

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS TUBARÃO E CRISTALINO DA PORÇÃO SUL DA UGRHI-05

Geraldo Hideo Oda¹, Sibebe Ezaki¹, Mara Akie Iritani¹, Claudia Luciana Varnier¹ e Denise Rossini Penteadó¹.

RESUMO - A região que abrange os municípios de Indaiatuba a Capivari apresenta crescente demanda por água subterrânea, decorrente dos crescimentos econômico e populacional. A procura por este recurso intensificou-se nas últimas décadas, constituindo-se fator condicionante para o desenvolvimento econômico e bem-estar social. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma avaliação hidrogeológica da área, com enfoque no potencial hídrico subterrâneo, problemas de superexploração e na análise dos poços tubulares profundos. As atividades desenvolvidas abrangeram: cadastro e análise da produtividade dos poços e confecção de mapas temáticos. Os resultados obtidos indicaram que os principais sistemas aquíferos explorados são Tubarão e o Cristalino, sendo este último aflorante apenas na porção leste da área estudada. De um total de 1.262 poços tubulares cadastrados, 74% são particulares e 11% destinam-se ao abastecimento público. O mapa de produtividade similar mostrou a ocorrência de áreas mais produtivas distribuídas a oeste e leste de Capivari, nordeste de Monte Mor, centro-norte e leste de Elias Fausto, centro-noroeste de Indaiatuba e norte de Salto.

Palavras-chave: Água subterrânea, Avaliação Hidrogeológica, Estatística de Poços.

ABSTRACT - The region covering the Indaiatuba to Capivari municipalities shows an increasing demand for groundwater, due to economic and population growth. The demand for this resource was intensified in the recent decades becoming determinant for economic development and social welfare. This study aims to show a hydrogeological assessment of the area, focusing on the groundwater potential, the problems of overexploitation and the statistical analysis of deep wells. The developed activities included: register and productivity analyses of the well and elaboration of thematic maps. The results indicated the main exploited aquifers systems are Tubarão and Cristalino, the latter being only outcropping in the eastern portion of the study area. From a total of 1,262 registered deep wells, 74% are private and 11% are designed for public supply. The resulted map showed more productive areas in the west and east of Capivari, northeast of Monte Mor, central-north and east of Elias Fausto, central-northwest of Indaiatuba and north of Salto.

Keywords: Groundwater, Hydrogeological Assessment, Statistics of wells.

¹ Instituto Geológico/SMA - Rua Joaquim Távora, 822 Vila Mariana São Paulo SP, ghoda1947@gmail.com; sibezaki@gmail.com; mara.iritani@igeologico.sp.gov.br; clvarnier@hotmail.com; drossinisp@gmail.com.

1 – INTRODUÇÃO

O Instituto Geológico (IG/SMA) desenvolveu, na década de 1990, estudos sistemáticos em escala 1:50.000, no eixo Sorocaba-Campinas, no Estado de São Paulo, abrangendo uma área de aproximadamente de 3.000 km² e levantamento de mais de 2.500 poços dos sistemas aquíferos Tubarão e Cristalino. Estes estudos foram desenvolvidos nas seguintes áreas: Folha 1:50.000 de Salto de Pirapora (IG, 1990), municípios de Sorocaba (IG, 1990), Itu (IG, 1991) e Campinas (IG, 1993) e na porção média da Bacia do Rio Piracicaba (IG, 1995).

A região que abrange os municípios entre Indaiatuba e Capivari constituía uma lacuna em relação aos trabalhos supracitados. Visando integrá-la às demais regiões, esta área foi objeto de um estudo finalizado em 2012, financiado pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), que enfocou a caracterização hidrogeológica e a identificação de Áreas Potenciais de Restrição e Controle, servindo como um estudo piloto para toda a Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI) das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (UGRHI-05).

O presente trabalho apresenta parte dos resultados desse estudo maior realizado nessa região.

2 - OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar uma caracterização hidrogeológica da área estudada, envolvendo principalmente a estatística dos dados de poços cadastrados e a avaliação da produtividade dos sistemas aquíferos Tubarão e Cristalino na porção sul da UGRHI-05.

3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 - Localização

A área de estudo situa-se na região centro-leste do Estado de São Paulo e as principais vias de acesso são as rodovias Castelo Branco (SP-280), do Açúcar (SP-380), dos Bandeirantes (SP-348), Anhanguera (SP-330) e Santos Dumont (SP-75).

Os seis municípios abrangidos no estudo incluem Indaiatuba, Monte Mor, Elias Fausto, Capivari, Rafard e Salto, pertencentes às regiões administrativas de Campinas e Sorocaba, na porção sul da UGRHI-05. A maior parte da área distribui-se na UGRHI-05, sendo que uma pequena porção dos municípios de Salto, Indaiatuba, Elias Fausto e Rafard distribui-se na UGRHI-10 (Figura 1).

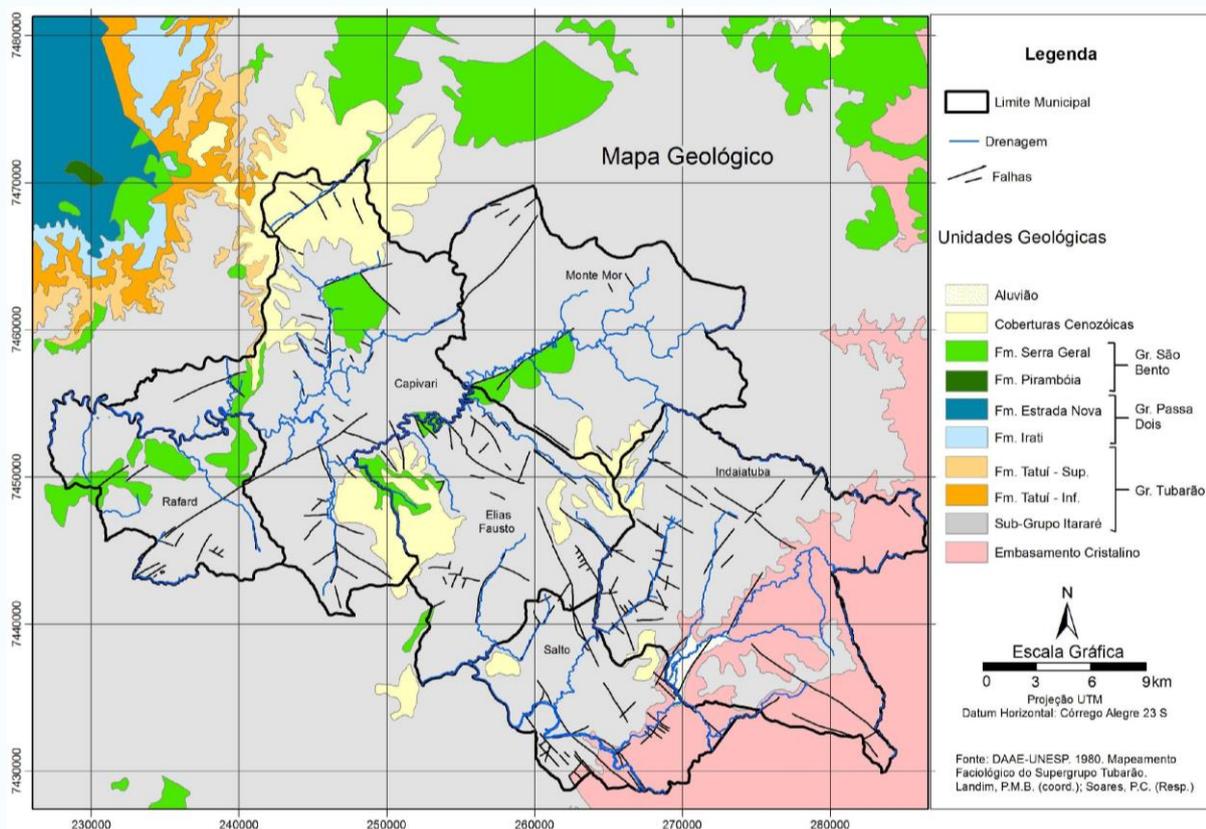


FIGURA 1 - Localização da área de estudo.

