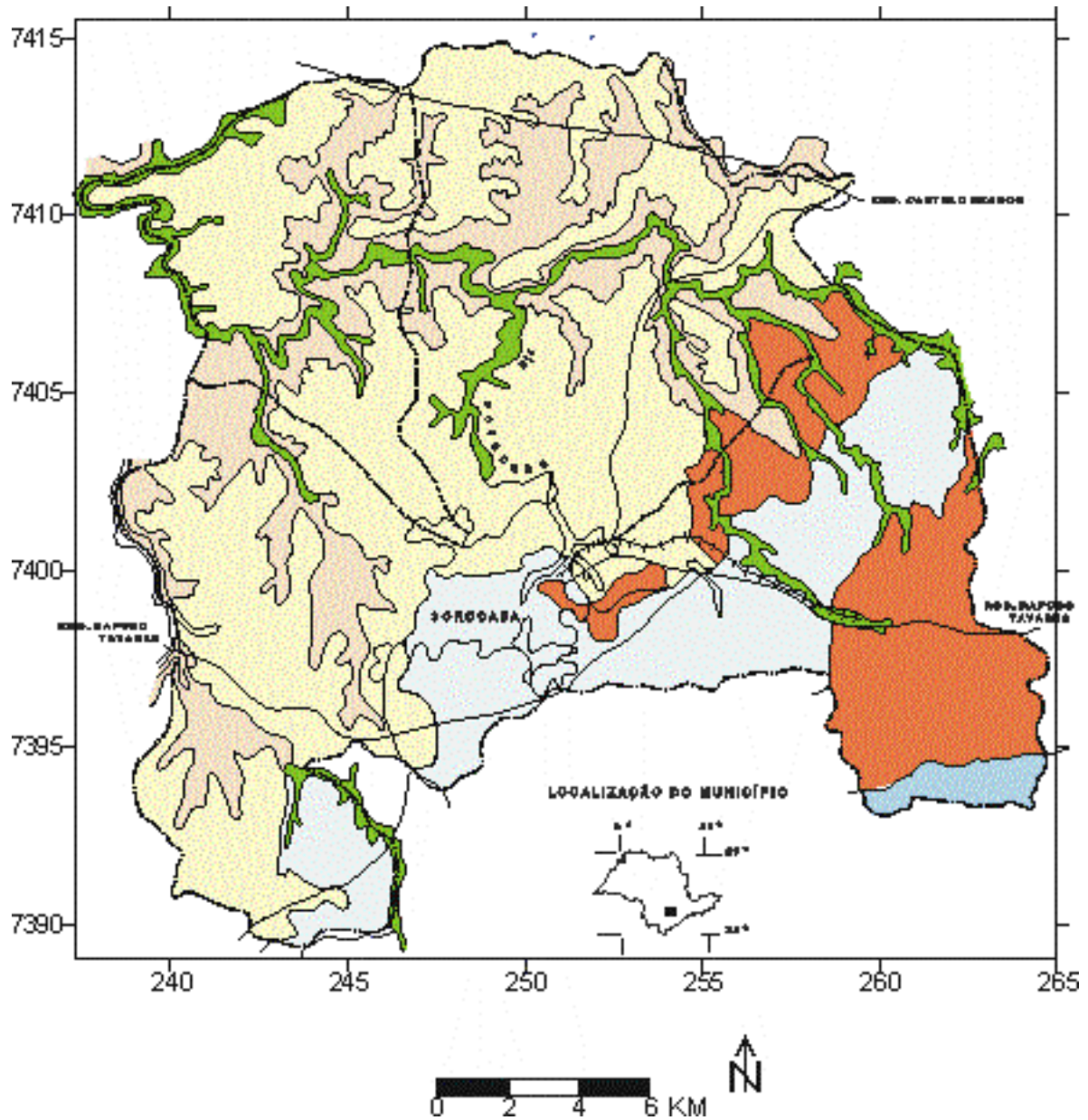
Os afloramentos do Subgrupo Itararé estão relacionados aos setores do relevo representados pelas colinas médias e espigões aplainados, entre as cotas de 600 a 650 metros. Entende-se que, quanto à ocupação urbana, essas são as áreas mais aconselháveis, desde que se evite a retirada do horizonte superficial do solo de alteração, o que em muitas áreas dá início aos processos erosivos que culminam na instalação de grandes voçorocas.

Ocupando as planícies aluviais (500 a 550 metros) aparecem os sedimentos coluvionares e aluvionares.

Nos morrotes e morrotes alongados (650 a 700 metros), instalam-se os metasedimentos do Grupo São Roque, no sudeste da área de estudo. Trata-se de metarenitos, quartzitos e filitos.

Nas escarpas rochosas (750 a 900 metros), encontram-se os Maciços Sorocaba e São Francisco. O Maciço Sorocaba vai desde o centro e sudeste do município até o extremo sudoeste. Caracterizado pelo biotita granito grosso porfirítico, com matriz de granulação média a fina, constituída de quartzo, plagioclásio e biotita. A rocha é desprovida de foliação, com estrutura maciça e homogênea e com coloração cinza médio.

O Maciço São Francisco limita-se ao extremo sudeste do município. Corresponde a um granitóide leucocrático, rosa salmão, acinzentado, com textura fanerítica inequigranular grossa, sendo comum a ocorrência de termos porfiríticos.



Legenda:

| | |
|--|--|
| | Arenito imaturo, mal selecionado, granulação fina à média com coloração amarelada |
| | Sedimentos inconsolidados |
| | (Maciço Sorocaba) Biotita granito grosso porfirítico, possui matriz de granulação média a fina |
| | (Grupo São Roque) Metasedimentos - Filitos/Quartzitos/Metarenitos |
| | (Maciço São Francisco) Granitóide leucocrático, rosa-salmão acinzentado, fanerítico inequigranular |
| | Sedimentos predominantemente argilosos |

Figura 2: Mapa Geológico de Sorocaba (Modificado de IG-SMA, 1993)

3. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

3.1 Aspectos Gerais

A água subterrânea ocorre abaixo da superfície freática e ocupa os espaços vazios existentes nas rochas (poros, fissuras e fraturas). As formações geológicas capazes de fornecer quantidades significativas de água subterrânea chamam-se aquíferos. Elas acontecem da seguinte maneira: ao precipitar-se, uma parte da água da chuva evapora-se antes de chegar ao solo, outra parte escorre até os mananciais superficiais e o restante infiltra-se. A água que se infiltra e que não é absorvida pelas raízes das plantas, nem se evapora diretamente do solo, move-se verticalmente até encontrar uma camada impermeável (**Figura 3**).

Dessa maneira, a água acumula-se sobre aquela camada e preenche progressivamente os espaços vazios das rochas. Formam-se, assim, grandes reservatórios subterrâneos com grande capacidade de armazenamento.

No Brasil, as águas subterrâneas ocupam diferentes tipos de reservatórios, desde as zonas fraturadas do embasamento cristalino até os depósitos sedimentares cenozóicos. Dessa diversificação, resultaram sistemas aquíferos que, pelo seu comportamento, podem ser reunidos em: a) sistemas porosos (rochas sedimentares); b) sistemas fissurados (rochas cristalinas e cristalofílicas); c) sistemas cársticos (rochas carbonáticas com fraturas e outras descontinuidades submetidas a processos de dissolução cárstica).

Segundo Tucci (1992), quanto à distribuição vertical, a umidade pode ser dividida em zonas, de acordo com a proporção relativa do espaço poroso ocupado pela água (**figura 4**). Tem-se:

Zona de saturação: todos os espaços vazios encontram-se completamente ocupados pela água;

Zona de aeração: os poros contêm água e ar (ou vapor de água).

A zona de saturação está limitada, superiormente, pela linha de saturação (superfície piezométrica) e, inferiormente, por uma barreira impermeável. As fontes, os poços e as correntes efluentes têm origem na zona de saturação. Na linha de saturação, a pressão da água é igual à pressão atmosférica. A zona de aeração está limitada pela superfície do terreno e pela linha de saturação. Pode-se diferenciar três zonas: a zona de água do solo (cinturão de umidade onde as plantas se desenvolvem), a zona intermediária (serve como freio das chuvas intensas) e a zona capilar (formada pelo ascenso capilar).

A água subterrânea não permanece imóvel. Ela pode mover-se pelos poros ou vazios originais da rocha (porosidade primária) ou nas fissuras e cavidades de dissolução, desenvolvidas após a sua formação (porosidade secundária).

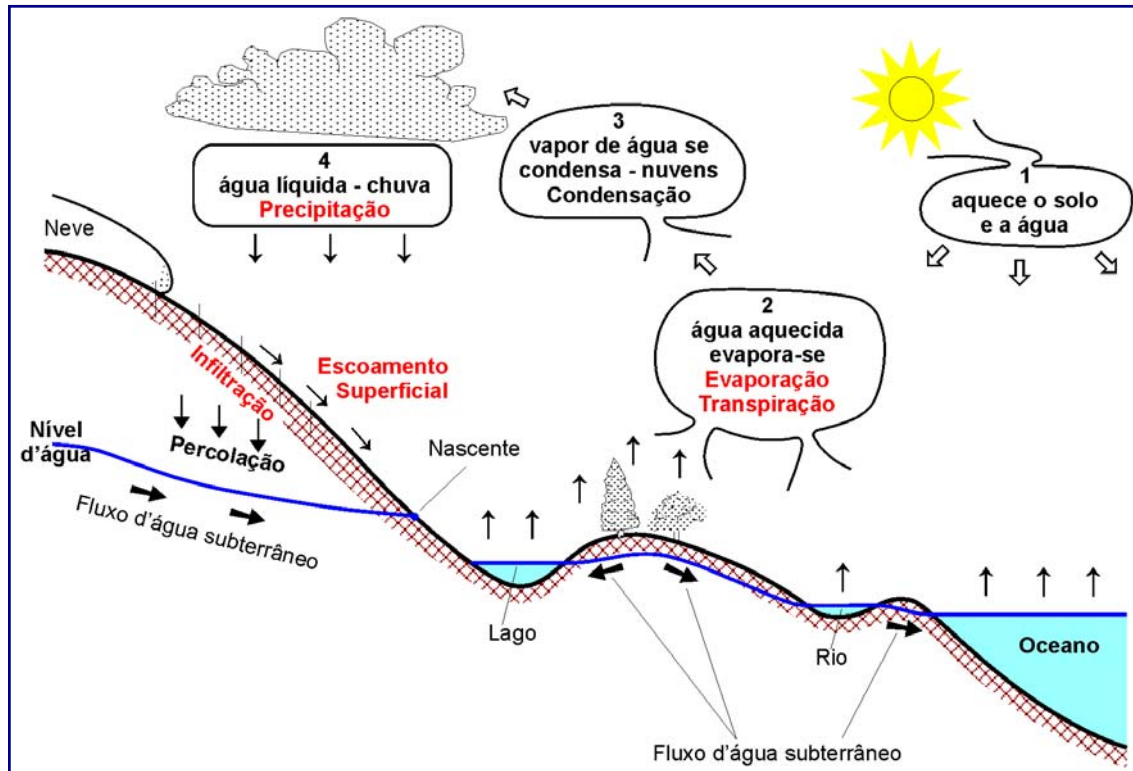


Figura 3– Modelo Esquemático do Ciclo Hidrológico (BRAGA,1999)

A porosidade primária ocorre geralmente (excetuando-se algumas rochas vulcânicas) nas rochas sedimentares, dando origem aos aquíferos porosos. A porosidade secundária está associada aos chamados meios anisotrópicos, originando o aquífero fissural, no caso de fraturas e fissuras em rochas cristalinas, e o aquífero cárstico, no caso da dissolução de rochas carbonáticas (FEITOSA,1997).

As águas subterrâneas podem regressar à superfície do terreno, de forma natural, através por meio de nascentes, ou de forma artificial, por intermédio de captações (poços, furos e galerias de mina).

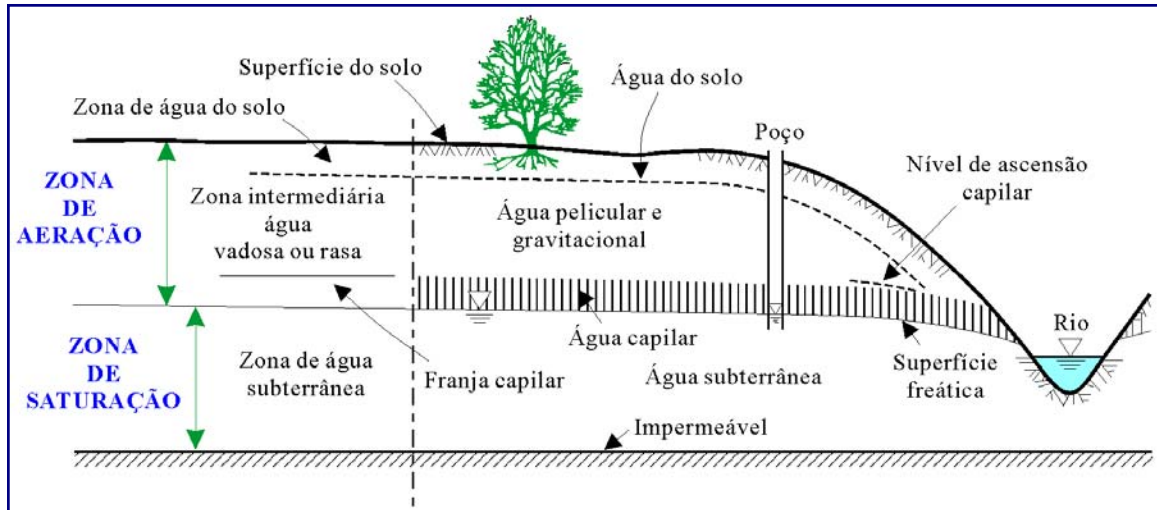


Figura 4 – Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo, mostrando as diversas zonas de umidade (FEITOSA,1997).

3.2 Importância das Águas Subterrâneas

Pelo fato de as águas superficiais serem visíveis, muitas pessoas acham que os rios, barragens e lagos devem ser a maior fonte de atendimento das necessidades do homem. Na verdade, um pouco mais de 97% da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo e, portanto, menos de 3% da água potável disponível no planeta provém das águas de superfície.

Segundo estimativas da Unesco (1992), no período de 1970-1995 foram perfurados no mundo cerca de 300 milhões de poços. Essas obras fornecem água subterrânea para o abastecimento de mais de 50% da população do planeta e para irrigação de aproximadamente 90 milhões de hectares.

Os Estados Unidos perfuram em média 4.000.000 poços por ano, com os quais garantem a irrigação de 13 milhões de hectares e o suprimento hídrico de 39% dos serviços municipais de água e de 75% da população rural. A exploração de água subterrânea, naquele país, em 1990, foi de 300 milhões de m³, dos quais 200 milhões em apenas sete Estados: Califórnia, Texas, Nebraska, Idaho, Kansas, Arizona e Flórida (SOLLEY et al., 1993).

Na Cidade do México, uma população da ordem de 16 milhões de habitantes tem suas necessidades hídricas atendidas por poços, com uma descarga total estimada em 50 m³/s ou cerca de 1,5 bilhões de m³/ano (GARDUÑO & ARREGUIN-CORTES, 1994).

Na Comunidade Econômica Européia, 75% dos sistemas públicos de abastecimento d'água utilizam água subterrânea, sendo que, em alguns países (Dinamarca, Suécia, Bélgica, Alemanha e Áustria), esse percentual chega a superar os 90%.

Na Austrália, estimativas de Habermehl (1985), *apud* Feitosa (1997), indicavam a existência de 400.000 poços produzindo algo como três bilhões de m³/ano de água subterrânea, para o abastecimento público e irrigação, sobretudo nas regiões Sudeste e Sudoeste.

No Brasil, a falta de controle na utilização da água subterrânea provavelmente não permite fazer estimativas sem erros significativos. Mesmo assim, os dados disponíveis (IBGE – 1991) revelam que 61% da população é abastecida com água subterrânea, sendo 43% através de poços tubulares, 12% por fontes ou nascentes e 6% por poços escavados. Nas regiões Sul e Sudeste, 90% das cidades do Paraná e Rio Grande do Sul e 76% das cidades do Estado de São Paulo são abastecidas por poços (REBOUÇAS, 1996). No Nordeste, parcelas significativas do abastecimento público de várias cidades importantes são fornecidas por poços.

As águas subterrâneas encontradas nos sistemas aquíferos regionais são águas armazenadas que se acumularam ao longo de milhares de anos e se encontram, em condições naturais, numa situação de quase equilíbrio, governado por um mecanismo de descarga e recarga. Além dessas águas não se encontrarem diretamente expostas às influências climáticas, o seu movimento é muito lento, implicando tempo de trânsito muito longo (FEITOSA, 1997).

Deve-se lembrar que nem toda água do subsolo pode ser extraída das formações aquíferas em que se encontra. O volume explorável deve ser determinado a partir de um plano de gestão do sistema aquífero.

3.3 Aquíferos Cristalinos

O sistema aquífero fissural ocupa uma área de cerca de 4.600.000km², correspondente a 53,8% do território nacional. Compreende as províncias hidrogeológicas dos escudos Setentrional (região Norte), Central (regiões Norte e Centro-Oeste), Oriental (regiões Nordeste e Sudoeste) e Meridional (região Sul) (**Figura 5**). Esse sistema apresenta reservas de águas subterrâneas da ordem de 10,08 x 10³km³ (REBOUÇAS, 1996), que, devido à

heterogeneidade do meio, encontram-se distribuídas irregularmente por sua área de ocorrência.

Hidrogeologicamente, as melhores possibilidades estão ligadas à presença de juntas e fraturas densas, associadas a coberturas inconsolidadas, mais ou menos expressivas, e clima úmido. Nesses casos, a zona aquífera principal pode, não raro, ser representada pelo sistema superficial. Essa situação é predominante nos terrenos cristalinos das regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, onde as condições hidroclimáticas favoreceram o desenvolvimento de coberturas sedimentares inconsolidadas, às vezes muito espessas. Podem ocorrer vazões de várias dezenas de m³/h, com média em torno de 12m³/h. As águas são de boa qualidade química, podendo ocorrer localmente teores de ferro acima do permitido (BAGGIO, 1997).

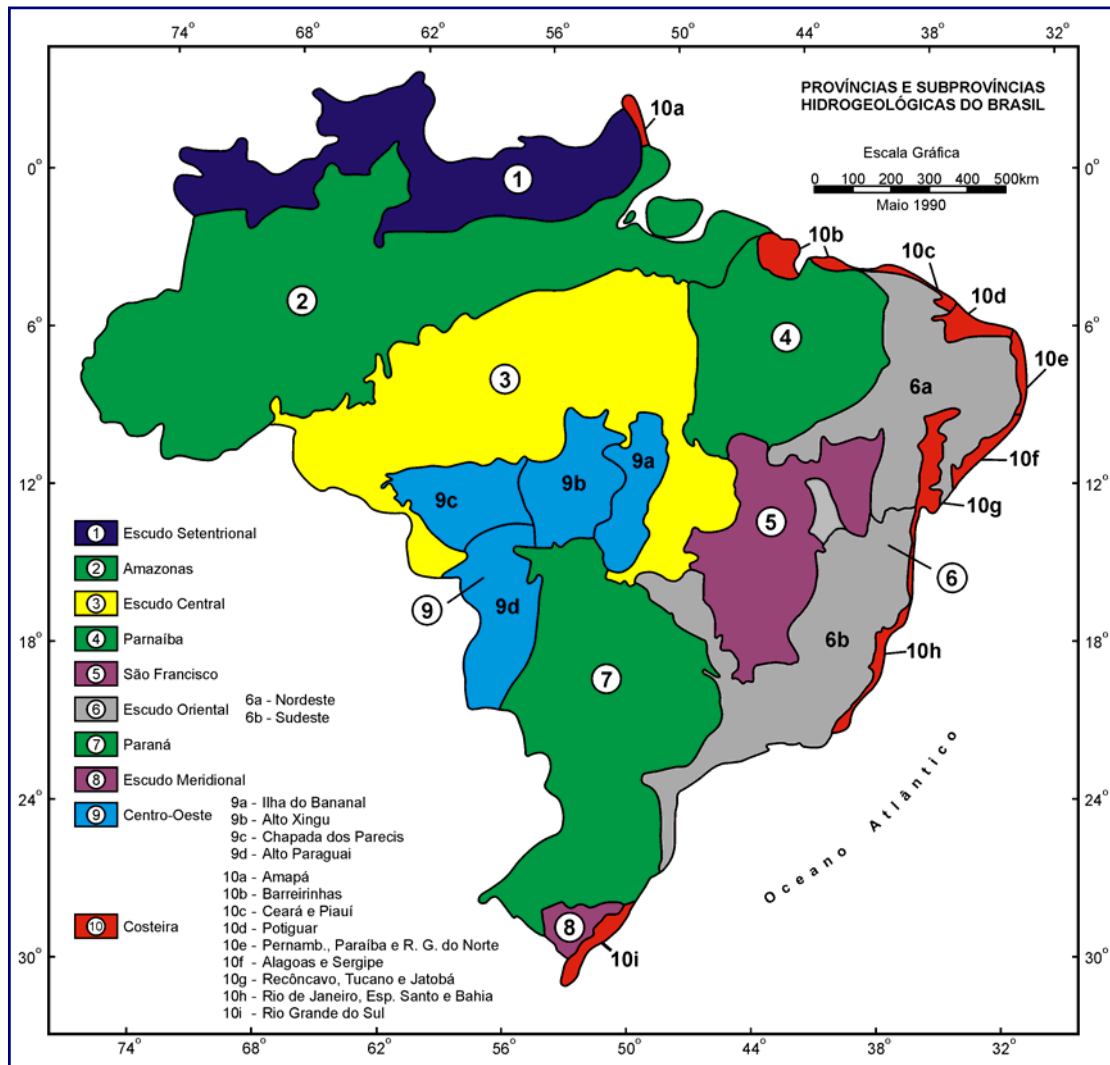


Figura 5 -Províncias Hidrogeológicas do Brasil (modificado de FEITOSA,1997).

Oda (1998), estudando a hidrogeologia da região entre Salto de Pirapora e Itu, analisou os dados de 91 poços e chegou a uma capacidade específica média de $0,44\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, sendo que, no município de Sorocaba, obteve uma média de $0,53\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ e, no município de Araçoiaba da Serra, o valor inexpressivo de $0,07\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$.

3.4 Aquífero Tubarão

O Aquífero Tubarão ocupa uma porção da bacia sedimentar do Paraná, que cobre uma área da ordem de $1.600.000\text{km}^2$, sendo $1.000.000\text{km}^2$ no Brasil, apresentando uma espessura máxima de 7.825m .

O Sistema Aquífero Tubarão compreende arenitos, siltitos, lamitos, ritmitos e diamictitos do Subgrupo Itararé. É de extensão regional, granular, localmente fissurado, livre a semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e anisotrópico ou localmente contínuo e isotrópico (LOPES, 1994).

Devido à grande complexidade litológica do Subgrupo Itararé e o caráter errático de seus corpos arenosos – que condicionam as características do aquífero –, torna-se dificultada a pesquisa e a exploração de águas subterrâneas.

Segundo Stevaux et al. (1987), a pesquisa e a exploração de água subterrânea em aquíferos do Subgrupo Itararé são extremamente difíceis, dado o comportamento errático dos sedimentos arenosos, a distribuição irregular dos poços e o pequeno número de informações em relação à grande heterogeneidade.

Realizando um estudo hidrogeológico na região entre Salto de Pirapora e Itu, Oda (1998) encontrou valores de capacidade específica da ordem de $0,14\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, para o Sistema Aquífero Tubarão, após a análise de dados de 84 poços. Nesse mesmo estudo, o autor encontrou produtividades variando entre $0,08$ e $0,18\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Stevaux et al. (1987) analisaram o Subgrupo Itararé na bacia do Rio Capivari e sugeriram um modelo para prospecção de água subterrânea, determinando três tipos de aquíferos: (1) arenitos conglomeráticos e arenitos grossos de leques aluviais, com vazões entre 1 e $5\text{m}^3/\text{h}$; (2) sedimentos arenosos de frente deltaica, com vazões médias de $35\text{m}^3/\text{h}$; (3) sedimentos arenosos de geometria tabular e de grande extensão, com vazões que chegam até a $100\text{m}^3/\text{h}$.

Examinando a produtividade de poços no município de Campinas, o IG/SMA (1993) conseguiu compartimentar os sistemas aquíferos em nove Zonas de Produtividade

Similar. As quatro zonas estabelecidas no Sistema Aquífero Tubarão apresentam os seguintes valores médios de capacidade específica: 0,09; 0,25; 0,29 e 1,32 m³/h/m.

3.5 Legislação para Recursos Hídricos Subterrâneos

É vasta a legislação de recursos hídricos, no Brasil, envolvendo desde a classificação das águas, política de gestão dos recursos hídricos, saneamento e energia. Alguns aspectos legais de recursos hídricos são bastante discutidos por Granzieira (1993).

A inserção da água subterrânea, que é um recurso invisível por achar-se no subsolo, no sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos é um desafio à sociedade, inclusive sob o ponto de vista técnico.

Na presente pesquisa, discutem-se apenas os instrumentos de gestão de recursos hídricos subterrâneos utilizados pelo DAEE – licença de execução de obras para extração de águas subterrâneas e autorização ou concessão para derivação da água subterrânea (Decreto 41.258, de 31 de outubro de 1996 – Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos).

Estima-se que são perfurados mais de 1.000 poços anualmente, no Estado de São Paulo, totalizando cerca de 35.000 poços (CALDEIRA, 2003). Em algumas áreas, já é prevista a exaustão dos aquíferos e, em outras, o comprometimento da qualidade das águas pelo lançamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, principalmente urbanos e industriais. O Plano Estadual de Recursos Hídricos (Lei n° 9.034, de 27 de dezembro de 1994) prevê a proteção das águas subterrâneas pelo cadastramento de poços tubulares profundos, licenciamento da perfuração de poços e da exploração de águas subterrâneas e da gestão de aquíferos, em áreas críticas de superexploração ou poluição.

3.5.1 Licença de Execução de Obras para Extração de Águas Subterrâneas

No Estado de São Paulo, para se perfurar um poço tubular profundo, faz-se necessário requerer junto ao DAEE a Licença para Execução da Obra (**Anexo I**). Com esse objetivo, apresenta-se um requerimento, acompanhado de uma Avaliação Hidrogeológica Prévia da área onde se pretende instalá-la, que consiste basicamente numa descrição expedita da geologia, da caracterização dos aquíferos e um parecer sobre a possibilidade de captação de suas águas e se a mesma é capaz de suprir a demanda requerida.

Feita a Avaliação Hidrogeológica Prévia, passa-se à apresentação do projeto construtivo da obra. Nessa etapa, caracteriza-se a profundidade do poço, os diâmetros de perfuração, a coluna de revestimento; estima-se as profundidades do nível estático e do nível dinâmico para vazão esperada e loca-se o poço, em folha topográfica.

Tanto a Avaliação Hidrogeológica Prévia quanto o Projeto Construtivo do Poço Tubular Profundo apresentam-se em formulários próprios do DAEE.

A Licença de Execução deve ser acompanhada por ART (Anotação de Responsabilidade Técnica), assinada por um geólogo, responsabilizando-se pelo projeto da obra e, também, deve-se apresentar o comprovante de pagamento de emolumento ao DAEE – o valor da taxa a ser paga condiciona-se de acordo com os usos previstos para a água.

Para obter-se a concessão, autorização ou licença, bem como as respectivas renovações, apresenta-se a documentação citada acima ao protocolo do DAEE, na sede da diretoria correspondente à bacia hidrográfica onde se pretende o uso do recurso e aguarda-se o deferimento ou indeferimento de seu pedido, sendo o mesmo publicado em Diário Oficial.

3.5.2 Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos Subterrâneos

A Lei Estadual 6134, de 02 de junho de 1988, dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, sendo regulamentada pelo Decreto Estadual 32.955, de 07 de fevereiro de 1991.

A Lei Estadual 7663, de 30 de dezembro de 1991, estabeleceu normas para orientar a Política e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, seus objetivos, princípios e instrumentos. Tem por finalidade assegurar que as águas superficiais e subterrâneas, essenciais à sobrevivência humana e ao desenvolvimento sócio-econômico, possam ser controladas e utilizadas de forma racional, e dentro de parâmetros de qualidade desejáveis.

Um dos instrumentos da Política Estadual, definido nos artigos 9º e 10º da Lei 7663, é a Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos, regulamentada pelo Decreto Estadual 41.258, de 01 de novembro de 1996, e normatizada pela portaria DAEE 717, de 12 de dezembro de 1996. Esses regulamentos trazem uma nova visão quanto à Política dos Recursos Hídricos, privilegiando a gestão descentralizada e participativa, em que os aspectos quantitativos e qualitativos das águas superficiais e subterrâneas são objeto de análise integrada, visando ao seu melhor aproveitamento. Antes da Lei 7663, o DAEE concedia Outorga baseado na Lei 6134, regulamentada pelo Decreto Estadual 32.955 de 07 de fevereiro

de 1991, através das normas e procedimentos da Portaria DAEE 12, de 14 de março de 1991, baseando-se em suas atribuições definidas no Decreto Estadual 52.636, de 03 de dezembro de 1972, de fazer cumprir no Estado de São Paulo o previsto pelo Decreto Federal 24.643, de 10 de julho de 1934 – Código de Águas, que era a única referência legal sobre o assunto até então.

3.5.2.1 Procedimentos para Elaboração da Outorga de Uso

A Outorga é o ato pela qual a autoridade competente autoriza, concede ou licencia o Direito de Uso ou Interferência no Recurso Hídrico a determinado usuário.

O ato da Outorga das Águas Subterrâneas deve garantir, ao usuário, o direito de uso de Recurso Hídrico, condicionando-o à disponibilidade hídrica dos aquíferos a serem explorados. Cabe ao DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica –, como poder outorgante do Estado de São Paulo, analisar cada pedido, deferindo-o ou não, após estudo de suas condições, sobre os aspectos da qualidade e da quantidade, este último baseado nas manifestações dos órgãos competentes sobre o assunto – Secretaria do Meio Ambiente, CETESB, DEPRN e Secretaria da Saúde através da Vigilância Sanitária. As Outorgas são concedidas por um prazo fixo, definido em portaria normativa do DAEE, e podem ser revogadas a qualquer tempo, em defesa do bem público, ou quando do descumprimento, pelo usuário, das condições definidas pelo outorgante.

Para o pedido da Outorga de Uso de Recursos Hídricos Subterrâneos, o DAEE exige os seguintes documentos:

- Requerimento;
- SIDAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas);
- RAE (Relatório de Avaliação e Eficiência);
- Análise físico-química e bacteriológica da água do poço;
- Teste de bombeamento;
- Cópia do cartão de CNPJ (pessoa jurídica) ou cópia do CIC e RG (pessoa física);
- Cópia da ART de execução da obra;
- ART de execução do RAE,
- Comprovante de pagamento de emolumento.

No *Requerimento*, basicamente, apresentam-se os dados do requerente, localização geográfica do poço e quantifica-se a vazão de exploração e o regime de bombeamento (**Anexo II**).

No *SIDAS*, mostram-se os dados construtivos do poço, a descrição geológica ao longo da perfuração e informações como: nível estático, nível dinâmico para vazão máxima, vazão máxima e capacidade específica (**Anexo III**).

O *Relatório de Avaliação de Eficiência - RAE* – do uso de recursos hídricos tem por objetivo servir de instrumento complementar, para o DAEE, na análise de solicitações e estabelecimento das condições de outorga de direito de uso de recursos hídricos, por empreendimentos públicos ou privados, e deverá conter todos os elementos necessários para a identificação dos usos que se farão das águas derivadas de suas condições naturais e para a avaliação do grau de eficiência com o qual essas águas serão utilizadas.

Avalia-se o grau de eficiência de uso das águas com base nas perdas e nos desperdícios de uso existentes; no avanço tecnológico, na racionalização e no controle da utilização; nas condições de monitoramento da derivação de recursos hídricos e no grau de alteração das condições naturais do corpo hídrico explorado.

Segundo o DAEE, deverão constar dos *RAEs* informações sobre:

- características típicas do empreendimento usuário da água;
- detalhamento das demandas de água para as situações inicial e futura;
- levantamento de índices indicativos da demanda de água, tais como cotas de consumo de água (por habitante, por funcionário, por tonelada de produto, por hectare plantado etc.);
- descrição dos sistemas de captação, reserva e distribuição de água, para as situações inicial e futura;
- descrição da utilização da água (períodos de utilização, função da água, equipamentos e/ou sistemas de uso da água, destino final da água etc.), nas situações inicial e futura;
- descrição de possíveis prejuízos ao usuário, no caso de falta da água, quando de ocasiões esporádicas e/ou emergenciais;
- explicitação das perdas de água e as propostas de seu equacionamento;
- descrição e/ou proposição de sistemas de controle e monitoramento da captação e do uso das águas;
- fluxograma de uso da água para as situações inicial e futura;
- explicitação de desperdícios de água e propostas de redução de consumo;
- caracterização de sistemas alternativos de utilização da água, com seus reflexos na captação, para situações de emergência, ou para períodos de estiagem;

- demonstrativos de evolução da demanda de água, e dos demais índices indicativos dessa demanda, principalmente durante o período de validade da outorga;
- descrição de sistemas de recirculação e/ou reuso de água;
- sistemas de tratamento da água, afluyente e efluente do empreendimento, bem como da qualidade dessas águas, nas situações inicial e futura;
- cronogramas físicos e financeiros de implantação das ações referentes às propostas, para períodos futuros dentro do prazo de validade da outorga, de racionalização de uso das águas, feitas no *RAE*;
- descrição de programas visando à conscientização e o treinamento da população ou de funcionários, quanto à racionalização do uso da água.

