

XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

AVALIAÇÃO REGIONAL E IDENTIFICAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA LOCAÇÃO DE POÇOS NOS AQUÍFEROS FRATURADOS DA RMSP

Amélia João Fernandes ¹; Caio Christofoletti ²; Daphne Pino ²; Mateus Delatim Simonato ³; Antonio Pinhatti ³; Bruno Pirilo Conicelli ³; Ricardo Hirata ⁴ & Reginaldo Bertolo ⁴

Resumo – Este trabalho resultou do projeto “Diagnóstico de disponibilidade hídrica subterrânea da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP”, coordenado pelo CEPAS-IGcUSP, que visou contribuir com o plano de contingência de abastecimento de água da SABESP. Aqui, são descritos os métodos e resultados obtidos para os aquíferos fraturados das áreas atendidas pelos sistemas Cantareira e Alto Tietê. A identificação de critérios de seleção de pontos de perfuração de novos poços, inicialmente, contemplou uma análise regional com o objetivo de delimitar áreas com potenciais variáveis de exploração de água subterrânea. Esta análise utilizou cadastro de poços e mapa de polígonos estruturais elaborados neste projeto, bem como mapa geológico compilado. A análise resultou em mapa de áreas de interesse elevado, bom, moderado e baixo, que indicam, em ordem decrescente, os diferentes potenciais de produção presentes na RMSP. A seleção de pontos de perfuração foi iniciada pelas áreas de maior interesse, sendo seguida pelas áreas de interesse médio ou baixo. Espera-se que as melhores vazões sejam obtidas em locais de cruzamento de lineamentos de drenagens, associados a planícies aluviais bem desenvolvidas, bem como em unidades geológicas contendo rochas com grande número de discontinuidades, tais como contatos litológicos, bandamento e foliação.

Abstract – This work is one of the results of the project "Groundwater availability analysis of São Paulo Metropolitan Region", coordinated by CEPAS-IGcUSP, which aimed to contribute to the contingency plan of SABESP water supply. Here, we describe the methods and results obtained for the fractured aquifers of the areas encompassed by the Cantareira and Alto Tiete systems. The identification of point selection criteria for new well drilling initially included a regional analysis,

¹ Pesquisadora do Instituto Geológico – SMA, Rua Joaquim Távora 822, 5073-5511, 50772219, amelia.jfernandes@gmail.com

² Pós-Graduando do Instituto de Geociências – USP, Rua do Lago 562, 30914243, caio.christofolletti@gmail.com, daphne.pino@gmail.com

³ Pesquisador do Centro de Pesquisas em Águas Subterrâneas - CEPAS/USP, , Rua do Lago 562, 30914146, bconicelli@gmail.com, , madelatim@gmail.com, pinhatti100@gmail.com

⁴ Professor do Instituto de Geociências – USP, Rua do Lago 562, 30914243, 30914230, hirata@usp.br, bertolo@usp.br

that permitted the delimitation of areas with varied potential for groundwater exploitation. This analysis used a well data base, a compiled geological map, and a map of structural polygons, the latter being elaborated in the project. The analysis resulted in a map of high, good, moderate and low interest areas, indicating, in descending order, the different production potentials present in the RMSP. The selection of drilling points was initiated by areas of high interest, followed by areas of good and moderate interest. It is expected that the greater well discharges will be obtained at lineament intersections, associated with alluvial flats, as well as in geological units that contain rocks with a large number of discontinuities, such as lithological contacts, banding and foliation.

Palavras-Chave – aquífero fraturado, produção de água subterrânea, Região Metropolitana de São Paulo.

INTRODUÇÃO

Este trabalho insere-se no projeto “Diagnóstico de disponibilidade hídrica subterrânea em contribuição ao plano de contingência de abastecimento de água na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP”, coordenado pelo CEPAS-IGcUSP em atendimento ao plano de contingência de abastecimento de água da SABESP. Neste artigo são descritos os trabalhos realizados nos aquíferos fraturados das áreas prioritárias atendidas exclusivamente pelos sistemas Cantareira e Alto Tietê (Figura 1). Tais trabalhos visaram a compartimentação da RMSP em áreas com potencial hidrogeológico distinto, bem como a definição de critérios, em escala de detalhe, para seleção de pontos para perfuração de novos poços.