3.2 - Geologia

O local selecionado está inserido na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, na Depressão Periférica Paulista, onde ocorrem sedimentos dos grupos Tubarão, Passa Dois e São Bento, rochas intrusivas básicas (*sills* ou diques), depósitos cenozóicos e rochas do Embasamento Cristalino (Figura 1).

Os sedimentos permo-carboníferos do Grupo Tubarão predominam na área de estudo e subdividem-se em duas unidades principais: Formação Tatuí (superior) e Subgrupo Itararé (inferior), esta última é a de maior interesse nesse estudo.

Estes sedimentos foram depositados em ambientes da época glacial e consolidaram-se em litotipos bastante variáveis e descontínuos, representados por intercalações e/ou associações de arenitos, siltitos, folhelhos, argilitos, diamictitos e ritmitos, conforme descrições faciológicas detalhadas por Petri & Pires (1992) e Petri *et al.* (1996) em testemunhos de poços perfurados na região. As cores dos mesmos variam de cinza claro a escuro.

Segundo o modelo de sedimentação admitido para a região (Pires & Petri, 1991; Petri & Pires, 1992), estas litologias foram depositadas por fluxos marinhos de detritos provenientes de um continente emerso situado a nordeste atual da área. Estes autores apontaram que as litologias presentes podem ser correlacionadas considerando o seu posicionamento e admitindo a inexistência de falhas apreciáveis.

Sobrepostas ao Grupo Tubarão encontram-se as rochas do Grupo Passa Dois, também de ocorrência restrita a noroeste da área (Figura 1). Este grupo é representado, na região, pelas formações Irati, Serra Alta e Teresina, compostas predominantemente por rochas sedimentares finas. As formações Irati e Serra Alta são representadas, em sua maioria, por siltitos, argilitos e

folhelhos. Na Formação Irati ocorrem também folhelhos pirobetuminosos, localmente com alternância rítmica de calcários. A Formação Teresina, por sua vez, compreende folhelhos e argilitos, com alternância de siltitos e arenitos muito finos, com presença restrita de lentes de calcários oolíticos e sílex (IPT, 1981).

Sobrejacente ao Subgrupo Itararé, encontra-se a Formação Tatuí, caracterizada por depósitos marinhos constituídos, predominantemente, por siltitos, arenitos finos, calcários e sílex. Na base, a Formação Tatuí apresenta relações de discordância erosiva com o Subgrupo Itararé, podendo localmente possuir conglomerado basal.

As rochas sedimentares do Subgrupo Itararé nas proximidades de Itu, atinge 300 m de espessura, diminuindo em direção a leste (Oda, 1998). Estes sedimentos estão em contato direto com o Embasamento Cristalino.

Este embasamento é representado, na região, por rochas de médio a alto grau metamórfico do Complexo Amparo, e correspondem a gnaisses com intercalações de quartzitos, xistos, anfibolitos, gonditos e metaultrabasitas (Neves, 2005; Hasui *et al.*, 1981). Ainda constituindo o embasamento, ocorrem intrusões granitóides encaixados nos gnaisses e migmatitos, dentre os quais destaca-se o Complexo Granitóide Itu ou Granito Itu (Galembeck, 1997).

Rochas ígneas intrusivas básicas, representadas por corpos de diabásio, ocorrem de forma irregular nas porções oeste, noroeste e norte de Capivari. Por fim, materiais de coberturas cenozóicas indiferenciadas ocorrem nas porções norte e nordeste da área.

3.3 - Hidrogeologia

As unidades hidrogeológicas que ocorrem na área estudada compreendem os sistemas aquíferos Tubarão e Cristalino e o Aquífero Diabásio. O primeiro é representado pelos sedimentos do Subgrupo Itararé, o segundo por rochas do embasamento cristalino e o terceiro, por *sills* ou diques de diabásio.

O Sistema Aquífero Tubarão é a principal fonte de abastecimento de água subterrânea. Esta unidade hidrogeológica é granular, de porosidade primária, heterogênea, apresentando condições de confinamento e/ou semi-confinamento. A circulação e armazenamento de água subterrânea estão associados tanto aos poros existentes nas rochas, como nas descontinuidades estruturais das mesmas (juntas, fraturas ou falhas).

Quanto às características hidráulicas, este sistema apresenta valores regionais de transmissividade (T) entre 0,30 a 40 m²/dia na Região de Campinas (DAEE, 1981a) e entre 0,34 a 10,0 m²/dia na Região de Sorocaba (DAEE, 1981b). A condutividade hidráulica (K) ocorre em duas principais classes: entre 0,002 a 0,024 m/dia e 0,055 a 0,7 m/dia na Região de Campinas (DAEE, 1981a) e entre 0,001 a 0,005 m/dia e 0,01 a 1,00 m/dia na Região de Sorocaba (DAEE, 1981b). A capacidade específica (Q/s) média calculada é de 0,1 m³/h/m, nível estático médio (NE) de 18 m e espessura saturada média de 134 m (Oda *et al.*, 2005).

O Sistema Aquífero Cristalino ocorre na porção leste dos municípios de Salto e Indaiatuba. É composto por rochas ígneas e metamórficas do Embasamento Cristalino, onde o armazenamento e a circulação das águas subterrâneas ocorrem a partir das fraturas das rochas e/ou do manto de alteração das mesmas. Segundo DAEE (1981a), a capacidade específica média dos poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino, ao longo de lineamento de drenagem na Região de Campinas, é de 0,2 m³/h/m, enquanto nos poços locados fora destas estruturas, o valor encontrado foi de 0,03 m³/h/m. Os valores de transmissividade estão entre 0,1 a 100 m²/dia.

No Aquífero Diabásio a água subterrânea circula preferencialmente pelas fraturas e fissuras abertas nas rochas ígneas intrusivas básicas (diabásio) e possui pouca representatividade na área, ocorrendo principalmente em subsuperfície, de forma irregular e restrita dentro dos sedimentos do Subgrupo Itararé.

Dentre os trabalhos técnicos sobre hidrogeologia na área, podem ser citados os de DAEE (1981a, b), Lopes (1984), Oda *et al.* (1993), Pereira (1997), Oda (1998), Vidal (2002), Oda *et al.* (2005), DAEE/IG/IPT/CPRM (2005); Neves (2005); Varnier *et al.* (2005), Iritani *et al.* (2009), Oda *et al.* (2012), Oda *et al.* (2013).

4- MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Cadastro de poços

No período do estudo, finalizado em 2012, foram cadastrados 1.262 poços na área dos seis municípios, que foram registrados em um banco de dados, no programa Access (Microsoft) elaborado pelo Instituto Geológico (IG/SMA).

Inicialmente foram consultados bancos de dados cadastrais de empresas de perfuração, prefeituras, serviços de água, SABESP, e junto ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), nos escritórios de São Paulo, Piracicaba, Rio Claro, Campinas e Capivari.

Nesta etapa foram coletadas as seguintes informações:

- proprietário: nome, endereço e telefone;
- localização: bairro, nome do local, coordenadas UTM e altitude da boca do poço;
- uso da água: finalidade, quantidade, tipo de equipamento utilizado para extração;
- uso do solo: atividade desenvolvida;
- qualidade da água: análises físico, química e bacteriológica;
- testes de bombeamento: níveis estático e dinâmico, vazão, planilhas de rebaixamento e/ou recuperação;
- aspectos construtivos: empresa de perfuração, data de perfuração, profundidade, diâmetros de perfuração, revestimento, litologia, laje de proteção, tampa e facilidade de coleta de água;
- aspectos geológicos: descrição litológica e aquífero explorado.