Instituíram-se os *RAEs* para permitir ao *DAEE* o conhecimento e a avaliação do grau de eficiência com que se dará a utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo, sendo, portanto, parte integrante, e de fundamental importância, na análise das solicitações de outorga de direito de uso de recursos hídricos, ou para a atuação do *DAEE*, em casos de necessidade de racionamento ou de restrição ao uso de recursos hídricos.

Desse modo, torna-se de fundamental importância que as informações nele contidas sejam sucintas e bastante claras quanto à sua compreensão, permitindo sua análise de modo rápido e preciso.

As *análises físico-químicas e bacteriológicas* são exigidas para constatar a qualidade da água. Do ponto de vista hidrogeológico, a qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo. A disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos, para determinados tipos de uso, depende fundamentalmente da qualidade físico-química e bacteriológica.

A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento do efeito que pode causar aos seus constituintes. O conjunto de todos os elementos que a compõem possibilita estabelecer padrões de qualidade da água, classificando-a, assim, de acordo com os seus limites e seus usos para o consumo humano, agrícola, industrial etc.

O *teste de bombeamento (anexo IV)* é fator determinante para a análise dos pedidos de Outorga de Direito de Uso das águas subterrâneas; afinal, a partir dele torna-se possível determinar a vazão máxima de exploração do poço.

3.6 Poços Tubulares Profundos

O poço tubular profundo resulta de uma obra de engenharia projetada e construída, visando objetivando a exploração de água subterrânea.

Na prática, são três os principais métodos para perfuração de poços tubulares: rotativo, rotopneumático e percussivo. A escolha de um dos métodos será condicionada, principalmente, pela geologia do terreno.

Salienta-se que o método percussivo vem perdendo espaço, tornando-se pouco praticado, em virtude da lentidão no avanço da perfuração, em comparação ao método rotopneumático.

De maneira simplista, pode-se dizer que o método rotativo destina-se a poços onde o aquífero a ser captado é granular, ou seja, um aquífero sedimentar. Por outro lado, utilizam-se os métodos percussivo e rotopneumático, para a construção de poços que visam a captar água do aquífero fissural, ou seja, um aquífero cristalino.

Em alguns casos, como visto no município de Sorocaba, é possível a captação de água de um aquífero sedimentar empregando-se o método rotopneumático. Explica-se pelo fato de o Aquífero Tubarão apresentar um comportamento mecânico próximo ao de um aquífero fissural, em virtude da estabilidade que apresenta, durante e após a perfuração.

Com relação aos tipos de poços tubulares, podem-se subdividi-los em três principais: poços para captação em aquífero sedimentar (granular), poços para captação em aquífero cristalino (fissural) e poços mistos – captação de água nos dois tipos de aquíferos.

A captação de água nos aquíferos sedimentares dá-se, principalmente, de seções filtrantes, que são posicionadas em intervalos litológicos, em que se tem maior possibilidade de armazenamento e transmissão de água, tornando-se possível que ela penetre para dentro do poço. Nesse caso, o poço tubular é totalmente revestido por uma coluna composta por tubos lisos (sem ranhuras) e por seções filtrantes, deixando-se um espaço anular entre a parede externa da coluna de revestimento e a parede decorrente da perfuração do poço, preenchido por pré-filtro (**Figura 6**).

Esse revestimento torna-se imprescindível, em virtude da instabilidade mecânica da maioria das formações sedimentares. A sua ausência poderia implicar o fechamento do poço; o carreamento e, conseqüentemente, a produção de grãos juntamente com a água; o aprisionamento e/ou danos ao equipamento de bombeamento etc.

A captação de água nos aquíferos fissurais fica condicionada à interceptação de descontinuidades suturadas ao longo da perfuração, uma vez que a porosidade primária das

rochas cristalinas é praticamente nula. Em virtude da estabilidade mecânica dessas rochas, reveste-se o poço até a profundidade, onde se encontra a rocha sã, daí por diante não se necessita da inclusão da coluna de revestimento (**Figura 7**).

Os poços mistos caracterizam-se pela captação de água tanto do aquífero granular quanto do fissural. Conforme descrito acima, reveste-se com a coluna de tubos lisos e seções filtrantes até se atingir a rocha cristalina sã, ponto a partir do qual se instala sem revestimento (**Figura 8**).

O Projeto de Construção de Poços Tubulares Profundos é regido pelas seguintes Normas da ABNT:

NB – 588 - Projeto de poço para captação de água subterrânea

NB – 1290 - Construção de poço para captação de água subterrânea.

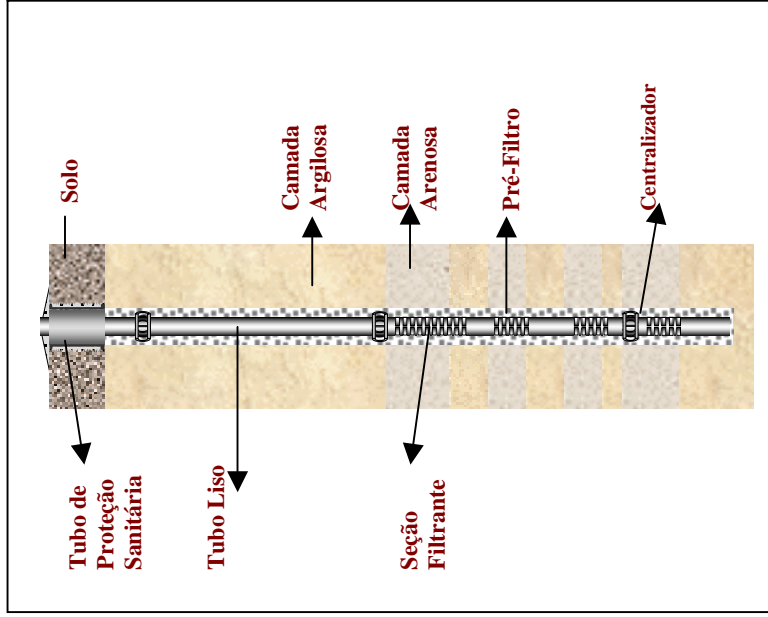


Figura 6 – Perfil Esquemático de um Poço que Capta Água de Aquífero Sedimentar

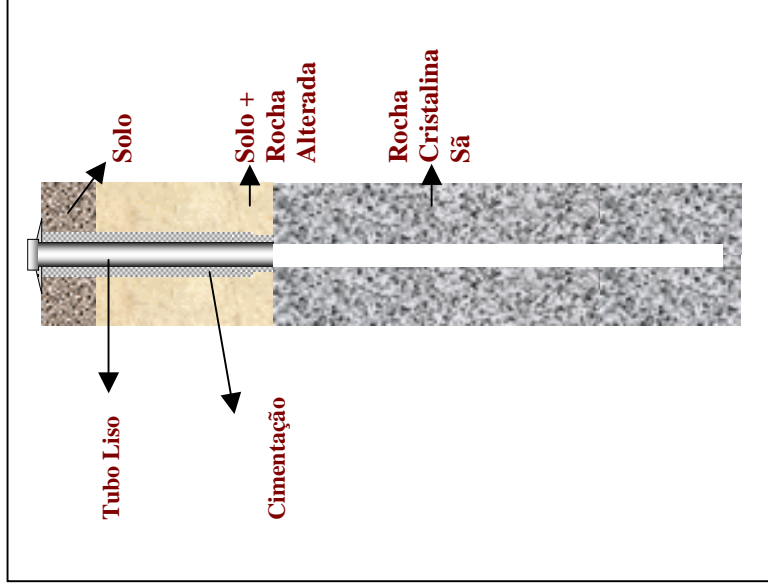


Figura 7 – Perfil Esquemático de um Poço que Capta Água de um Aquífero Cristalino

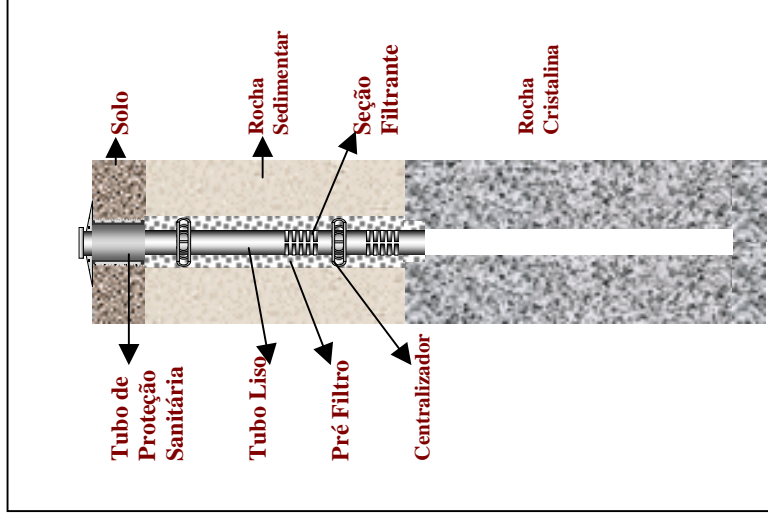


Figura 8 – Perfil Esquemático de um Poço Misto

3.6.1 Elementos do Poço Tubular Profundo

Existem diferentes sistemas de perfuração que são utilizados de acordo com o contexto geológico local. A situação geológica do município de Sorocaba permite a perfuração de poços tubulares, por meio dos sistemas mais importantes de perfuração: rotativo e rotopercussivo (rotopneumático).

A maioria dos poços, na área de estudo, perfura-se no sistema rotopercussivo, inclusive a grande maioria dos que visam à captação do aquífero Tubarão, uma vez que o Subgrupo Itararé apresenta, em suas diferentes fácies, uma estabilidade mecânica que permite a perfuração por esse sistema – salvo algumas exceções, onde o sistema utilizado é o rotativo.

Independentemente do sistema de perfuração a ser utilizado, o procedimento inicial é a montagem do canteiro de obras. Essa etapa inclui desde a preparação dos acessos da sonda até o seu nivelamento e a disposição das ferramentas.

Caso o poço seja perfurado no sistema rotativo, monta-se o circuito para circulação do fluido de perfuração (**Foto 1**), com dimensão e declividade compatíveis com o terreno, profundidade e diâmetro final do furo. Prepara-se o fluido de perfuração à base de bentonita, polímeros naturais, sintéticos ou pela mistura desses produtos. A viscosidade é medida no campo por meio do funil de Marsh. O ensaio é feito enchendo-se o funil até o nível indicado (volume de 1.500 cm³) e medindo-se o tempo, em segundos, gasto para que um quarto do fluido se escoe do funil, por gravidade.

A água apresenta uma viscosidade, medida no funil de Marsh, de 27 segundos. Uma boa lama utilizada em perfuração, com cerca de 1,08 kg/litro de peso específico, tem viscosidade compreendida entre 35 e 45 segundos. Se a lama reter areia e seu peso específico passar de 1,20 kg/litro, a viscosidade poderá cair a 35 segundos, ou a menos, mesmo que a viscosidade, quando isenta de areia, possa ser de 43 segundos. A densidade maior da lama, quando carregada de areia, provoca o aceleração do escoamento. Ao contrário, quando o volume de densidade resulta de uma retirada de argila das formações, a viscosidade no funil de Marsh provavelmente será muito maior que 43 segundos (JOHNSON, 1978).

Injeta-se o fluido e permite-se a sua circulação através de uma “bomba de lama”. As principais funções do fluido de perfuração dizem respeito à manutenção de uma pressão capaz de impedir o desmoronamento do poço, a manutenção de fragmentos

em suspensão, a lubrificação e resfriamento da broca e a capacidade de levar amostras de calha, provenientes da perfuração, para a superfície do poço.

Conforme se perfura o poço, coletam-se essas amostras a cada dois metros, em seguida retira-se, com água, o fluido aderido às amostras. Depois de limpas, acomoda-se o material num recipiente amostrador, para posterior descrição e montagem do perfil litológico.

A companhia perfuradora deve manter laboratório para aferir características físico-químicas do fluido de perfuração, viscosidade, densidade, pH, teor de areia e filtrado. A verificação desses parâmetros deve ser rotineira, a fim de evitar danos à formação aquífera.

Durante a perfuração, no sistema rotativo, torna-se importante o controle do seu avanço, em especial, num aquífero com as características do Subgrupo Itararé. Nesse tipo de aquífero, comumente existe a presença de camadas arenosas pouco espessas que, muitas vezes, não são identificadas na coleta das amostras de calha. Controlando-se o avanço de perfuração - a cada metro - é possível sugerir camadas mais friáveis e com maior potencial para armazenar e transmitir a água nela contida. Espera-se que, em condições ideais de perfuração, o seu avanço seja mais rápido num material friável, comparando-se com uma camada mais argilosa e menos transmissiva.

Dessa forma, entende-se que a utilização do avanço da perfuração, juntamente com a descrição das amostras de calha e um conhecimento prévio da geologia local, é de extrema importância para a definição da coluna de revestimento do poço, principalmente quando não se efetuar a perfilagem geofísica.

A coluna de perfuração empregada no sistema rotativo é composta pela broca tricônica (**Foto 2**), que tem a função de desagregar e/ou triturar os materiais rochosos e pedológicos.

Acoplada à broca, com a função de uni-la aos comandos, que são hastes especiais com a finalidade de dar peso à coluna de perfuração e evitar a ruptura da mesma, posiciona-se o sub-de-broca.

Na outra extremidade do comando, acopla-se a haste, que são os elementos que transmitem o movimento giratório da mesa da sonda à broca, em profundidade. São responsáveis, também, pela condução do fluido de perfuração dos tanques de lama até o fundo do poço ou, em sentido contrário, de modo que, para isso, elas são ocas. As hastes e os comandos normalmente são de três comprimentos,

dependendo do porte da perfuratriz: 2, 6 e 9 metros, com diâmetros variando de 2 a 4 polegadas.

Outro elemento importante é o *Kelly*. Trata-se de uma haste de secção quadrada ou sextavada, cuja finalidade é encaixar-se perfeitamente à mesa giratória da sonda, para receber e transmitir os movimentos de torção à coluna. O *Kelly* sempre será a última haste de uma coluna de perfuração, no método rotativo.

No topo do *Kelly*, rosqueia-se o *Swivel*, com a finalidade de permitir o engate da mangueira da bomba de lama à coluna de perfuração. Como a coluna de perfuração tem movimento giratório e a mangueira da bomba de lama é fixa, faz-se necessário uma peça especial que permita a união desses dois elementos.

A parte da sonda responsável pelos movimentos giratórios da coluna de perfuração chama-se mesa giratória.

A perfuração deve se iniciar com o furo-piloto, que, em seguida, deve ser alargado para os diâmetros finais previstos em planilhas e croquis construtivos do poço.

Executa-se o furo-piloto ou furo-guia, normalmente, com diâmetro de 8 ½ " a 12 ½". Aconselha-se que a profundidade do furo-piloto seja de 10-20% a mais da profundidade do poço prevista em planilha. Faz-se a perfuração do furo-piloto após a colocação e cimentação do tubo de boca ou de proteção sanitária, quando o projeto especificar tubo de boca. O diâmetro de perfuração do tubo de boca deverá ser tal que garanta um espaço anular mínimo de 2" entre a parede do tubo e o furo.

Com relação ao sistema rotopercussivo, pode-se entender como sendo um sistema rotativo que, ao invés de lama, utiliza-se do ar comprimido proveniente de compressores de alta potência, como fluido de perfuração. Esse método consiste na fragmentação da rocha, por meio da combinação de uma percussão de alta frequência com pequeno curso e rotação. Em geral, é utilizado para a perfuração de rochas cristalinas com excelente rendimento.

A coluna de perfuração consiste de uma broca (Bit) (**Fotos 3a e 3b**) e uma peça denominada “martelo pneumático” ou “martelo de fundo” (**Foto 4**), que conecta o Bit ao hasteamento e proporciona, em função da passagem do ar, a frequência de percussão.

A vantagem prática do método rotopercussivo baseia-se no fato de o sondador poder observar quanta água é expelida junto com os fragmentos, à medida que se aprofunda o poço (**Fotos 5a e 5b**).

Após a perfuração do poço, parte-se para o estágio de *Complementação*. Nesse estágio, define-se a colocação dos tipos e intervalos de revestimento, pré-filtro e cimentação.

Faz-se a colocação da coluna de revestimento liso e filtro, de modo a evitar rupturas ou deformações nos materiais, que venham a comprometer a finalidade do projeto e instalação do equipamento de bombeamento.

Nos poços totalmente revestidos, a coluna de revestimento, composta por tubos lisos e filtros, não deverá tocar no fundo da perfuração, ficando suspensa e tracionada, com o objetivo de garantir a verticalidade do furo.

Aplicando-se tubos de aço com união de luva e roscas, estas devem ser rosqueadas até o último fio, para garantir a estanqueidade da coluna; caso haja dúvida, as luvas devem receber reforço de solda.

Quando se usar tubos de PVC aditivado, utiliza-se pasta de silicone nas roscas, a fim de garantir a estanqueidade da coluna, devendo as luvas ser enroscadas até o último fio. Nesse tipo de revestimento, emprega-se guia centralizadora espaçada de 20 em 20m, para garantir a equidistância entre o revestimento e as paredes do furo.

Os filtros deverão ter ranhura compatível com a granulometria da formação aquífera. Para poços de aquíferos freáticos, a quantidade de filtros deve cobrir acima de 30% a espessura saturada posicionada da base para o topo da camada aquífera, em toda a camada aquífera confinada. Para poços em aquífero confinado, a quantidade de filtro deve cobrir toda a camada aquífera.



Foto 1: Circuito para circulação do fluido de perfuração



Foto 2: Broca Tricônica



Foto 3a: Vista lateral do Bit de Perfuração

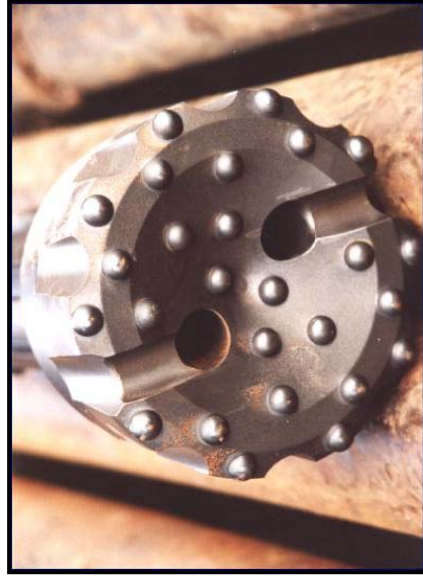


Foto 3b: Detalhe da Face do Bit de Perfuração



Foto 4 – Martelo Pneumático



Foto 5a - Água indo à superfície juntamente com os fragmentos de rocha.

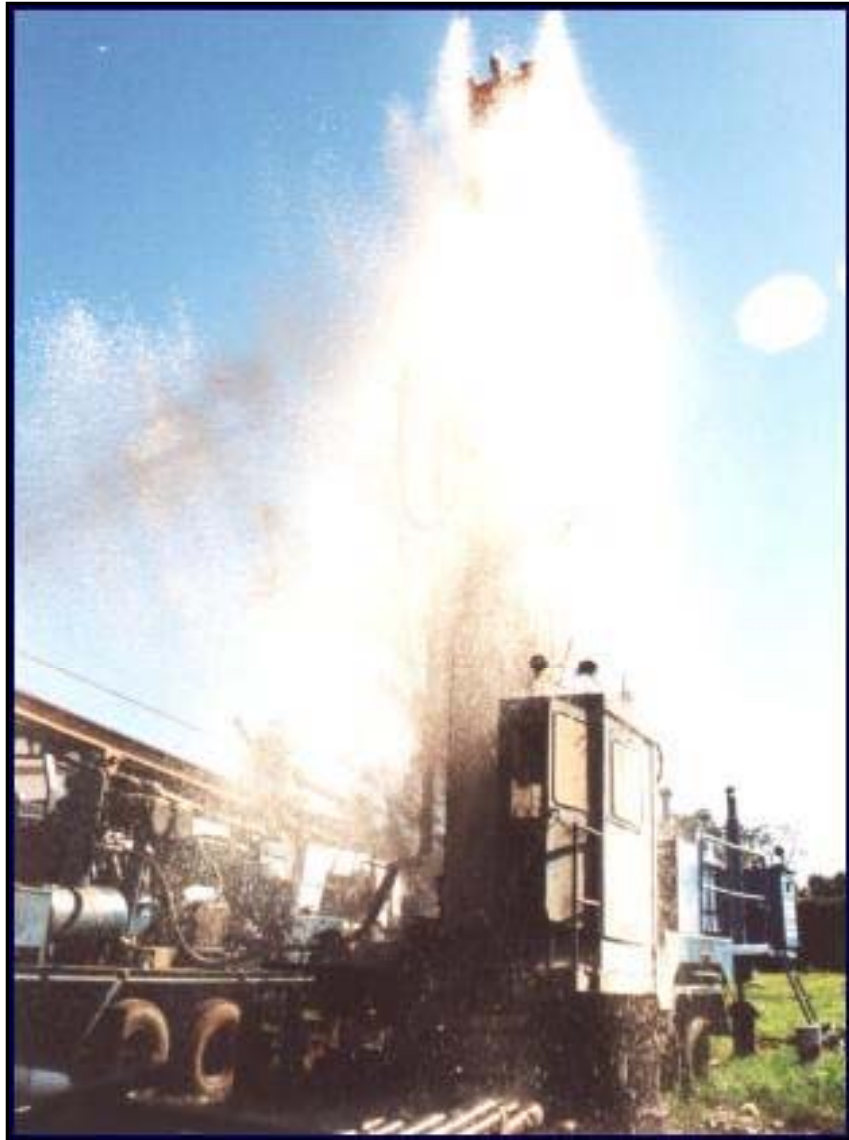


Foto 5b – Momento em que se atinge descontinuidade saturada.

De acordo com www.perfuradores.com.br, as seguintes condições devem ser observadas, para a colocação do pré-filtro:

- O estoque de pré-filtro no canteiro da obra deve ser 20% a mais da quantidade calculada;
- Antes da colocação do pré-filtro, a viscosidade da lama deverá ser reduzida por introdução de água limpa no fundo do poço e no tanque de lama;

- Para evitar a formação de ponte e segregação do cascalho, a colocação do pré-filtro deverá ser por gravidade, em poços até a profundidade de 100m, e por contra-fluxo (pré-filtro injetado), para poços de profundidades superiores.

Antes de se iniciar o processo de descida do material, faz-se a circulação com o fluido de perfuração de baixa viscosidade, para condicionamento do poço e retirada dos materiais precipitados e em suspensão.

O pré-filtro deverá ficar posicionado a pelo menos 10m acima da seção mais superior de filtro ou filtro-aviso e 10m abaixo da boca do poço. A colocação do pré-filtro deve ser realizada em etapa única (CETESB, 1978).

Com relação à cimentação feita nos poços parcialmente revestidos (poços perfurados no sistema rotopercussivo), faz-se no encaixe do tubo de revestimento com a rocha sã até a superfície ou nos 10m iniciais, a partir da superfície do solo. Caso o poço possua tubo de proteção sanitária ou tubo de boca, cimenta-se toda a extensão do tubo de proteção sanitária, tanto por fora, como entre o espaço do tubo de revestimento e o tubo de proteção sanitária.

A cimentação a partir do encaixe dá-se por bombeamento, utilizando-se tubulação-guia, para descida da calda ou pasta de cimento e areia. A cimentação superior pode ser lançada a partir da superfície. Esses cuidados são necessários para garantir a uniformidade da cimentação.

Realiza-se a cimentação em etapas de 30m, aguardando-se o “tempo de pega” entre um intervalo e outro. O “tempo de pega” é de 24 horas ou de 12 horas com utilização de aditivos aceleradores. Deve-se usar calda de cimento com traço 1:1, na base de revestimento (encaixe), e pasta de cimento e areia 3:1, no restante.

Concluídos os trabalhos de perfuração e complementação, segue-se a operação de *desenvolvimento* do poço. Essa fase objetiva a remoção do material mais fino do aquífero, esvaziando, desobstruindo ou alargando as passagens nas formações de maneira que a água possa penetrar mais livremente no poço.

A finalidade principal do desenvolvimento é aumentar a condutividade hidráulica natural, nas proximidades do poço, e corrigir danos causados à formação pela perfuração (compactação, colmatagem etc). O processo facilita principalmente a retirada das lamas à base de bentonita.

O aumento da condutividade hidráulica nas proximidades do poço é conseguido através da retirada da fração de granulometria mais fina da formação

aquífera para dentro do poço, e deste para superfície. Sendo assim, o desenvolvimento de um poço deve prolongar-se até cessar a produção de areia, não havendo, portanto, um tempo limite para sua conclusão (FEITOSA, 1997). Terminado o estágio de desenvolvimento do poço, faz-se o *teste de bombeamento*, utilizando-se de compressor ou bomba submersa. Pode-se citar como de grande importância os testes de vazão contínua, escalonado e de recuperação.

O teste de vazão contínua é indicado quando o bombeamento realizado por ocasião do desenvolvimento indicar vazão máxima de exploração inferior a 20.000 l/h. Normalmente faz-se esse teste durante um período de 24 horas; se, nesse período, o nível dinâmico não se estabilizar, segue-se o teste até que ele se estabilize, durante as últimas 6 horas.

Para poços com vazões superiores a 20.000 l/h, recomenda-se o teste de produção em três etapas de bombeamento (teste escalonado), 30%, 60% e 100% da vazão de exploração esperada para o poço, obtida no bombeamento realizado durante o desenvolvimento do poço. Faz-se cada etapa com duração tal que permita a estabilização do Nível Dinâmico (ND), durante as últimas 6 horas. Executa-se a passagem de uma etapa para outra automaticamente, por estrangulamento do registro, sem que o bombeamento seja interrompido.

Concluído o teste de vazão contínua ou o teste escalonado, parte-se imediatamente para o teste de recuperação do poço. O procedimento do teste consiste na medida da velocidade de recuperação do nível estático original do poço. O teste de recuperação dá-se por concluído quando o nível da água retornar à posição original ou próxima do Nível Estático (NE) inicial.

Terminado o teste de produção, executa-se a *limpeza e desinfecção do poço*. Procede-se limpando, restaurando e retirando-se todos os materiais estranhos, tais como: ferramentas, madeiras, cordas, fragmentos de qualquer natureza, tinta de vedação e espuma, antes de ser desinfectado. A desinfecção deve ser feita com solução de cloro que permita se ter um teor residual de 5 ppm de cloro livre, com repouso mínimo de 2 horas.

Passadas 24 horas da desinfecção do poço, faz-se a *coleta de amostra de água para análise bacteriológica e físico-química*.

A coleta de amostras de água é uma etapa de pesquisa das mais importantes para a correta interpretação hidroquímica, pois ela representa a síntese do

universo estudado e dela dependem todas as demais etapas subsequentes. Portanto, é essencial que a amostragem seja feita com técnicas e equipamentos adequados, a fim de evitar todas as fontes possíveis de contaminação e perdas, devendo ser orientada, preferencialmente, pelo químico responsável pela obtenção dos resultados analíticos ou pelo biólogo responsável pelas determinações e/ou análises (MATHESS, 1973, *apud* FEITOSA, 1997).

As amostragens para análises bacteriológicas devem ser feitas antes da coleta para outro tipo de análise. A amostragem deve ser feita utilizando-se de frascos de vidro neutro ou plástico autoclavável, não tóxico, boca larga e tampa à prova de vazamento. O período entre a coleta e o início das análises bacteriológicas não deve ultrapassar 24 horas, e a sua conservação é feita em refrigeração, à temperatura de 4° a 10° C.

A coleta de amostra para análise físico-química deve ser feita em frascos de polietileno, limpos e secos, com capacidade mínima de um litro, devidamente vedados e identificados, devendo-se enxaguá-los duas a três vezes com a água a ser coletada e completar o volume da amostra (FENZL, 1988).

As amostras devem ser registradas em fichas próprias, com as seguintes informações: local, poço, ocorrência de fenômenos que possam interferir na qualidade da água, data, horário da coleta, volume coletado, determinações efetuadas no momento da coleta – temperaturas, condutividades, pH e cloro residual; nome do responsável pela coleta (CETESB, 1988).

O resultado das análises deve ser apresentado obedecendo ao que determina a Portaria 36 MS.

3.6.2 A Perfuração e os Condicionantes Geológicos

Ouve-se, normalmente, que o conhecimento geológico é dispensável na elaboração de projetos e na construção de poços tubulares. Trata-se de um mero engano, quando se procura a construção de forma criteriosa, visando à otimização do custo/benefício e o respeito ao aquífero.

Primeiramente, a avaliação geológica/hidrogeológica prévia torna-se indispensável na escolha do equipamento de perfuração; não fosse isso, de que

adiantaria levar um equipamento para perfurar rocha cristalina, se a área se localiza numa bacia sedimentar ou vice-versa?

Nos aquíferos sedimentares, a estimativa do nível da água, na etapa de projeto, torna-se muito importante. Comumente, vêm-se perfuratrizes com capacidade de atingir uma profundidade inferior ao nível da água, numa determinada área, tendo-se como resultado um gasto financeiro considerável e um poço improdutivo (**Figura 9**).

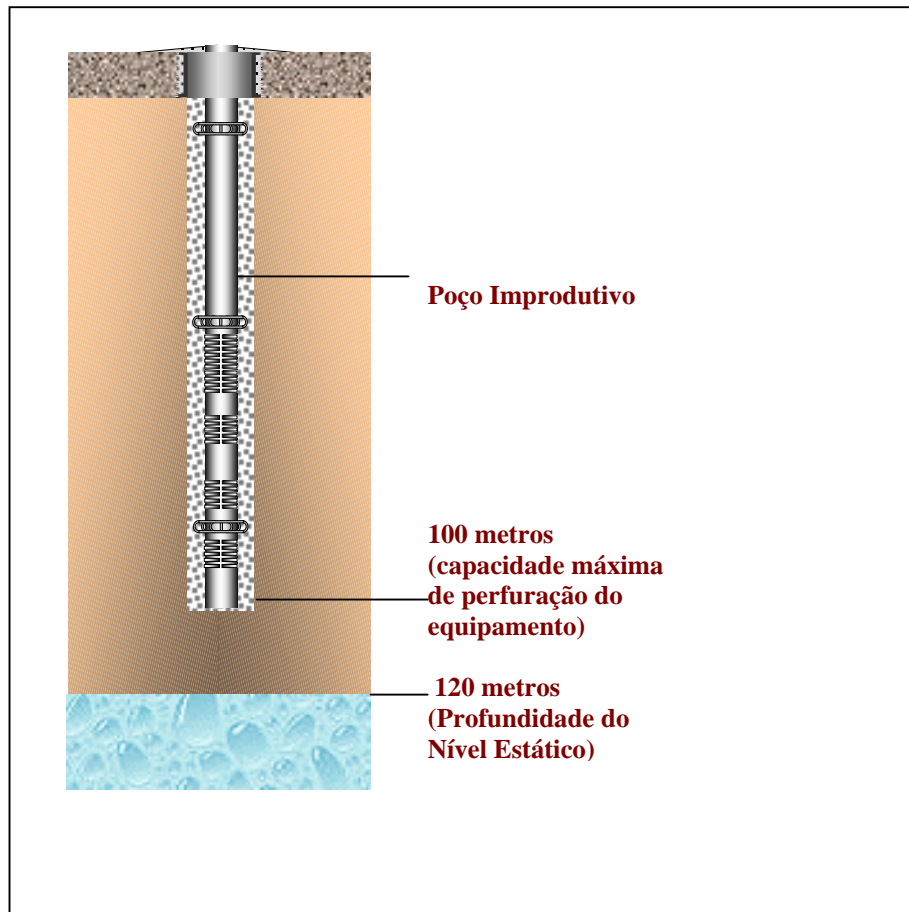


Figura 9 – Perfuração não atinge o NE, resultando num poço improdutivo.

Outra situação, em que a falta do conhecimento geológico implica transtornos, é na escolha do pré-filtro a ser utilizado no estágio de complementação do poço. A principal função do pré-filtro é impedir o carreamento de partículas da formação geológica para dentro do poço, de forma que a granulometria da rocha armazenadora irá condicionar as características do pré-filtro a ser empregado.