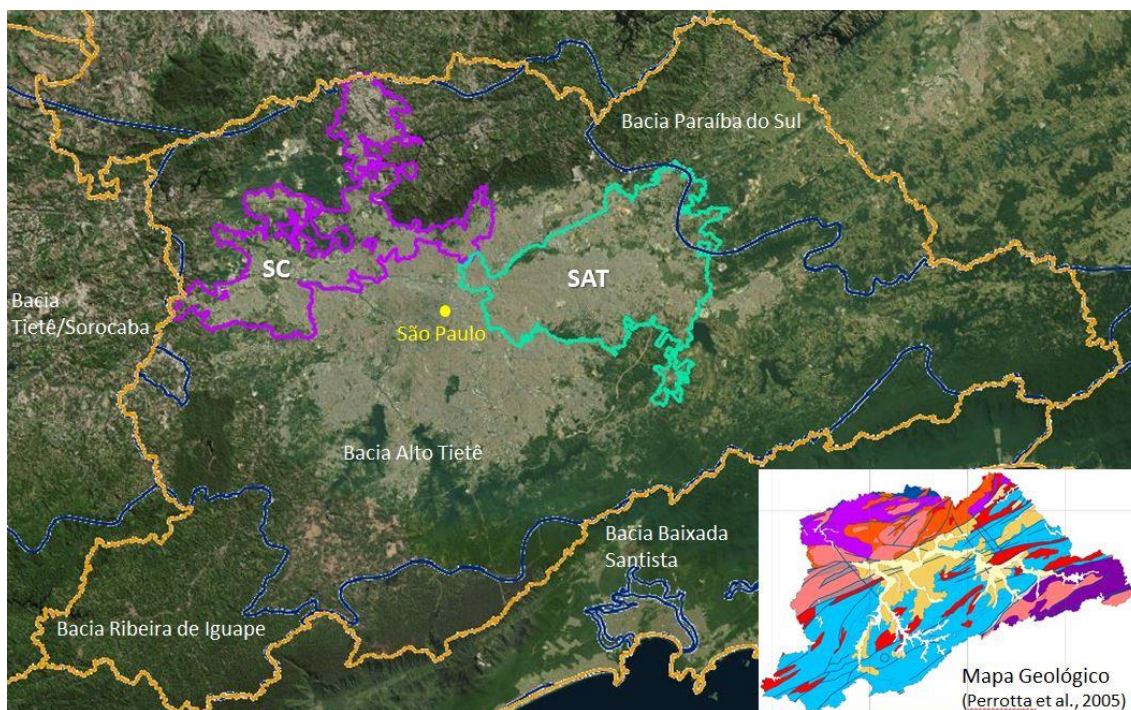


Figura 1. Localização da Região Metropolitana de São Paulo (contorno laranja), mostrando as bacias hidrográficas que a compõem, bem como as áreas prioritárias abastecidas pelos sistemas Cantareira (SC) e Alto Tietê (SAT). As áreas densamente urbanizadas (tons claros da imagem) repousam em grande parte sobre sedimentos (cores amarelas no mapa geológico), e as áreas mais escuras e verdes, sobre rochas cristalinas (azul, vermelho, rosa e roxo no mapa geológico). Ver legenda do mapa geológico da Figura 2.

CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Geologia regional

A porção central da RMSP, de relevo suave, contém extensas planícies aluviais, constituídas por sedimentos quaternários, associados à área de ocorrência da Bacia Sedimentar São Paulo, constituída por sedimentos terciários (Riccomini & Coimbra, 1992). O restante da RMSP é composta por rochas cristalinas pré-cambrianas da Província Mantiqueira (Almeida et al., 1977, 1981) que pertencem aos complexos Embu, Costeiro e Varginha-Guaxupé, e aos grupos São Roque, Serra do Itaberaba e Votuverava (Figura 2). As litologias principais que afloram na região são: gnaisses (PCgn), granitoides foliados (PCgo), granitoides maciços (PCg), xistos (PCx), filitos (PCf), quartzitos (PCq), anfibolitos (PCa), rochas metacarbonáticas (PCc). O mapa geológico utilizado foi o SABESP/CEPAS-IGc-USP (1994) em escala 1:100.000. Convênio SABESP/CEPAS-IGc-USP). Milonitos diversos são subordinados e ocorrem ao longo das grandes zonas de cisalhamento (Figura 2).