4.2. – Produtividade dos poços

Para caracterizar a produtividade da área, os poços foram separados por municípios, sistemas aquíferos explorados e litologias atravessadas. Para tanto, foram obtidos e/ou calculados os seguintes parâmetros hidrodinâmicos: nível estático e dinâmico, vazão, rebaixamento, capacidade específica, espessura saturada do aquífero e espessura de arenito atravessado. A partir desses dados foram confeccionados gráficos, tabelas e mapas de isovalores.

Para a confecção dos gráficos e da estatística básica foram utilizados os softwares Access e Excel (Microsoft) e para a confecção dos mapas temáticos foi utilizado o software *Surfer 8.0* (Golden Software), a partir da interpolação dos valores, através do método da krigagem.

Os dados de vazão, capacidade específica e porcentagem de areia foram associados aos condicionantes geológicos e hidráulicos permitindo um zoneamento que resultou no Mapa de Produtividade Similar. Esta metodologia foi aplicada pela primeira vez no estudo do Município de Itu (IG, 1991) e vem sendo desenvolvida pelo Instituto Geológico nas avaliações hidrogeológicas de escala de semi-detulhe (1:50.000), sendo que sua aplicação pode variar de estudo para estudo, pois depende da qualidade dos dados existentes em cada área estudada (IG, 1993, 1995).

5- RESULTADOS

5.1- Características construtivas dos poços

A Tabela 1 mostra os totais de poços cadastrados nos municípios, sendo que 32% estão concentrados em Indaiatuba, cidade com elevado desenvolvimento industrial nas últimas décadas. Observam-se também os níveis estáticos e dinâmicos médios.

Tabela 1 – Distribuição dos poços por município

	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO	TOTAL DE POÇOS
Nº de poços	171	117	402	166	42	176	1262
NE médio	46,41	38,46	24,76	35,03	50,54	28,68	
ND médio	110,76	82,46	99,31	99,25	113,20	95,85	

A evolução do número de perfurações efetuadas na área de estudo pode ser observada na Figura 2. Apenas parte dos poços possuíam informação sobre a data de perfuração mas é possível observar que a partir da década de 1970 ocorreu aumento significativo do número de poços e um novo impulso nas perfurações a partir da década de 1990 decorrente do desenvolvimento econômico na região.

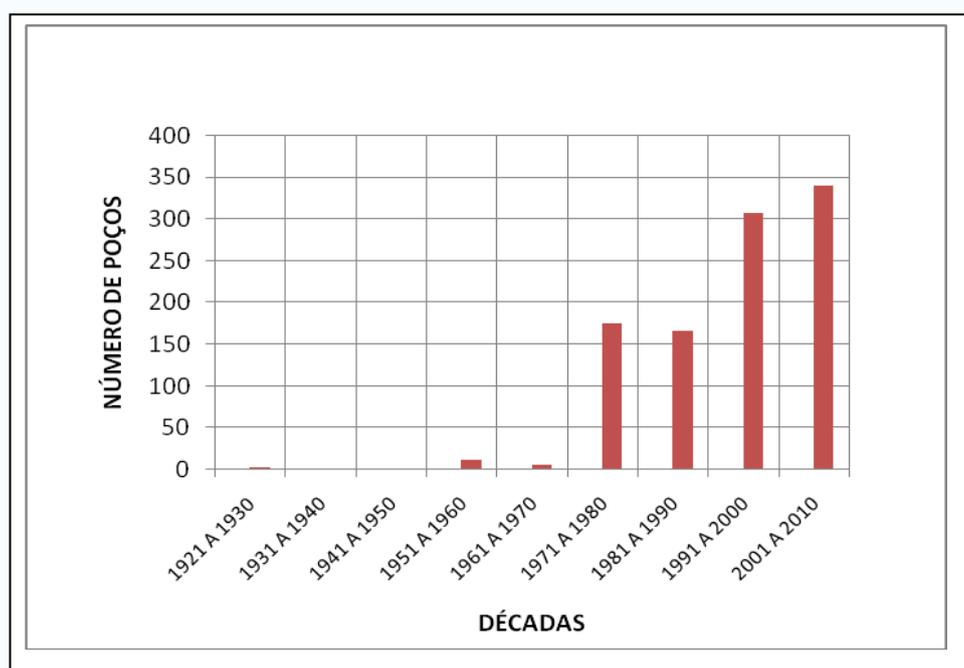


Figura 2 - Evolução das perfurações dos poços

A Tabela 2 indica a profundidade média dos poços nos respectivos municípios, sendo que os mais profundos são encontrados em Capivari, Monte Mor e Rafard.

Tabela 2 - Profundidade média dos poços por município.

PROFUNDIDADE (m)	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO	TOTAL DE POÇOS
Média	206	156	161	177	195	158	
Mínima	70	40	27	60	45,7	32	
Máxima	400	320	360	433	365	400	
Total de poços por município	171	114	432	176	45	161	1099

A Figura 3 apresenta a distribuição dos poços classificados por sistemas aquíferos, com maior destaque para o Sistema Aquífero Tubarão.

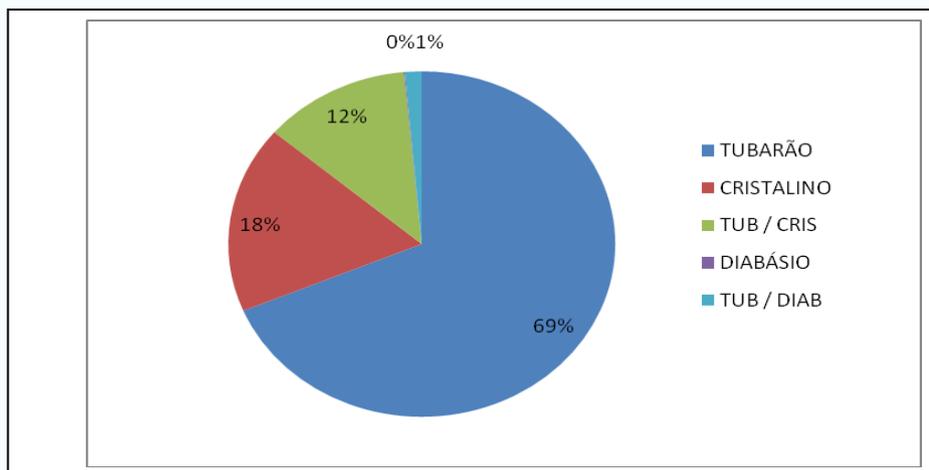


Figura 3 - Poços por aquífero (1.153 Poços com informação)

5.2 - Uso da Água Subterrânea

Cerca de 11% dos poços são destinados ao abastecimento público e 74% aos demais usos (Tabela 3). Essa região estudada teve um forte crescimento industrial e, conseqüentemente um aumento populacional expressivo nas últimas décadas, que se reflete no número de poços para uso industrial e para saneamento, especialmente nos municípios de Salto e Indaiatuba (Tabela 3).