Durante a construção de um poço tubular, nota-se extrema variação no avanço da perfuração, existindo picos em que o avanço se torna muito lento. Primeiramente, pensa-se que o retardamento no avanço decorre da existência de um nível litológico mais resistente à penetração. Por outro lado, pode decorrer de uma escolha equivocada da broca de perfuração.

Desse modo, deve-se entender que a geologia local determina as características da broca de perfuração e, também, a velocidade de rotação das hastes. A escolha inoportuna do equipamento acarretará uma maior dificuldade de penetração e, conseqüentemente, um desgaste mecânico excessivo da sonda perfuratriz.

Ainda nos aquíferos granulares, a montagem da coluna de revestimento requer um conhecimento significativo do perfil litológico; afinal, o posicionamento dos filtros será determinante na produção do poço. Filtros mal posicionados implicarão o não aproveitamento otimizado do poço, podendo até torná-lo improdutivo (**Figura 10**).

Com relação à preservação da qualidade dos mananciais subterrâneos, é que o conhecimento geológico se torna mais importante. Poços projetados de maneira irresponsável podem comprometer qualitativamente os aquíferos, até então, portadores de água potável. Dessa maneira, o poço pode funcionar como um condutor hidráulico, facilitando a mobilidade do poluente.

Nesse sentido, pode-se citar como exemplo um modelo comumente visto na região de Bauru-SP. Em virtude de uma situação geológica distinta, ocorrem áreas onde o aquífero Bauru se encontra diretamente acima do Aquífero Guarani. Sabe-se que as Formações Marília e Adamantina (Grupo Bauru) mostram-se extremamente arenosas, com potencial transmissivo bastante elevado, configurando uma situação de vulnerabilidade média a elevada de contaminação do aquífero.

Espera-se, dessa forma, que, na execução de um poço tubular profundo na área citada, onde se objetivar a captação de água do aquífero Guarani, seja feito o isolamento do Grupo Bauru, não propiciando a formação de um conduto hidráulico que pudesse estar facilitando a chegada de poluentes, mas isso não é sempre que acontece (**Figura 11**).

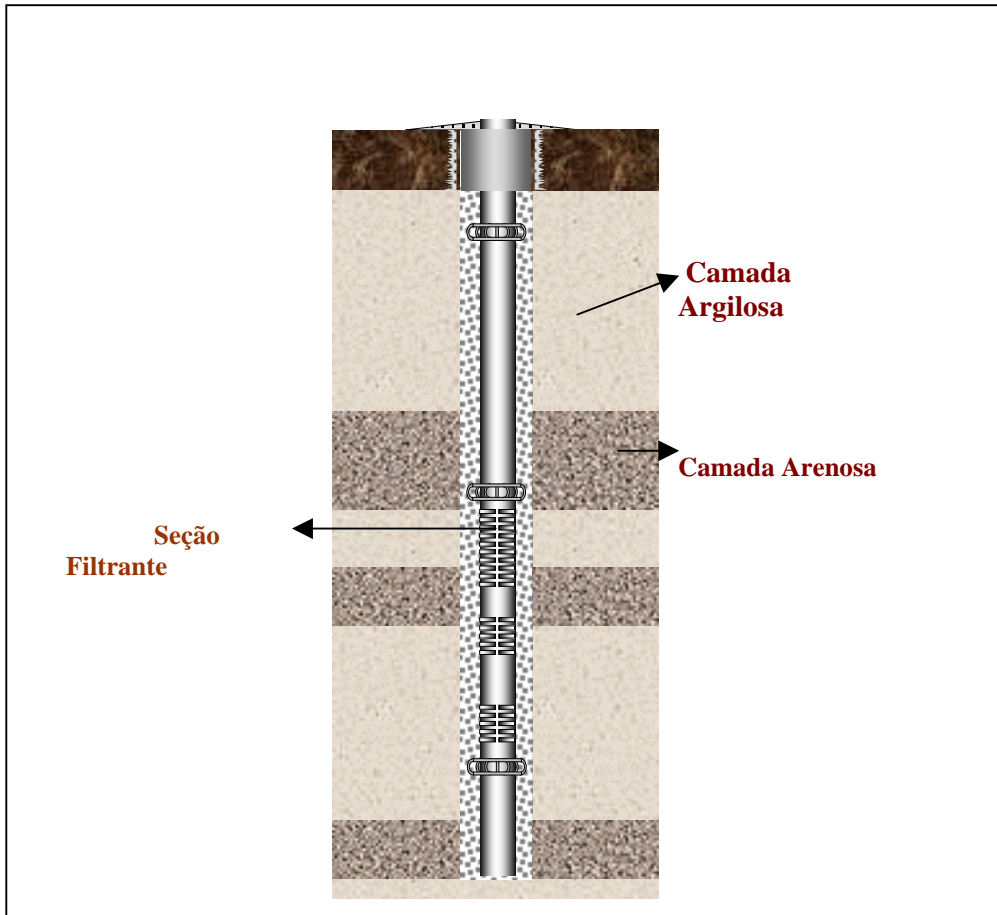


Figura 10 – Localização equivocada dos filtros, comprometendo a produção do poço.

Outro aspecto importante é a instalação do “tubo de proteção sanitária”. Em áreas vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas, ou áreas onde se tem um aporte significativo de carga poluidora, o poço tubular deve estar protegido contra percolação de substância poluente para o seu interior. Assim, deve-se isolar as camadas de solo e a água do lençol freático, com a finalidade de impedir a contaminação bacteriológica e/ou química do manancial subterrâneo.

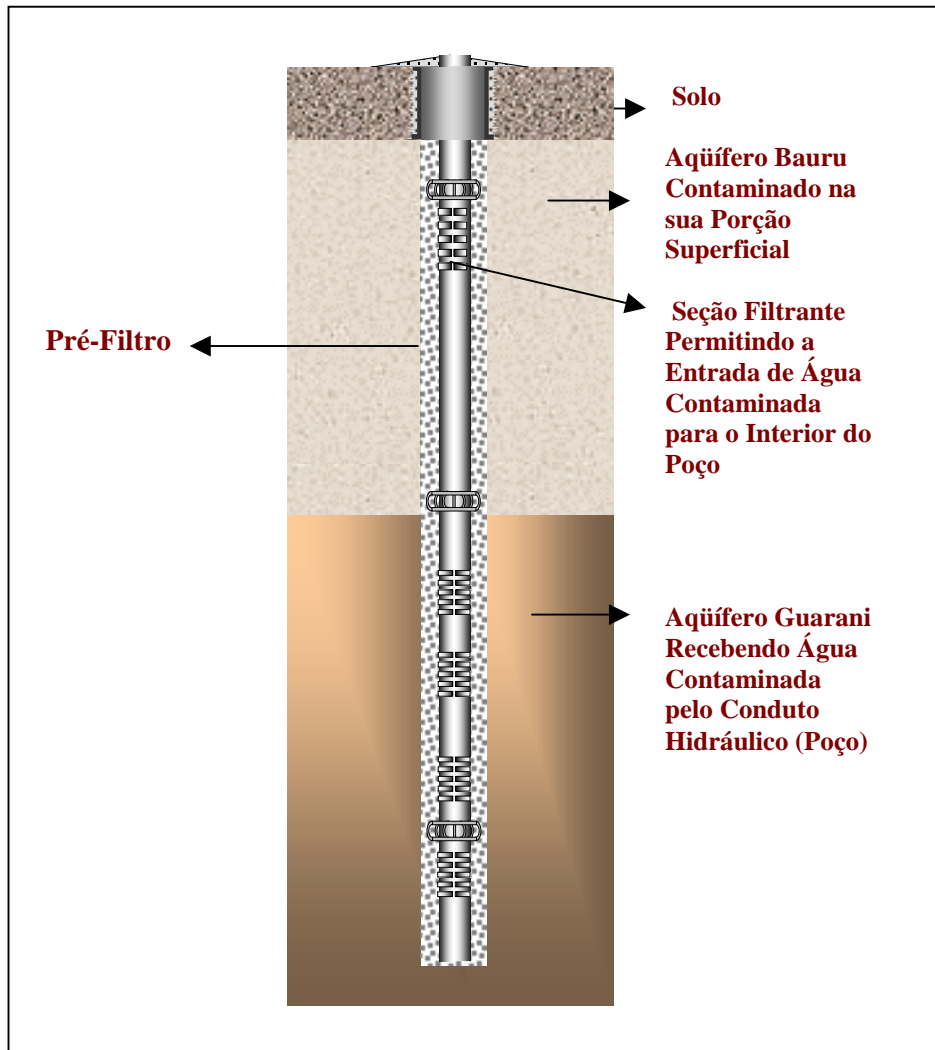


Figura 11 – Poço mal projetado conduzindo contaminação para aquífero subjacente.

Com relação aos aquíferos cristalinos, o conhecimento da geologia estrutural será imprescindível para se obter um bom resultado, em termos de produção. Sabe-se que, nesses aquíferos, a ocorrência da água subterrânea estará condicionada à interceptação de descontinuidades saturadas. Para esse tipo de estudo, uma ferramenta importante é a geofísica, que, através do método do caminhamento elétrico, consegue identificar anomalias que podem vir a ser descontinuidades, na rocha, e potenciais produtores de água.

4. DISCUSSÃO DOS DADOS

Neste capítulo, discutem-se os dados obtidos, dando-se ênfase à produção e ao comportamento do nível estático, nos diferentes poços tubulares profundos cadastrados. Discutem-se, também, as características técnico-construtivas dos poços cadastrados e, de forma crítica, faz-se uma reflexão sobre a eficácia de dois importantes instrumentos de gestão – a “Licença para Perfuração de Poços Tubulares” e a “Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos”.

4.1 Contexto Hidrogeológico de Sorocaba

Na área estudada, as águas subterrâneas circulam essencialmente através dos sistemas aquíferos Cristalino e Tubarão, com porosidade dos tipos fissural e granular, respectivamente. Os corpos de diabásio são raros na área e foram atravessados, em subsuperfície, por apenas 2 poços.

4.1.2 A Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba/Médio Tietê

A Lei n° 7.663/91 estabeleceu 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), no Estado, com base nas bacias hidrográficas. Os municípios situados nessas unidades foram agrupados segundo seus interesses comuns, dando origem a onze grupos. Na UGRHI 10 (Sorocaba/Médio Tietê), insere-se o município de Sorocaba e outros trinta e três municípios, dos quais dezesseis estão situados na Bacia do Médio Tietê Superior e dezoito, entre eles Sorocaba, na Bacia do Rio Sorocaba.

A Bacia do Médio Tietê compreende o trecho do Rio Tietê desde a saída do Reservatório de Pirapora até a Barragem de Barra Bonita, com extensão de 367 km, correspondendo a uma área de drenagem de, aproximadamente, 6.830 Km². Seus principais afluentes são os rios Jundiáí, Capivari e Piracicaba (UGRHI 05), na margem direita, e o rio Sorocaba, na margem esquerda .

4.1.2 Aquífero Cristalino

O Aquífero Cristalino é constituído por metassedimentos, granitos, gnaisses e quartzitos do Embasamento Cristalino. É de extensão regional, fissurado, livre a semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e anisotrópico.

O meio Aquífero Cristalino desenvolve-se nas descontinuidades provocadas pelo fraturamento de suas rochas, caracterizando zonas aquíferas localizadas, com extensão e profundidades condicionadas pela intensidade dos esforços pré-existentes.

Observa-se que o comportamento hidráulico de rochas cristalinas está associado às condições de ocorrência de zonas aquíferas associadas ao fraturamento na rocha sã e ao manto de intemperismo, não dispondo de um aquífero contínuo e homogêneo. A heterogeneidade e anisotropia ocorrem, também, devido ao contraste litológico entre a camada de alteração e a rocha sã.

A **Figura 12** representa o mapa de contorno da cota topográfica do topo do Embasamento Cristalino, no Município de Sorocaba. Conforme a legenda, têm-se cotas mais elevadas, gradando da coloração esverdeada ao amarelo, de forma que se percebe o mergulho do Embasamento Cristalino de SE para NW, com diferença de nível de aproximadamente 300 metros, sendo a cota mais alta de 700 metros e a mais baixa de 400 metros. Observam-se cotas mais baixas ao Norte e Centro Oeste da área.

4.1.3 Aquífero Tubarão

O Aquífero Tubarão é de extensão regional, granular, localmente fissurado, livre a semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e anisotrópico, localmente contínuo e isotrópico.

Os sedimentos do Subgrupo Itararé assentam-se, na área de estudo, diretamente sobre o Embasamento Cristalino. Constitui-se predominantemente de arenitos finos a grosseiros, lamitos e diamictitos, nas partes superior e inferior, enquanto a parte média constitui-se por arenitos finos, siltitos e lamitos. Os arenitos são, em geral, feldspáticos ou arcosianos, formando corpos psamíticos com estruturas sedimentares singenéticas como marcas onduladas, marcas de sola e estratificação cruzada.

O armazenamento e circulação de água, no Aquífero Tubarão, ocorrem através de interstícios dos sedimentos clásticos grosseiros (arenitos, conglomerados e diamictitos), que se apresentam intercalados com camadas de sedimentos finos (lamitos, siltitos e folhelhos), dificultando o escoamento da água subterrânea, no sentido vertical, caracterizando-se uma

situação de anisotropia com permeabilidade vertical inferior à horizontal. Há alternância em superfície de sedimentos grosseiros e finos com espessuras variadas, acentuando a heterogeneidade das propriedades desse sistema aquífero.

Em Sorocaba, o aquífero é livre e o seu substrato é constituído pelas rochas Pré-Cambrianas do Embasamento Cristalino. Em âmbito regional, esse aquífero comporta-se como um reservatório subterrâneo de produtividade bastante limitada, contendo áreas localizadas com potenciais mais elevados.

Analisando-se a espessura do Aquífero Tubarão, na área estudada, observou-se que, ao Norte e Centro Oeste da área, têm-se as maiores espessuras, chegando a 160 metros (**Figura 13**), exatamente onde estão as cotas mais baixas do Embasamento Cristalino, conforme observado na **Figura 14**.

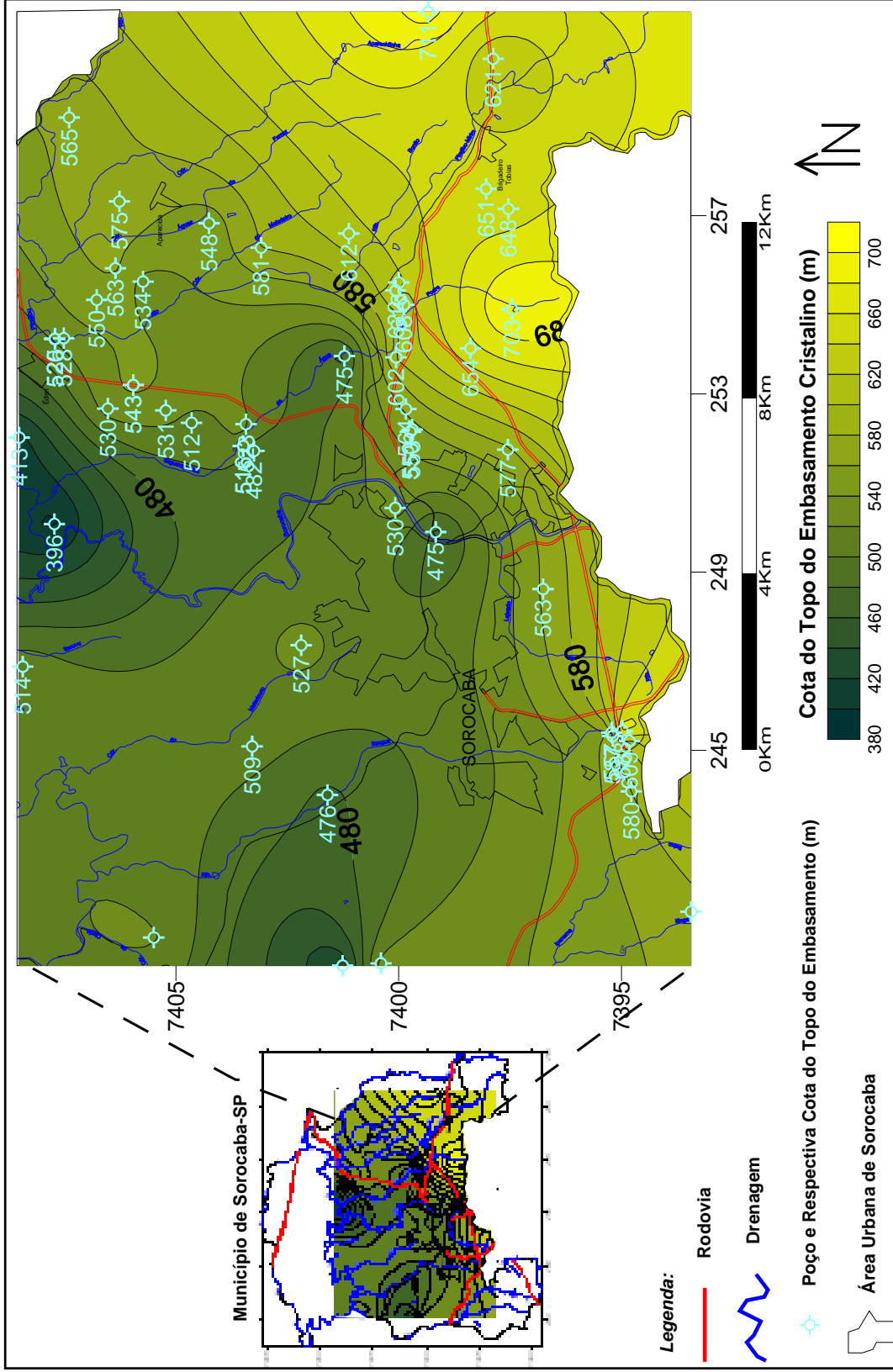


Figura 12 – Mapa de Contorno da Cota Topográfica do Embasamento Cristalino

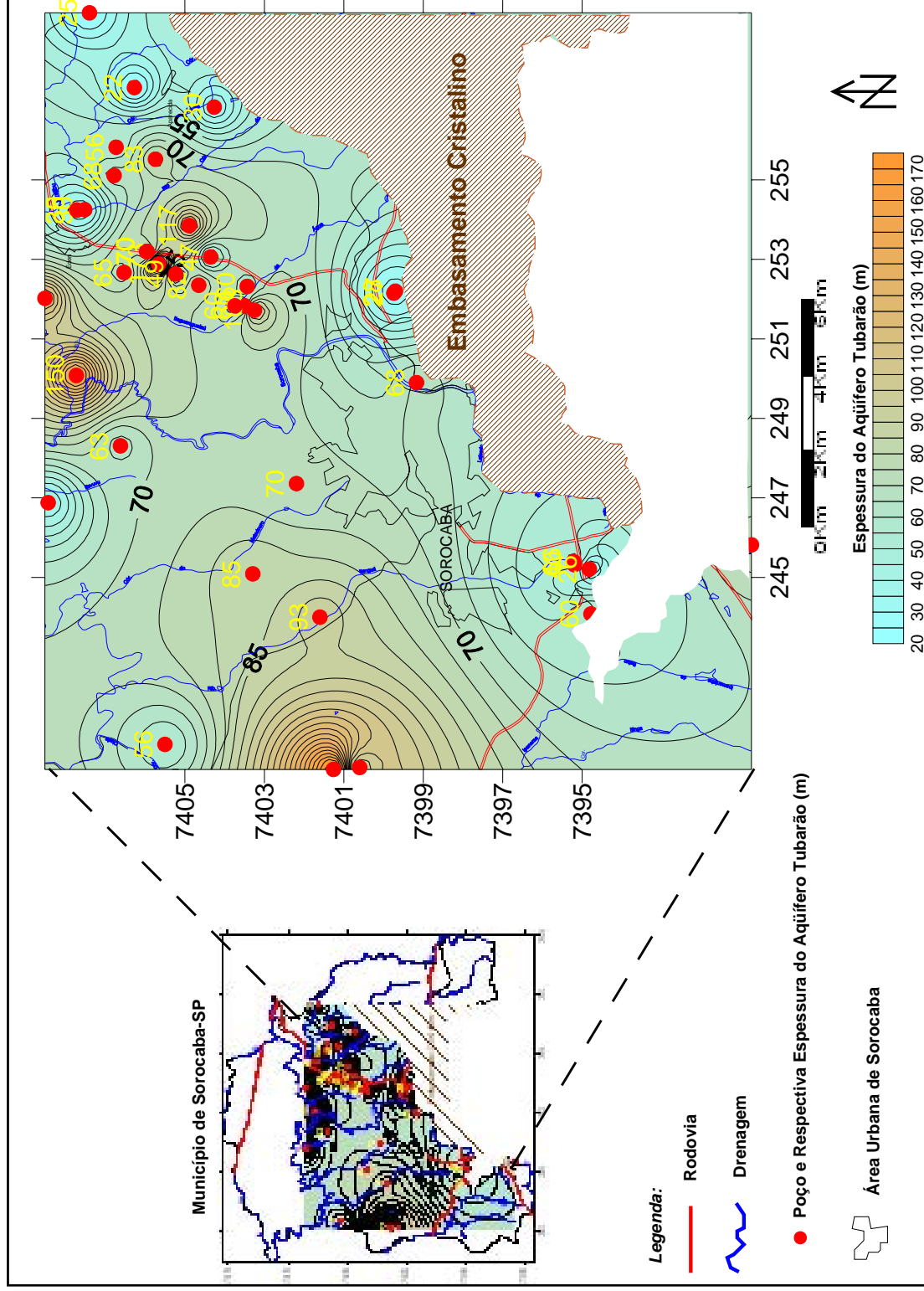


Figura 13: Mapa da Espessura do Aquífero Tubarão na Área de Estudo

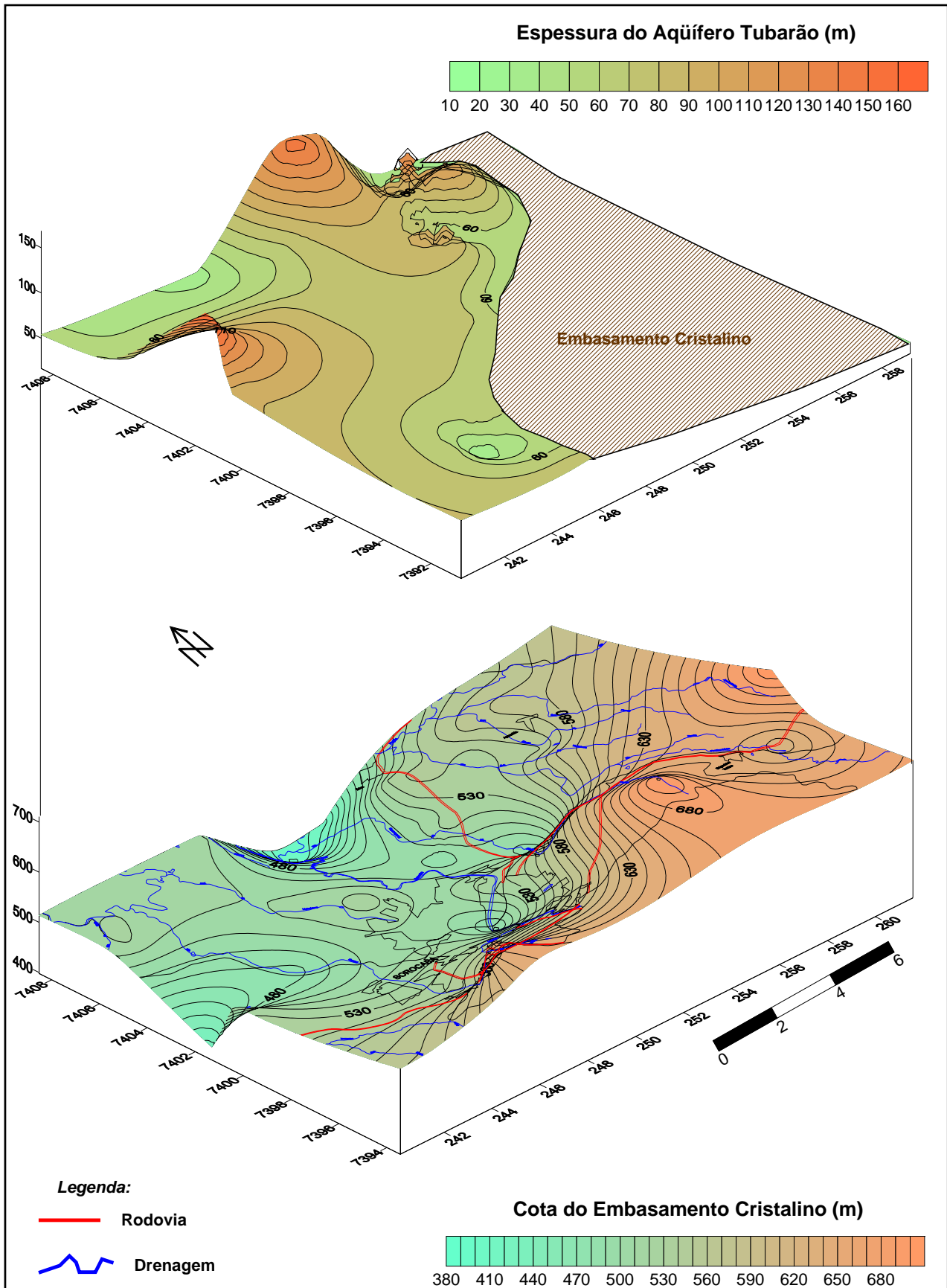


Figura 14: Comparação entre a Morfologia da Superfície da Cota do Embasamento e a Espessura do Aquífero Tubarão em Sorocaba

4.2 Classificação e Profundidade dos Poços Tubulares Profundos

Classificaram-se os poços tubulares profundos em: poços que captam água do Aquífero Cristalino, poços que captam água do Aquífero Tubarão e poços que captam água de ambos os aquíferos (poços mistos).

Nesse sentido, cadastraram-se 25 poços (19,23%) que captam água exclusivamente do aquífero Tubarão; 61 poços que captam água apenas do aquífero Cristalino (46,93%) e 44 poços (33,84%) que captam água dos dois aquíferos, conforme o **Gráfico 1**.

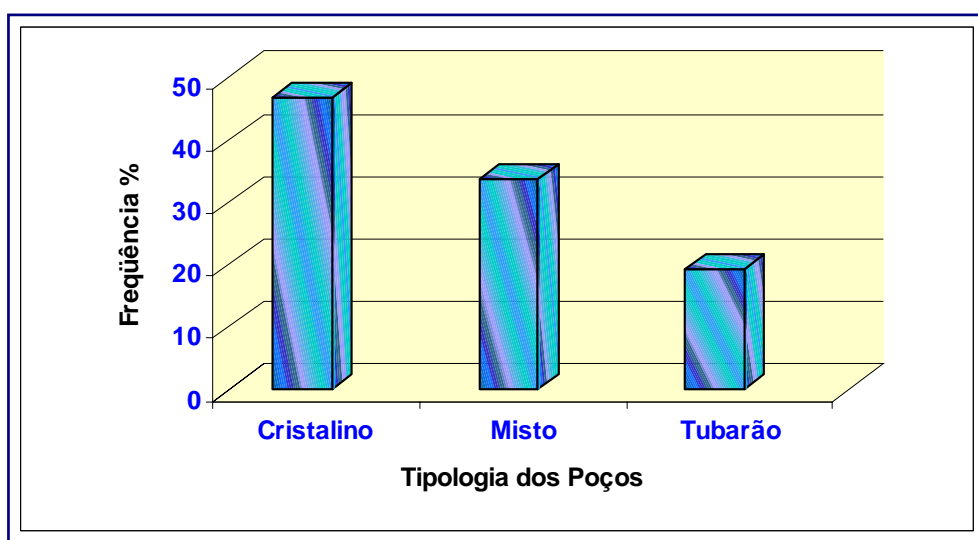


Gráfico 1: *Frequência dos diferentes tipos de poços tubulares*

Com relação à profundidade dos diferentes tipos de poços, tem-se o seguinte: a média de profundidade dos poços que captam água do *Aquífero Cristalino* é de 154,2 metros, tendo-se um desvio-padrão de 62,9 metros ; o **Gráfico 2** mostra a frequência da profundidade nesse tipo de poço.

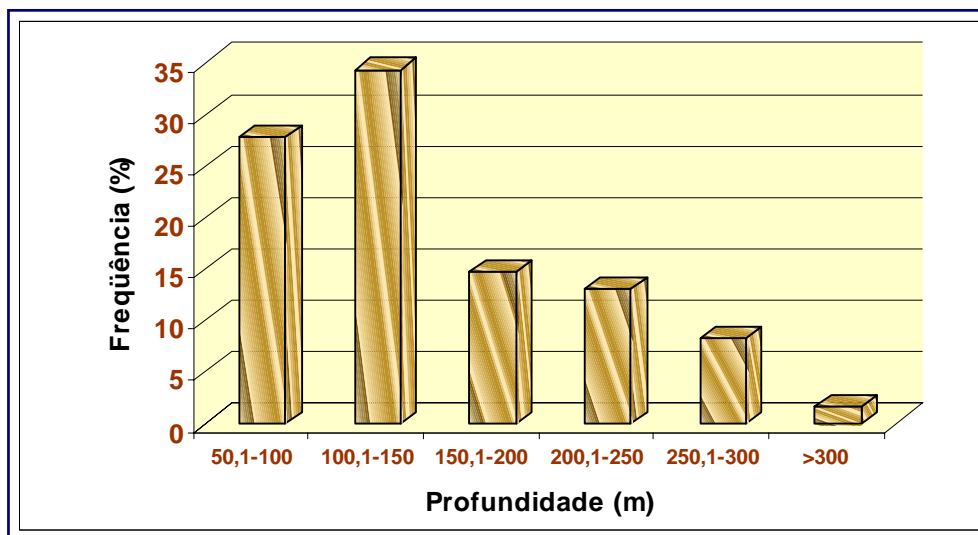


Gráfico 2 – Frequência das profundidades dos poços que captam água do aquífero Cristalino.

Observa-se que a maioria dos poços possui profundidade variando entre 100,1 metros e 150,0 metros (34,42%); na seqüência, tem-se: 27,86% de poços com profundidade entre 50,1 e 100,0 metros; 14,75% com profundidade entre 150,1 e 250,0 metros; 13,11% com profundidade entre 200,1 e 250,0 metros; 8,19% para as profundidades entre 250,1 e 300,0 metros e apenas 1,63% dos poços com profundidade superior a 300,0 metros.

Entende-se que a maior parte dos poços apresenta profundidades entre 50,0 e 150,00 metros, justamente porque, nesse intervalo, é onde se encontra a maioria das fraturas produtoras. Dessa forma, como, no sistema rotopneumático, nota-se instantaneamente a interceptação de fraturas produtoras, quando isso ocorre, cessa-se a perfuração.

Para os poços que captam água exclusivamente do *Aquífero Tubarão*, a profundidade média é de 147,7 metros, com desvio-padrão de 49,0 metros. O **Gráfico 3** mostra a frequência da profundidade nesse tipo de poço. Observa-se que a maioria dos poços (36%) apresenta profundidade variando entre 80,1 e 110,0 metros, seguindo-se poços com profundidade entre 170,1 e 200,0 metros - que representam 28% dos poços cadastrados. Na seqüência, tem-se o seguinte: 20% dos poços possuem profundidade entre 140,1 e 170,0 metros; 8% variando entre 110,1 e 140,0 metros de profundidade e apenas 4% com profundidade até 50,0 metros.

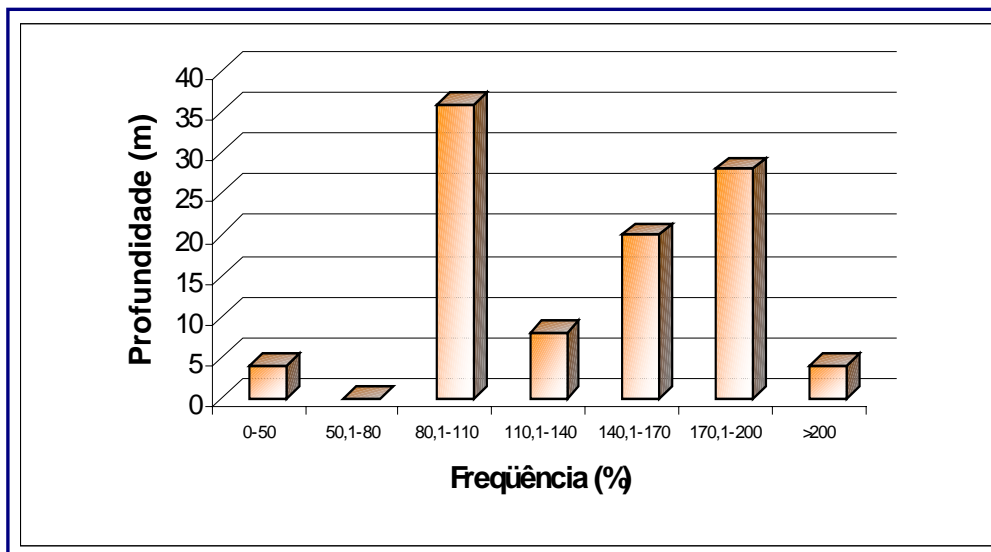


Gráfico 3: Frequência das profundidades dos poços que captam água do Aquífero Tubarão.