As unidades sedimentares, de idade Terciária da Bacia São Paulo, são: Formação Resende, depositada em leques aluviais e composta por lamitos seixosos, arenosos ou argilosos; e Formação São Paulo, depositada em sistema fluvial meandrante e constituída por areias grossas a médias que gradam para areias mais finas, até siltes e argilas. Tais depósitos foram parcialmente cobertos por sedimentos quaternários de largas planícies aluviais (Figura 2).

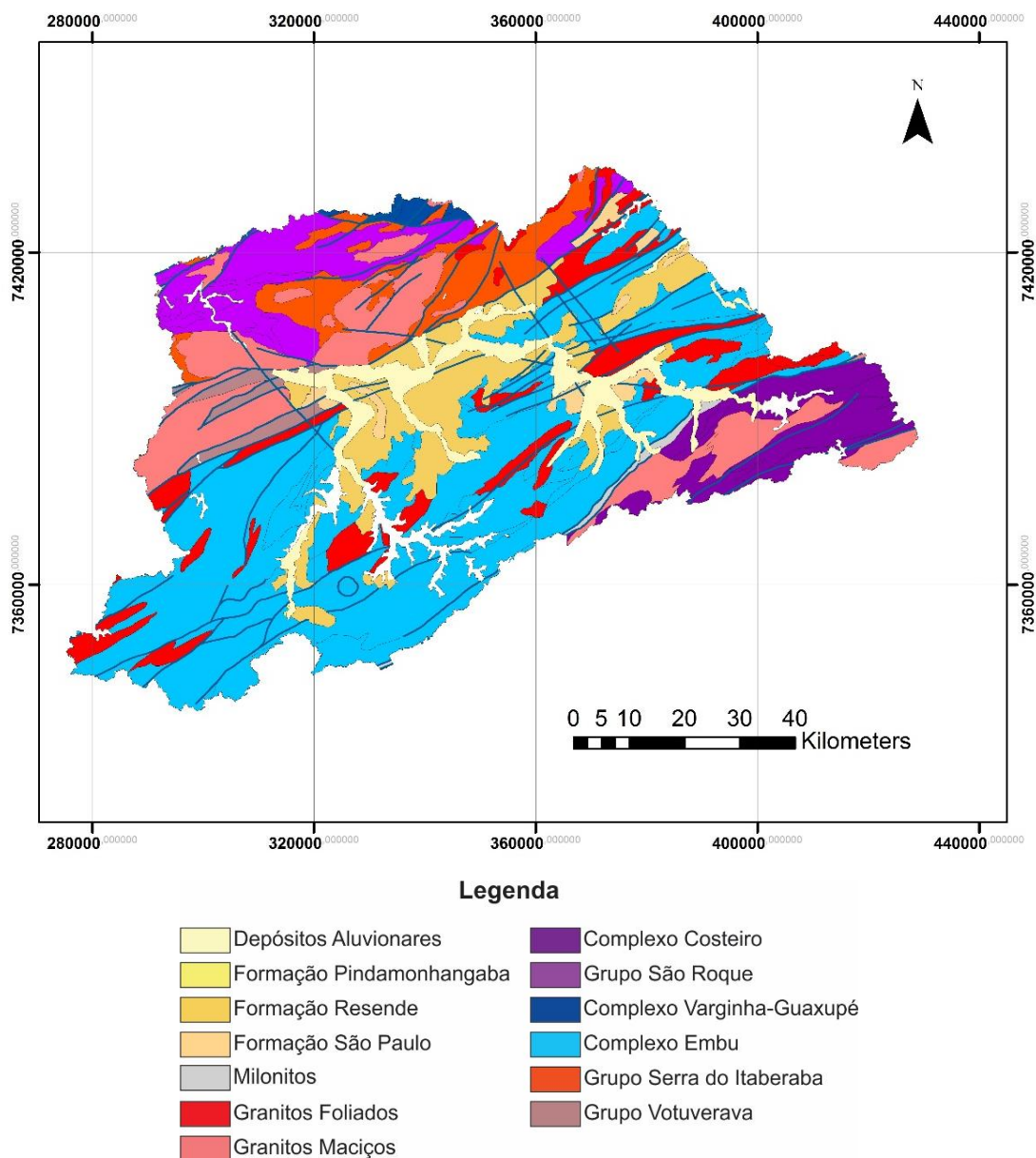


Figura 2. Mapa geológico da RMSP com as grandes unidades geológicas. As grandes zonas de cisalhamento, bem como estruturas rúpteis de direção noroeste e oeste-noroeste, são representadas pelos traços pretos em negrito. Modificado do mapa geológico do Estado de São Paulo em 1:750.000, de Perrota, et al. (2005).