Tabela 3 - Distribuição de poços por tipo de uso e por município

Uso da água	Capivari	Elias Fausto	Indaiatuba	Monte Mor	Rafard	Salto	Totais	%
Abastecimento Público	49	17	10	36	24	4	140	11
Saneamento	42	46	245	35	4	85	457	36
Industrial	44	11	81	39	10	62	247	20
Agrícola	2	12	15	4		11	44	3
Agropecuário	4	5	13	17			39	3
Pecuário	15	18	15	24	2	9	83	7
Lazer	7	1	16	8	2	5	39	3
Outros	8	7	8	3		2	28	2
Sem Informação	14	24	80	51	7	9	185	15
Total	185	141	483	217	49	187	1262	100

Os municípios de Rafard e Elias Fausto dependem totalmente das águas subterrâneas para abastecimento público, enquanto que Capivari, Monte Mor e Indaiatuba dependem parcialmente deste recurso. Apenas Salto utiliza 100% de recursos hídricos superficiais (Tabela 4), uma vez que os poços públicos foram desativados. Visando o abastecimento público, os maiores volumes de água subterrânea são extraídos em Capivari e Monte Mor, e os maiores volumes de água, provenientes de mananciais superficiais, são produzidos em Indaiatuba e Salto.

TABELA 4 - Volume de água produzida (superficial e subterrânea) por município.

MUNICÍPIO	FONTE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA				
	SUPERFICIAL (m ³ /ano)	(%)	AQUÍFERO (m ³ /ano)	(%)	TOTAL (m ³ /ano)
Indaiatuba	22.195.000	99,41	132.000	0,59	22.327.000
Monte Mor	1.894.200	54,05	1.610.210	45,95	3.504.410
Salto	11.294.400	100,00	0	0,00	11.294.400
Capivari	1.801.340	36,28	3.163.390	63,72	4.964.730
Elias Fausto	0	0,00	972.990	100,00	972.990
Rafard	0	0,00	659.540	100,00	659.540

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2008).

5.3-Produtividade dos poços

- Vazão

As vazões dos poços podem ser observadas levando-se em consideração os sistemas aquíferos (Tabela 5) e os municípios (Tabela 6).

Observa-se que o Sistema Aquífero Tubarão apresenta melhores vazões que o Sistema Aquífero Cristalino e o Aquífero Diabásio, sendo que os maiores valores médios são encontrados nos municípios de Capivari, Elias Fausto, Rafard e Monte Mor, que justifica o uso da água para o abastecimento público.

TABELA 5 - Vazão dos poços por aquífero.

VAZÃO (m ³ /h)	AQUÍFEROS			
	CRISTALINO	TUBARÃO	TUB. / CRIS.	TUB. / DIAB.
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,10
Máximo	36,00	156,20	41,68	40,00
Média	4,79	10,58	4,96	10,37
Nº de Poços	180	632	124	16

TABELA 6- Vazão dos poços por municípios.

VAZÃO (m ³ /h)	MUNICÍPIOS					
	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO
Mínimo	0.50	0.80	0.00	0.04	0.10	0.00
Máximo	80.00	156.20	41.68	48.00	50.04	26.00
Média	11.8	16.2	5.5	10.1	10.8	5.2
Nº de Poços	171	101	389	164	44	143

- Capacidade Específica

A capacidade específica dos poços também foi expressa por sistemas aquíferos (Tabela 7) e por municípios (Tabela 8).

O Sistema Aquífero Tubarão apresenta os maiores valores de capacidade específica média na região (Tabela 7) em relação ao Cristalino e aos poços mistos.

TABELA 7- Capacidade específica dos poços por aquífero.

CAPACIDADE ESPECÍFICA (m ³ /h/m)	AQUÍFERO EXPLOTADO				
	CRISTALINO	TUBARÃO	TUBARÃO/ CRISTALINO	TUBARÃO/ DIABÁSIO	SEM INFORMAÇÃO
Mínimo	0,001	0,000	0,001	0,003	
Máximo	2,938	8,163	0,816	0,667	
Média	0,157	0,329	0,083	0,225	
Nº de Poços	163	501	111	13	37

Da mesma forma que as vazões, os maiores valores de capacidade específica média ocorrem em Elias Fausto, seguidos de Rafard, Capivari e Monte Mor (Tabela 8).

TABELA 8 - Capacidade específica dos poços por município.

CAPACIDADE ESPECÍFICA (m ³ /h/m)	MUNICÍPIOS					
	CAPIVARI	ELIAS FAUSTO	INDAIATUBA	MONTE MOR	RAFARD	SALTO
Mínimo	0.010	0.030	0.000	0.009	0.003	0.000
Máximo	2.018	8.163	7.563	1.748	1.147	2.404
Média	0.265	0.670	0.171	0.253	0.296	0.186
Nº de Poços	150	75	337	114	38	111

5.4 – Mapas temáticos

- Mapa do Contorno Estrutural do Topo do Embasamento Cristalino.

A maior parte dos poços utilizados neste mapa pertence aos municípios de Indaiatuba e Salto e estão situados ao longo de uma faixa de cerca de 10 km de largura (Figura 4).

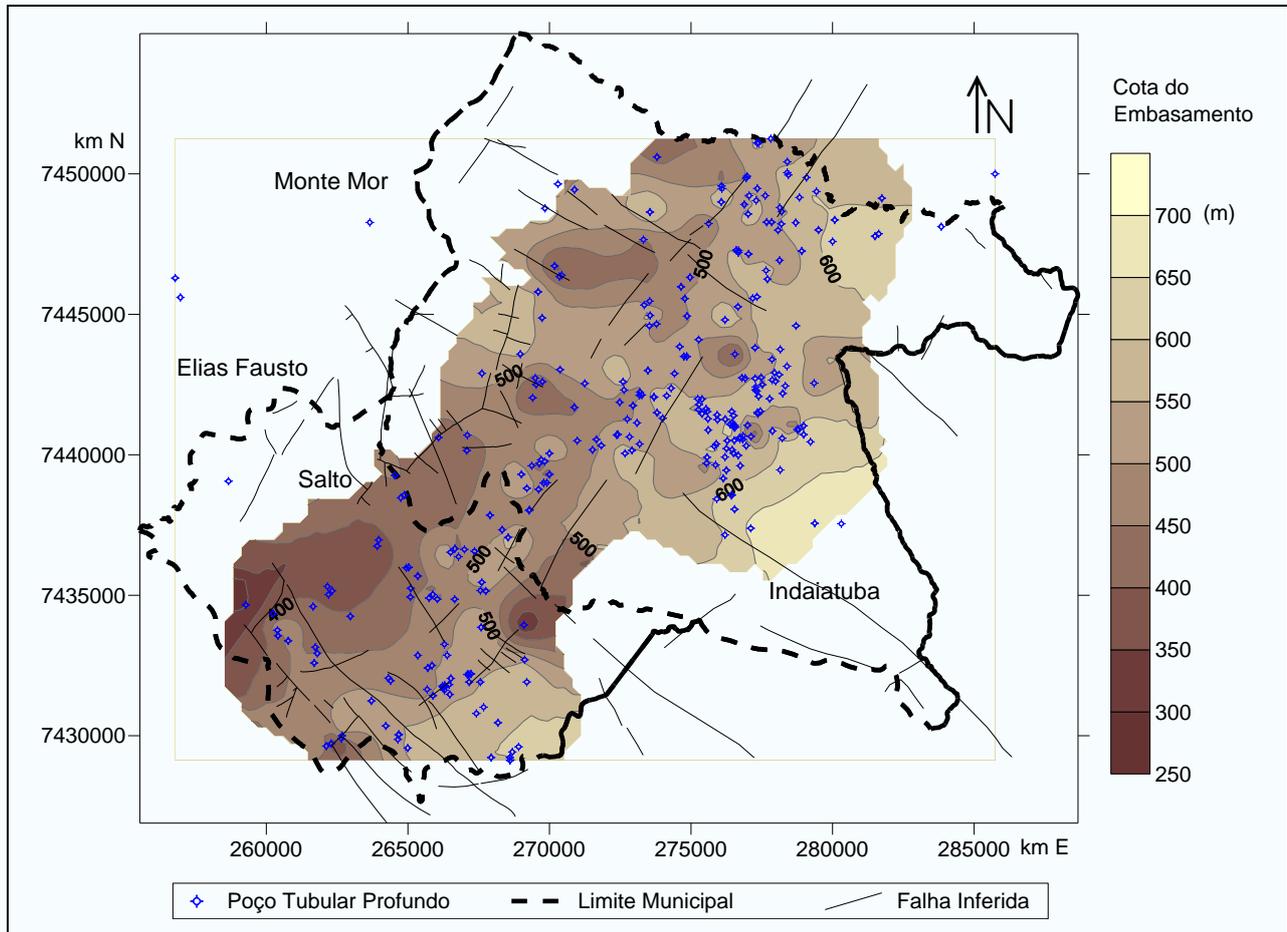


FIGURA 4 - Mapa do Contorno Estrutural do Topo do Embasamento Cristalino.