Com relação à frequência das profundidades, nos poços que captam água do Aquífero Tubarão, entende-se que elas variam de acordo com a espessura do aquífero, uma vez que o principal condicionante para o término do avanço na perfuração é atingir-se o Embasamento Cristalino.

Nos *poços mistos*, a profundidade média é de 163,6 metros, com desvio-padrão de 57,0 metros. O **Gráfico 4** mostra a frequência da profundidade dos poços mistos.

A maioria dos poços (29,54%) mostrou-se com profundidades variando entre 150,1 e 200,0 metros; 27,27% variam entre 101,1 e 150,0 metros; as profundidades até 100,0 metros e entre 200,1 e 250,0 metros são igualmente representadas por 18,18% dos poços, enquanto 6,81% têm profundidade superior a 250,0 metros.

Nos poços mistos, entende-se que o principal condicionante da profundidade é, também, a espessura do Aquífero Tubarão. Percebe-se que a maioria dos poços está em área próxima à borda da bacia sedimentar, encontrando-se o Aquífero Tubarão pouco espesso e, dessa forma, segue-se a perfuração na rocha cristalina.

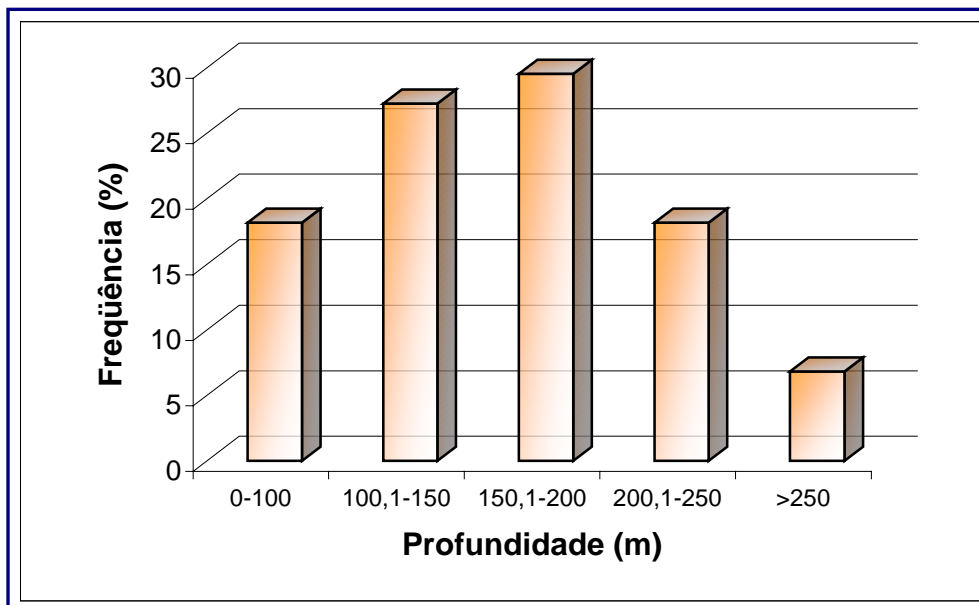


Gráfico 4: Frequência das profundidades nos poços mistos

4.3 Produtividade dos Poços Tubulares

4.3.1 Produtividade dos Poços no Aquífero Cristalino

A produtividade de água nos aquíferos fissurais fica condicionada à interceptação de discontinuidades fraturadas, ao longo da perfuração. Na área estudada, a vazão média dos poços que captam água do Aquífero Cristalino foi de 12,63 m³/h, tendo-se um desvio-padrão de 9,9m³/h. O Gráfico 5 mostra a frequência das vazões nos poços.

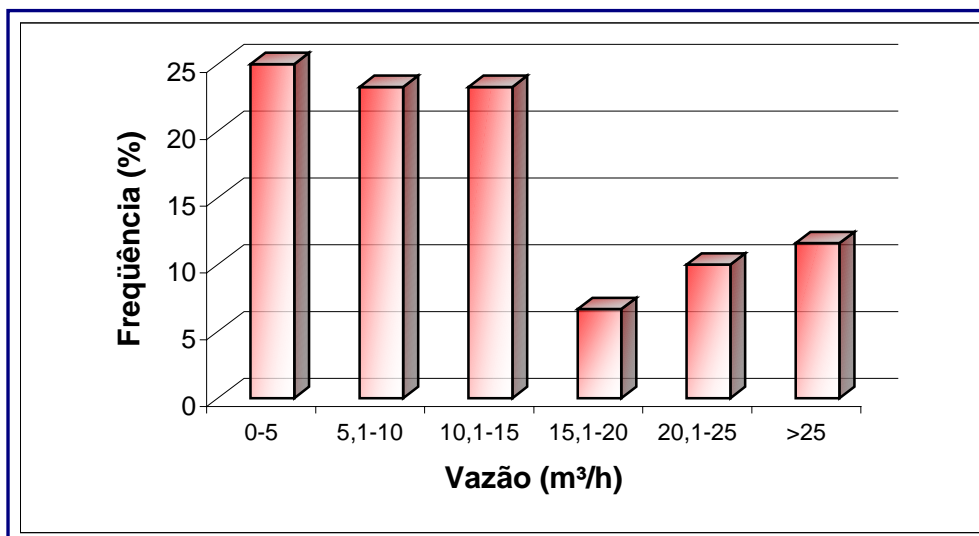


Gráfico 5 – Frequência das vazões nos poços que captam água do Aquífero Cristalino

Observa-se uma pequena predominância (25%) de poços com vazões até $5,0\text{m}^3/\text{h}$; em seguida aparecem os poços com vazões entre $5,1$ e $10,0\text{m}^3/\text{h}$ e os poços com vazões entre $10,1$ e $15,0\text{m}^3/\text{h}$ com 23,3%; com 11,6% aparecem as vazões superiores a $25,0\text{m}^3/\text{h}$; os poços com vazões entre $20,1$ e $25,0\text{m}^3/\text{h}$ representam 10% do total, enquanto, com representatividade de 6,6%, encontram-se os poços com vazões entre $15,1$ e $20,0\text{m}^3/\text{h}$.

Com relação à vazão específica ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$), obteve-se uma média de $0,99\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, com desvio padrão de $2,3\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. O **Gráfico 6** mostra a frequência da vazão específica, nos poços que captam água do Aquífero Cristalino.

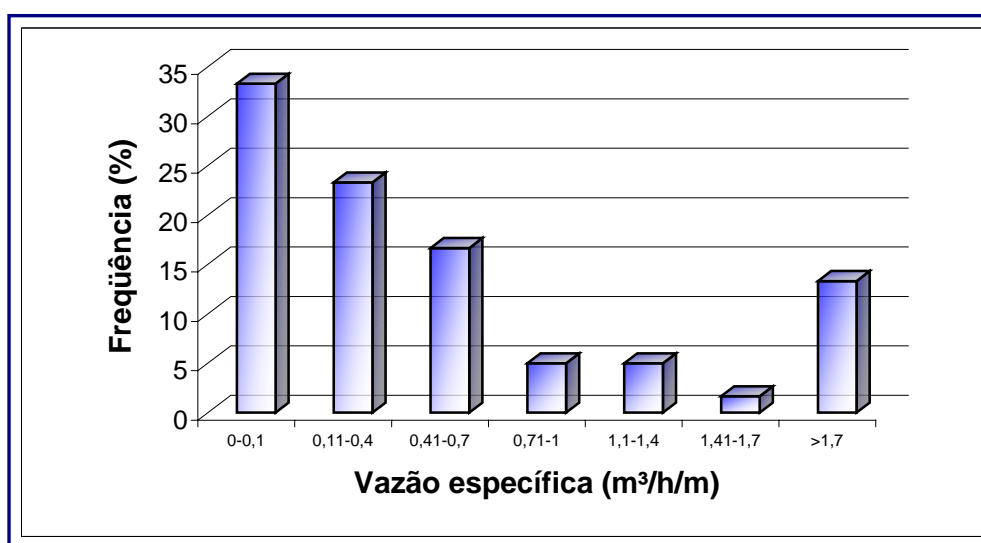


Gráfico 6 Frequência da vazão específica nos poços que captam água do Aquífero Cristalino.

É possível verificar que a maioria dos poços apresenta vazão específica até $0,10\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, representando 33,3% dos poços. Com 23,3%, estão os poços que possuem vazão específica entre $0,11$ e $0,40\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$; com 16,6% aparecem as vazões específicas entre $0,41$ e $0,70\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$; 13,33% dos poços têm vazão específica superior a $1,70\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$; vazões específicas entre $0,71$ e $1,0\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ e variando de $1,1$ a $1,40\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ representam 5% cada uma e, com apenas 1,66%, aparece a vazão específica entre $1,41$ e $1,70\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Analisando-se a distribuição das vazões específicas, nota-se que os poços 107, 102 e 55 se destacam. (**Gráfico 7**)

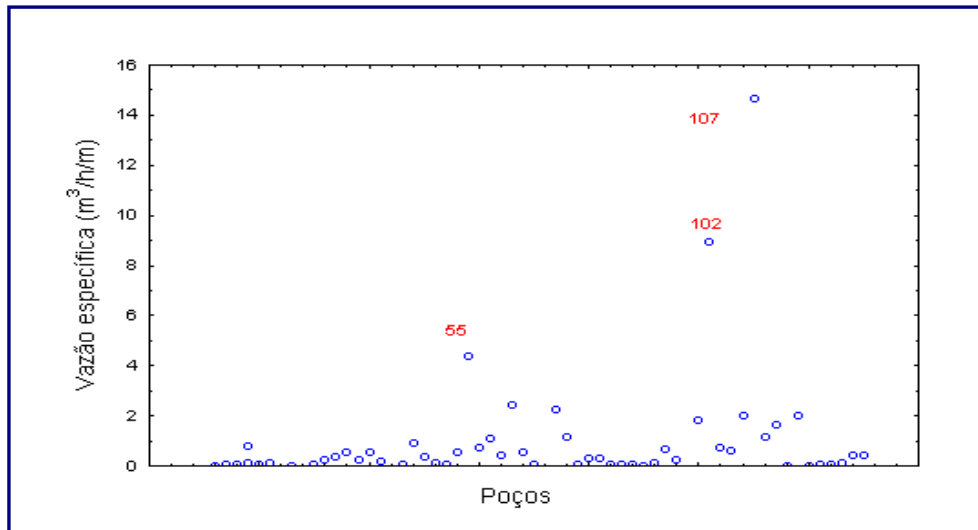


Gráfico 7: Distribuição da vazão específica nos poços que captam água do Aquífero Cristalino.

Relacionando a vazão específica com a profundidade dos poços tubulares que captam água do Aquífero Cristalino, percebe-se a maior concentração de vazões específicas expressivas nos poços com profundidades entre 100 e 150 metros, conforme o **Gráfico 8**. Observa-se que os três poços que se destacaram com melhores vazões específicas enquadram-se nesse intervalo de profundidade e, além disso, dois deles destinam-se ao abastecimento público, situação na qual os poços são locados utilizando-se critérios geológicos, conforme se discute no item 4.3.5

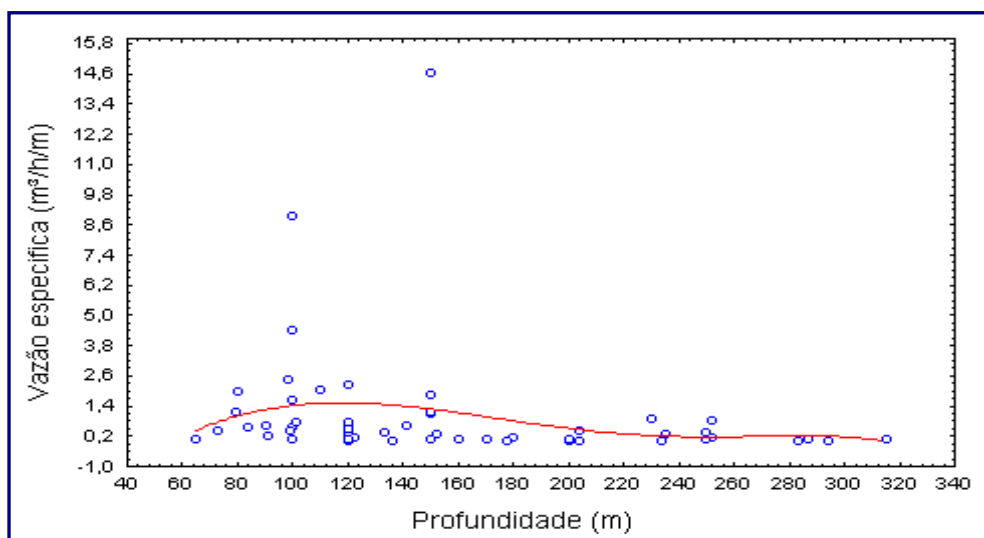


Gráfico 8 – Vazão Específica dos Poços que Captam Água do Aquífero Cristalino em Função da Profundidade.

4.3.2 Produtividade dos poços no Aquífero Tubarão

No município de Sorocaba, cadastraram-se 25 poços que captam água exclusivamente do Aquífero Tubarão. Obteve-se vazão média de 11,5m³/h com desviopadrão de 6,0m³/h. A maioria dos poços (28%) mostrou-se com vazão inferior ou igual a 5,0 m³/h; poços com vazão entre 15,1 e 20m³/h tiveram representatividade de 24%; 20% dos poços apresentaram-se com vazões entre 5,1 e 10 m³/h e entre 10,1 e 15,0m³/h; 8% com vazão entre 20,1 e 25,0m³/h e nenhum poço cadastrado apresentou vazão superior a 25 m³/h.

O **Gráfico 9** mostra a frequência das vazões obtidas para os poços que captam água exclusivamente do Aquífero Tubarão.

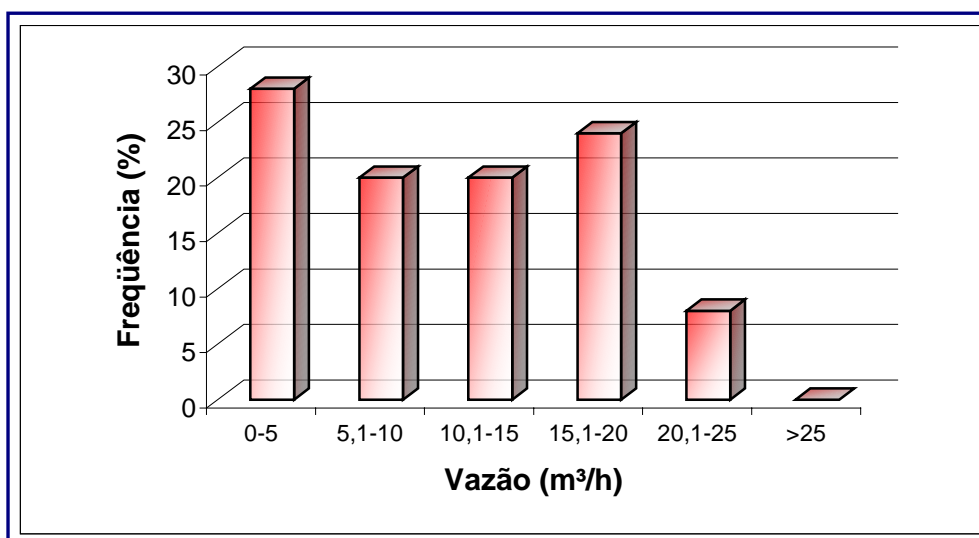


Gráfico 9: Frequência das vazões nos poços que captam água do Aquífero Tubarão.

Com relação à vazão específica, tem-se que 32% dos poços apresentam valores entre 0,11 e 0,40 m³/h/m; 28% têm valores entre 0 e 0,10 m³/h/m; 16% possuem valores superiores a 2,20m³/h/m; com representatividade de 12% aparecem os poços com vazão específica entre 0,41 e 0,70m³/h/m; com 8% e 4% aparecem os poços com vazão específica entre 1,41 e 1,90 m³/h/m e os poços com vazão específica entre 1,91 e 2,20 m³/h/m, respectivamente. (**Gráfico 10**)

A vazão específica média é de 1,20 m³/h/m, com desvio-padrão de 2,15 m³/h/m para os 25 poços cadastrados. Analisando-se o **Gráfico 11**, percebe-se que se destacam os poços 121, 68 e 103.

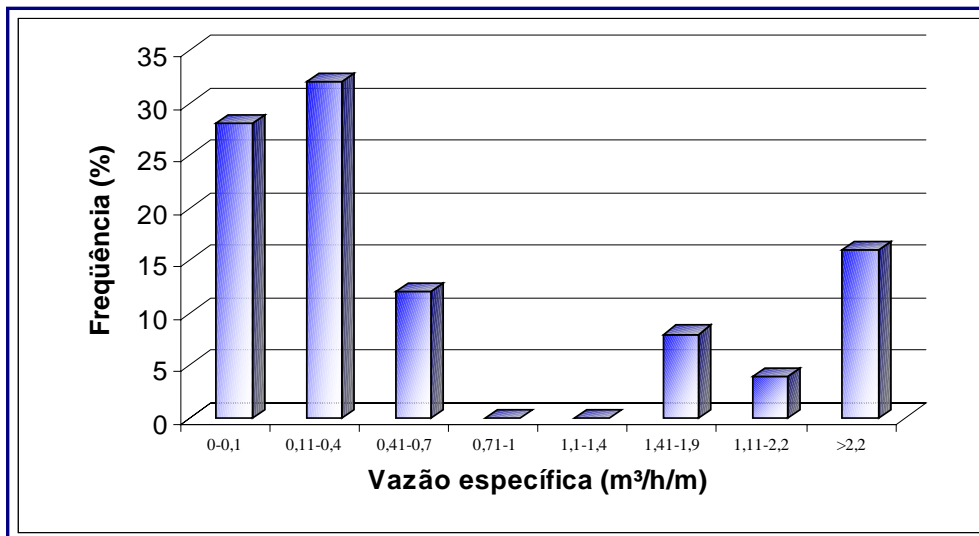


Gráfico 10: Frequência da Vazão Específica nos Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão

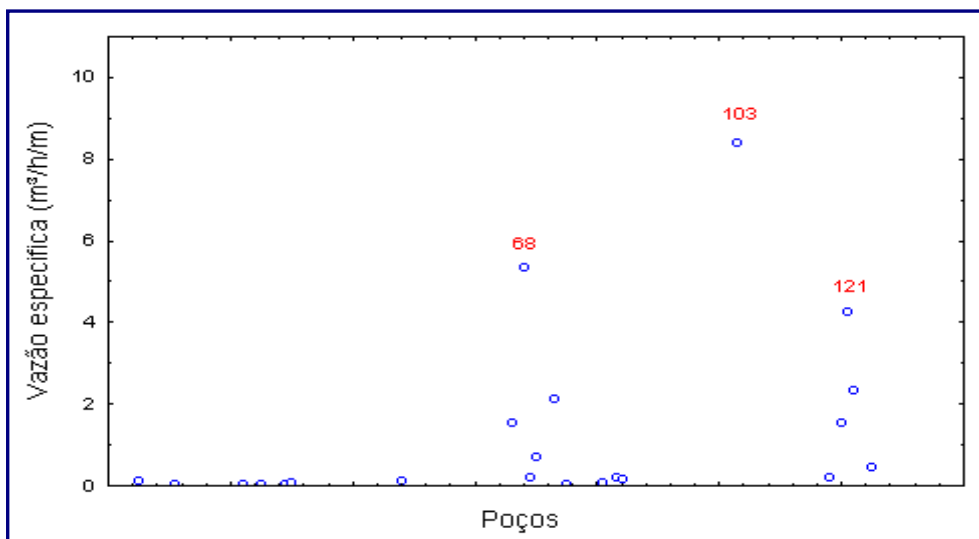


Gráfico 11 – Distribuição da vazão específica para os poços que captam água do Aquífero Tubarão

4.3.3 Produtividade dos Poços Mistos

Como visto anteriormente, os poços mistos são aqueles que captam água do Aquífero Tubarão e do Aquífero Cristalino. Nessas condições, cadastraram-se 44 poços, no município de Sorocaba.

A vazão média encontrada foi de 12,1 m³/h, com desvio-padrão de 9,4 m³/h. Predominam, com 27,27% dos poços, as vazões inferiores a 5m³/h; com 22,72% dos poços aparecem as vazões entre 5,1 e 10 m³/h; os poços com vazão entre 10,1 e 15,0 m³/h têm representatividade de 20,45%; com 13,63% estão os poços com vazão entre 15,1 e 20,0 m³/h; 6,81% dos poços apresentam vazão entre 20,1 e 25,0 m³/h e superiores a 30,0 m³/h e, 2,28% possuem vazão entre 25,1 e 30,0 m³/h. (Gráfico 12)

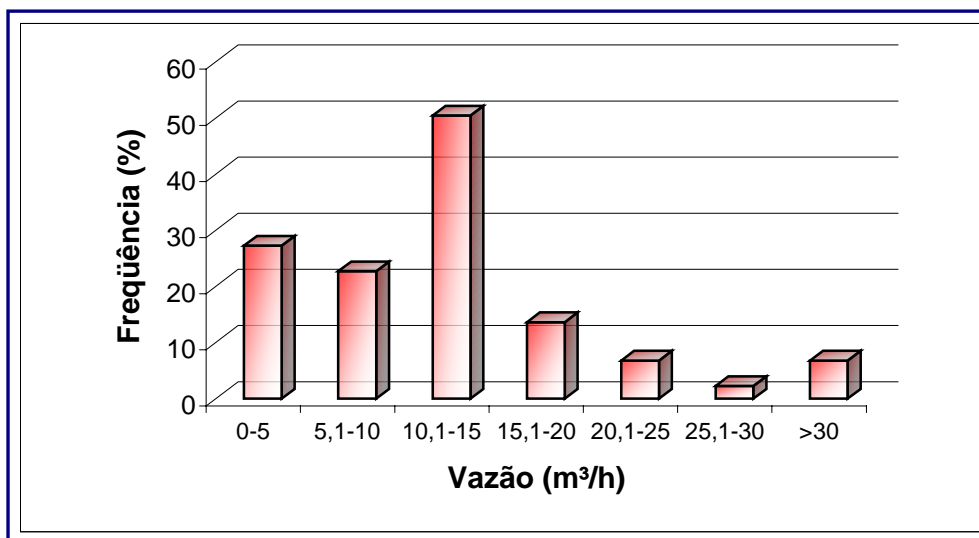


Gráfico 12 – Frequência da vazão nos poços mistos

Tratando-se da vazão específica, tem-se a média de 0,60 m³/h/m, com desvio-padrão de 1,0 m³/h/m para os 44 poços cadastrados.

A grande maioria dos poços (43,9%) mostra-se com vazão específica inferior ou igual a 0,1m³/h/m; 26,82% dos poços apresentam-se com vazão específica entre 0,11 e 0,40 m³/h/m; 9,75% superior a 2,20 m³/h/m; 7,31% entre 0,41 e 0,70 m³/h/m; 4,87% dos poços possuem vazão específica entre 0,71 e 1,0 m³/h/m e entre 1,1 e 1,40 m³/h/m e 2,43% entre 1,41 e 1,90m³/h/m. (Gráfico 13)

O Gráfico 14 mostra a distribuição da vazão específica, com destaque ao poço número 24.

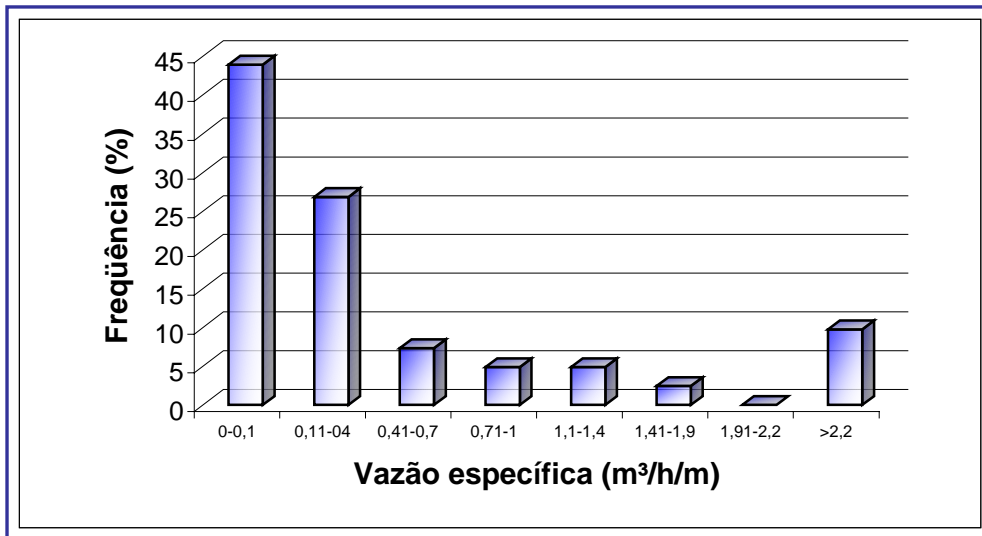


Gráfico 13 – Frequência da vazão específica nos poços mistos

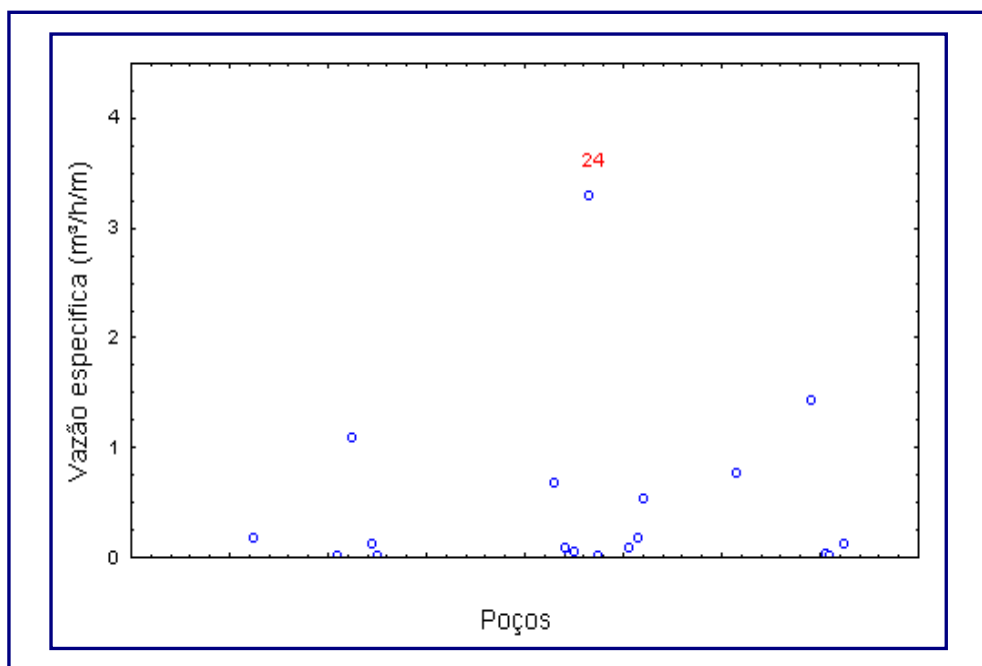


Gráfico 14 – Distribuição da vazão específica nos poços mistos

4.3.4 Distribuição da Vazão Específica no Município de Sorocaba

Conforme visto anteriormente, a vazão específica constitui o melhor parâmetro para se analisar a eficiência de um poço tubular profundo, uma vez que relaciona a vazão com o rebaixamento. Pode-se dizer que o poço eficiente é aquele onde se consegue explorar uma boa vazão e se tem o menor rebaixamento possível.

Analisando-se a distribuição da vazão específica, no Município de Sorocaba (**Figura 15**), notam-se melhores valores de produtividade nos poços localizados próximos aos lineamentos de drenagem, em comparação aos poços localizados mais distantes desses. Para os poços que captam água do Aquífero Cristalino, as melhores produtividades estão associadas àqueles localizados junto aos lineamentos de direção NW, não se podendo constatar o mesmo, no caso da captação do Aquífero Tubarão, onde não se constatou relação da produção dos poços com condicionantes estruturais.

Em relação ao Aquífero Tubarão, entende-se que a produção dos poços está relacionada à interceptação ou não de corpos arenosos, durante a perfuração. Dessa maneira, esperam-se melhores resultados produtivos quando, durante a perfuração, interceptam-se corpos arenosos em maiores quantidades e espessuras.

Observaram-se melhores valores produtivos nas seguintes áreas: NW, SW e S. Nota-se que o fluxo da água subterrânea, na área estudada, tende ao sul, propiciando melhores produções nas porções S e SW.

Com relação ao NW de Sorocaba, trata-se da área de recarga do aquífero, contribuindo para estabilizar o nível dinâmico mais próximo ao nível estático, conseqüentemente, aumentando a razão entre a vazão e o rebaixamento.

Para confecção da **Figura 17**, não se utilizaram os dados dos poços 52, 68 102, 103, 107, por julgá-los discrepantes, em relação aos dados amostrados.

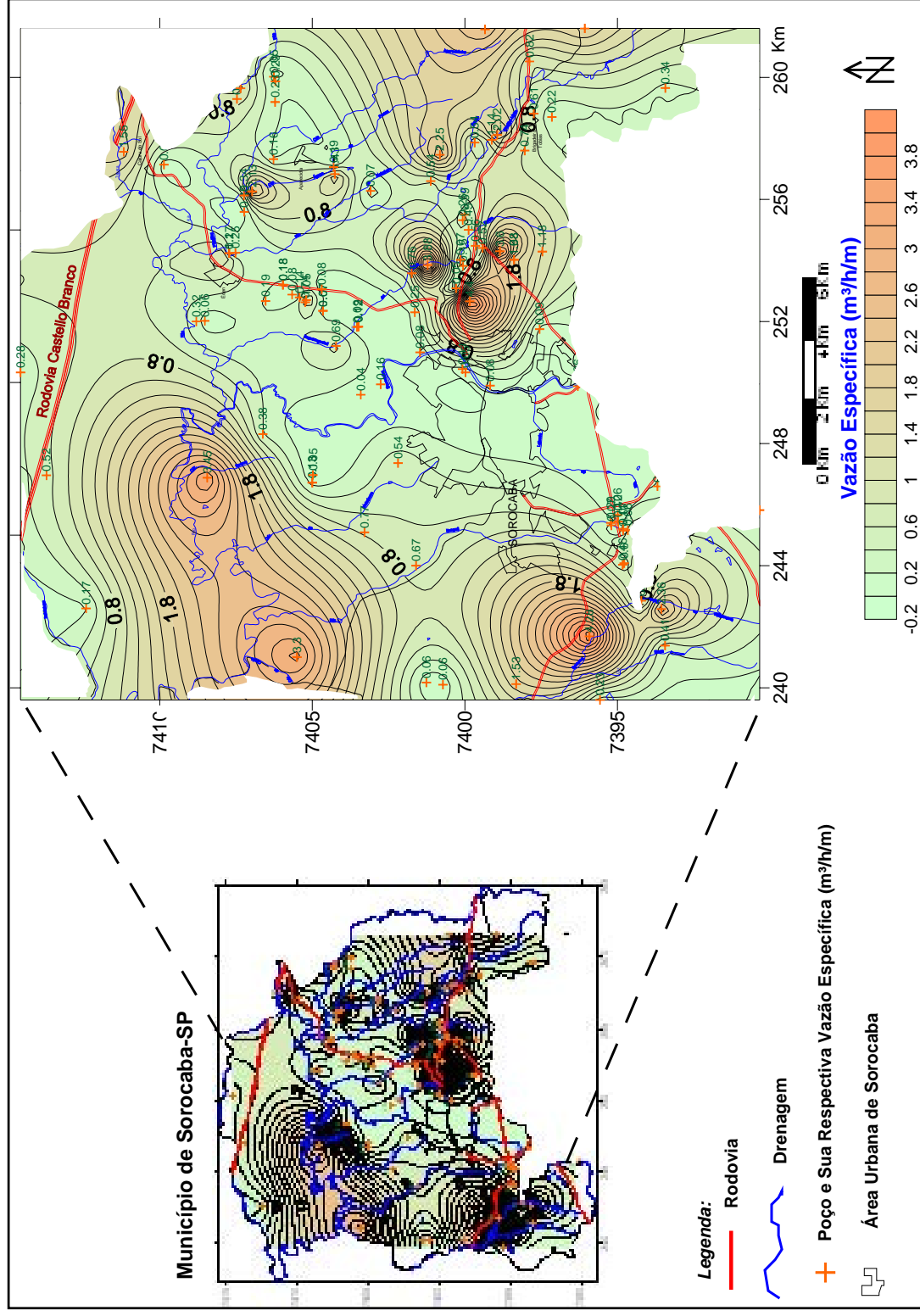


Figura 15: Distribuição da Vazão Específica no Município de Sorocaba

4.3.5 Análise Comparativa da Produtividade dos Poços Locados Com e Sem Critérios Geológicos Apropriados

Nessa análise, consideraram-se poços locados com critérios geológicos apropriados aqueles destinados ao abastecimento público, em que normalmente, devido ao amplo espaço físico disponível para o estudo, é possível o emprego de técnicas que auxiliam na locação dos poços, tais como: geofísica, por intermédio das técnicas do caminhamento elétrico e sondagem elétrica vertical; levantamento estrutural; fotointerpretação; análise geomorfológica, entre outras.