Hidrogeologia da Região Metropolitana de São Paulo

A RMSP, composta por 39 municípios, contém porções de quatro bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, a do Alto Tietê (AT), a Ribeira de Iguape e Litoral Sul (RB), Sorocaba e Médio Tietê (SMT) e Paraíba do Sul (PS). Destas, a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê é a mais extensa e abrange a maioria dos municípios da RMSP, com uma área de drenagem de 5868 Km², e tendo como rios principais o Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Claro, Piratininga, Jundiaí, Biritiba-Mirim e Taiaçupeba. Na Bacia Alto Tietê a água subterrânea é utilizada extensivamente para o abastecimento privado de indústrias, condomínios, hospitais e outros, através da exploração de cerca de 12 mil poços privados.

Na RMSP, ocorrem basicamente duas unidades aquíferas: 1) o Aquífero São Paulo, constituído pelas rochas sedimentares da Bacia de São Paulo e pelos aluviões superpostos, e 2) o Aquífero Cristalino ou Pré-Cambriano, composto pelas rochas cristalinas, metamórficas e ígneas, do embasamento da bacia.

Para Hirata e Ferreira (2001), as unidades sedimentares da Bacia de São Paulo constituem o Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) e as rochas cristalinas, o Sistema Aquífero Cristalino (SAC).

O Aquífero São Paulo, assim denominado por Campos & Albuquerque Filho (2005), ou SAS, é constituído pelas rochas sedimentares da Bacia de São Paulo, caracterizadas por intercalação de sedimentos arenosos e argilosos de ambiente predominantemente fluvial, e pelos sedimentos quaternários mais extensos associados às planícies fluviais dos rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Claro, Biritiba-Mirim e Taiaçupeba. Compõe-se de aquíferos de porosidade primária, livres a semi-confinados, e bastante heterogêneos devido às inúmeras intercalações de camadas arenosas e argilosas. O Aquífero São Paulo é de espessura variável, com valor médio de 100 m, podendo chegar a mais de 250 m em algumas regiões; sua produtividade é maior onde a Formação Resende predomina (10 e 40 m³/h), e menor em locais com predomínio da Formação São Paulo (10 m³/h). Para a Formação São Paulo, a vazão média dos poços é de 9,5 m³/h e a capacidade específica mediana, de 0,5 m³/h/m; para a Formação Resende, a vazão média é de 15,2 m³/h e capacidade específica de 0,31 m³/h/m (Hirata & Ferreira 2001).

O Sistema Aquífero Cristalino (SAC) é do tipo fraturado, heterogêneo e anisotrópico. Em geral, é livre, porém quando está sob o Aquífero São Paulo, ele é tido como semi-confinado. Como a sua produção está relacionada à presença de fraturas e às características destas (abertura, densidade e conectividade), os valores de vazão são bastante variáveis, mesmo em poços muito próximos. Segundo Fernandes et al. (2005), as vazões prováveis para o Aquífero Cristalino podem variar mais frequentemente de 1 a 23 m³/h. Os poços que exploram as unidades de rochas granitoides (PCg e PCgo, Figura 3) apresentam vazão média de 9,1 m³/h e capacidade específica

mediana de 0,1 m³/h/m; os micaxistos (PCx) apresentam vazão média de 7,1 m³/h e capacidade específica de 0,3 m³/h/m (Hirata & Ferreira 2001). Assim a unidade PCx apresenta potencial um pouco mais elevado que as unidades PCgo e PCg.

O modelo de circulação regional mais aceito mostra que as águas das chuvas recarregam os aquíferos em toda a sua extensão não impermeabilizada; outra importante recarga ocorre pelas fugas da rede pública de abastecimento de água e de coleta de esgoto (Hirata & Ferreira, 2001). As águas das chuvas, que se precipitam sobre a área urbanizada, escoam para o sistema de águas pluviais. As galerias pluviais, por não receberem manutenção adequada, permitem a infiltração das águas no aquífero, aumentando a proporção de recarga com influência antrópica na área urbanizada. Uma vez ingressando no aquífero, as águas fluem em direção rios e córregos, suas áreas de descarga.