Neste mapa constatou-se um desnível progressivo do topo do Embasamento Cristalino em direção a oeste, da cota 700 até 400 m. Desníveis acentuados deste embasamento ocorrem em Salto, e podem corresponder a falhas pretéritas de direção NE e NW.

Foram delineadas neste mapa, as falhas inferidas obtidas dos trabalhos de DAEE/UNESP (1980) e Neves (2005), para averiguar as correlações com as quebras no relevo do Embasamento Cristalino em relação a estas falhas inferidas.

Vidal (2002) elaborou também um mapa de Contorno Estrutural do Topo do Embasamento Cristalino em uma área maior, utilizando dados de poços tubulares e sondagens elétricas verticais, que permitiu caracterizar o Embasamento a grandes profundidades (Figura 5).

Comparando-se os dois mapas, observa-se que existe uma concordância na conformação das curvas altimétricas do Embasamento Cristalino.

No mapa do Vidal (2002) (Figura 5) constatou-se uma quebra de relevo entre os municípios de Capivari e Elias Fausto, associada a falhas normais de direção N-S, paralelas à borda da bacia. Outra zona de falha de direção EW foi identificada entre Tietê e Indaiatuba. Segundo o autor, essas características seriam responsáveis pelas maiores espessuras de arenitos observadas nessas regiões

A região dos seis municípios aqui estudados estão contidos em um retângulo em vermelho na Figura 5. O retângulo tracejado em vermelho indica a área dos municípios de Indaiatuba e Salto analisados na Figura 4.

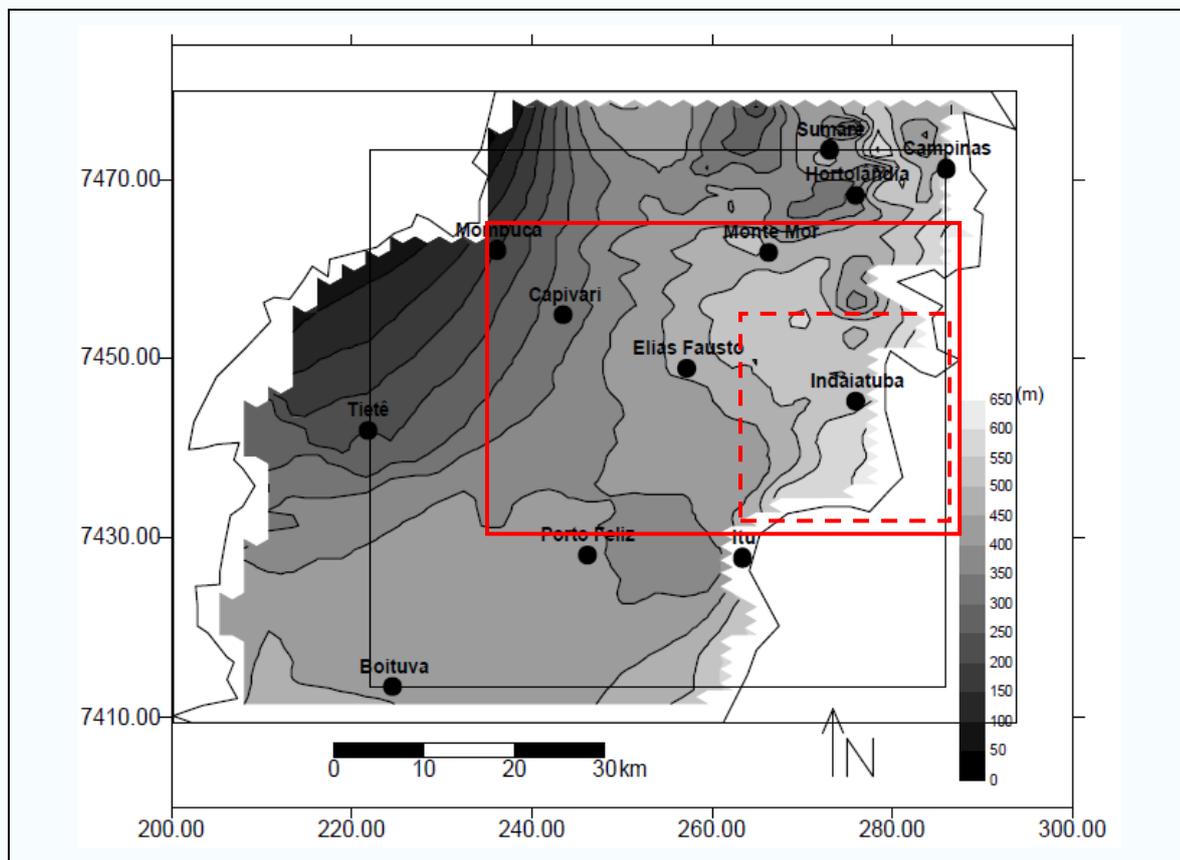


FIGURA 5 - Contorno da altitude do Embasamento Cristalino extraído de Vidal (2002).

- Mapa de vazão

A distribuição dos poços nos seis municípios pode ser observada na (Figura 6), onde os poços foram classificados por faixas de vazão.

- Mapa de capacidade específica

Para melhor avaliar a produtividade dos poços foi também confeccionado um mapa de isolinhas de capacidade específica (Q/s) (Figura 7).

As áreas marcadas com retângulos em vermelho na Figura 7 correspondem a zonas com capacidade específica mais elevadas, que se concentram em Capivari, Rafard, Elias Fausto e Monte Mor.