Por outro lado, consideraram-se poços locados sem critérios geológicos apropriados aqueles construídos em indústrias, residências, condomínios e em outros locais, onde o espaço físico existente não permite a utilização de técnicas para locação de poços tubulares profundos. Nesses casos, o principal condicionante para locação dos poços é o aspecto operacional, que leva em conta o espaço disponível para a entrada da sonda, a montagem do canteiro de obras, a proximidade com reservatórios de água etc.

Na área de estudo, cadastraram-se seis poços destinados ao abastecimento público, que captam água do Aquífero Tubarão, nove que captam água do Aquífero Cristalino e oito que captam água dos dois aquíferos, totalizando 23 poços tubulares profundos.

Na tabela 1, faz-se a comparação dos dados obtidos para os poços locados com e sem critérios geológicos.

Tabela 1 - Produtividade e Profundidade dos Poços Locados Com e Sem Critérios Geológicos

| <i>Aquífero</i> | <i>Poços Locados com Critérios Geológicos</i> | | <i>Poços Locados sem Critérios Geológicos</i> | |
|-------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
| | <i>Vazão Específica Média (m³/h/m)</i> | <i>Profundidade Média (m)</i> | <i>Vazão Específica Média (m³/h/m)</i> | <i>Profundidade Média (m)</i> |
| <i>Tubarão</i> | 2,86 | 126 | 0,65 | 154 |
| <i>Misto</i> | 1,82 | 158 | 0,28 | 159 |
| <i>Cristalino</i> | 2,94 | 131 | 0,59 | 147 |
| Total | 7,62 | 415 | 1,52 | 460 |

Analisando-se a tabela 1, torna-se clara a importância do uso de critérios geológicos para locação de poços tubulares profundos, dada a extrema diferença obtida, principalmente com relação à produtividade dos poços.

Com referência às profundidades, percebe-se que, nos três casos, os poços locados sem critérios geológicos obtiveram maiores valores, explicitando a situação de uma grande porcentagem de perfuração improdutiva, comparando-se com os casos de poços locados com critérios geológicos, conforme se vê na tabela 2.

Tabela 2 – Razão entre a Profundidade e a Vazão Específica

| Aqüíferos | Profundidade/Vazão Específica (Sem Critérios Geológicos) | Profundidade/Vazão Específica (Com Critérios Geológicos) |
|-------------------|---|---|
| Tubarão | 236,92 | 44,05 |
| Misto | 567,85 | 86,81 |
| Cristalino | 249,15 | 44,55 |

Além dos critérios utilizados na locação dos poços, salienta-se também que, durante a perfuração visando ao abastecimento público, as etapas principais da sua construção são acompanhadas por um geólogo responsável pelo órgão público, além do responsável técnico pela companhia perfuradora, existindo dessa maneira, maior respaldo no sentido das normas técnicas e na tomada de decisões, quanto aos procedimentos a serem praticados.

Por outro lado, existem muitas companhias perfuradoras atuando com corpo técnico pouco qualificado ou ausente, com conseqüente prejuízo aos seus clientes e à formação aquífera. Justamente em virtude dessa deficiência, essas companhias não conseguem competir com empresas qualificadas, quando das licitações abertas pelos órgãos públicos.

4.4 Comportamento do Nível Estático nos Diferentes Aqüíferos

O conhecimento do nível estático – importante parâmetro hidráulico – auxilia na elaboração de projetos de poços tubulares profundos, no entendimento da movimentação da água subterrânea e, também, no mapeamento da vulnerabilidade natural de um aquífero frente a poluentes diversos.

A **Figura 16** mostra o mapa da profundidade do nível estático, na área estudada. O conhecimento da profundidade do nível estático e da cota topográfica, num determinado ponto, possibilita a obtenção da cota do nível estático. Dessa forma, subsidia-se a confecção do mapa da superfície potenciométrica, com a conseqüente determinação do fluxo da água subterrânea.

Esse mapa auxilia, além da locação de poços tubulares, principalmente, os estudos ambientais que visam ao monitoramento das águas subterrâneas, frente aos poluentes.

Para o Aquífero Cristalino, devido ao seu caráter fissural, heterogêneo e anisotrópico, entende-se como sendo inviável a confecção do mapa potenciométrico, porém, fez-se a análise das profundidades do nível estático, nos diferentes poços.

4.4.1 Aquífero Cristalino

Para os poços que captam água do Aquífero Cristalino, os níveis estáticos de 32,21% estão entre as profundidades de 5,1 a 10,0 metros, seguidas pelas profundidades de até 5,0 metros, com 23,72%. Com ocorrência mais restrita, estão as profundidades de 10,1 a 15,0 metros, com 15,25%; com 13,55% de representatividade estão as profundidades superiores a 30,0 metros, seguidas pelas profundidades entre 15,1 e 20,0 metros, com 8,47% (**Gráfico 15**).

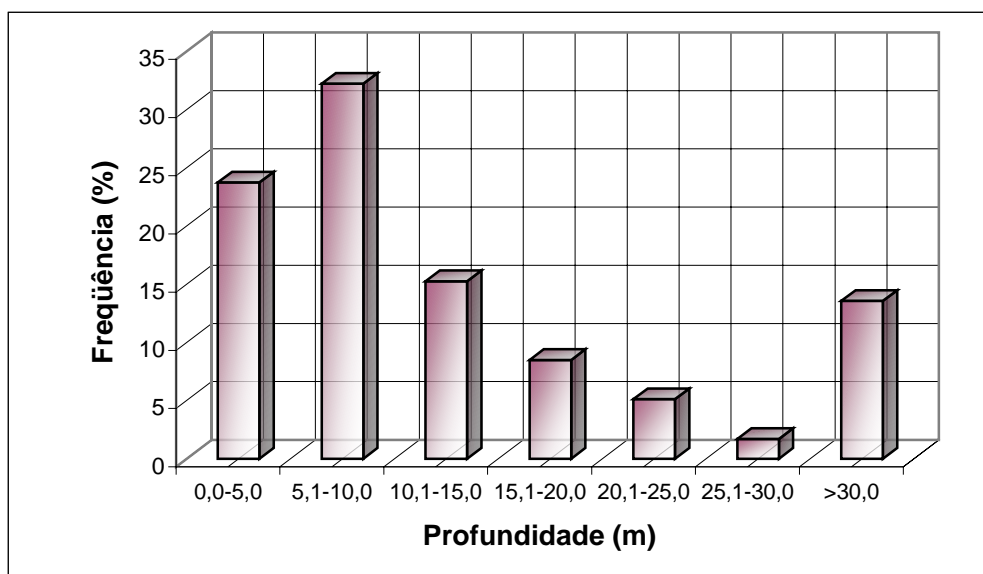


Gráfico 15: Frequência do Nível Estático nos Poços que Captam Água do Aquífero Cristalino

4.4.2 Poços Mistos

Para os poços que captam água dos dois aquíferos, a profundidade média do nível estático é de 26,82 metros. Com maior frequência estão as profundidades superiores a 30,0 metros, com 26,83%, em seguida, têm-se as entre 10 e 15,0 metros e entre 15 e 20,0 metros, ambas com 17,07% de representatividade. Com 14,63% de ocorrência, aparece o intervalo entre 5 e 10,0 metros de profundidade. As profundidades entre 0 e 5,0 metros e entre 25 e 30,0 apresentam-se com frequência de 9,75% e, com menor representatividade (4,87%), o intervalo entre 25 e 30,0 metros de profundidade (**Gráfico 16**).

4.4.3 Aquífero Tubarão

Para os poços que captam água do Aquífero Tubarão, o nível estático médio é de 18,90 metros de profundidade. Em maior quantidade, 33,34%, estão as profundidades entre 10,1 e 15,0 metros; seguidas pelas profundidades até 5,00 metros e superiores a 30,00 metros, com 16,67% de representatividade. De forma mais restrita, aparecem as profundidades entre 20,10 e 25,00 metros (12,50%); com 8,33% de ocorrências aparecem as profundidades entre 15,10 e 20,00 metros e entre 5,10 e 10,00 metros, conforme mostra o **Gráfico 17**.

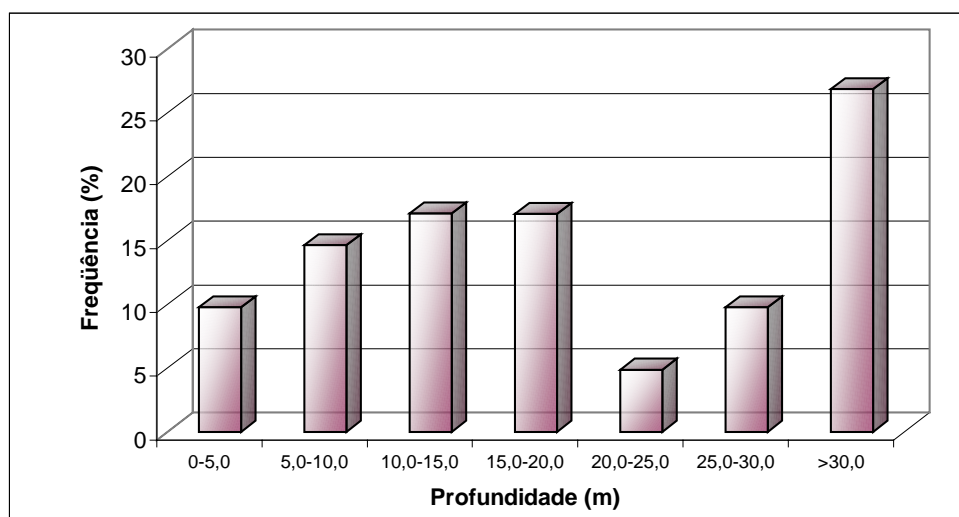


Gráfico 16: Frequência das Profundidades do Nível Estático nos Poços Mistos

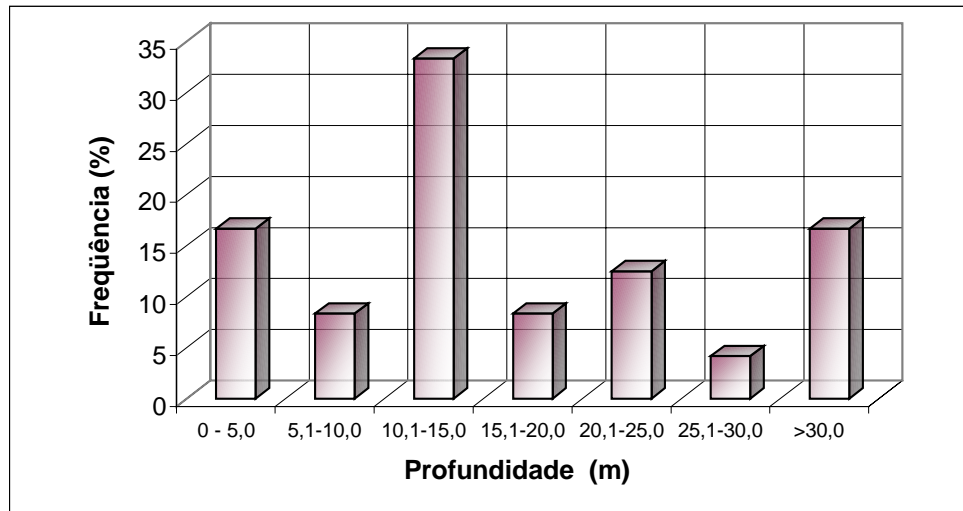


Gráfico 17: *Frequência das Profundidades do Nível Estático nos Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão*

Analisando-se o mapa potenciométrico do Aquífero Tubarão (**Figura 17**), observou-se um fluxo preferencial para o centro da área, convergindo em direção ao Embasamento Cristalino, enquanto, secundariamente, observa-se o fluxo em direção NE e SW. Entendem-se como áreas de recarga a porção N, E e NW do Município de Sorocaba.

A **Figura 18** mostra o comportamento do nível estático na área de estudo, adotando-se as cotas mais elevadas como sendo a área de recarga.

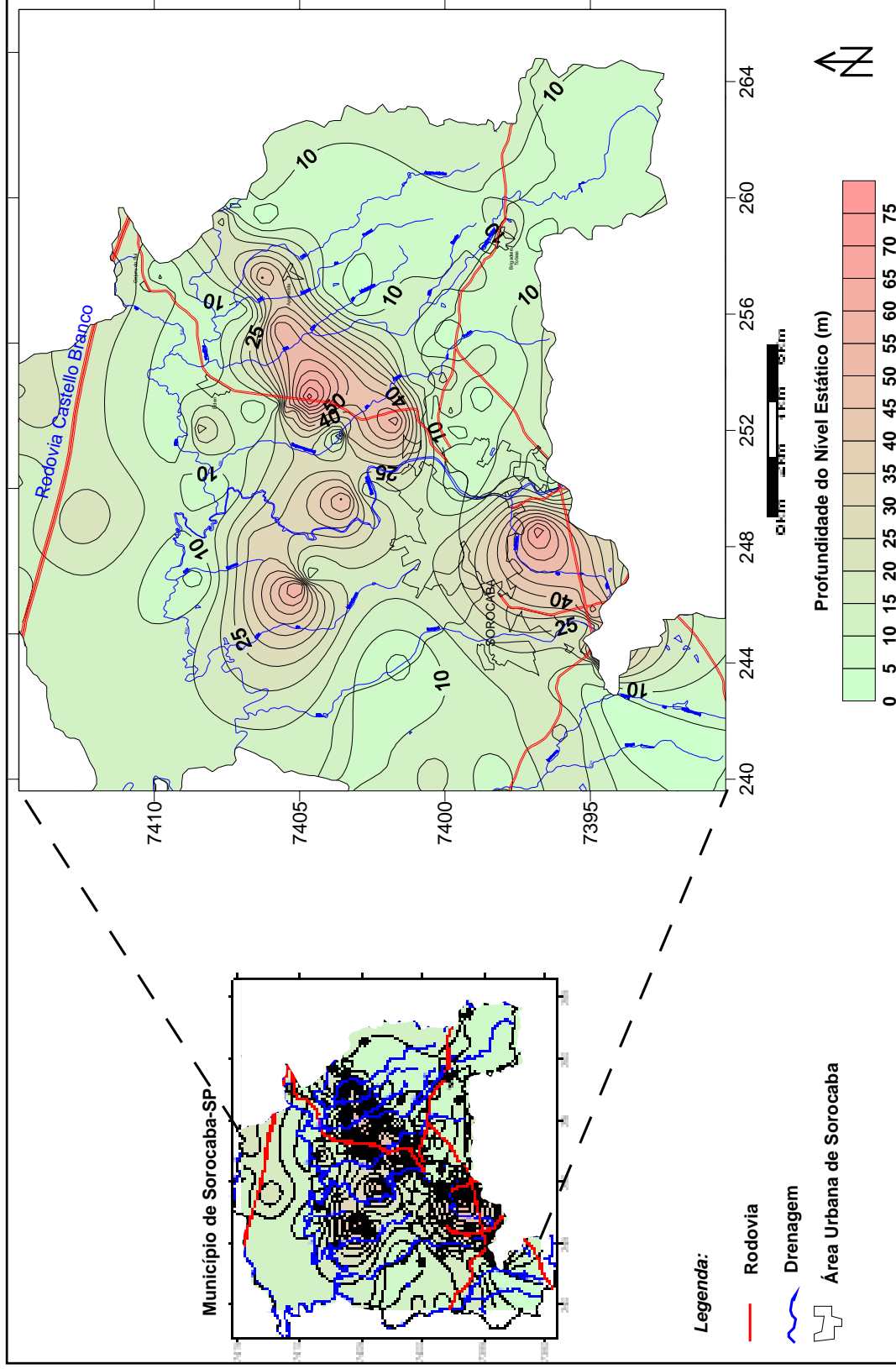


Figura 16: Mapa Representando a Variação da Profundidade do Nível Estático de Acordo com os Poços Cadastrados

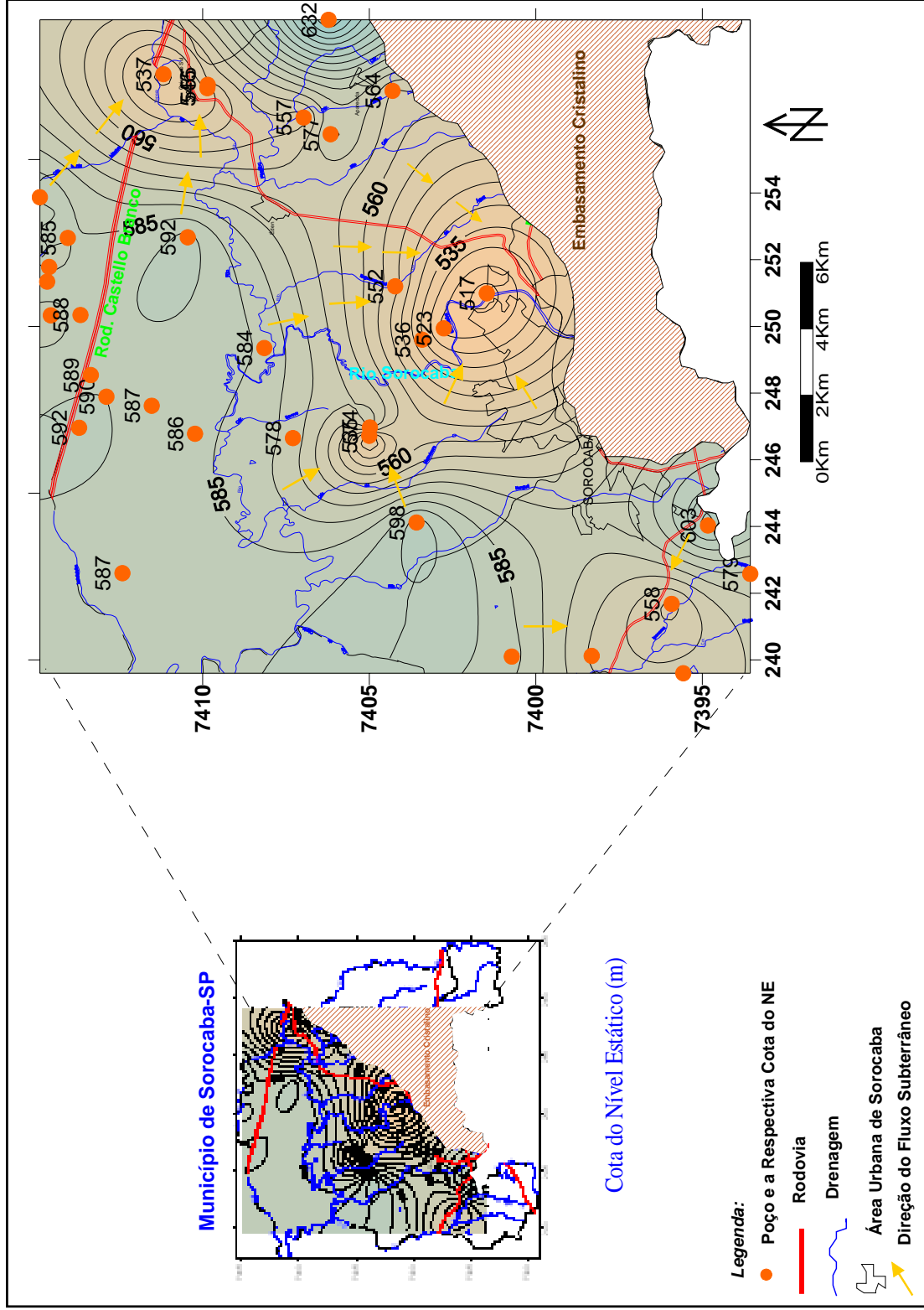


Figura 17: Mapa Potenciométrico do Aquífero Tubarão no Município de Sorocaba

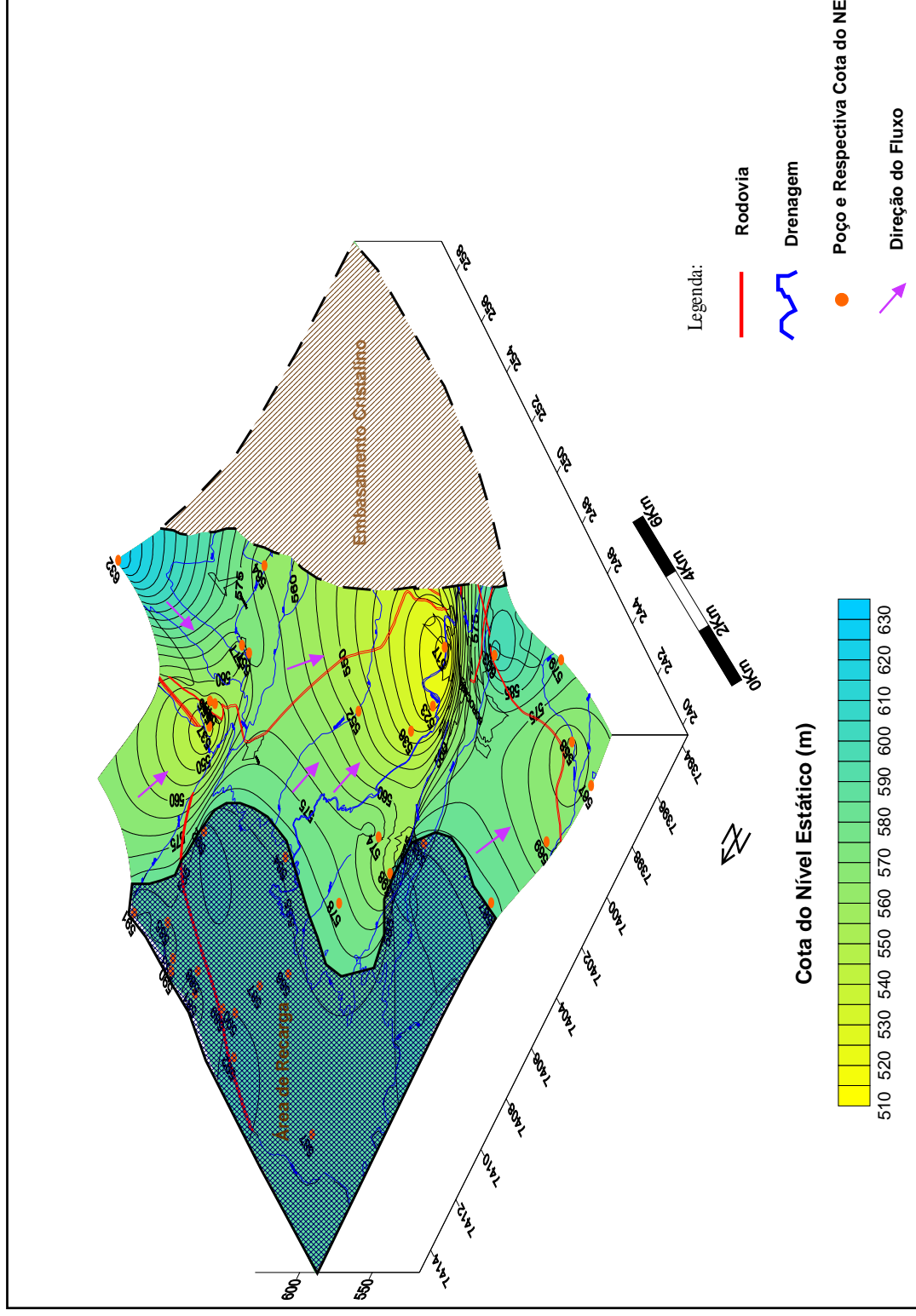


Figura 18: Representação Esquemática da Cota do Nível Estático no Aquífero Tubarão

4.5 Aspectos Construtivos dos Poços Tubulares Profundos

Como visto no capítulo anterior, os aspectos técnico-construtivos dos poços são de suma importância para otimizar a sua produtividade e, também, para promover a proteção do aquífero, frente à percolação de poluentes. Nesse sentido, faz-se, a seguir, a caracterização dos poços cadastrados, no tocante às principais etapas da construção e complementação dos poços.

4.5.1 Sistemas de Perfuração dos Poços Tubulares

Na área de estudo, cadastraram-se cento e trinta poços tubulares profundos, oitenta e quatro dos quais foram perfurados exclusivamente pelo sistema rotopneumático, dezesseis por meio do sistema rotativo e trinta, pelos dois sistemas.

Com relação aos poços que captam água do Aquífero Tubarão, nove foram perfurados pelo sistema rotopneumático e dezesseis, por intermédio do sistema rotativo. Os poços que captam água do Aquífero Cristalino foram perfurados no sistema rotopneumático e os poços mistos utilizaram ambos os sistemas, em trinta poços, enquanto foi empregado o sistema rotopneumático, em quatorze (**Tabela 3**).

Tabela 3 – Sistemas de Perfuração Utilizados na Área de Estudo

| Aquífero Captado | Poços | Rotativo | Rotopneumático | Rotativo e Rotopneumático |
|-------------------------|--------------|-----------------|-----------------------|----------------------------------|
| Tubarão | 25 | 16 | 9 | X |
| Cristalino | 61 | X | 61 | X |
| Misto | 44 | X | 14 | 30 |
| Total | 130 | 16 | 84 | 30 |

Dos poços que captam água do Aquífero Tubarão, 36% utilizaram-se do sistema rotopneumático para sua perfuração. Explica-se esse fato pela estabilidade mecânica apresentada pelos sedimentos da Formação Itararé, o que possibilita que o poço não necessite de revestimento.

Entende-se que a perfuração no sistema rotopneumático, na área de estudo, otimiza a produtividade do poço, conforme visto na tabela 4.

Tabela 4 – Produtividade no Aquífero Tubarão, em Virtude dos Diferentes Sistemas de Perfuração

| Aquífero Explorado | Vazão Média no Sistema Rotativo | Vazão Média no Sistema Rotopneumático |
|--|--|--|
| Aquífero Tubarão (Formação Itararé) | 8,94 m³/h | 14,00 m³/h |

Como plausível explicação, para esse fato, cita-se a possibilidade do comprometimento da condutividade hidráulica, da formação aquífera, nos poços perfurados no sistema rotativo, em virtude do desenvolvimento e limpeza do poço não terem sido executados de maneira eficaz. Desse modo, o fluido de perfuração à base de bentonita estaria obstruindo os interstícios do aquífero granular, comprometendo, assim, a produtividade do poço.

Outras possibilidades dizem respeito à escolha equivocada do pré-filtro e, também, ao dimensionamento errôneo das ranhuras dos filtros. Em ambos os casos, a condutividade hidráulica também pode ser afetada.

No caso dos poços perfurados no sistema rotopneumático, a não utilização de fluido de perfuração à base de bentonita facilita a limpeza e o desenvolvimento do poço, uma vez que se utiliza água e ar comprimido como agentes de perfuração, não ocorrendo a obstrução dos interstícios granulares.

4.5.2 Diâmetros de Perfuração

Os diâmetros usados na perfuração de poços tubulares profundos relacionam-se, principalmente, com a vazão de exploração esperada. Poços perfurados com diâmetros maiores permitem abrigar bombas submersas com maiores potências e, conseqüentemente, otimiza-se a vazão de exploração. Por outro lado, poços perfurados com diâmetros menores possibilitam a instalação de bombas submersas de menor potência.

Na área de estudo, percebem-se variações nos diâmetros de perfuração, de acordo com os usos previstos para água subterrânea. De forma geral, os poços que visam a captar água para o abastecimento de indústrias, condomínios, residências e prestadores de serviço, em geral mantêm um padrão operacional definido.

Para os poços que captam água do Aquífero Cristalino, tem-se o seguinte padrão operacional mais utilizado: inicia-se a perfuração com broca tricônica com diâmetro de 12 ¼”; ao se atingir a rocha alterada, o diâmetro se reduz a 8 ½”, ainda com broca tricônica e, por último, atingindo-se a rocha sã, perfura-se no sistema rotopneumático com Bit de diâmetro de 6” (**Figura 19**).

No caso dos poços que exploram o Aquífero Tubarão, os diâmetros de perfuração variam, também, em virtude do sistema de perfuração utilizado. Quando se perfura no sistema rotativo, tem-se o seguinte: inicia-se a perfuração com diâmetro de 12 ¼” até a profundidade prevista para instalação do tubo de proteção sanitária; em seguida, reabre-se o furo com diâmetro de 17 ½”, para a instalação do tubo de proteção sanitária, com diâmetro de 14”; uma vez instalado, segue-se a perfuração com diâmetro de 12 ¼” até a profundidade final, para posterior revestimento em 6” (**Figura 20**).

Perfurando-se no sistema rotopneumático, inicia-se a perfuração com broca tricônica de 12 ¼”, até se atingir a Formação Itararé mais coesa (siltitos); em seguida, avança-se a perfuração com diâmetro de 8 ½” para confirmar a coesão do material; uma vez confirmada, reveste-se o poço com tubulação de 6”, perfurando-se, a partir daí, com martelo pneumático e Bit de 6” – que descera rente à tubulação de revestimento. Nesse caso, o perfil esquemático será idêntico ao dos poços que captam água do Aquífero Cristalino.

Nos poços mistos, inicia-se a perfuração no sistema rotativo com broca tricônica de diâmetro de 12 ¼” até a profundidade prevista para instalação do tubo de proteção sanitária; em seguida, reabre-se o furo com diâmetro de 17 ½”, para a instalação do tubo de proteção sanitária, com diâmetro de 14”; uma vez instalado, segue-se a perfuração com diâmetro de 12 ¼” até se atingir o Embasamento Cristalino, para posterior revestimento com tubos lisos e filtros com diâmetro de 6”. A partir daí, passa-se a utilizar o sistema rotopneumático e segue-se a perfuração com Bit de 6” até a profundidade final (**Figura 21**).

