

# **<sup>1</sup>AVALIAÇÃO GEOESPACIAL PRELIMINAR DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL (PORÇÃO PAULISTA) COM BASE NOS DADOS SIAGAS/CPRM**

Paula Albuquerque Durigan<sup>1</sup> & Silvio Jorge Coelho Simões<sup>1</sup>

**Resumo** - Essa pesquisa teve como objetivo proporcionar conhecimento da potencialidade quantitativa explorada de água subterrânea de dois diferentes aquíferos presentes na porção paulista da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e sua relação com as unidades geológicas locais. Os Aquíferos distinguem-se por suas características hidrogeológicas que devem ser conhecidas e consideradas na escolha do tipo da obra para captação da água subterrânea, uma vez que tais características interferem de forma decisiva na capacidade e no potencial de fornecimento de água seja do sistema aquífero cristalino como do sedimentar, presentes na Bacia. Assim sendo, por meio do levantamento de trabalhos pretéritos de caracterização e investigação da área subsidiados junto às instituições públicas, o presente trabalho procurou avaliar a capacidade de integração e interação de um sistema de informação geográfica (ArcGIS®) no sentido de se obter um mapa do potencial quantitativo de água subterrânea e sua correlação com a geologia da presente Bacia, contribuindo dessa forma, para uma utilização mais racional e sustentável desse recurso tão fundamental que é a água subterrânea.

**Abstract** - The aim of this research was provide knowledge of the quantitative potential of exploited groundwater from two different aquifers present in the paulista state portion of the Basin of the Paraíba do Sul and its relationship with local geological units. The aquifers are distinguished by their hydrogeological characteristics that must be known and considered for to choose the type of work to capture groundwater, since such this characteristics interfere decisively in the capacity and potential water supply such crystalline aquifer system as sediment system that are present in the basin. Thus, by investigating bygone's work characterization and investigation of subsidized

---

<sup>1</sup> Aluna de mestrado do Programa de Pós-Graduação Multi-Campus em Engenharia Civil e Ambiental, UNESP, Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 CEP: 17033-360 - Vargem Limpa - Bauru\SP (14) 3103-6108, paulinhaad@yahoo.com.br

<sup>1</sup> Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental, UNESP, Pq. Tecnológico de São José dos Campos – SP Rod. Presidente Dutra, km 137,8, Eug. de Melo, São José dos Campos, SP (12) 3905-2036, silvio.simoed@fosjc.unesp.br

area with public institutions, this study investigates to evaluate the ability of integration and interaction of a geographic information system ( ArcGIS ® ) in order to obtain a map the quantitative groundwater potential and its correlation with the geology of this basin, thereby contributing to a more rational and sustainable use of this resource that is so fundamental that is the groundwater.

**Palavras-chave** - Água subterrânea, sistema de informação geográfica.

## INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas tem papel indispensável como manancial hídrico de abastecimento, ascensão do desenvolvimento econômico regional e da qualidade de vida das populações. No Estado de São Paulo, dados levantados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2010) indicam que 51% (331) dos municípios exploram água de aquíferos para atender a suas demandas urbanas. A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2014) estima que cerca de 15 mil poços sejam perfurados anualmente no Estado de São Paulo. Sabe-se que os tipos de aquífero estão intimamente associados às formações geológicas que ocorrem no ambiente, fator que determina a capacidade de armazenar e transmitir a água subterrânea em quantidades que possam ser viáveis como fonte de abastecimento. Distintos por suas características hidrogeológicas como o tipo de rocha e a forma de circulação da água, as quais afetam diretamente na produtividade, e também na vulnerabilidade à poluição a que cada aquífero está sujeito (IRITANI; EZAKI, 2009).

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul que se estende por três estados pertencentes à Região Sudeste, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, numa área de drenagem total de 56.600 km<sup>2</sup> (CBH-PS, 2007). Na porção paulista da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, ocorrem dois sistemas aquíferos, sendo que o principal, em termos de potencial de produção, é o constituído pelas rochas sedimentares. O Sistema Aquífero Cristalino tem importância secundária (CEIVAP, 2011).