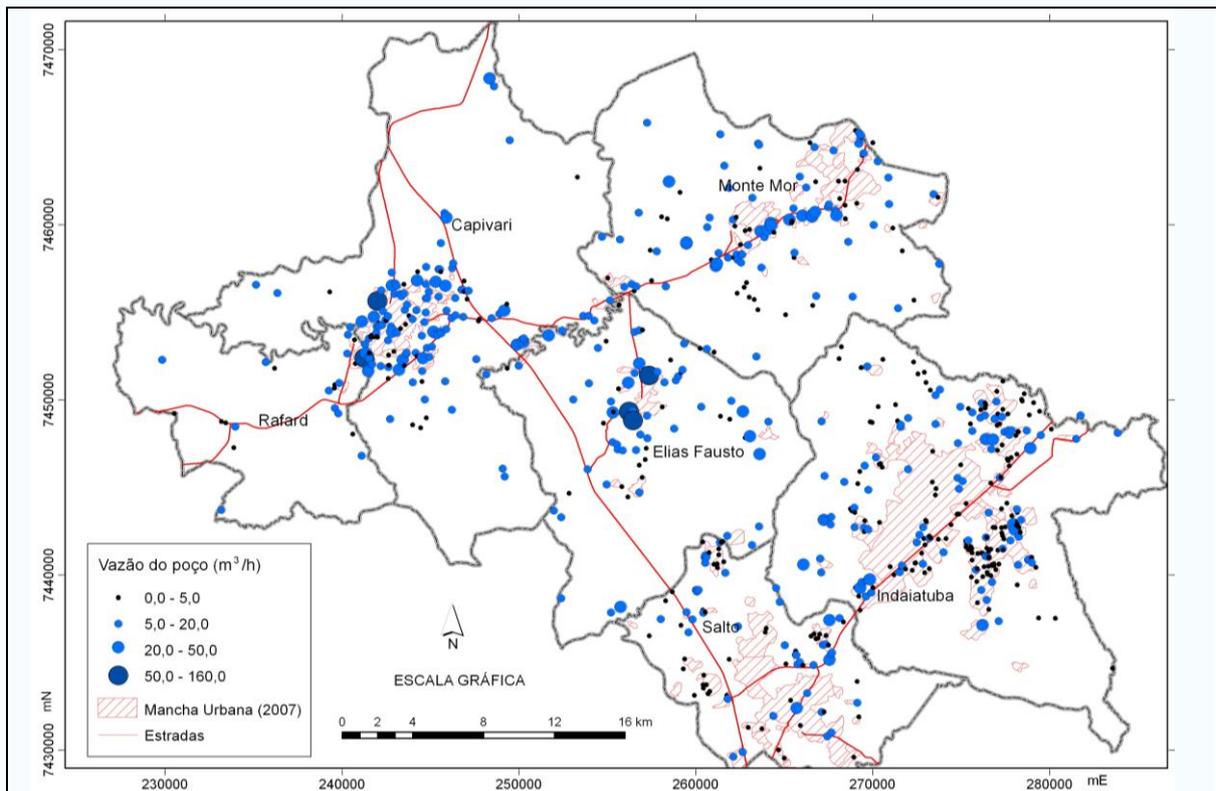


FIGURA 6 - Mapa dos poços classificados por vazão.

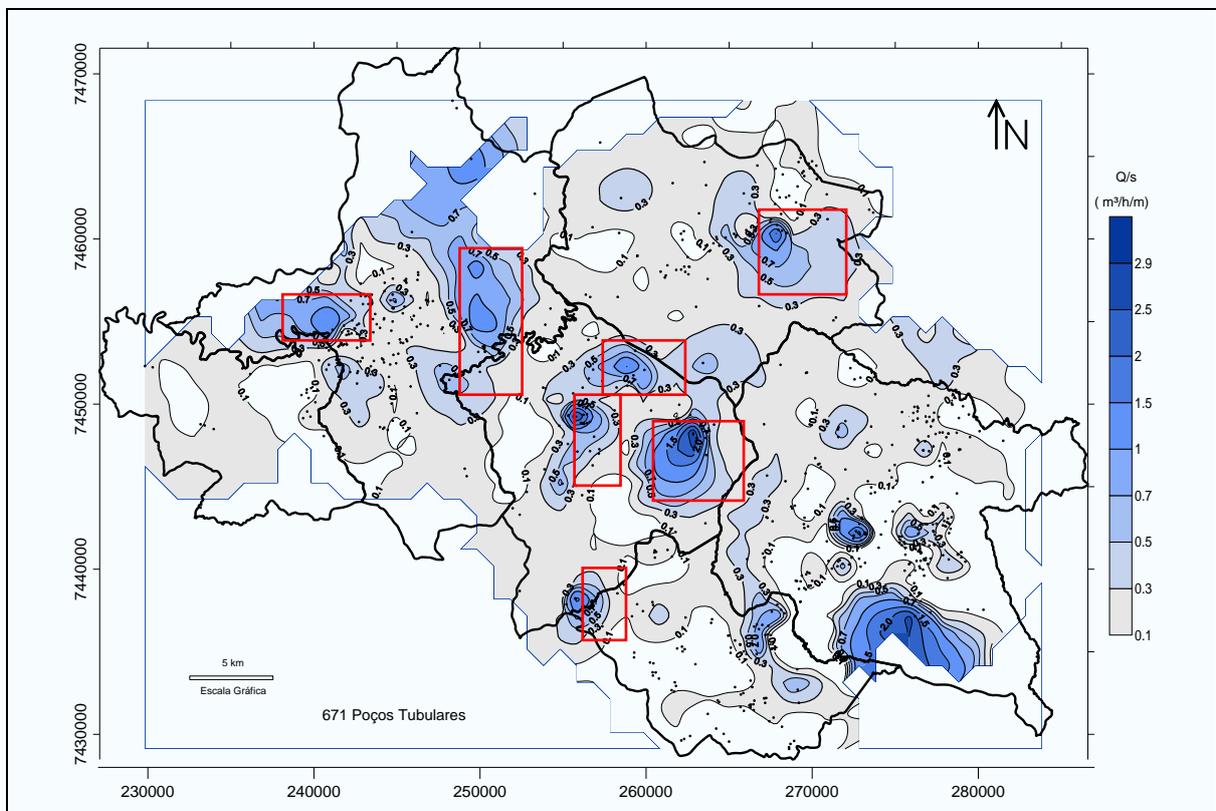


FIGURA 7 - Mapa de capacidade específica.

- Mapa de porcentagem de arenito

As áreas demarcadas com retângulos em verde na Figura 8 representam as zonas com porcentagem de areia mais elevadas e apresentam correlação com as áreas com maiores vazões e capacidade específica ilustradas nas Figuras 6 e 7.