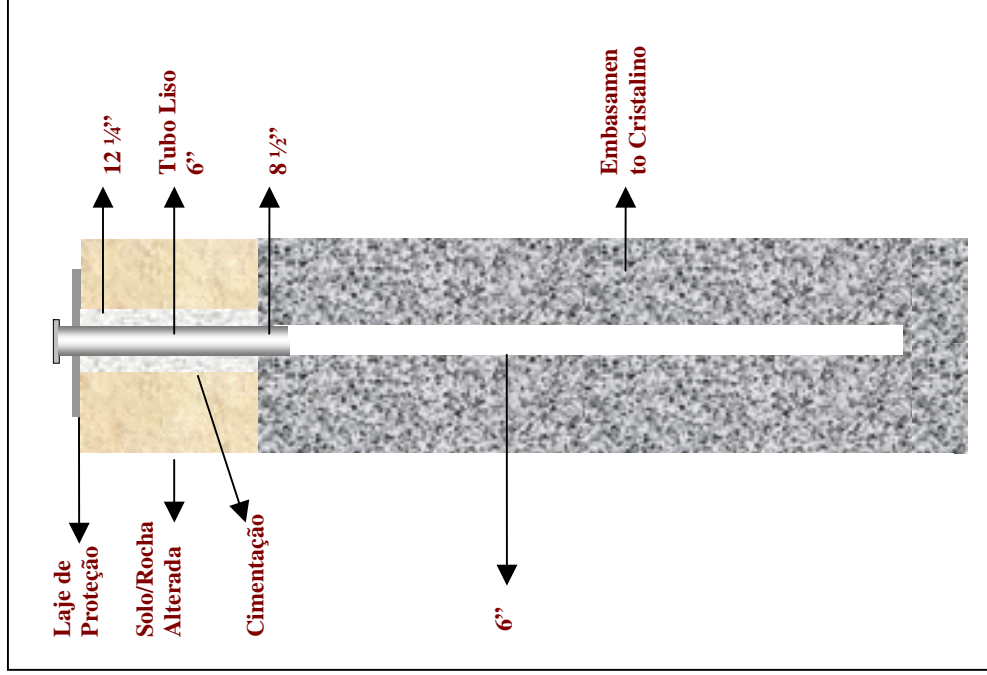


Figura 19: Perfil Esquemático Típico dos Poços que Captam Água do Aquífero Cristalino

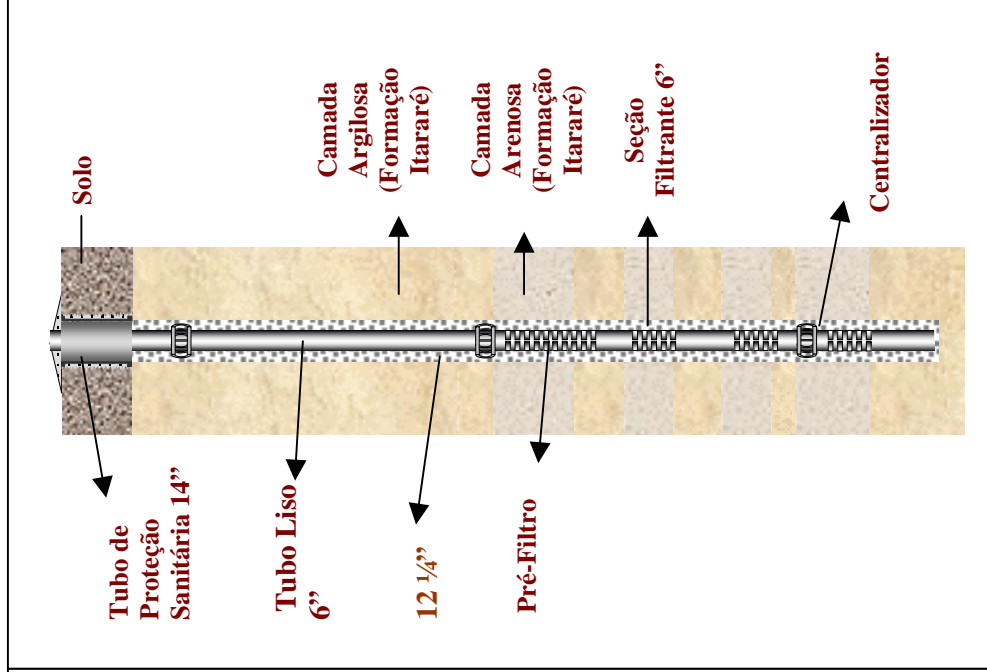


Figura 20: Perfil Esquemático Típico para os Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão

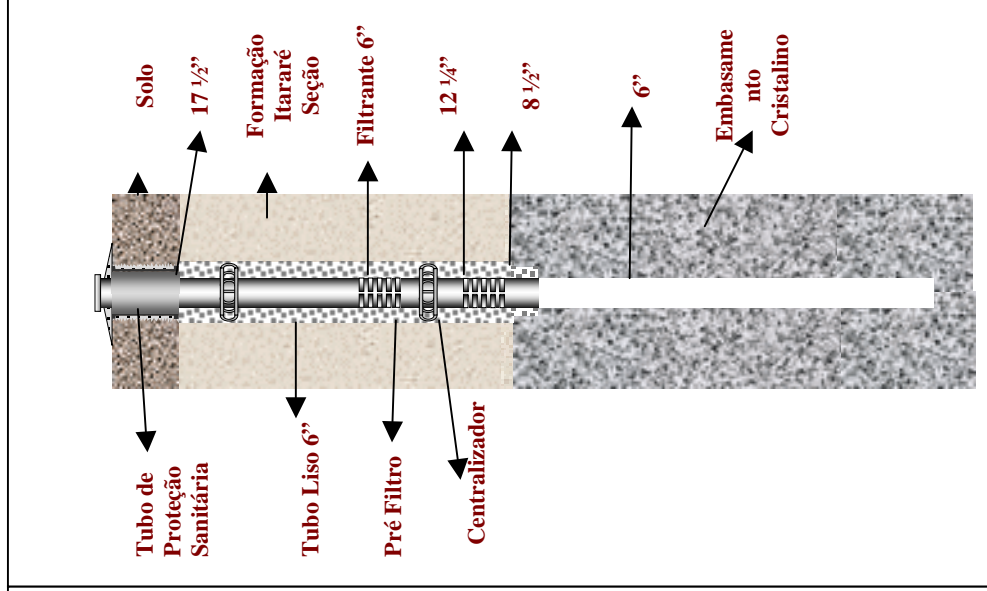


Figura 21: Perfil Esquemático Típico dos Poços Mistos

Para os poços tubulares profundos que visam ao abastecimento público, utilizam-se normalmente diâmetros de perfuração superiores, objetivando-se abrigar bombas submersas de maiores potências.

Pode-se considerar então, que, em comparação com os demais poços, fazem-se os seguintes acréscimos nos diâmetros de perfuração: de 17 ½” passa-se a 22”; de 12 ¼” passa-se a 14 ¾”; de 8 ½” passa-se a 12 ¼” e de 6” passa-se a 8”. Esses diâmetros caracterizam os poços para abastecimento público, no Município de Sorocaba.

4.5.3 Tubo de Proteção Sanitária

O tubo de proteção sanitária ou tubo de boca é uma tubulação lisa (sem ranhuras), instalada no início da perfuração, geralmente de aço, com a função de prevenir o desmoronamento das paredes do poço e evitar a infiltração das águas das porções superficiais do solo para dentro do poço.

Devido à ausência de dados, torna-se impossível questionar os critérios empregados para sua aplicação. Pôde-se, aqui, constatar a ausência de tubos de proteção sanitária em 24% (seis poços) dos poços que objetivam a captação do Aquífero Tubarão e em 31,80% (catorze poços) dos poços mistos cadastrados. Salienta-se que nenhum dos poços visa ao abastecimento público.

A **tabela 5** mostra a ocorrência de poços sem proteção sanitária, em função de seus usuários.

Tabela 5 – Ausência de Proteção Sanitária nos Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão

| Tipos de Uso | Ausência de Proteção Sanitária | Porcentagem (%) |
|------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Industrial | 5 | 25% |
| Abastecimento Público | ----- | ---- |
| Urbano | 6 | 30% |
| Rural | 7 | 35% |
| Loteamentos | 2 | 10% |
| Outros | ----- | ---- |
| Total | 20 | 100% |

4.5.4 Coluna de Revestimento e Pré-Filtro

Com respeito à coluna de revestimento e pré-filtro, observa-se pouca variação, nos poços tubulares profundos perfurados no Município de Sorocaba. A variação que existe condiciona-se, principalmente, pelo sistema de perfuração utilizado. Em relação aos tubos lisos, são três os empregados: aço preto DIN2440, aço galvanizado DIN2440 e tubo geomecânico (PVC). Tratando-se dos filtros, os mais utilizados são o Nold galvanizado e o geomecânico.

De maneira geral, os poços perfurados no sistema rotopneumático revestem-se com tubos de aço, devido à fragilidade do tubo geomecânico, frente às vibrações causadas na parede do revestimento, em virtude do avanço da perfuração. Lembra-se, aqui, que no sistema rotopneumático reveste-se a porção instável para depois avançar a perfuração na rocha sã ou formação sedimentar coesa e, no caso da perfuração no sistema rotativo, o revestimento se dá ao término da perfuração, não sendo a mesma uma ameaça à sua qualidade. Desse modo, os tubos geomecânicos são empregados quando se utiliza o sistema rotativo e os tubos de aço quando do emprego de ambos sistemas.

Nas **tabelas 6 e 7** mostram-se as utilizações dos diferentes tipos de tubos lisos e filtros, nos poços cadastrados para a presente pesquisa.

Tabela 6. Tipos de Tubos Lisos Utilizados em Função do Sistema de Perfuração.

| <i>Sistema de Perfuração</i> | <i>Número de Poços</i> | <i>Aço Preto</i> | <i>Aço Galvanizado</i> | <i>Geomecânico</i> |
|----------------------------------|------------------------|------------------|------------------------|--------------------|
| Rotativo | 16 | 3 | 5 | 8 |
| Rotopneumático | 84 | 52 | 32 | ----- |
| Rotativo e Rotopneumático | 30 | 16 | 14 | ----- |
| Total | 130 | 71 | 51 | 8 |

Tabela 7 – Tipos de Filtros Utilizados em Função do Sistema de Perfuração

| <i>Sistema de Perfuração</i> | <i>N° de Poços</i> | <i>Filtros Nold</i> | <i>Filtros Geomecânico</i> | <i>Filtro Espiralado</i> |
|----------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| Rotativo | 16 | 4 | 8 | 4 |
| Rotopneumático | 84 | ----- | ----- | ----- |
| Rotativo e Rotopneumático | 30 | 14 | ----- | 16 |
| Total | 130 | 18 | 8 | 20 |

Tratando-se do pré-filtro, ressalta-se que a sua aplicação se faz em poços onde se tem filtro na coluna de revestimento. Dessa forma, cadastraram-se 46 poços tubulares profundos onde se fez a aplicação de pré-filtro. Suas informações características são escassas, dificultando a discussão sobre sua aplicação, nos diferentes poços tubulares profundos.

4.5.5 Cimentação

A cimentação, no poço tubular profundo, é de extrema importância no sentido de protegê-lo frente à percolação de poluente, no subsolo. No caso dos poços perfurados em rochas cristalinas, a cimentação do espaço anular (espaço entre o furo e a parede externa da tubulação) se faz até o alcance da rocha cristalina sã e tem a função, além de dar estabilidade ao revestimento, de proteger o aquífero de possíveis infiltrações de fluidos contaminantes.

No caso dos poços que captam água do Aquífero Tubarão e mistos, faz-se a cimentação quando da aplicação do tubo de proteção sanitária, preenchendo o espaço anular entre a sua parede externa e a parede perfurada. Além disso, aconselha-se a sua aplicação nos metros iniciais acima do pré-filtro, evitando, dessa maneira, a contaminação provinda da superfície.

Na presente pesquisa, não se discute a qualidade da cimentação nos poços cadastrados, já que não se têm informações para isso. Alerta-se sobre a extrema importância e responsabilidade que o executante e responsável técnico pelo poço tubular profundo devem dispensar a essa etapa.

4.5.6 Laje de Proteção Sanitária

A laje de proteção sanitária é uma pavimentação ao redor do poço, com inclinação divergente, com o objetivo de evitar o acúmulo de água.

Dentre os poços cadastrados, 84% (cento e nove poços) apresentam laje de proteção sanitária, para 10% (treze poços) não se obteve informação e 6% (oito poços) não a possuem.

4.6 Usos das Águas Subterrâneas

Sorocaba é uma cidade em franco desenvolvimento, principalmente industrial, o que vem demandando cada vez mais o uso dos recursos hídricos subterrâneos. Apresenta-se, aqui, de forma sucinta, uma tabela sobre o uso da água subterrânea, alicerçada nos poços tubulares profundos cadastrados.

Tabela 8 Usos da água subterrânea no Município de Sorocaba

| Tipos de Uso | Nº de Poços | Porcentagem (%) |
|------------------------------|--------------------|------------------------|
| Industrial | 36 | 27,70% |
| Abastecimento Público | 23 | 17,70% |
| Urbano | 19 | 14,61% |
| Rural | 21 | 16,15% |
| Loteamentos | 14 | 10,76% |
| Outros | 17 | 13,08% |
| Total | 130 | 100% |

4.7 Instrumentos de Gestão

Nesta etapa da discussão, procura-se discorrer de forma crítica a respeito de dois importantes instrumentos para Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos – a “Licença para Perfuração de Poços Tubulares Profundos” e a “Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos”.

Deixa-se claro que o objetivo aqui proposto é o de levar à tona, por meio de questionamentos, a discussão sobre esses instrumentos de gestão, de modo a deflagrar na comunidade envolvida o ímpeto pela reflexão.

4.7.1 Uma Reflexão sobre o Processo de Licença para Perfuração de Poços

Entende-se como primeiro ponto, passível de discussão, a fiscalização. Existe fiscalização do órgão gestor, com o intuito de garantir que o projeto apresentado no requerimento de Licença de Perfuração seja colocado em prática? Depois de concluída a obra, como verificar se o projeto foi executado?

Sabe-se que o corpo técnico do DAEE é reduzido e que existem inúmeras empresas atuando na área de exploração de águas subterrâneas, tornando-se difícil o controle e a fiscalização. Nesse sentido, acredita-se na necessidade de um reforço qualificado no corpo técnico do órgão gestor, possibilitando a fiscalização mais efetiva.

Outro aspecto causador de discussão é a idoneidade técnica de parte das empresas que vêm atuando, na área de perfuração de poços tubulares profundos. Sente-se a banalização no setor, fundamentada pela visão imediatista de investidores que encaram a captação de água subterrânea apenas como um bom negócio, deixando-se em segundo plano o conhecimento técnico-científico e, conseqüentemente, o respeito aos mananciais subterrâneos.

Com relação à eficiência do órgão gestor, percebe-se outro fato causador de discórdia. Comumente, protocola-se o requerimento da Licença de Perfuração e, imediatamente, a empresa de perfuração inicia a obra – antes mesmo da publicação da licença, em Diário Oficial, o que acontece com conivência do próprio órgão gestor. Liberando-se ou consentindo-se a execução da obra, antes de o projeto ser analisado por um técnico competente, qual a serventia do requerimento para Licença de Execução da obra?

4.7.2 Uma Reflexão sobre a Eficácia do Processo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos

Seria a Outorga de Uso das Águas Subterrâneas um instrumento importante para a gestão desse recurso? A resposta é, sem dúvida, afirmativa. Afinal, no processo de requerimento, exige-se que o interessado apresente a vazão de exploração, o regime de bombeamento e, conseqüentemente, a demanda diária para atender às suas necessidades.

Além disso, apresentam-se os dados técnico-construtivos do poço; sua localização; o equipamento de bombeamento utilizado; o fluxograma de utilização da água, mostrando-se o consumo e as perdas; o teste de bombeamento etc.

E a veracidade dessas informações, como garanti-la? Deve-se lembrar que estamos tratando dos mananciais subterrâneos, maior potencial de água doce potável disponível, recurso esse – vital, finito e vulnerável.

Preenchem-se os formulários, recolhe-se a ART, confecciona-se o RAE, apresentam-se as análises físico-química e bacteriológica, pagam-se as taxas e tudo se faz por resolvido. E a fiscalização?

Talvez a questão mais importante seja outra – a Licença de Execução do Poço. Se o poço foi perfurado sem a devida licença, o órgão gestor não o tem cadastrado e fica alheia a sua existência; se ele não existe para o órgão gestor, soma-se uma quantidade de água explorada que não é computada nos cálculos do balanço hídrico. Como definir parâmetros para preservação do aquífero, se nem é sabida a quantidade de água dele explorada? Se o órgão gestor desconhece a existência do poço, quem vai exigir de seu proprietário a Outorga para utilização desse recurso?

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Sorocaba é um município em franco desenvolvimento, que, a exemplo de outras cidades, vem intensificando o uso de águas subterrâneas, para atender à demanda dos mais variados segmentos. Nesse sentido, tornam-se importantes estudos que visam a subsidiar o órgão gestor, nas tomadas de decisões.

Entende-se que o presente trabalho cumpre a função de auxiliar tanto o órgão gestor dos recursos hídricos subterrâneos (DAEE), no tocante à disciplina da exploração, quanto ao Serviço Autônomo de Águas e Esgoto (SAAE), quando da locação e elaboração de projetos de poços tubulares profundos. Além disso, empresas de perfuração, que prezam pela qualidade do serviço e respeito aos mananciais subterrâneos e aos seus clientes, podem utilizar-se do presente trabalho.

Durante a compilação de dados junto ao DAEE, observou-se que a maioria dos relatórios técnicos cedidos pelas empresas de perfuração não contempla grande parte das informações necessárias para o entendimento das unidades aquíferas exploradas e tão pouco a para caracterização técnico-constructiva dos poços tubulares profundos. Verificaram-se, também, informações incoerentes – por vezes absurdas – mostrando a deficiência técnica de várias empresas de perfuração. Dessa forma, primeiramente, cadastraram-se 350 poços tubulares profundos, reduzindo-se esse número a 130, após avaliação da sua confiabilidade.

Com relação à produtividade dos poços cadastrados, observou-se melhor média de vazão para os poços que captam água do Aquífero Cristalino, seguidos dos poços mistos e, em terceiro lugar, dos poços que captam água do Aquífero Tubarão. Por outro lado, analisando-se a vazão específica, notaram-se melhores resultados no Aquífero Tubarão, seguido do Aquífero Cristalino e, por último, dos poços mistos. Sugere-se que isso ocorra em virtude da maior capacidade de recuperação do Aquífero Tubarão.

Deixa-se clara a importância do uso de critérios geológicos para locação e instalação dos poços tubulares profundos, conforme comparação feita entre a produtividade dos poços locados com e sem critérios geológicos apropriados. Ainda com relação à produtividade dos poços, a pesquisa analisou-os em função dos condicionantes geológicos e geomorfológicos, obtendo-se o seguinte: os poços locados junto aos lineamentos de drenagem apresentaram melhores resultados, em comparação àqueles encontrados mais afastados dessas estruturas; com relação à direção desses lineamentos, para o Aquífero Cristalino, observaram-se melhores resultados nos lineamentos de drenagem com direção NW, transversais à

xistosidade. Nesse aspecto, para o Aquífero Tubarão, não se definiu uma direção preferencial, entendendo-se como principal fator de influência a maior ou menor quantidade de corpos arenosos atravessados e as interconexões entre os mesmos.

Tratando-se do comportamento do nível estático, constatou-se que suas maiores profundidades estão na porção central da área de estudo e no SW do Município de Sorocaba. Com relação à movimentação da água subterrânea, no Aquífero Tubarão, tem-se fluxo preferencial de NW para SE e para porção central, secundariamente, tem-se fluxo de N para NE e de SW para porção central. Observou-se, também, que o fluxo da água subterrânea acompanha a topografia. Concluiu-se como sendo a principal área de recarga do Aquífero Tubarão a porção N e NW do Município de Sorocaba.

Com relação ao Embasamento Cristalino, observou-se que mergulha preferencialmente para NW do município, sendo fator determinante da espessura do Aquífero Tubarão, que se torna mais espesso com a menor cota do embasamento, ou seja, na porção NW.

Na análise dos aspectos técnico-construtivos, percebeu-se a falta de importantes informações, nos relatórios técnicos, o que dificultou a discussão sobre esse tema. De qualquer forma, entende-se como indispensável o uso de critérios geológicos, no sentido de otimizar a produção dos poços e promover a proteção dos aquíferos, frente à percolação de contaminantes, no subsolo.

De acordo com os poços cadastrados, o principal usuário, em quantidade de poços, é a indústria, porém, em quantidade de água explorada, têm-se como principais consumidores o setor público e a agricultura.

Procurou-se deflagrar, na comunidade envolvida com os recursos hídricos subterrâneos, o ímpeto pela reflexão. Com esse objetivo, questionaram-se dois importantes instrumentos de gestão – a “Licença para Execução de Poços Tubulares Profundos” e a “Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos”. Entende-se que existem diversos pontos falhos, que só serão sanados mediante discussão e comprometimento pela idoneidade, pelo bom senso e pelo respeito aos recursos hídricos.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, uma campanha para se aferir a profundidade real do nível de água. Sabe-se que, anualmente, rebaixa-se o nível estático, devido ao aumento da exploração, e, por esse motivo, torna-se dificultada a geração de mapas que retratem o fluxo da água subterrânea. Para tanto, faz-se necessária a interrupção do bombeamento dos poços, a fim de que o aquífero possa recuperar o seu nível, para posterior medida da profundidade.

Sugere-se, também, uma melhor caracterização dos usos das águas subterrâneas, de seus volumes explorados e do regime de bombeamento dos poços tubulares, servindo como auxílio no cálculo da disponibilidade hídrica no município.

Com relação ao órgão gestor, sugere-se sua atuação junto às companhias perfuradoras, de forma a disciplinar a perfuração de poços. Nesse sentido, recomenda-se que o órgão gestor exija que todas as sondas perfuratrices das empresas possuam horímetro lacrado, de modo a conseguir ter o controle sobre os serviços executados por elas.

Além disso, como não poderia deixar de ser, propõe-se a atuação junto ao ensino fundamental e ensino médio, com o objetivo de informar e, conseqüentemente, propiciar a conscientização das pessoas sobre a importância da preservação das águas.

Prevê-se o encaminhamento da presente pesquisa à Prefeitura Municipal de Sorocaba, ao DAEE e ao SAEE, visando à disseminação de seus resultados e possíveis discussões, que venham a contribuir com a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, no município de Sorocaba.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. de. 1974. Fundamentos geológicos do relevo paulista. USP - Instituto de Geografia, São Paulo. 102p.
- ANDRADE, S.M. de. & SOARES, P.C. 1971. Geologia de semi-detalle do centro-leste de São Paulo. Relatório Petrobrás – DESUL, (407).
- BAGGIO, S. B. (1997). Água Subterrânea em Joinville – SC, Avaliação Hidrogeológica do Aquífero Fraturado. Dissertação de Mestrado, IG-USP. 90p.
- BATISTA, J.J.; SIMÕES, L.S. A.; OLIVEIRA, M.A.F de.; SOUZA FILHO, E.E. de. 1986. Carta Geológica do Estado de São Paulo em 1:50.000. Folha Jundiaí, Relatório Final, SICCTC-UNESP. Inédito. 113p.
- BERGMANN, M. 1988. Caracterização estratigráfica e estrutural da seqüência vulcano-sedimentar do Grupo São Roque, região de Pirapora do Bom Jesus (SP). São Paulo, 164p. (Dissertação de Mestrado), IG-USP).
- BRAGA, A. C. O. 1999. Métodos de prospecção em Hidrogeologia. Apostila do Curso de Graduação em Geologia. Disciplina optativa. 66p.
- CAETANO-CHANG, M.R. 1984. Análise Ambiental e Estratigráfica do Subgrupo Itararé (PC) no Sudoeste do Estado de São Paulo. São Paulo, 30-9p. (Tese de Doutorado, IG-USP).
- CALDEIRA, M. R. 2003. Estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do sistema aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil. Dissertação de Doutorado, IGCE-UNESP/Rio Claro, 212p.
- CAMPOS NETO, M.C; BERGMANN. M.; SIGA JR., O.; FIGUEIREDO, M.C.H. 1990. Geologia da Folha Pilar do Sul, 1:25.000. Relatório IG-USP/PROMONÉRIO (inédito), v.1, Geologia, 161p.
- CESTEB. 1997. Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo. 106p.

CETESB, 1978. Água subterrânea e poços tubulares; tradução da primeira edição do original norte-americano publicado pela JOHNSON Division, UOP, Inc., Daint Paul, Minnessota. 3ed. rev. São Paulo, CETESB, 1978.

CETESB, 1988. Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água. São Paulo. 150p.

COTTAS, L.R.; FIORI, A.P.; LANDIM, P.M.B. 1981. Divisão faciológica do Subgrupo Itararé e da Formação Aquidauana no nordeste do Estado de São Paulo. In: Simp. Reg. De Geologia, 3, Curitiba, 1981. Atas...Curitiba, SBG, v.2, p.103-115.

COUTINHO, J.M.V. 1972. Petrologia do Pré-Cambriano em São Paulo e arredores. São Paulo, SP. Bol. IG-USP, (1): 5-99.

COUTINHO, J.M.V. 1980. Relações litológicas e estruturais da Bacia de São Paulo com o Pré-Cambriano circunvizinho. In: Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo. (Mesa Redonda), São Paulo, 1980. ABGE/SBG-NSP, Publicação Especial, p. 15-23.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE). 1979. Mapeamento faciológico do Supergrupo Tubarão. São Paulo, DAEE/UNESP, mapas geológicos na escala 1:50.000.

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. 1997. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza, CPRM/LABHID-UFPE. 258p.

FENZL, N. 1988. Introdução à Hidrogeoquímica. Blem: Universidade Federal do Pará. 188p.

FERNANDES DA SILVA, P.C. 1997. Ambientes de Sedimentação e Tectônica do Grupo São Roque na Região entre Pilar do Sul e Votorantim, SP. São Paulo, 127p. (Dissertação de Mestrado, IG/USP).

FRANÇA, A.B. & POTTER, P. E. 1988. Estratigrafia, ambiente deposicional e Análise de reservatório do Grupo Itararé (Permo-Carbonífero), Bacia do Paraná (parte 1). Bol. De Geociência da Petrobrás. 2: 147-191.

FRANÇA, A.B. 1987. Stratigraphy, deposicional environment, and reservoir analysis of the Itararé Group (Permo-Carboniferous), Paraná Basin-Brazil. Cincinatti, 188p. (PHD Thesis, University of Cincinatti, USA).

FULFARO, V.J.; GAMA JR., E.G. & SOARES, P.C. 1980. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. PAULIPETRO, Rel. BP.008/80.

GAMA JR., E.G.; CAETANO, M.R. & WEYLER, G. 1980. Divisão faciológica do Grupo Itararé no centro-leste do Estado de São Paulo. In: Congr. Bras. Geol. XXXI, Camboriu, SC. Bol. De Resumos. Camboriu, SBG, v.2, p.365.

GAMA, JR., E. G.; BANDEIRA JR., A. N. & FRANÇA, A. B. 1982. Distribuição espacial e temporal das unidades litoestratigráficas paleozóicas na parte central da Bacia do Paraná. Rev. Bras. Geoc. V. 12, p. 19-40.

GARDUÑO. H., ARREGUIN-CORTES, F. 1994. Efficiente water use. Montividéo: UNESCO/ROSTLAC. 379p.

GODOY, A.M. 1989. Caracterização Faciológica, Petrográfica e Geoquímica dos Maciços Sorocaba e São Francisco, SP. São Paulo, 220p. (Tese de Doutorado, IG-USP).

GRANZIERA, M. L. M. 1993. Direito de águas e meio ambiente. Aspectos juridico-ambientais do uso, gerenciamento e da proteção dos recursos hídricos. O aproveitamento múltiplo de recursos hídricos internacionais compartilhados. São Paulo. 136p.

HACKSPACHER, P.C.; GODOY, A.M.; OLIVEIRA, M.A.F. 1993. Evolução crustal do Bloco São Roque na região sudeste do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, 23(3):260-264.

HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. 1976. Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geol.*, São Paulo, 6(3):180-200.

HASUI, Y. 1973. Tectônica da área das folhas São Roque e Pilar do Sul. São Paulo, 190p. (Tese de Livre Docência, IG-USP).

HASUI, Y. 1975a. Evolução polifásica do Pré-Cambriano oeste da capital paulista. Bol. IG-USP. 6:95-107.

HASUI, Y. 1975b. Geologia da Folha São Roque. Bol. IG-USP. 6:157-183.

HASUI, Y.; PENALVA,F.; HENNIES, W.T. 1969. Geologia do Grupo São Roque. In: Congr. Bras. Geol., 23, Salvador, Anais...Salvador, SBG, v.1, p.101-134.

HASUI, Y.; TOGNON, A.A.; SOARES, S.M. 1978. Geologia e tectônica da Serra do Japi. Bol. IG-USP, 9:17-24.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1.500.000. SICCR-PROMINÉRIO/IPT. São Paulo. IPT.2v.

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG/SMA). 1990a. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Sorocaba (SP). São Paulo. IG/SMA. 2v. (Relatório Técnico).

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG/SMA). 1990b. Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos: ocorrência e exploração. Folha de Salto de Pirapora – SP. Escala 1:50.000. São Paulo. IG/SMA, 96p. (Relatório Técnico).

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG/SMA). 1991. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Itu (SP). São Paulo. IG/SMA, 3v. (Relatório Técnico).

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG/SMA). 1993. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Campinas (SP). São Paulo. IG/SMA, v.3. (Relatório Técnico).

JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P.; SCHORCHER, H.D. 1986. Petrogênese do vulcanismo e aspectos metalogenéticos associados: Grupo Serra do Itaberada na região de São Roque, SP. In: Congr. Bras. Geol., 34, Goiânia, SBG. Anais. Goiânia, SBG. Vol.2, p.730-749.

LANDIM, P.M.B. 1973. Contribuição ao estudo dos mistitos do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. In: ESC. ENG. SÃO CARLOS, Geologia. São Carlos, USP, p. 1-98 (Boletim Geologia n°17).

LANDIM, P.M.B.; SOARES, P.C.; GAMA JR., E.G. 1980. Estratigrafia do nordeste da bacia sedimentar do Paraná. Curso de especialização (convênio IPT-UNESP). Inst. Geoc. Ciênc. Exatas, UNESP/Rio Claro, 69p.

LOPES, M. F.C. 1994. Condições de ocorrência de água subterrânea nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari. São Paulo, 83p. (Dissertação de Mestrado UNICAMP).

MANIAKAS, S. 1986. Estudos geofísicos integrados à geologia da bacia hidrográfica do baixo rio Capivari-SP (Subgrupo Itararé e intrusivas associadas). São Paulo, 180p. (Tese de Doutorado), IG-USP).

MODENESI, M. C. 1974. Dissertação de Mestrado, USP - Instituto de Geografia, São Paulo. 99p.

ODA, G. H., 1998. Contribuição à hidrogeologia da região entre Salto de Pirapora e Itu (SP): análise da produtividade, ocorrência e circulação das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Tubarão e Cristalino. Dissertação de Mestrado – IG/USP. 100p.

PERINOTTO, J.A.J. 1897. Análise estratigráfica da seqüência portadora de carvão na região de Cerquilha 9SP). São Paulo. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).

REBOUÇAS, A. C. 1996. Diagnóstico do setor hidrogeologia. [s.l]: Ass. Bras. Águas Subt. /ABAS/PADCT (inédito), 1996.

ROCHA-CAMPOS, A.C. 1967. The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. In: Bigarella, J.J.; Becker, R.D.; Pinto, J.D. ed. Problems in Brazilian Gondwana Geology – Brazilian contribution to the I International Symposium on the Gondwana Stratigraphy and Paleontology. Curitiba, Brasil, p. 119-166.

SAAD, A.R. 1977. Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro e sul do Estado de São Paulo. São Paulo, 107 p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).

SANTORO, E. 1984. Geologia da Folha de Cabreúva, SP. São Paulo, 114p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).

SANTOS, E. A. 1952. A Geomorfologia da região de Sorocaba e alguns dos seus problemas. Bol. Paul. Geogr., São Paulo, **12**: 3-29.

SANTOS, P.R. dos. 1987. Fácies e Evolução paleogeográfica do Subgrupo Itararé/Grupo Aquidauana (Neopaleozóico), na Bacia do Paraná, Brasil. São Paulo, v.2 (Tese de Doutorado, IG-USP).

SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H. ; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congr. Bras. Geol., 28, Porto Alegre, 1974. Anais...Porto Alegre, SBG, v.1, p.41-65.

SOARES, P. C. 1972. O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. An. Acad. Rãs. Ciênc., v 44 (Suplemento), p. 333-342.

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; SINELLI, O.; WERNICK, E.; FU-TAI, W.; FIORI, A.P. 1977. Associações litológicas do Subgrupo Itararé e sua interpretação ambiental. Rev. Bras. Geoc., 7(2): 131-149.

SOLLEY, W. B., PIERCE, R. R., PERLMAN, H. A. 1993. Estimated use of water in the United States in 1990. U. S., Geol. Survey, circular 1081.

SOUZA FILHO, E.E. de. 1986. Mapeamento faciológico do Subgrupo Itararé na quadrícula de Campinas. 121p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).

STEIN, D.P. 1984. Esboço da evolução geológica pré-cambriana da Folha Pilar do Sul (SP). São Paulo, 148p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).

STEVAUX, J.C.; SOUZA FILHO, E.E. de; TEIXEIRA, J.A.; LANDIM, P.M.B. 1987. Sistemas deposicionais do Subgrupo Itararé na bacia hidrográfica do baixo rio Capivari, SP: um modelo para prospecção de água subterrânea. In: Simp. Reg. Geol. 6. São Paulo, 1987. Atas. São Paulo, SBG, v.1, p.355-374.

TASSINARI, C.G.C. 1988. A idade das Rochas e dos Eventos Metamórficos na Porção Sudeste do Estado de São Paulo e sua Evolução. São Paulo, 236p. (Tese de Doutorado, IG/USP).

TASSINARI, C.G.C.; KAWASHITA, K.; KIKUSHI. 1985. Estudo geocronológico nos metaconglomerados do Grupo São Roque, no Estado de São Paulo. In: Simp. Reg. Geol., 5. São Paulo, 1985. Atas...São Paulo, SBG/NSP. V.1, p. 201-208.

TUCCI, C. E. M. 2000. Hidrologia: Ciência e Aplicação. ABRH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

UNESCO. 1992. Ground Water. Paris.

Anexos

Anexo I

Exemplo de Preenchimento dos Formulários para
o Pedido de Licença de Perfuração de Poços
Tubulares (anexos III, IV e V do DAEE)

Requerimento de Outorga de Licença de Execução de Poço Tubular Profundo

Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE

1- DADOS CADASTRAIS DO USUÁRIO / REQUERENTE

ANEXO III

| | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|
| Nome / Razão Social : Baterias Dura Mais Ltda. | | |
| Nome de fantasia : Dura mais | | |
| CGC : 04.403.608/0001-01 | CPF: | RG: |
| CGC (unidade local) : | Atividade : | Fábrica de baterias |
| Endereço p/ correspondência : Rua Machado de Assis | | N.º : 12-23 |
| Bairro : Vila Universitária | Município : Bauru | CEP: 17040-042 |
| Caixa Postal : | Fone : (0xx14) 224-3755 | Fax : (0xx14) 224-3755 |

2 – CARACTERÍSTICAS DO LOCAL

| | | |
|--|--------------------------|----------------|
| 2.1 – Localização do empreendimento : | | |
| Endereço : Avenida Rodrigues Alves, 60-18 | | |
| Bairro / Distrito : Pq. Paulista | Município : Bauru | |
| Nome da propriedade : | | |
| Bacia hidrográfica : Tietê/Jacaré | UGRHI: 13 | |
| Coordenadas UTM: Km N 7.530,52 | Km E 704,40 | MC : 51 |

Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Sorocaba – SP: Uma Contribuição

Requeiro por este instrumento, a outorga de licença de execução de perfuração de poço tubular profundo, conforme características descritas neste requerimento, de acordo com o que estabelecem as Leis Estaduais 7.663, de 30/12/91 e 6.134, de 02/06/88, e seus regulamentos.