MÉTODOS

A identificação de critérios de locação de poços nas rochas cristalinas da área prioritária do Cantareira foi realizada em duas etapas. Uma regional, em que um zoneamento do potencial hidrogeológico foi efetuado para a área de interesse, e outra, em escala de detalhe, em que os critérios de locação de pontos de perfuração foram identificados.

Zoneamento regional do potencial hidrogeológico

Em vista da grande dimensão da RMSP e da sua heterogeneidade hidrogeológica, foram realizados trabalhos de zoneamento visando delimitar regiões com maior potencial de produção de água subterrânea.

Os métodos utilizados basearam-se em Fernandes et al. (2005), que compartimentaram os aquíferos fraturados do Estado de São Paulo em blocos com diferentes potencialidades de produção de água subterrânea. Quanto mais distante da região das bacias (Figura 1), os aquíferos fraturados apresentam ocupação urbana menos densa, e isto possibilita a locação de número considerável de novos poços.

A circulação da água subterrânea em aquíferos cristalinos é condicionada pela existência de fraturas com densidade, abertura e transmissividade variáveis, sendo que, em algumas regiões, as estruturas mais permeáveis apresentam atitudes (direções e mergulhos) controladas pelos esforços tectônicos atuais (Barton et al. 1995, Ferril et al. 1999, Morin & Savage 2003, Talbot & Serrat 2004).

Os lineamentos constituem a manifestação, na superfície do terreno, de fraturas de mergulhos médios a elevados, que podem ser de importância para o fluxo de água subterrânea. Por este motivo, a análise de lineamentos e sua relação com os poços mais produtivos é um dos métodos mais utilizados para inferir a direção das fraturas mais transmissivas em aquíferos fraturados (Bertachini 1988, Fernandes & Rudolph 2001, Madrucci 2004, entre outros). Também é de se esperar que as litologias exerçam influência sobre a produção de poços, pois uma litologia com muitas descontinuidades prévias (contatos, bandamento, foliação) deverá favorecer a existência de uma maior densidade de fraturas, já que os esforços tectônicos tendem a gerar uma grande quantidade de fraturas paralelas às estruturas antigas. Assim espera-se que gnaisses, xistos, filitos, e outras rochas metamórficas (todas com foliação, bandamento e grande número de contatos) sejam, de um modo geral, mais produtivas do que granitos maciços. Outro fator indicado por Fernandes et al. (2005, 2009) é a existência de blocos estruturais delimitados por grandes lineamentos com variações significativas, no potencial de captação de água subterrânea, de um bloco para outro, como demonstrado para toda a área de ocorrência de rochas pré-cambrianas cristalinas do Estado de São Paulo. Assim, o zoneamento da RMSPE, desenvolvido nesta etapa, avaliou a produção dos poços existentes (reunidos no cadastro) com relação à variação litológica e aos blocos separados por grandes lineamentos.

Os materiais utilizados no zoneamento compreenderam um cadastro que abrangeu poços do SIDAS e da SABESP, mapa geológico 1:100.000 e o mapa de polígonos.

O parâmetro de produção dos poços utilizado na análise foi a capacidade específica (vazão/rebaixamento, ou Q/s), pois esta é reflexo, primeiramente, das características locais do aquífero e, secundariamente, das características construtivas dos poços. Os poços foram classificados, quanto à litologia e ao polígono, utilizando a função “join” do ArcGis. A partir desta classificação, gráficos de frequência acumulada de capacidade específica foram construídos, o que permitiu comparar o desempenho dos poços situados em diferentes litologias e em diferentes polígonos estruturais, cujos limites são dados por lineamentos regionais interpretados neste projeto sobre Modelo Digital do Terreno da Emplasa.

Crítérios de locação de pontos de perfuração no aquífero fraturado

A seleção de pontos para perfuração de novos poços nos aquíferos fraturados das áreas prioritárias do Cantareira e Alto Tietê utilizou os seguintes materiais:

- Cadastro de poços existentes.

- Modelo digital do terreno da Emplasa, compatível com uma escala de observação ao redor de 1:60.000, iluminado nas direções N45E, E, N45W e N.

- Mapa geológico digital da RMSP, em 1:100.000, produzido pelo convênio SABESP/CEPAS-IGc-USP (1994) e complementado neste projeto.

- Mapa de áreas de interesse, descrito acima.

- Mapa da área prioritária, indicada pela SABESP, abastecida pelo Sistema Cantareira.

- Localização das áreas declaradas contaminadas (em avaliação ou já confirmadas) da Cetesb.