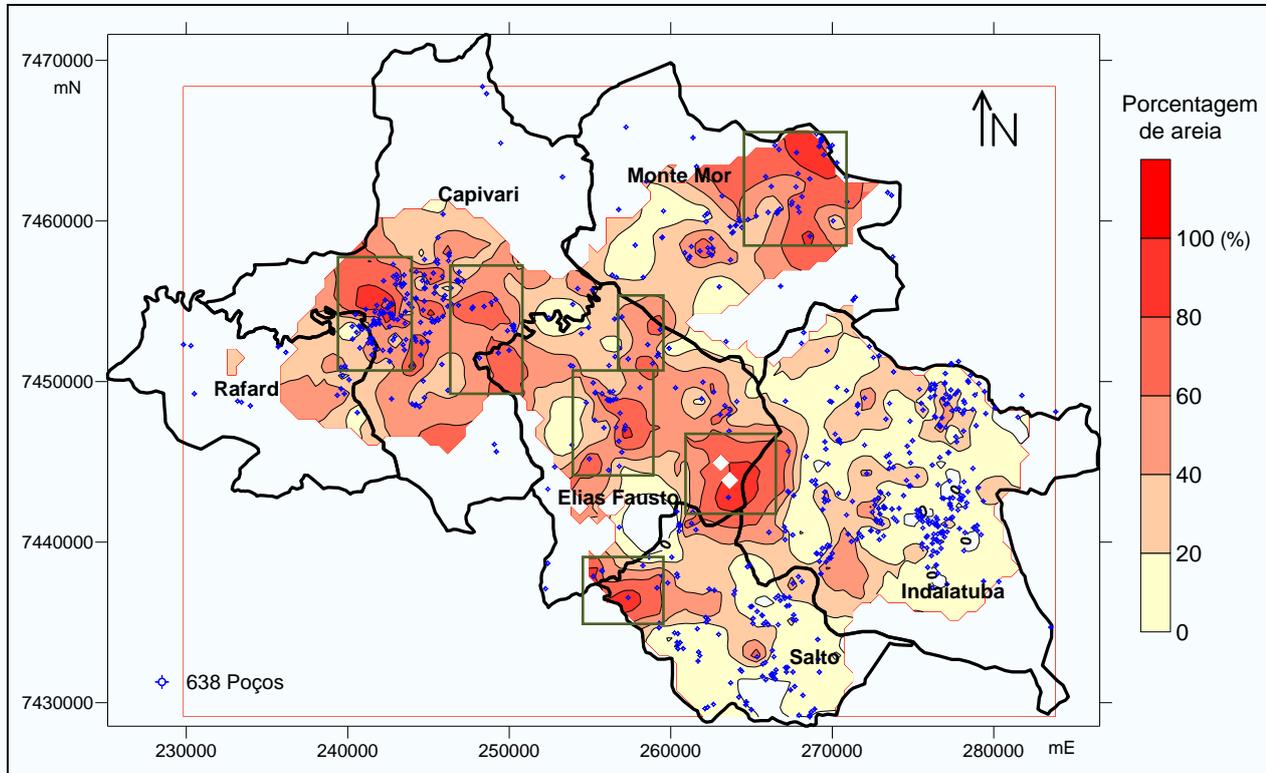


FIGURA 8- Mapa de porcentagem de arenito dos poços

- Mapa de produtividade similar

No presente estudo, principalmente em função do mapa geológico e da distribuição dos poços na área, a mesma foi subdividida em três regiões correspondentes aos principais sistemas aquíferos presentes na área. A região do Sistema Aquífero Tubarão recebeu uma sigla inicial “T”, a região dos Poços Mistos recebeu a sigla inicial “M”, a região do Sistema Aquífero Cristalino, que não foi subdividida e recebeu a sigla “C” (Figura 9).

No Sistema Aquífero Tubarão, partir do mapa de capacidade específica (Q/s), foram separadas as áreas mais e menos produtivas utilizando-se o limite de capacidade específica de $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e para a porcentagem de arenito considerou-se o limite de 60% de arenito.

As áreas mais produtivas, com maior concentração de poços e com maior porcentagem de arenito, foram demarcadas recebendo um peso maior “T3”. As áreas com Q/s inferior a $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, porém ainda com altas porcentagens de arenito foram classificadas como “T2”, e o restante da área, com apenas alguns poços, “T1”.

As áreas sem poços receberam a sigla “SI” (Sem informação). Da mesma forma esta metodologia foi aplicada à região dos Poços Mistos.

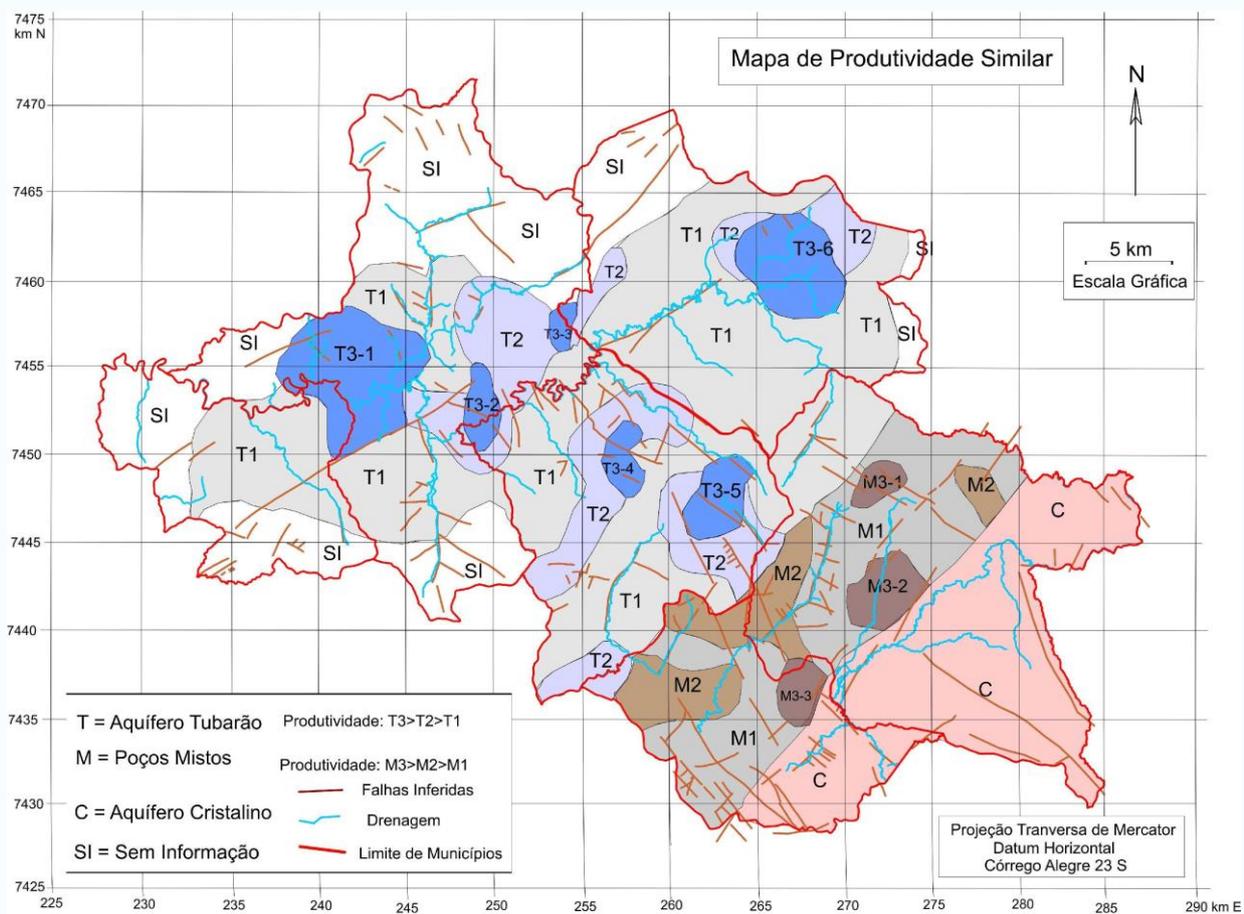


FIGURA 9 - Mapa de produtividade similar.

O cruzamento destas informações resultou em 6 zonas mais produtivas T3 (1,2,3,4,5,6), 7 zonas T2, e T1.

Para a região dos poços mistos foi utilizado o mesmo procedimento aplicado ao Aquífero Tubarão, isto é, procurando-se associar a maior produtividade com a maior porcentagem de arenito. Este procedimento resultou nas seguintes zonas: M3, M2 e M1. Para a região do Aquífero Cristalino (C) os poucos poços presentes nesta unidade não permitiram a sua subdivisão.

6- CONCLUSÕES

Constatou-se um uso crescente da água subterrânea pelo setor privado, principalmente em Indaiatuba e Salto, decorrente da densa expansão industrial e urbana.

Capivari, Monte Mor, Rafard e Elias Fausto, utilizam, de forma expressiva, a água subterrânea para abastecimento público, sendo que os dois últimos dependem 100% do Sistema Aquífero Tubarão, denotando a importância desse recurso hídrico, apesar de, regionalmente, ser considerada uma unidade hidroestratigráfica de baixa produtividade.

O Sistema Aquífero Tubarão apresenta os maiores valores de capacidade específica (Q/s), em relação ao Sistema Aquífero Cristalino e Diabásio.

Através do Mapa de Produtividade Similar, podem ser destacadas algumas áreas mais produtivas como: oeste e leste de Capivari (T3-1; T3-2; T3-3), nordeste de Monte Mor (T3-6), centro-norte e leste de Elias Fausto (T3-4; T3-5); centro-noroeste de Indaiatuba (M3-2; M3-1); e norte de Salto (M3-3).

7- AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem:

Ao Instituto Geológico/SMA; ao FEHIDRO - Contrato 450/2006; à CETESB, ao DAEE, à SABESP; ao SAAE Indaiatuba; ao SAAE Capivari; ao SAE Salto e à Prefeitura Municipal de Rafard.