Termos em que,
P. Deferimento

Bauru, _____ de _____ de _____

Assinatura Proprietário / Requerente

Nome : Baterias Dura Mais Ltda.
CNPJ: 04.403.608/0001-01 RG:

Assinatura Responsável Técnico

Nome: Vinícius Rosa Rodrigues
CREA : 5061481407/D

DOCUMENTOS ANEXOS A ESTE REQUERIMENTO :

Obs. : Preenchimento exclusivo do DAEE

- Projeto de perfuração de poço tubular profundo (duas vias).
- Avaliação hidrogeológica (duas vias)
- Cópia do RG / CPF (para pessoa Física), ou cartão do CGC (para pessoa Jurídica).
- Cópia da ART do responsável técnico do projeto
- Comprovante de pagamento da taxa de licença de execução de poço tubular profundo

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA PRELIMINAR

Município:

Bauru-SP

Geologia:

Geologicamente, a cidade de Bauru está assentada diretamente no Grupo Bauru, no flanco nordeste do “horst” de Piratininga, responsável pelo afloramento de rochas Permianas da Formação Estrada Nova, na vizinha cidade de Piratininga.

A coluna estratigráfica mesozóica da área compreende, da base para o topo: Formação Pirambóia, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e o Grupo Bauru (Formações Marília e Adamantina). O objetivo é a perfuração de 4 poços para monitorar uma possível contaminação da água do lençol freático.

Aquífero (s):

No município de Bauru pode-se considerar o aquífero representado pela Formação Pirambóia, que ocorre em subsuperfície em toda a área, assentada diretamente no Membro Terezinha. Sua espessura varia (na área urbana) de 60 a 200 metros, ficando adelgada no sentido sudoeste. O contato superior pode ser com a Formação Botucatu de maneira transicional ou com o Grupo Bauru de modo discordante.

Outro excelente aquífero é o representado pela Formação Botucatu, ocorrendo um pacote de arenitos avermelhados finos à médios, bem selecionados de origem eólica. Apresenta espessura máxima constatada de 114 metros na parte nordeste da cidade, adelgando-se para sudoeste até desaparecer completamente.

O aquífero fissural representado pela Formação Serra Geral é constituído por derrames de lavas basálticas, estando presente apenas na faixa Nordeste da cidade, adelgando-se para Sudoeste.

E, por último, o aquífero granular representado pelas Formações Adamantina e Marília (Grupo Bauru), recobre todas as formações mesozóicas referidas, através de uma discordância erosiva e provavelmente angular. Apresenta espessura máxima nos pontos de cota topográfica mais elevada (200 metros de espessura) e mínima nos pontos topograficamente mais baixos (40 metros).

Possibilidade (s) de Captação de Águas Subterrâneas:

No local em questão, objetiva-se, através da perfuração de 1 poço tubular profundo a captação de água do Aquífero Bauru.

Parecer:

No local em questão, é viável a perfuração de 1 poço tubular profundo com 100 metros de profundidade para atender a demanda do empreendimento, situada em torno de 4m³/h.

Execução hidrogeológica: Geólogo Vinícius Rosa Rodrigues

Data: 23/06/2002

**PROJETO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS CONSTRUTIVAS****1 DADOS**

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Município: Bauru-SP | Distrito: Interlagos |
| Interessado: Baterias Dura Mais Ltda | Tipo de Poço: Tubular profundo |
| Ponto de Perfuração: Ver croqui anexo | Cota (m): |

2 ELEMENTOS DE PROJETO : Previsão

| PERFIL GEOLÓGICO | | | | | | |
|------------------|-------|--|------------------|--------------------|--------------|-------------|
| de (m) | a (m) | Formação | Aquífero Captado | Nível Estático (m) | Vazão (m³/h) | Rebaix. (m) |
| 0,00 | 6,00 | Solo | - | - | - | - |
| 6,00 | 100,0 | Grupo Bauru – (Fm. Marília e Adamantina) | Bauru | 15 | 5 | 18 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

3 ESPECIFICAÇÕES

| Capacidade do equipamento (m): 350 | | | Profundidade a ser perfurada (m): 100,00 | | |
|------------------------------------|--------|----------------------|--|-----------|-----------|
| Perfuração: | | | | | |
| de (m) | a (m) | Método de Perfuração | Diam (pol) | Diam (mm) | Litologia |
| 0,00 | 6,00 | rotativo | 14 ¾" | 374,65 | Solo |
| 6,00 | 100,00 | rotativo | 12 ¼" | 311,5 | Arenito |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

AMOSTRAGEM DURANTE A PERFURAÇÃO

| | | |
|--------------------|------------------|----------------------------|
| Material Perfurado | Intervalo | Análises a serem efetuadas |
| Solo/arenito | A cada 02 metros | Litológicas |
| Água de Formação | Intervalo | Análises a serem efetuadas |
| Não | | |

PERFILAGEM ELÉTRICA

| de (m) | a (m) | Perfil |
|--------|-------|--------|
| | | |
| | | |

TESTES PRELIMINARES DE BOMBEAMENTO

| Profundidade do Poço (m) | Situação do Poço | Sistema de Bombeamento | Duração (hora) | Observações |
|--------------------------|------------------|------------------------|----------------|-------------|
| | | | | |
| | | | | |

REVESTIMENTO - TUBOS LISOS

| Tipo de Material | Tipo de União | Esp. (pol) | Esp. (mm) | Diam. (pol) | Diam. (mm) | Comprimento (m) |
|------------------|---------------|------------|-----------|-------------|------------|-----------------|
| Tubo Geomecânico | rosca | | | 6 | 152 | 70,00 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

REVESTIMENTO – FILTROS

| Tipo de Material | Tipo de União | % de Área Aberta | Diam. (pol) | Diam. (mm) | Comprimento (m) |
|--|---------------|------------------|-------------|------------|-----------------|
| Filtro Geomecânico com ranhuras de 2mm | rosca | | 6 | 152 | 30,00 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

PRÉ – FILTRO

| Granulometria | Tipo | Volume (ton) | Método de Injeção |
|---------------|--------|--------------|-------------------|
| 3,0 a 4,0 | Pérola | 1,13 | Contra-fluxo |
| | | | |

DESENVOLVIMENTO

| Método | Tipo de Equipamento | Produtos Químicos | Duração (horas) | Observações |
|----------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-------------|
| Ar comprimido | Compressor de 250 psi | Polifosfato | 12 | |
| Bomba Submersa | | | 4 | |
| | | | | |

TESTES DE BOMBEAMENTO

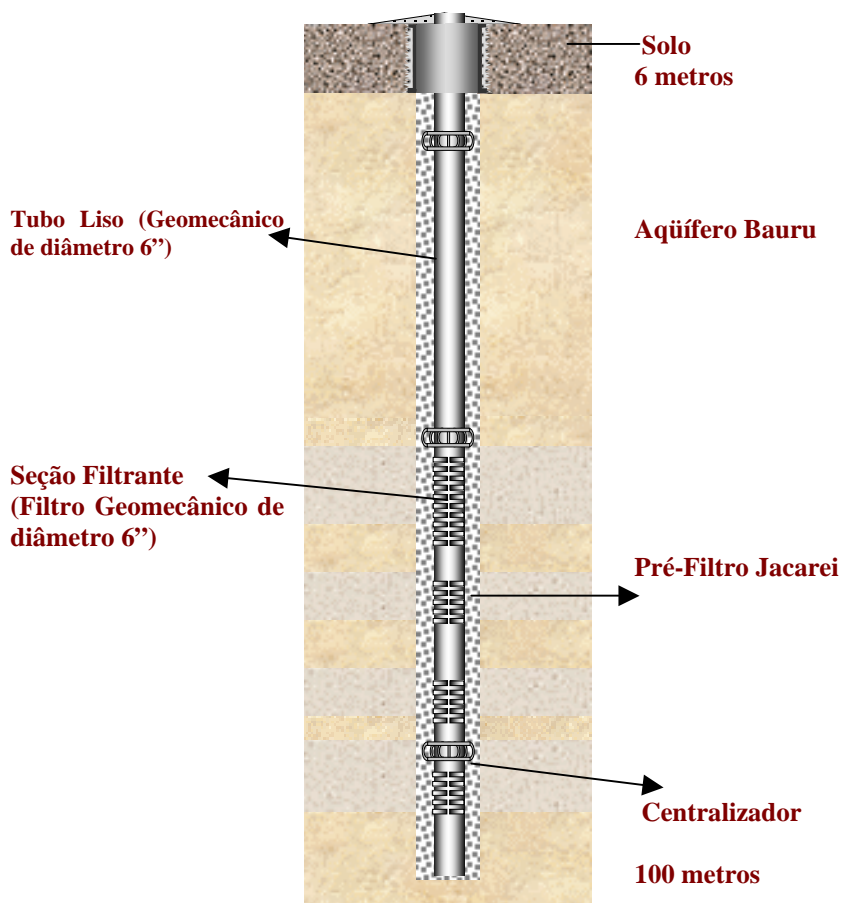
| Tipo de Teste | Tipo de Equipamento | Duração (horas) | Produtos Químicos |
|---------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| Vazão Máxima | Bomba Submersa | 24 | |
| Escalonado | Bomba Sumersa | 12 | |
| | | | |

CIMENTAÇÃO

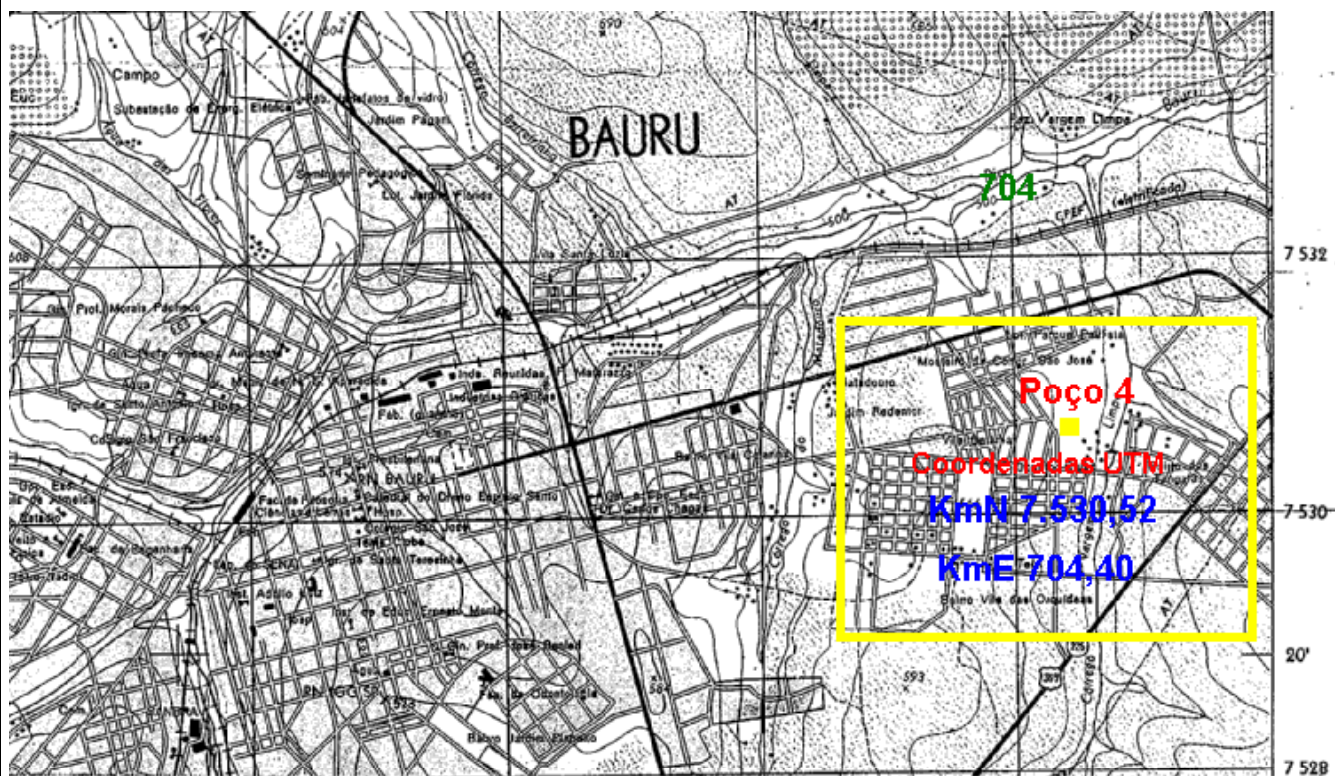
| Intervalo (m) | Espaço anular (pol) | Volume (m³) | Método de Injeção |
|---------------|---------------------|-------------|-------------------|
| 0,0 a 6,0 | | 0,70 | gravidade |
| | | | |

ACABAMENTO

| | |
|---|---|
| Limpeza: conforme norma. | Laje de Proteção Sanitária: 1,0 x 1,0 x 0,15 m |
| Desinfecção: hipoclorito de sódio. | Tampa: conforme norma. |



INDICAÇÃO DO PONTO DE PERFURAÇÃO



| | |
|------------------------|-------------|
| COORDENADAS UTM | NS 7.530,52 |
| | EW 704,40 |

- LEGENDA**
- - Ponto de Perfuração
 - + - Poços Existentes na Área
- Referência.: IBGE. 1:50.000 / Nomenclatura: SF-22-Z-B-I-4 Bauru / Articulação 214

CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

A firma deverá indicar o nome do responsável técnico devidamente habilitado perante o CREA e que deverá acompanhar as seguintes etapas: perfuração, cimentações, descrição das amostras de calha, dimensionamento e instalação da coluna de revestimento, execução e interpretação do teste de bombeamento.

Os tanques de perfuração deverão ter no mínimo 40% do volume total do furo da perfuração.

As amostras serão colhidas a cada dois metros e acondicionadas em seqüência de visualização contínua durante a perfuração, após o que serão acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados

O poço deverá ser executado de acordo com a “Norma de Construção de Poços de Monitoramento”

O POÇO DEVERÁ SER EXECUTADO DE ACORDO COM A “NORMA DE CONSTRUÇÃO DE POÇOS TUBULARES PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DA ABNT”.

PROJETO HIDROGEOLÓGICO: Vinícius Rosa Rodrigues

HABILITAÇÃO: Geólogo

CREA Nº:5061481407

LOCAL: Bauru – SP

ASSINATURA:

DATA: 23/06/02

Anexo II

Exemplo de Preenchimento do Formulário de
Requerimento de Outorga de Uso de
Recursos Hídricos (Anexos VI do DAEE)

**Requerimento de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos
Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE**

Tipo: **Captação de Água Subterrânea**

**1 - DADOS CADASTRAIS DO USUÁRIO/REQUERENTE
ANEXO VI**

| | | |
|--|-------------------------------------|-----------------|
| Nome/Razão Social: USP – Universidade de São Paulo | | |
| Nome de Fantasia: | | |
| CGC: 63.025.530/0088-65 | CPF: | RG: |
| CGC (Unidade local): | Atividade: Ensino e Pesquisa | |
| Endereço p/ correspondência: Alameda Dr. Octavio Pinheiro Brisola | | Nº: 9-75 |
| Bairro: | Município: Bauru | CEP: |
| Caixa Postal: | Fone: | Fax: |

2 - CARACTERÍSTICAS DO USO

Nova Regularização Desativação Renovação

| | | | |
|---|--|---|--|
| 2.1 - Localização do Empreendimento: | | | |
| Endereço: Alameda Dr. Octávio Pinheiro Brisola, 9-75 | | | |
| Bairro/Distrito: | | Município: Bauru – SP | |
| Nome da propriedade: Universidade de São Paulo | | | |
| 2.2 - Dados da Captação: | | | |
| Aquífero principal a ser explorado: Sedimentar (Aquífero Guarani) | | | |
| Bacia Hidrográfica: Tietê/Jacaré | | UGHRI: 13 | |
| Coordenadas UTM: Km N 7.528,63 | | Km E 699,92 MC: 51 | |
| Finalidade da obra: Captação | | | |
| Tipo de obra: Poço tubular profundo - exploração | | | |
| Uso da água: doméstico/sanitário | | | |
| Profundidade do poço (m): 220 | | Nível dinâmico (m): 147,38 Nível estático (m): 135,64 | |
| 2.2.1 - Valores Atuais: | | | |
| Vazão atual de exploração (m³/h): 9,00 | | Período atual de bombeamento (h/dia): 18 | |
| 2.2.2 - Valores futuros: previsão para <input checked="" type="checkbox"/> 5 anos <input type="checkbox"/> 10 anos | | | |
| Vazão máxima a ser captada (m³/h): 9,00 | | Período (h/dia): 18 Período (dia/mês): 30 | |
| Vazão média diária a ser captada (m³/h): 163 m³/dia | | Período (dia/mês): 30 | |
| 2.3 - Dispositivos Especiais Instalados para: | | | |
| Medição de vazão (m³/h): | | Tipo: Não tem | |
| Medição de nível de água | | Tipo: Não tem | |
| Registro do volume diário de água extraído | | Tipo: Não Tem | |

Requeiro por este instrumento a outorga de direito de uso de recursos hídricos e Licença de Operação, conforme características descritas neste requerimento, de acordo com o que estabelecem as **Leis Estaduais 7.663, de 30/12/91 e 6.134, de 02/06/88**, e seus regulamentos.

Termos em que,
P. Deferimento,

Bauru, 20 de agosto de

2002

Assinatura Proprietário / Requerente:
Nome: José Fernando Castanha Henriques
CPF: 06439182587-2 RG:4.378.533

DOCUMENTOS ANEXOS A ESTE REQUERIMENTO (duas vias)

OBS: Preenchimento exclusivo do DAEE

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Análise físico-química atual da água do poço. | <input type="checkbox"/> Comprovante de pagamento da taxa de captação da água subterrânea. |
| <input type="checkbox"/> Relatório final de execução do poço. | <input type="checkbox"/> Cópia da ART da obra relativa ao uso do recurso hídrico pretendido. |
| <input type="checkbox"/> Cópia do RG/CPF (pessoa física) ou cartão do CGC (pessoa jurídica). | <input type="checkbox"/> Cópia da licença de execução |
| <input type="checkbox"/> Relatório de avaliação de eficiência do uso da água. | <input type="checkbox"/> |

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - SIDA

FICHA DE CADASTRO DE POÇOS

ANEXO VII
1/5

I - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

| | | | |
|--|---|---|---|
| UGRHI: <input type="text" value="13"/> | Folha topográfica: <input type="text"/> | Folha topográfica: <input type="text" value="212"/> | N.º poço DAEE <input type="text"/> |
| | 1:10.000 | 1:50.000 | |
| Município: | <input type="text" value="Bauru"/> | | |
| Bairro / Distrito: | <input type="text"/> | CGC / CPF | <input type="text" value="63025530/0088-65"/> |
| Endereço: | <input type="text" value="Alameda Dr. Octávio Pinheiro Brisola, 9-75"/> | | |
| Proprietário: | <input type="text" value="USP - Universidade de São Paulo"/> | N.º poço local | <input type="text" value="P - 02"/> |
| Projetista: | <input type="text" value="Vinícius Rosa Rodrigues"/> | Data constr. | <input type="text" value="02/04/2002"/> |
| Coordenadas: | N/S <input type="text" value="7.528,63"/> | E/O <input type="text" value="699,92"/> | MC <input type="text" value="51"/> Cota (m) <input type="text" value="535,00"/> |
| Cia. Perfurad.: | <input type="text" value="Hidrogeo Perfurações Ltda"/> | | Código <input type="text"/> |
| Tipo de poço | <input type="text" value="1"/> 1. Tubular 2. Escavado / Cisternana / Cacimba 3. Ponteira 4. Outro | | |
| Finalidade da perf. | <input type="text" value="1"/> 1. Exploração de água 2. Explor. de petróleo 3. Piezômetro 4. Recarga de aquífero 5. Outro | | |
| Uso da água | <input type="text" value="3"/> 1. Abastecimento público 2. Industrial / Sanitário 3. Doméstico 4. Recreação 5. Irrigação 6. Criação animal 7. Industrial / Processo 8. Não utilizada 9. Outro | | |
| Estado do poço | <input type="text" value="1"/> 1. Equipado 2. Abandonado 3. Não equip. utilizável 4. Soterrado 5. Jorrante equipado 6. Outro | | |
| Aquífero Explorado | <input type="text" value="Guarani"/> | | Código <input type="text"/> |

II - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

| Poço | Drenos | | Galerias | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Profundidade | Comprimento | Largura | Comprimento | Largura | | |
| <input type="text" value="220,00"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | |
| DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO | | | | | | |
| De (m) | A (m) | Diâm. (mm) | Diâm. (pol.) | Método | Fluído | Fluido |
| <input type="text" value="0,00"/> | <input type="text" value="12,00"/> | <input type="text"/> | <input <="" td="" type="text" value="17 1/2"/> <td><input type="text" value="1"/></td> <td><input type="text" value="2"/></td> <td>1 - Água</td> | <input type="text" value="1"/> | <input type="text" value="2"/> | 1 - Água |
| <input type="text" value="12,00"/> | <input type="text" value="220,00"/> | <input type="text" value="254,00"/> | <input type="text" value="10"/> | <input type="text" value="1"/> | <input type="text" value="2"/> | 2 - Bentonita |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 3 - Polimeros |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 4 - Misto |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | Método |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 1 - Rotativo direto |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 2 - Rotativo reverso |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 3 - Percussão |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 4- Roto percussão |
| TUBO DE BOCA | | | | | | |
| Profundidade (m) | <input type="text" value="14,00"/> | Diâmetro (mm) | <input type="text" value="355,60"/> | Espessura (mm) | <input type="text" value="6,35"/> | |

II.1 - REVESTIMENTO (TUBO LISO)

| De (m) | A (m) | Diâm. (mm) | Diâm. (pol.) | Material | Código do material |
|--------|--------|------------|--------------|----------|--------------------|
| + 0,50 | 125,00 | 152,40 | 6 | 3 | 1 - Aço preto |
| 130,00 | 134,00 | 152,40 | 6 | 3 | 2 - Aço inox |
| 138,00 | 142,00 | 152,40 | 6 | 3 | 3 - PVC |
| 161,00 | 165,00 | 152,40 | 6 | 3 | 4 - Galvanizado |
| 173,00 | 193,00 | 152,40 | 6 | 3 | 5 - Outros |
| 213,00 | 220,00 | 152,40 | 6 | 3 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

II.2 - REVESTIMENTO (FILTRO)

| De (m) | A (m) | Diâm. (mm) | Diâm. (pol.) | Material | Código do material |
|--------|--------|------------|--------------|----------|------------------------|
| 125,00 | 130,00 | 152,40 | 6 | 3 | 1 - Espiralado galvan. |
| 134,00 | 138,00 | 152,40 | 6 | 3 | 2 - Espiralado inox |
| 142,00 | 161,00 | 152,40 | 6 | 3 | 3 - PVC |
| 165,00 | 173,00 | 152,40 | 6 | 3 | 4 - Estampado preto |
| 193,00 | 213,00 | 152,40 | 6 | 3 | 5 - Estampado galv. |
| | | | | | 6 - Tubo ranhurado |
| | | | | | 7 - Outros |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

II.3 - PRÉ-FILTRO

| Tipo | Granulometria (mm) | Volume (m³) |
|--|--------------------|-------------|
| 2 1 - Jacareí 2 - Pérola 3 - Pirambóia | 1,0 a 2,0 mm | 7,00 |

II.4 - CIMENTAÇÃO

| Prof. (m) | Traço: 1 - Calda 2 - Argamassa | Volume (m³) |
|-----------|----------------------------------|-------------|
| 12,00 | 1 | 0,66 |
| | | |
| | | |

II.5 - PERFILAGEM ELÉTRICA

| | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| Tipo | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 1-Raios gama 2-Potencial espont. 3-Resistência 4-Resistiv. 5-Calliper 6-Sônico 7-Densidade 8-Outros | | | | | | | | | |
| Empresa | <input type="text"/> | | | | | | | Código | <input type="text"/> |

III - PERFIL GEOLÓGICO

| De (m) | A (m) | |
|--------|--------|--|
| 0,00 | 22,00 | Solo areno-argiloso, coloração marrom claro avermelhado, granulometria fina à média |
| | | |
| 22,00 | 48,00 | Arenitos finos a médios, coloração marrom claro à róseo, cimento argiloso e carbonáticos; intercalado com siltitos avermelhados |
| 48,00 | 51,00 | Arenito calcífero, esbranquiçado, duro |
| | | |
| 51,00 | 71,00 | Arenito fino a médio, coloração marrom claro, argiloso, friável, com algumas intercalações de finas camadas e/ou lentes de siltito |
| | | |
| 71,00 | 80,00 | Arenitos finos a médios, coloração marrom claro a róseo, cimentos argiloso e carbonático; intercalados com siltitos avermelhados, duros |
| | | |
| 81,00 | 89,00 | Arenito fino à médio, coloração marrom claro, argiloso, friável; com alguma intercalação de finas camadas e/ou lentes de siltito |
| | | |
| 89,00 | 110,00 | Lamitos e siltitos avermelhados, com intercalação de arenitos lamíticos marrom claro avermelhados |
| | | |
| 110,00 | 118,00 | Lamitos avermelhados duros |
| | | |
| 118,00 | 149,00 | Arenito fino à médio, em parte grosseiro, coloração róseo esbranquiçada, quartzoso pouco argiloso, grãos subarredondados, friável, com intercalação de lamito e argilito |
| | | |
| 149,00 | 179,00 | Arenito médio a muito grosseiro, em parte fino, esbranquiçado, quartzoso, pouco argiloso, grãos subarredondados, friável, com intercalações frequentes de lamitos |
| | | |
| 179,00 | 193,00 | Diabásio são, algo alterado, coloração cinza à negra, maciço |
| | | |
| 193,00 | 220,00 | Arenito muito fino à médio, coloração róseo esbranquiçada, muito pouco argiloso, subarredondados, friável, muito permeável |
| | | |
| | | |
| | | |

IV - PERFIL ESTRATIGRÁFICO

| De (m) | A (m) | Grupo ou Formação | Código |
|--------|--------|-------------------------------|--------|
| 0,00 | 22,00 | Solo | |
| 22,00 | 118,00 | Grupo Bauru | |
| 118,00 | 220,00 | Formação Botucatu / Pirambóia | |
| | | | |
| | | | |

V - ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E BACTERIOLÓGICA

| | | | | | |
|------|----------------------|-------------|----------------------|--------|----------------------|
| Data | <input type="text"/> | Laboratório | <input type="text"/> | Código | <input type="text"/> |
|------|----------------------|-------------|----------------------|--------|----------------------|

VI - TESTE DE BOMBEAMENTO

Tipo de teste realizado:

| | | | |
|-------------------------------------|--------------|---------------------------------|-----------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Rebaixamento | <input type="text" value="24"/> | DURAÇÃO (Horas) |
| <input type="checkbox"/> | Recuperação | <input type="text"/> | DURAÇÃO (Horas) |
| <input type="checkbox"/> | Produção | <input type="text"/> | DURAÇÃO (Horas) |

VI.1 RESUMO DO TESTE

| | | | | | |
|----------------|-------------------------------------|--------------------|---------------|------------------------------------|-----|
| VAZÃO | <input type="text" value="22,90"/> | m ³ /h. | REBAIXAMENTO | <input type="text" value="11,74"/> | m. |
| NÍVEL ESTÁTICO | <input type="text" value="135,64"/> | m. | TEOR DE AREIA | <input type="text"/> | ppm |
| NÍVEL DINÂMICO | <input type="text" value="147,38"/> | m. | | | |

EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO UTILIZADO:

| | | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----|
| Profundidade de Instalação | <input type="text" value="162,00"/> | Potência | <input type="text" value="25"/> | HP |
|----------------------------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|----|

VI.2 INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE BOMBEAMENTO

| | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| VAZÃO ESPECÍFICA: | <input type="text" value="1,9506"/> | m ³ /h/m |
| REBAIXAMENTO ESPECÍFICO: | <input type="text" value="0,5127"/> | m/m ³ /h |
| PERDA DE CARGA DO AQUÍFERO (B): | <input type="text"/> | h/m ² |
| PERDA DE CARGA DO POÇO (C): | <input type="text"/> | h ² /m ⁵ |
| EFICIÊNCIA HIDRÁULICA: | <input type="text"/> | % |
| COEFICIENTE DE TRANSMISSIVIDADE: | <input type="text"/> | m ² /dia |
| COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO: | <input type="text"/> | sem dimensão |

VII - CONDIÇÃO DE EXPLORAÇÃO E FUNCIONAMENTO

| | | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|----------|---------------------------------|---------|---------------------------------|
| VAZÃO DE EXPLORAÇÃO | <input type="text" value="9,00"/> | | | | |
| NÍVEL DINÂMICO | <input type="text" value="144,00"/> | | | | |
| HORAS/DIA | <input type="text" value="18"/> | DIAS/MÊS | <input type="text" value="30"/> | MÊS/ANO | <input type="text" value="12"/> |

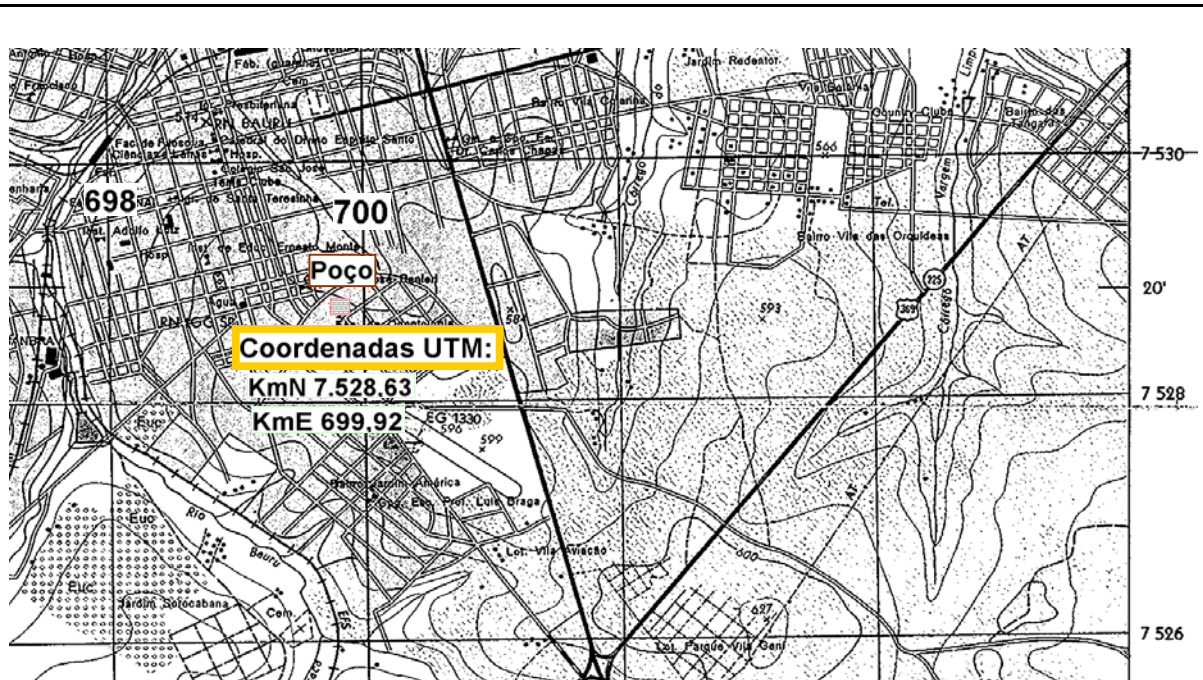
EQUIPAMENTO INSTALADO:

TIPO: 1 - BOMBA SUBMERSA 2 - EIXO (PROLONGADO) 3 - AIR LIFT 4 - OUTROS

MODELO: POTÊNCIA HP

PROFUNDIDADE DE INSTALAÇÃO m. DIÂMETRO DA BOMBA pol.

VIII - PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DO POÇO



O ponto de locação deverá ser marcado com o cruzamento das coord. UTM (NS/EW) com os seus respectivos valores

| Folha Topogr. nº | Nomenclatura | Ano | Escala |
|------------------|--------------|-----|----------|
| 212 | | | 1:50.000 |

Obs.: indicar poços vizinhos e a presença nas proximidades de fontes de poluição reais e potenciais.