O Sistema Aquífero Sedimentar, da Porção Paulista da Bacia do Vale do Paraíba do Sul, também denominado como sistema aquífero Taubaté, ocupa uma área de 2.340 km<sup>2</sup> e apresenta forma alongada, Sudoeste-Nordeste, ao longo do vale do Rio Paraíba do Sul. Este aquífero é constituído pelas rochas do Grupo Taubaté (Formação Resende e Tremembé) e da Formação Pindamonhangaba de idade terciária, além de sedimentos quaternários (IPT, 1981; RICCOMINI, 1989).

Um aspecto característico deste aquífero é a intercalação entre as diversas camadas de sedimentos arenosos e argilosos, gerando uma grande variabilidade litológica na subsuperfície. Na parte basal do aquífero, predominam as camadas mais arenosas, depositadas em ambiente fluvial, predominantemente nas regiões sudoeste, entre Jacareí e São José dos Campos, e nordeste, entre Guaratinguetá e Lorena. Nestas porções, o aquífero possui boa produtividade e as vazões sustentáveis recomendadas chegam até 120 m<sup>3</sup>/h por poço (DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

Na parte central do aquífero, entre as cidades de Taubaté a Pindamonhangaba, predomina a porção mais argilosa, formada em ambiente lacustre. Nesta região, a produtividade do aquífero é baixa e as

vazões recomendadas não ultrapassam 10 m<sup>3</sup>/h por poço (DAEE/IG/IPT/CPRM 2005). O aquífero varia do tipo livre a semi-confinado. Em parte do aquífero, a recarga direta implica em maior vulnerabilidade a cargas poluentes lançadas na superfície do terreno que possam infiltrar junto com a água da chuva. No entanto, pode ter comportamento que tende a ser confinado devido à predominância de camadas argilosas em superfície, o que promove certa proteção em determinadas regiões do aquífero (IRITANI; EZAKI, 2009; FCR, 2009). Regionalmente, os gradientes hidráulicos do Sistema Aquífero Sedimentar analisados em 240 poços, varia entre 0,02 e 14 m<sup>3</sup>/h/m, embora 73% dos poços apresentem valores inferiores a 3 m<sup>3</sup>/h/m. condicionados pela topografia e pela permeabilidade do material (DAEE/IG/IPT/CPRM 2005).

O Sistema Aquífero Cristalino no interior da bacia do Paraíba do Sul pode ser caracterizado em duas diferentes unidades de acordo com o comportamento hidráulico das rochas presentes. O primeiro se constitui de um manto de intemperismo, mais superficial sendo caracterizado por uma porosidade primária granular, elevada heterogeneidade, natureza livre e espessuras médias de até cerca de cinquenta metros; o segundo em condições de rocha sã, posicionado sob o manto de intemperismo, sendo caracterizado por porosidade primária fissural e caráter livre a semi-livre, heterogêneo e anisotrópico. A produtividade dos poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino é geralmente pequena, de somente alguns m<sup>3</sup>/h e com grande rebaixamento de nível. Mesmo poços bem localizados, em lineamentos tectônicos, rendem vazões da ordem de 10 a 20 m<sup>3</sup>/h (IRITANI; EZAKI, 2009; FCR, 2009).

Deve-se ressaltar que a escolha do tipo da obra para captação de água subterrânea depende do tipo e potencialidade do aquífero da finalidade de uso e da demanda de água, cujas opções têm reflexos diretos no custo. Desse modo, antes de se construir poços para captar água subterrânea deve-se conhecer a capacidade e o potencial de fornecimento de água dos aquíferos. Quanto mais permeável e poroso, maior a vazão que se pode bombear do aquífero por meio de poços (IRITANI; EZAKI, 2009).

O aprimoramento dos estudos a fim de reconhecer as áreas de maior exploração atual, analisando-se tanto o número de poços (cadastrados) e os volumes explorados, associando as unidades geológicas existentes na Bacia Hidrográfica é importante tanto do ponto de vista ambiental, a fim de evitar impactos nos ecossistemas aquáticos como também sócio- econômico.