- Fotos aéreas na escala 1:25.000, sobre as quais foram selecionados pontos para perfuração de novos poços. Estas foram usadas apenas para o município de Santana do Parnaíba.

- Mapas topográficos da Emplasa, na escala 1:10.000 tanto em papel como em formato digital. Inicialmente foram georreferenciadas neste projeto e posteriormente foram obtidas online a partir do link <http://www.idemapas.emplasa.sp.gov.br/service> e carregadas no ArcGis 10.3.

- Imagens do Google Earth do terreno utilizadas em ambiente GIS (Quantum Gis e Arcgis 10.3), sobre as quais é apresentada a locação dos poços a serem perfurados. Este é um material essencial aos trabalhos, pois permite observar a ocupação do terreno (urbana, rural, industrial, verde), de modo que esta foi considerada durante a seleção dos pontos.

Com exceção das fotos 1:10.000, que são em papel, todos os materiais citados acima constituíram camadas de informação no ArcGis 10.3, projetadas no Datum Sirgas 2000.

O Modelo Digital do Terreno (MDT) não é suficientemente preciso para a seleção de pontos de perfuração de novos poços. As fotos 1:25.000, que permitem um traçado mais criterioso de lineamentos (em geral correspondendo a trechos retilíneos de vales), mas, por serem são antigas (a ocupação é muito desatualizada) e não georreferenciadas, levam a um trabalho mais longo e menos preciso para determinação das coordenadas de cada ponto. Por outro lado, mapas 1:10.000 da Emplasa, em formato digital e em papel, permitem observar com grande clareza os trends estruturais e também uma localização precisa dos pontos e com detalhe suficiente para identificação dos locais selecionados em campo. A imagem do terreno permite verificar ocupação e condições de acesso (imagens do terreno), antecipando questões operacionais da perfuração dos poços.

RESULTADOS

O cadastro SIDAS-SABESP contém um total de 4.465 poços, sendo que para 3255 destes foi possível calcular a capacidade específica, pois apresentam dados de vazão, nível estático e nível dinâmico. Destes 1519 exploram os aquíferos fraturados (rochas cristalinas), com 307 situados em planícies aluviais do mapa geológico. O método utilizado para comparar o desempenho dos poços

de uma unidade litológica para outro, ou de um polígono para outro, foi a construção de gráficos de frequência acumulada (Figuras 3 e 4). Os resultados obtidos desta forma são considerados mais representativos para as unidades litológicas que contem mais dados de capacidade específica, isto é, micaxistos (PCx), com 396 poços; granitos foliados (PCgo), com 428; granitos (PCg), com 194, e quartzitos (PCq) com 72. As demais litologias contem menos poços (filitos - PCf, 52; anfibolitos - PCa, 30; gnaisses - PCgn, 28; rochas carbonáticas - PCc, 12) e suas curvas de frequência acumulada são bem mais irregulares (Figura 3).

Os poços foram classificados quanto às litologias aflorantes em que estão situados, e com isto foi elaborado um gráfico de frequência acumulada, em que cada classe de poços é representada por uma curva, possibilitando comparar o desempenho dos poços situados em litologias distintas (Figura 3). Nota-se que há um visível contraste das curvas, com as rochas granitóides apresentando os menores valores de Q/s, sendo que as maciças (PCg) tem um potencial menor do que as orientadas (PCgo). Por outro lado, os filitos (PCf), os anfibolitos (PCa) e os metacarbonatos (PCc) são os litotipos com os potenciais mais elevados. Os xistos apresentam comportamento intermediário e os gnaisses (PCgn), de comportamento muito irregular e poucos dados, possuem valores de capacidade específica entre os micaxistos (PCx) e os filitos (PCf). Os poços que exploram rochas cristalinas, mas que se situam em planícies aluviais (unidade litológica Qa, sedimentos quaternários) é muito similar àquelas dos quartzitos e dos anfibolitos. Em ordem decrescente de potencial (mediana entre parênteses): rochas carbonáticas (PCc, 0,28 m³/h/m); anfibolitos (PCa, 0,16 m³/h/m); (PCf, 0,16 m³/h/m); rochas cristalinas cobertas por sedimentos quaternários (Qa, 0,13 m³/h/m); gnaisses (PCgn, 0,13 m³/h/m); xistos (PCx, 0,09 m³/h/m); quartzitos (PCq, 0,08 m³/h/m); granitos foliados (PCgo, 0,05 m³/h/m); granito maciços (PCg, 0,03 m³/h/m).