Responsável pelas informações:

Nome / cargo / função: **Vinicius Rosa Rodrigues**

Local: **Bauru - SP**

Data: **4 agosto, 2002**

DOCUMENTOS ANEXOS

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Perfilagem elétrica | <input checked="" type="checkbox"/> ART da execução da obra |
| <input checked="" type="checkbox"/> Análise físico-química (2 vias) | <input type="checkbox"/> Cópia da licença de exec. de perfuração |
| <input checked="" type="checkbox"/> Análise bacteriológica (2 vias) | <input checked="" type="checkbox"/> Termo de responsabilidade |
| <input checked="" type="checkbox"/> Planilha de teste de bombeamento (2 vias) | <input type="checkbox"/> Interpr. gráfica dos testes de bomb. |

Obs.: A EXECUÇÃO DOS TESTES DE BOMBEAMENTO DEVERÃO OBEDECER AS NORMAS TÉCNICAS DA ABNT (NB-1290) ITEM 6 DAS CONDIÇÕES ESPECIFICAS

Anexo IV

Exemplo de teste de Bombeamento (Vazão
Máxima)

TESTE DE BOMBEAMENTO

| | | | |
|---|----------|--------------------|-----------------------------|
| Poço: | nº obra: | Endereço: | Avenida das Indústrias, 315 |
| Proprietário: IGL Industrial Ltda. | | Município: Vinhedo | |
| Tipo de teste: Rebaixamento, vazão máxima | | | |

EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO

| | | | |
|----------------------|--------------------|-----------------------------|--|
| tipo: Bomba submersa | marca: EBARA | potência (cv): 25 | |
| diam.(pol.): 6 | modelo: BHS 501-13 | prof.crivo (m): 138,00 | |
| Prof. N.E.(m): 7,43 | | referência de medidas: Solo | |

| Início | | | | Término | | |
|-------------|---------|-------------|----------|------------------|-------------|----------------------|
| data: ##### | | hora: 13:50 | | data: 12/07/2002 | | hora: 13:50 |
| hora | t (min) | N.D.(m) | Q (m3/h) | s med (m) | areia (ppm) | observações |
| 13:50 | 0 | 7,43 | | | | |
| 13:51 | 1 | 20,77 | 50,00 | 13,34 | | Registro todo aberto |
| 13:52 | 2 | 27,41 | 49,00 | 19,98 | | |
| 13:53 | 3 | 31,94 | 48,80 | 24,51 | | Água pouco turva |
| 13:54 | 4 | 35,03 | 47,60 | 27,60 | | |
| 13:55 | 5 | 37,54 | 47,30 | 30,11 | | |
| 13:56 | 6 | 39,71 | 47,00 | 32,28 | | |
| 13:57 | 7 | 41,39 | 46,30 | 33,96 | | |
| 13:58 | 8 | 43,21 | 46,00 | 35,78 | | |
| 13:59 | 9 | 44,54 | 45,70 | 37,11 | | |
| 14:00 | 10 | 45,72 | 45,40 | 38,29 | | |
| 14:02 | 12 | 48,16 | 45,00 | 40,73 | | |
| 14:04 | 14 | 50,27 | 44,30 | 42,84 | | |
| 14:06 | 16 | 52,14 | 44,10 | 44,71 | | |
| 14:08 | 18 | 53,93 | 43,70 | 46,50 | | Água limpa |
| 14:10 | 20 | 56,30 | 43,30 | 48,87 | | |
| 14:15 | 25 | 58,56 | 42,90 | 51,13 | | |
| 14:20 | 30 | 60,43 | 42,60 | 53,00 | | Regulando registro |
| 14:25 | 35 | 62,00 | 42,30 | 54,57 | | |
| 14:30 | 40 | 64,61 | 41,60 | 57,18 | | |
| 14:40 | 50 | 64,32 | 41,10 | 56,89 | | |
| 14:50 | 60 | 68,46 | 40,70 | 61,03 | | |
| 15:00 | 70 | 70,10 | 40,20 | 62,67 | | |
| 15:10 | 80 | 72,76 | 39,70 | 65,33 | | |
| 15:20 | 90 | 74,82 | 38,40 | 67,39 | | |
| 15:50 | 120 | 76,60 | 38,00 | 69,17 | | |
| 16:20 | 150 | 79,14 | 38,00 | 71,71 | | Regulando registro |
| 16:50 | 180 | 79,27 | 37,50 | 71,84 | | |

TESTE DE BOMBEAMENTO

| | | | |
|----------------|----------------------------|------------|-----------------------------|
| Poço: | nº obra: | Endereço: | Avenida das Indústrias, 315 |
| Proprietário: | IGL Industrial Ltda. | Município: | Vinhedo |
| Tipo de teste: | Rebaixamento, vazão máxima | | |

EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO

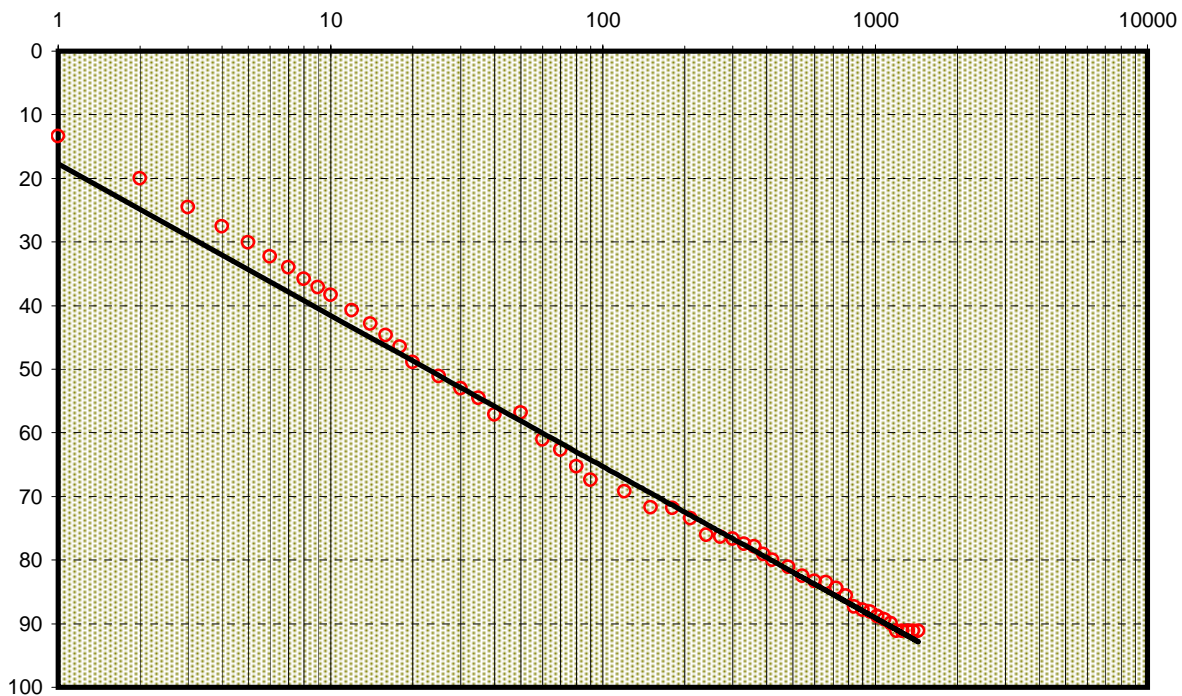
| | | | | | |
|----------------|----------------|------------------------|------------|-----------------|--------|
| tipo: | Bomba submersa | marca: | EBARA | potência (cv): | 25 |
| diam.(pol.): | 6 | modelo: | BHS 501-13 | prof.crivo (m): | 138,00 |
| Prof. N.E.(m): | 7,43 | referência de medidas: | Solo | | |

| Início | | | | Término | | | |
|--------|---------|---------|----------|-----------|-------------|-------------|--------------------------|
| data: | ##### | hora: | 13:50 | data: | 12/07/2002 | hora: | 13:50 |
| hora | t (min) | N.D.(m) | Q (m3/h) | s med (m) | areia (ppm) | observações | |
| 17:20 | 210 | 80,91 | 36,20 | 73,48 | | | |
| 17:50 | 240 | 83,45 | 36,10 | 76,02 | | | |
| 18:20 | 270 | 83,78 | 36,00 | 76,35 | | | |
| 18:50 | 300 | 84,10 | 35,60 | 76,67 | | | Regulando registro |
| 19:20 | 330 | 84,89 | 35,10 | 77,46 | | | |
| 19:50 | 360 | 85,32 | 35,00 | 77,89 | | | |
| 20:20 | 390 | 86,50 | 35,60 | 79,07 | | | |
| 20:50 | 420 | 87,46 | 34,60 | 80,03 | | | |
| 21:50 | 480 | 88,48 | 34,10 | 81,05 | | | |
| 22:50 | 540 | 89,93 | 34,00 | 82,50 | | | |
| 23:50 | 600 | 90,69 | 33,70 | 83,26 | | | |
| 0:50 | 660 | 90,97 | 33,60 | 83,54 | | | |
| 1:50 | 720 | 91,80 | 33,40 | 84,37 | | | |
| 2:50 | 780 | 93,08 | 33,20 | 85,65 | | | |
| 3:50 | 840 | 94,72 | 32,90 | 87,29 | | | |
| 4:50 | 900 | 95,25 | 32,50 | 87,82 | | | Regulando registro |
| 5:50 | 960 | 95,59 | 32,50 | 88,16 | | | |
| 6:50 | 1020 | 96,24 | 32,50 | 88,81 | | | |
| 7:50 | 1080 | 96,74 | 32,50 | 89,31 | | | |
| 8:50 | 1140 | 97,34 | 32,50 | 89,91 | | | |
| 9:50 | 1200 | 98,53 | 32,50 | 91,10 | | | |
| 10:50 | 1260 | 98,53 | 32,50 | 91,10 | | | Água limpa |
| 11:50 | 1320 | 98,53 | 32,50 | 91,10 | | | |
| 12:50 | 1380 | 98,53 | 32,50 | 91,10 | | | Coletada água p/ análise |
| 13:50 | 1440 | 98,53 | 32,50 | 91,10 | | | |

TESTE DE BOMBEAMENTO

| Poço: | nº obra: | Endereço: | Avenida das Indústrias, 315 |
|---|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Proprietário: IGL Industrial Ltda. | | Município: Vinhedo | |
| Tipo de teste: Rebaixamento, vazão máxima | | | |
| EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO | | | |
| tipo: Bomba submersa | marca: EBARA | potência (cv): 25 | |
| diam.(pol.): 6 | modelo: BHS 501-13 | prof.crivo (m): 138,00 | |
| Prof. N.E.(m): 7,43 | | referência de medidas: Solo | |
| Início | | Término | |
| data: ##### | hora: 13:50 | data: 12/07/2002 | hora: 13:50 |

Rebaixamento Vazão Máxima



| Perfuração | | |
|------------|-------|-------|
| #REF! | #REF! | #REF! |
| #REF! | #REF! | #REF! |
| | | 0,00 |
| | | 0,00 |
| #REF! | mais | 5 |

#REF!

| Geologia | | |
|----------|--------|--------|
| #REF! | 68,00 | #REF! |
| 68,00 | 192,00 | 124,00 |
| | | 0,00 |
| | | 0,00 |
| | mais | 5 |

| | | | |
|--------|------|-------|-------|
| Tubo | 0,00 | #REF! | #REF! |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| Tubo | | | 0,00 |
| Filtro | | | 0,00 |
| | | mais | #REF! |
| | | | 5,00 |

Anexo V

Planilha de Poços Cadastrados e Mapa de Localização dos Poços

Poços que Captam Água do Aquífero Cristalino

| N° | Coordenadas UTM | Prof. (m) | Solo (m) | Sedim. (m) | Diab. (m) | Rocha (m) | Q(m ³ /h) | NE (m) | ND (m) | Reb. (m) | Q esp.(m ³ /h/m) |
|----|------------------|-----------|----------|------------|-----------|-----------|----------------------|--------|--------|----------|-----------------------------|
| 1 | 7403,23 x 251,79 | 294 | 24 | 24-36 | | 36-294 | 2,59 | 33,37 | 200,97 | 167,60 | 0,02 |
| 2 | 7404,65 x 252,35 | 287 | 6 | | | 82-287 | 8,00 | 48,89 | 170,17 | 121,28 | 0,07 |
| 3 | 7399,98 x 250,33 | 283 | 16 | | | 283 | 4,80 | 9,00 | 113,04 | 104,04 | 0,05 |
| 4 | 7400,08 x 250,44 | 315 | 18 | | | 18-315 | 14,40 | 10,52 | 142,89 | 132,37 | 0,11 |
| 6 | 7393,69 x 246,60 | 100 | 32 | | | 32-100 | 4,50 | 18,60 | 70,77 | 52,17 | 0,09 |
| 8 | 7407,23 x 255,59 | 180 | 6 | | | 6-180 | 10,28 | 11,82 | 82,00 | 70,18 | 0,15 |
| 9 | 7397,54 x 257,15 | 180 | 12 | | | 12-180 | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 |
| 12 | 7405,74 x 255,52 | 200 | | 0-30/54-63 | 30-54 | 83-200 | 1,71 | 56,00 | 170,05 | 114,05 | 0,01 |
| 13 | 7397,54 x 257,15 | 150 | 5 | | | 5-150 | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 |
| 14 | 7396,30 x 249,88 | 200 | 6 | | | 6-200 | 3,78 | 7,59 | 136,23 | 128,64 | 0,06 |
| 33 | 7401,64 x 252,30 | 235 | 30 | | | 30-235 | 15,50 | 59,00 | 120,00 | 61,00 | 0,25 |
| 35 | 7400,00 x 255,50 | 133 | 2 | | | 2-133 | 13,20 | 2,85 | 37,00 | 34,15 | 0,39 |
| 36 | 7399,68 x 257,86 | 100 | 3 | | | 3-100 | 27,30 | 9,35 | 60,00 | 50,65 | 0,54 |
| 37 | 7400,07 x 255,32 | 120 | 8 | | | 8-120 | 22,00 | 2,85 | 88,00 | 85,15 | 0,26 |
| 38 | 7399,65 x 254,48 | 120 | 17 | | | 17-120 | 22,00 | 9,00 | 48,00 | 39,00 | 0,56 |
| 39 | 7400,06 x 253,82 | 122 | 8 | | | 8-122 | 6,89 | 24,42 | 69,00 | 44,58 | 0,15 |
| 40 | 7400,27 x 252,40 | 100 | | | | | | 3,22 | | | |
| 42 | 7403,09 x 256,28 | 150 | 9 | | | 9-150 | 5,10 | 3,52 | 78,96 | 75,44 | 0,07 |
| 43 | 7407,47 x 259,29 | 230 | 19 | | | 19-230 | 12,00 | 33,00 | 46,26 | 13,26 | 0,90 |
| 45 | 7407,24 x 256,13 | 250 | 24 | | | 24-250 | 32,70 | 9,22 | 104,81 | 95,59 | 0,34 |
| 47 | 7405,42 x 252,79 | 252 | 18 | | | 18-252 | 12,86 | 65,00 | 160,00 | 95,00 | 0,14 |
| 53 | 7400,29 x 253,09 | 100 | 8 | | | 8-100 | 3,60 | 7,00 | 76,00 | 69,00 | 0,05 |
| 54 | 7401,12 x 256,60 | 84 | 23 | | | 23-84 | 12,90 | 15,00 | 39,00 | 24,00 | 0,54 |
| 55 | 7399,84 x 252,66 | 100 | 12 | | | 12-100 | 17,60 | 18,00 | 22,00 | 4,00 | 4,40 |
| 56 | 7401,74 x 253,58 | 101 | 3 | 3-22 | 22-65 | 35-101 | 12,18 | 37,00 | 53,00 | 16,00 | 0,76 |
| 57 | 7407,35 x 259,64 | 150 | 8 | 8-24 | | 24-150 | 23,30 | 3,00 | 24,00 | 21,00 | 1,11 |
| 58 | 7399,88 x 255,00 | 99 | 2 | | | 2-99 | 9,00 | 2,00 | 22,00 | 20,00 | 0,45 |
| 59 | 7399,34 x 261,57 | 98 | 4 | | | 4-98 | 29,30 | 14,00 | 26,00 | 12,00 | 2,44 |
| 61 | 7399,42 x 254,41 | 120 | 17 | | | 17-120 | 12,00 | 9,00 | 32,00 | 23,00 | 0,52 |
| 63 | 7400,14 x 254,02 | 65 | 11 | | | 11-65 | 3,35 | 1,80 | 48,00 | 46,20 | 0,07 |

Poços que Captam Água do Aquífero Cristalino

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------------------|-----|----|--|--|--------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 64 | 7399,65 x 258,01 | 100 | 15 | | | 15-100 | 39,60 | 6,00 | | | |
| 65 | 7400,82 x 257,46 | 120 | 11 | | | 11-120 | 29,30 | 9,00 | 22,00 | 13,00 | 2,25 |
| 67 | 7399,12 x 257,95 | 150 | 8 | | | 8-150 | 10,28 | 18,00 | 27,00 | 9,00 | 1,14 |
| 79 | 7406,26 x 260,02 | 170 | 10 | | | 10-170 | 5,70 | 15,00 | 120,00 | 105,00 | 0,05 |
| 80 | 7406,21 x 259,87 | 152 | 19 | | | 19-152 | 13,00 | 2,65 | 47,80 | 45,15 | 0,29 |
| 87 | 7408,80 x 252,00 | 250 | 20 | | | 20-250 | 24,00 | 6,00 | 80,00 | 74,00 | 0,32 |
| 88 | 7403,53 x 251,82 | 160 | 25 | | | 25-160 | 6,60 | 1,30 | 73,40 | 72,10 | 0,09 |
| 89 | 7396,76 x 248,62 | 234 | 27 | | | 27-234 | 6,00 | 70,00 | 208,00 | 138,00 | 0,04 |
| 92 | 7397,55 x 251,75 | 120 | 8 | | | 8-120 | 7,20 | 15,28 | 94,23 | 78,95 | 0,09 |
| 95 | 7398,70 x 266,48 | 136 | 17 | | | 17-136 | 2,25 | 14,37 | 110,95 | 96,58 | 0,02 |
| 96 | 7394,81 x 245,15 | 250 | 11 | | | 11-250 | 10,28 | 92,88 | 183,48 | 90,60 | 0,11 |
| 98 | 7394,66 x 245,16 | 141 | 16 | | | 16-141 | 15,80 | 36,00 | 60,00 | 24,00 | 0,66 |
| 99 | 7397,15 x 258,70 | 91 | 18 | | | 18-91 | 3,90 | 2,00 | 20,00 | 18,00 | 0,22 |
| 100 | 7397,88 x 260,52 | 252 | 9 | | | 9-252 | 13,90 | 7,00 | 24,00 | 17,00 | 0,82 |
| 101 | 7396,07 x 211,60 | 150 | 18 | | | 18-150 | 6,70 | 5,35 | 9,00 | 3,65 | 1,84 |
| 102 | 7398,94 x 253,26 | 100 | 6 | | | 6-100 | 23,30 | 1,40 | 4,00 | 2,60 | 8,96 |
| 104 | 7398,04 x 257,60 | 120 | 4 | | | 4-120 | 8,16 | 8,00 | 19,00 | 11,00 | 0,74 |
| 105 | 7397,74 x 258,81 | 90 | 10 | | | 10-90 | 13,40 | 23,00 | 45,00 | 22,00 | 0,61 |
| 106 | 7398,94 x 258,11 | 110 | 20 | | | 20-110 | 26,28 | 5,00 | 18,00 | 13,00 | 2,02 |
| 107 | 7398,29 x 258,38 | 150 | 8 | | | 8-150 | 14,65 | 3,00 | 4,00 | 1,00 | 14,65 |
| 108 | 7397,46 x 254,29 | 79 | 12 | | | 12-79 | 18,85 | 7,00 | 23,00 | 16,00 | 1,18 |
| 109 | 7398,39 x 254,02 | 100 | 6 | | | 6-100 | 44,00 | 9,00 | 36,00 | 27,00 | 1,63 |
| 110 | 7394,95 x 254,32 | 204 | 12 | | | 12-204 | 4,00 | 35,15 | 179,96 | 144,81 | 0,03 |
| 111 | 7398,39 x 254,02 | 80 | 15 | | | 15-80 | 9,90 | 31,00 | 36,00 | 5,00 | 1,98 |
| 112 | 7994,93 x 245,35 | 178 | 20 | | | 20-178 | 2,20 | 30,12 | 135,21 | 105,09 | 0,02 |
| 114 | 7394,99 x 245,66 | 200 | 6 | | | 6-200 | 4,50 | 55,00 | 135,00 | 80,00 | 0,06 |
| 115 | 7395,00 x 245,43 | 120 | 30 | | | 30-120 | 1,20 | 18,00 | 54,00 | 36,00 | 0,03 |
| 116 | 7394,98 x 245,44 | 120 | 30 | | | 30-120 | 6,50 | 31,00 | 86,00 | 55,00 | 0,12 |
| 117 | 7393,44 x 241,38 | 204 | 22 | | | 22-204 | 22,00 | 1,00 | 55,00 | 54,00 | 0,41 |
| 123 | 7394,22 x 242,85 | 73 | 8 | | | 8-73 | 9,10 | 2,00 | 24,00 | 22,00 | 0,41 |
| 130 | 7393,43 x 259,65 | 120 | 12 | | | 12-120 | 7,80 | 9,00 | 32,00 | 23,00 | 0,34 |

Poços Mistos

| N° | Coordenadas UTM | Prof.(m) | Solo (m) | Sed. (m) | Diab.(m) | Rocha (m) | Q (m³/h) | NE (m) | ND (m) | Reb.(m) | Q esp.(m3/h/m) |
|----|--------------------|----------|----------|------------|----------|-----------|----------|--------|--------|---------|----------------|
| 7 | 7405,96 x 253,20 | 222 | 15 | 15-70 | | 70-222 | 5,14 | 116,00 | 144,66 | 28,66 | 0,18 |
| 10 | 7406,78 x 255,11 | 180 | 2 | 2-68 | | 68-180 | 0 | | | 0,00 | 0,00 |
| 12 | 7405,74 x 255,52 | 200 | | 0-30/54-63 | 30-54 | 83-200 | 1,71 | 56,00 | 170,05 | 114,05 | 0,01 |
| 15 | 7407,725 x 254,237 | 54 | 6 | 6-35 | | 35-54 | 20,00 | 5,83 | 24 | 18,17 | 1,10 |
| 16 | 7403,49 x 251,83 | 252 | 6 | 6-60 | | 60-252 | 12,00 | 38,50 | 140 | 101,50 | 0,12 |
| 17 | 7403,25 x 251,72 | 312 | 36 | 36-108 | | 108-312 | 1,90 | 36,46 | 196,46 | 160,00 | 0,01 |
| 18 | 7402,33 x 243,95 | 90 | | | | | 18,00 | | | | |
| 19 | 7401,60 x 244,00 | 172 | 10 | 10-93 | | 93-172 | 28,30 | 3,00 | 45 | 42,00 | 0,67 |
| 20 | 7405,50 x 240,80 | 157 | 6 | 6-56 | | 56-157 | 8,60 | 11,00 | 100 | 89,00 | 0,10 |
| 21 | 7400,40 x 240,22 | 150 | 10 | 10-94 | | 94-150 | 2,50 | 18,00 | 140 | 122,00 | 0,02 |
| 23 | 7401,26 x 240,17 | 204 | 13 | 13-177 | | 177-204 | 8,50 | 10,80 | 161 | 150,20 | 0,06 |
| 24 | 7405,50 x 241,00 | 157 | | | | | 9,90 | 13,00 | 16 | 3,00 | 3,30 |
| 26 | 7403,43 x 252,32 | 200 | 10 | 10-60 | | 60-200 | 1,15 | 30,00 | 97 | 67,00 | 0,02 |
| 27 | 7405,66 x 252,88 | 243 | 10 | 10-173 | | 173-243 | 12,00 | 14,00 | 156 | 142,00 | 0,08 |
| 28 | 7406,53 x 252,67 | 136 | 3 | 0-65 | | 65-136 | 12,80 | 6,00 | 74 | 68,00 | 0,19 |
| 31 | 7402,19 x 247,36 | 174 | 10 | 10-70 | | 70-174 | 24,70 | 19,00 | 65 | 46,00 | 0,54 |
| 32 | 7403,29 x 245,09 | 130 | 10 | 10-85 | | 85-130 | 20,80 | 16,00 | 43 | 27,00 | 0,77 |
| 34 | 7404,26 x 256,83 | 100 | 5 | 5-30 | | 30-100 | 33,00 | 10,00 | 33 | 23,00 | 1,43 |
| 41 | 7399,74 x 252,15 | 100 | 13 | 13-28 | | 28-100 | 11,60 | | | | |
| 44 | 7407,40 x 259,20 | 134 | 12 | 12-25 | | 25-134 | 3,10 | 18,10 | 130 | 111,90 | 0,03 |
| 46 | 7406,36 x 255,82 | 178 | 13 | 13-56 | | 56-178 | 1,80 | 20,0 | 118 | 98,00 | 0,02 |
| 49 | 7403,49 x 251,83 | 252 | 6 | 6-60 | | 60-252 | 12,00 | 38,50 | 140 | 101,50 | 0,12 |
| 50 | 7405,96 x 253,20 | 222 | 15 | 15-70 | | 70-222 | 5,40 | 114,15 | 145 | 30,85 | 0,18 |
| 51 | 7404,65 x 252,35 | 204 | 6 | 6-82 | | 82-204 | 8,00 | 48,89 | 170,17 | 121,28 | 0,07 |
| 52 | 7401,22 x 253,85 | 195 | 12 | 12-117 | | 117-195 | 36,00 | 9,75 | 19,03 | 9,28 | 3,88 |
| 60 | 7399,70 x 252,20 | 100 | 6 | 6-27 | | 27-100 | 19,60 | 4,00 | | | |
| 62 | 7408,44 x 246,88 | 150 | 7 | 7-36 | | 36-150 | 34,45 | 3,00 | 13 | 10,00 | 3,45 |
| 71 | 7408,52 x 252,02 | 200 | 6 | 6-122 | | 122-200 | 5,80 | 30,00 | 125 | 95,00 | 0,06 |
| 72 | 7407,52 x 254,25 | 246 | 10 | 10-30 | | 30-246 | 21,00 | 15,00 | 98 | 83,00 | 0,25 |
| 74 | 7407,72 x 254,24 | 54 | 3 | 3-30 | | 30-54 | 5,00 | 5,48 | 23,80 | 18,32 | 0,27 |

Poços Mistos

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------------------|-----|----|--------|--|---------|-------|-------|-------|--------|------|
| 76 | 7404,73 x 246,95 | 202 | | | | | 2,90 | 12,00 | 111 | 99,00 | 0,03 |
| 77 | 7407,73 x 250,08 | 200 | 12 | 12-150 | | 150-200 | 4,00 | 6,45 | 168,2 | 161,75 | 0,02 |
| 78 | 7399,17 x 249,90 | 146 | 8 | 8-68 | | 68-146 | 5,00 | 5,00 | 70 | 65,00 | 0,08 |
| 82 | 7406,27 x 257,32 | 110 | 6 | 6-22 | | 22-110 | 9,40 | 27,70 | 86,76 | 59,06 | 0,16 |
| 85 | 7405,23 x 252,63 | 110 | 12 | 12-49 | | 49-110 | 14,00 | 36,00 | 55 | 19,00 | 0,74 |
| 86 | 7405,20 x 252,70 | 110 | | | | | 20,00 | 36,00 | 55 | 19,00 | 1,05 |
| 90 | 7395,22 x 245,40 | 90 | 13 | 13-66 | | 66-90 | 18,00 | 16,29 | 77,66 | 61,37 | 0,29 |
| 91 | 7404,69 x 253,06 | 204 | 6 | 6-47 | | 47-204 | 7,20 | 80,00 | 170 | 90,00 | 0,08 |
| 93 | 7395,20 x 245,32 | 100 | 6 | 6-40 | | 40-100 | 4,20 | 23,00 | 85,2 | 62,20 | 0,07 |
| 94 | 7390,34 x 245,82 | 150 | 18 | 18-78 | | 78-150 | 14,90 | 11,20 | 91 | 79,80 | 0,19 |
| 97 | 7398,85 x 254,30 | 120 | | | | | 18,00 | 16,00 | 21 | 5,00 | 3,60 |
| 113 | 7394,82 x 245,21 | 174 | 6 | 6-26 | | 26-174 | 8,00 | 27,80 | 148,7 | 120,90 | 0,07 |
| 124 | 7394,78 x 244,08 | 150 | 12 | 12-60 | | 60-150 | 12,00 | 60 | 80 | 20,00 | 0,60 |
| 129 | 7406,62 x 248,31 | 170 | 18 | 18-63 | | 63-170 | 13,45 | 32,00 | 67,00 | 35,00 | 0,38 |

Poços que Captam Água do Aquífero Tubarão

| N° | Coordenadas UTM | Prof. (m) | Solo (m) | Sed. (m) | Rocha (m) | Q (m³/h) | NE (m) | ND (m) | Reb.(m) | Qesp. (m3/h/m) |
|-----|------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|--------|--------|---------|----------------|
| 5 | 7405,00 x 246,72 | 192 | 12 | 12-192 | | 12,00 | 66,28 | 157,38 | 91,10 | 0,13 |
| 11 | 7403,41 x 249,60 | 150 | 10 | 10-50 | | 2,66 | 54,17 | 117,25 | 63,08 | 0,04 |
| 22 | 7400,72 x 240,10 | 120 | 12 | 12-120 | | 4,50 | 18,0 | 90,0 | 72,00 | 0,06 |
| 25 | 7403,58 x 244,12 | 236 | 07 | 07-236 | | 5,00 | 14,00 | 140,00 | 126,00 | 0,04 |
| 29 | 7406,16 x 255,76 | 200 | 08 | 08-200 | | 3,00 | 36,00 | 146,00 | 110,00 | 0,03 |
| 30 | 7409,86 x 257,14 | 200 | 10 | 10-200 | | 7,70 | 12,00 | 109,00 | 97,00 | 0,08 |
| 48 | 7405,00 x 246,72 | 192 | 12 | 12-192 | | 12,00 | 66,28 | 157,38 | 91,10 | 0,13 |
| 66 | 7411,18 x 257,56 | 150 | 3 | 3-150 | | 7,75 | 21,00 | 26,00 | 5,00 | 1,55 |
| 68 | 7409,85 x 257,24 | 200 | 16 | 16-200 | | 12,57 | 3,00 | 5,35 | 2,35 | 5,35 |
| 69 | 7404,30 x 257,06 | 106 | 13 | 13-106 | | 11,16 | 11,00 | 70,00 | 59,00 | 0,19 |
| 70 | 7404,22 x 251,20 | 90 | 11 | 11-90 | | 15,23 | 23,00 | 45,00 | 22,00 | 0,69 |
| 73 | 7406,97 x 256,26 | 100 | 5 | 5-100 | | 17,00 | 5,00 | 13,00 | 8,00 | 2,13 |
| 75 | 7404,98 x 246,97 | 190 | 6 | 6-190 | | 3,40 | 29,00 | 91,00 | 62,00 | 0,05 |
| 81 | 7401,47 x 250,99 | 152 | 12 | 12-152 | | 7,20 | 33,00 | 118,00 | 85,00 | 0,08 |
| 83 | 7406,22 x 259,19 | 150 | 4 | 4-137 | 137-150 | 17,60 | 3,00 | 80,00 | 77,00 | 0,23 |
| 84 | 4702,76 x 249,94 | 200 | 3 | 3-85 | 85-200 | 14,40 | 15,00 | 107,00 | 92,00 | 0,16 |
| 103 | 7397,95 x 261,62 | 105 | 10 | | | 16,85 | 13,00 | 15,00 | 2,00 | 8,43 |
| 118 | 7395,57 x 239,60 | 100 | 10 | 10-100 | | 17,70 | 18,00 | 95,00 | 77,00 | 0,23 |
| 120 | 7398,32 x 240,12 | 162 | 6 | 6-162 | | 21,40 | 6,00 | 20,00 | 14,00 | 1,53 |
| 121 | 7395,92 x 241,68 | 111 | 13 | 13-111 | | 21,40 | 22,00 | 27,00 | 5,00 | 4,28 |
| 122 | 7393,56 x 242,58 | 93 | 12 | 12-93 | | 16,50 | 4,00 | 11,00 | 7,00 | 2,36 |
| 125 | 7394,83 x 244,03 | 50 | 20 | 20-50 | | 6,00 | 15,00 | 28,00 | 13,00 | 0,46 |
| 126 | 7412,41 x 242,60 | 110 | 10 | 10-110 | | 3,70 | 11,00 | 32,00 | 21,00 | 0,17 |
| 127 | 7413,71 x 246,96 | 100 | 12 | 12-100 | | 4,20 | 13,00 | 21,00 | 8,00 | 0,52 |
| 128 | 7414,56 x 250,33 | 98 | 18 | 18-98 | | 8,20 | 9,00 | 38,00 | 29,00 | 0,28 |