Desta maneira, a partir da compilação dos dados provenientes dos diversos trabalhos já executados por instituições públicas, entre elas, o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), o Instituto Geológico (IG), disponíveis para consulta e as tecnologias de Geoprocessamento. Este estudo avaliou as relações existentes entre o potencial hídrico

subterrâneo explorado através de poços cadastrados pelo Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e as unidades geológicas correspondentes na Parte Paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul, por meio da elaboração de mapas que contribuam para uma maior integração de informações já existentes e a utilização mais racional e sustentável desse recurso tão fundamental que é a água subterrânea.

## **MATÉRIAS E MÉTODOS**

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul possui área de drenagem de 55.300 km<sup>2</sup>, sendo 24% situadas em terras paulistas (13.272,0 km<sup>2</sup>) (Figura 1). O rio Paraíba do Sul, em seu trecho paulista, constitui o dreno natural da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 02), uma das bacias em que o Estado de São Paulo foi dividido, para efeito de aplicação da Política de Gestão de Recursos Hídricos. O presente estudo visará os dois sistemas aquíferos que ocorrem na UGRHI 02, o constituído pelas rochas sedimentares e o Sistema Aquífero Cristalino.

Inicialmente foi realizado o levantamento dos trabalhos anteriores de caracterização e investigação da área tais como DAEE (1977, 2005); IRITANI (2009); COSTA (2000); DAEE/IG/IPT/CPRM (2005). A base de dados constou de dois tipos distintos de informação: a) mapas temáticos geológico e hidrogeológico em formatos *shapefile* e *geodatabase* disponíveis na base de dados da CPRM e em instituições de ensino como o ICT-UNESP em São José dos Campos e a FEG-UNESP em Guaratinguetá; b) dados dos poços tubulares cadastrados com informação de vazão na base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

Ferramentas de análise geoespacial contidos na extensão Spatial Analyst-ArcGIS foram utilizadas para produzir o mapa o qual foi integrado mapas geológicos da Bacia e o mapa de dados de localização dos poços cadastrados.