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1981a. Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 5. Campinas. São Paulo, DAEE, 2 vol.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1981b. Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 4. Sorocaba. São Paulo, DAEE, 2 vol.
- DAEE/IG/IPT/CPRM. 2005. Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. Nota explicativa. São Paulo. São Paulo: DAEE-Departamento de Águas e Energia Elétrica, IG- Instituto Geológico, IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 3 v. (mapa e CD-ROM).
- DAEE-UNESP. 1980. Mapeamento faciológico do Subgrupo Tubarão. Convênio DAEE-UNESP, Escala 1:50.000.
- GALEMBECK, T.M.B. 1997. O Complexo Múltiplo, centrado e plurisserial Itu – SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1v., 2 mapas, 374 p.
- HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. 1981. O embasamento Pré-Cambriano e Eopaleozóico em São Paulo. *In*: Almeida, F.F.M. de; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S. de; BISTRICHI, C.A. - Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 500.000, p. 12-45.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1973. VIII Recenseamento Geral 1970. Censo Demográfico São Paulo 1970. Rio de Janeiro, IBGE, v.1, Tomo 18. Sério Regional, 3 v.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1982. IX Recenseamento Geral do Brasil -1980. Censo Demográfico: Dados Distritais – São Paulo. Volume 1 – Tomo 3 – Número 17. Rio de Janeiro, IBGE, 611 p.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1995. Estimativas da População para Estados e Municípios com Data de Referência em 01/07/94 – População Residente. Brasília, IBGE, 1995. Resolução Nº 38 de 25/08/95 – Diário Oficial, Seção I, nº 167, 30/08/95.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2003. Cadastro Central de Empresas 2003.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2006. Perfil Municipal. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Cidades@ São Paulo. Disponível em: <http://www.ibge.com.br/cidadesat>.
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. 1990. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento da Folha de Salto de Pirapora (SP), 1:50.000. São Paulo: IG/SMA. 1v. e mapas (Relatório Técnico do Instituto Geológico).
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. 1990. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento da região do Município de Sorocaba (SP). São Paulo: IG/SMA. 1v. e mapas (Relatório Técnico do Instituto Geológico).
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. 1991. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Itu (SP). São Paulo: IG/SMA. 2 v. (Relatório Técnico do Instituto Geológico).
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. 1993. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do Município de Campinas (SP). Programa Cartas Geológicas e Geotécnicas para o Planejamento Ambiental na Região de Sorocaba e Campinas. São Paulo: IG/SMA, 3 v.
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. 1995. Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da bacia do Rio Piracicaba. São Paulo, Instituto Geológico - Secretaria do Meio Ambiente, Relatório Técnico.
- IG/CESTEB/DAEE. 1997. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Coord. R. Hirata, C. R. A. Bastos, G. A. Rocha. São Paulo: Instituto Geológico: CETESB, 144p. 2 v.

- IRITANI, Mara Akie; ODA, Geraldo Hideo; EZAKI, Sibebe; VARNIER, Cláudia. 2009. Delimitação de Área de Proteção das Águas Subterrâneas no Município de Capivari (SP). *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, 30 (1/2), 1-19.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo, *Escala 1.500.000*. São Paulo. 1ª ed. IPT. 2 v.
- LOPES, M. F. C. 1984. Água subterrânea no Estado de São Paulo. Síntese das condições de ocorrência. *Cong. Bras. Águas Subterrâneas, 3. Anais...* Fortaleza, CE, v. 1, p. 305-317.
- NEVES, M.A. 2005. Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na bacia do rio Jundiá (SP). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, 200p.
- ODA, G. H. 1998. Contribuição à hidrogeologia da Região entre Salto e Pirapora de Itu (SP): análise da produtividade, ocorrência e circulação das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Tubarão e Cristalino. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, USP. São Paulo.
- ODA, G.H.; BOTELHO, P.F.; IRITANI, M.A.; BERTOLO, R.A.; DINIZ, H.N. 1993. Contribuição das Águas Subterrâneas para o Abastecimento de Capivari, SP. In: 4º Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, Cuiabá, MT. *Anais....* ICHS/UFMT, Curitiba, p. 381-388.
- ODA, G.H.; IRITANI, M.A.; FERREIRA, L.M.R.; SILVA, A.H.; ROCHA, G.A. 2005. Proposta Metodológica para Exploração Racional do Sistema Aquífero Tubarão no Estado de São Paulo. In: ABAS, Encontro Nac. Perfuradores de Poços, 14 / Simp. Hidrog. Sudeste, 2, Ribeirão Preto, CD-ROM, 13 p.
- ODA, Geraldo Hideo; TAKEUCHI, Diana Mayumi; EZAKI, Sibebe; IRITANI, Mara Akie; VARNIER, Cláudia; ROSSINI-PENTEADO, Denise; LIMA, Carla Veiga Fernandes; SILVA, Alexandre Henrique da; ZUCA, Nádia Lucia; PACHECO, Renan Penasso. 2012. Geometria do Aquífero Tubarão entre os Municípios de Indaiatuba e Capivari (SP). *Rev. Inst. Geol., São Paulo*, v. 33, n. 1, p. 23-40.
- ODA, Geraldo Hideo; Iritani, Mara Akie; Ezaki, Sibebe e Rossini-Penteado, Denise. 2013. Identificação de áreas potenciais de restrição e controle de captação e uso das águas subterrâneas na porção sul da UGRHI05 – Projeto ARC-TUB1. Relatório Técnico– Reimpressão. - São Paulo : SMA / IG, 2013. 2 v. Disponível em: http://www.comitespcj.org.br/images/Download/ContratoFehidro-450-2006_Proj-ARC-Tub1_Relatorio.pdf.
- PEREIRA, S.Y. Proposta de representação cartográfica na avaliação para estudo de planejamento e meio ambiente. Exemplo da Região Metropolitana de Campinas-SP. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 190 p. 1997.
- PETRI, S.; PIRES, F. A. 1992. O Subgrupo Itararé (Permocarbonífero) na região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, vol. 22, n. 3, p. 301-310.
- PETRI, S.; VIEIRA, P. C.; ODA, G. H.; FERNANDES, P. B. 1996. O Subgrupo Itararé, Permocarbonífero da Região do Médio Tietê, Estado de São Paulo, estudos de subsuperfície. *Rev. Inst. Geol., São Paulo*, v. 17, n. 1/2, p. 63-78.
- PIRES, F.A.; PETRI, S. 1991. O Subgrupo Itararé na Região Capivari-Rafard. In: Simpósio Regional de Geologia do Sudeste, 2, São Paulo, SP. Atas, SBG, São Paulo, p. 391-396.
- SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Informações dos Municípios Paulistas – IMP. Disponível em <http://www.seade.gov.br/produtos>. Acesso em 15/06/2010.
- SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO / Ministério das Cidades. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. 2008. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>.
- VARNIER, C.L.; ODA, G.H.; IRITANI, M.A.; SILVA, A.H.; SILVEIRA, E.L. 2005. Caracterização Hidrogeológica Preliminar do Sistema Aquífero Tubarão em Rafard e Capivari-SP. In: ABAS, Encontro Nacional de Perfuradores de Poço, 2 / Simp. Hidrog. Sudeste, 2, Ribeirão Preto, CD-ROM, 14 p.
- VIDAL, A.C. 2002. Estudo hidrogeológico do Aquífero Tubarão na área de afloramento da porção central do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro, 109p.
- VIDAL, A.C.; ROSTIROLLA, S.P.; KIANG, C.H. 2005. Análise de favorabilidade para a exploração de água subterrânea na Região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 35, p.475-481.