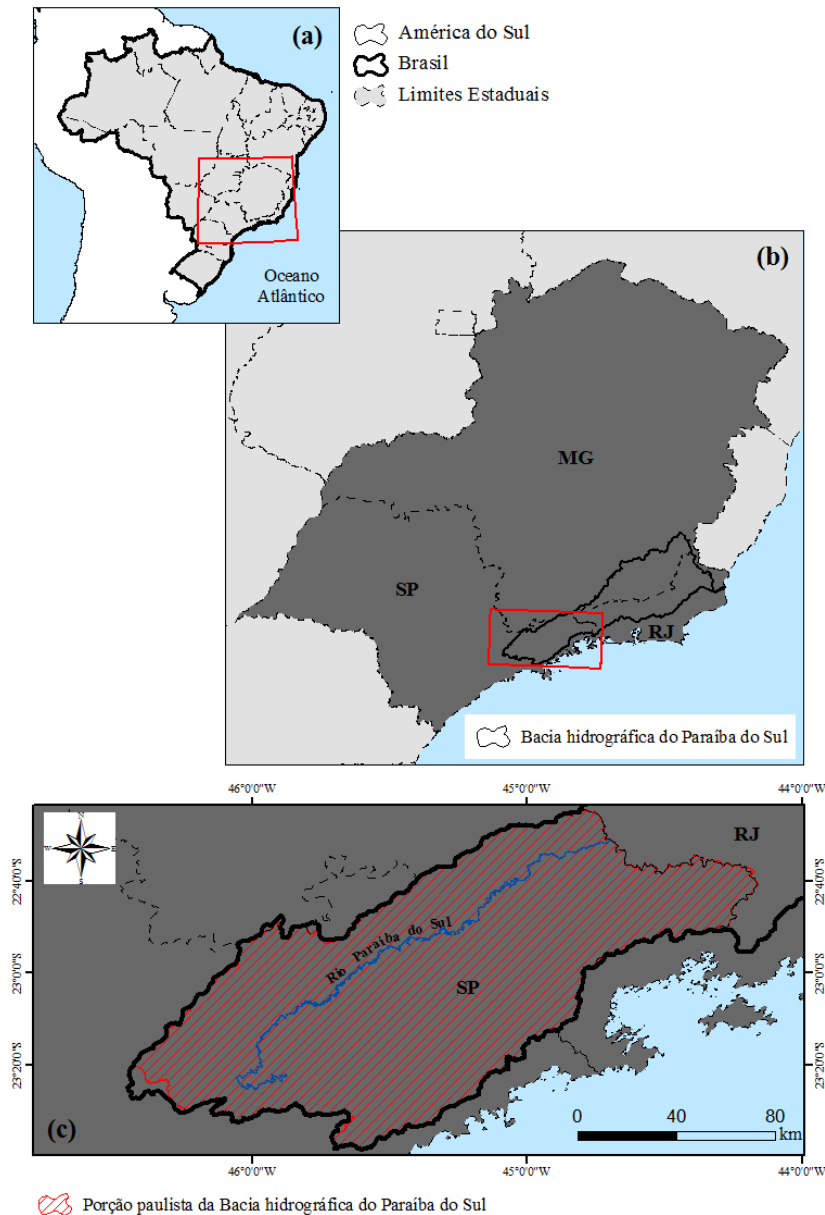


Figura 1. Localização Geográfica da Bacia do Rio Paraíba do Sul e do Trecho Paulista

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma geral, os tipos de aquíferos são intimamente associados às unidades geológicas intrínsecas, que imprimiram propriedades hidrogeológicas diferenciadas a cada aquífero, as quais se refletem na sua potencialidade (IRITANI, 2009).

O presente estudo dispõe de um total de 247 poços tubulares que apresentaram dados de vazão registrados na base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

Ao avaliar o mapa temático da área estudada (Figura 2), destacam-se dois sistemas aquíferos, o das coberturas sedimentares cenozoicas (Aquífero Taubaté) e o Sistema de Aquífero Cristalino de idade Pré-Cambriana.

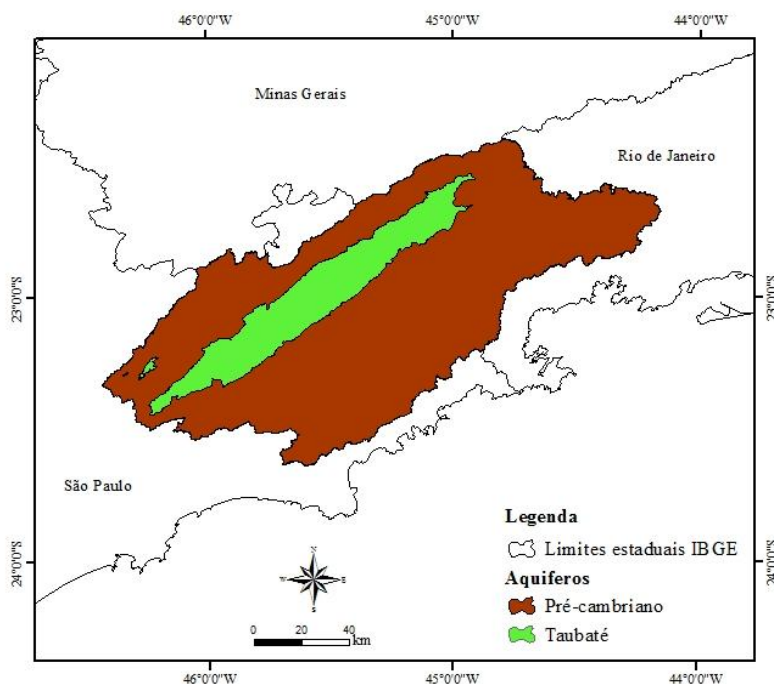


Figura 2. Localização geográfica dos Aquíferos Pré-cambriano e Taubaté

Segundo o mapa obtido nesse estudo (Figura 3), observa-se que existe uma maior quantidade de poços cadastrados (base de dados de poços SIAGAS) situados no Aquífero Taubaté; cerca de 84,61% dos poços com dados de vazão. Conforme a Fundação Christiano Rosa (2009), os terrenos sedimentares cenozoicos formam o principal e melhor aquífero da região, em termos de potencial de produção. Devido às características físicas dos solos e depósitos sedimentares arenosos e pouco argilosos da Bacia de Taubaté, existe uma tendência à infiltração das águas pluviais que vão alimentar o aquífero freático e, posteriormente, o aquífero profundo (DINIZ, 2005). As vazões exploráveis mais favoráveis podem chegar a mais de 200 m<sup>3</sup>/h, mas vazões menos favoráveis, inferiores a 10 m<sup>3</sup>/h (FCR, 2009; CETESB, 2013).

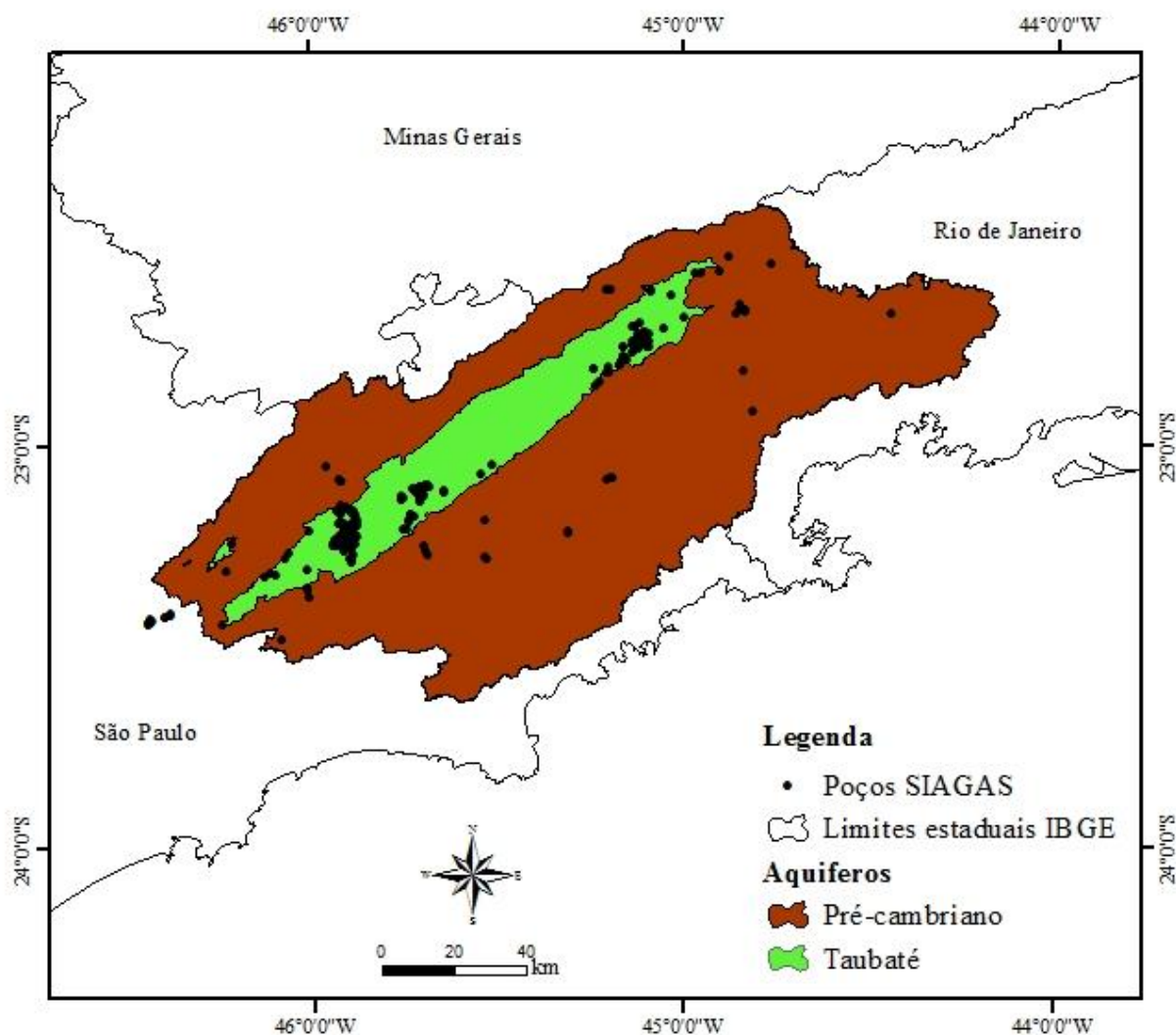


Figura 3. Localização dos poços tubulares com dados de vazão nos Aquíferos Pré-cambriano e Taubaté

Em relação ao potencial de produção, o Sistema Aquífero Cristalino tem importância secundária com cerca de 15,38% dos poços cadastrados com informações de vazão. As rochas cristalinas de origem ígnea e metamórfica ocasionam um aquífero regional descontínuo que apresenta condições de exploração através de falhas e fraturas (porosidade de fissuras), que permitem a circulação das águas subterrâneas. Com extensão e profundidade condicionadas pela intensidade do fraturamento, o que por vezes também inviabiliza a retirada da água a grandes profundidades. Segundo a Fundação Christiano Rosa (2009), o rendimento dos poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino é geralmente pequeno. Até mesmo poços bem localizados, em lineamentos tectônicos, rendem vazões da ordem de 10 a 20 m<sup>3</sup>/h.



Tabela 1. Resumo dos valores de vazão (maior e menor) encontrado nos poços dos Aquíferos Pré-cambriano e Taubaté.

Aquífero	Área (Km <sup>2</sup> )	Poços SIAGAS	Vazão Estabilização (m <sup>3</sup> /h) (maior valor)	Vazão Estabilização (m <sup>3</sup> /h) (menor valor)
Taubaté	2.255	209	249	0,7
Pré-Cambriano	12.782	38	157	1,7

## CONCLUSÃO

Dentre as principais ameaças às águas subterrâneas destacam-se a sua exploração intensiva sendo um desafio para os respectivos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

O presente estudo buscou contribuir para uma melhor visualização dos aquíferos subterrâneos da Porção Paulista da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, que podem auxiliar no planejamento e na gestão destes recursos e sua relação com a geologia da região.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (ABAS). GIAMPÁ, C.E.Q. 2014. Disponível em: <<http://www.abas.org/abasinforma/139/paginas/05.htm>> Acesso em: 25 abr. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas Brasil: abastecimento de água: panorama nacional. Brasília: ANA, Engecorps, Cobrape, 2010. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)> Acesso em: 5 mai. 2014.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2010-2012. CETESB, 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-subterraneas/111-publicacoes-e-relatorios>> Acesso em: 28 abr. 2014.

COSTA, W. D. Uso e gestão de água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL-FILHO, J. (coord.). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM/ REFO, 2000. cap. 14, p. 341-367.

DINIZ, H. N.; EUZEBIO, B. A.; GRANDO, P.; MERCÊS, V. Comparação entre o potencial de recarga das áreas contendo rochas cristalinas e bacia sedimentar de Taubaté, no município de São José dos Campos – SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 2005, Ribeirão Preto, SP. II Simpósio de Hidrologia do Sudeste. Anais. Ribeirão Preto, SP, 2005. p. 1-12.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). Estudos de Águas Subterrâneas: região administrativa 3, São José dos Campos. v. 1. Resumo. DAEE, 1977. 112 p.

ROCHA, G. A. (coord.). Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo - Escala: 1:1.000.000. São Paulo: Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 2005 (CD-ROM e mapa).

FUNDAÇÃO CHRISTIANO ROSA (FCR). Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul: UGRHI 02 2009-2012. Piquete: FCR, dez. 2009. 325 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Mapa Geológico do Estado de São Paulo: 1:500.000. In: Série Monografia, n. 6, São Paulo: 1981.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2009. 2. ed. 104 p.

PARAÍBA DO SUL (CEIVAP); ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (AGEVAP); VALLENGE CONSULTORIA, PROJETOS E OBRAS LTDA. Relatório Técnico Bacia rio Paraíba do Sul: subsídios às ações de melhoria da gestão. Resende: COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO PARAÍBA DO SUL (CBH-OS), 2011. Disponível em <<http://www.comiteps.sp.gov.br>> Acesso em: 5 mai. 2014.

RICCOMINI, C. O Rift continental do sudeste do Brasil. São Paulo. 1989. 256 f. Tese. (Doutorado). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo.