De acordo com a mediana de capacidade específica dos poços contidos em cada polígono, estes foram agrupados em classes, cujas medianas fossem próximas, e gráfico de frequência acumulada foi elaborado de modo a comparar os polígonos entre si. Disto resultaram cinco categorias ou classes identificadas por cores (Figuras 4 e 5) com relação ao desempenho dos poços neles contidos. Destaca-se a elevada potencialidade do grupo de polígonos azul escuro, muito superiores aos demais grupos, e a clara separação das categorias azul claro, laranja e roxo e o comportamento ambíguo da verde, com similaridade de potencial com a azul claro, superpondo-se no intervalo de capacidades específicas de 0,03 m³/h/m a 0,07 m³/h/m, correspondentes aos percentis de 20% a 40% dos valores. Dos 53 polígonos, 15 contém menor quantidade de poços e não foram utilizados na análise.

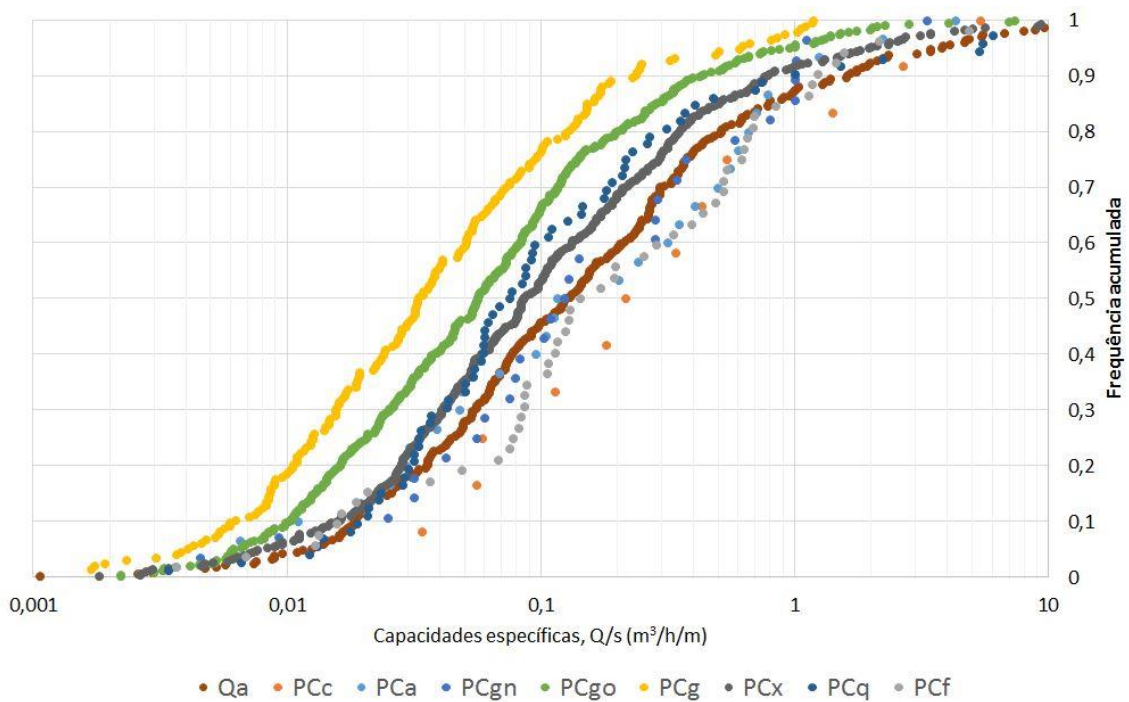


Figura 3. Curvas de frequência acumulada de capacidades específicas por litologia, mostrando que existe nítido contraste entre as litologias. Em ordem decrescente de potencial (mediana entre parênteses): rochas carbonáticas (PCc, 0,28 m³/h/m); anfíbolitos (PCa, 0,16 m³/h/m); (PCf, 0,16 m³/h/m); rochas cristalinas cobertas por sedimentos quaternários (Qa, 0,13 m³/h/m); gnaisses (PCgn, 0,13 m³/h/m); xistos (PCx, 0,09 m³/h/m); quartzitos (PCq, 0,08 m³/h/m); granitos foliados (PCgo, 0,05 m³/h/m); granito maciços (PCg, 0,03 m³/h/m).

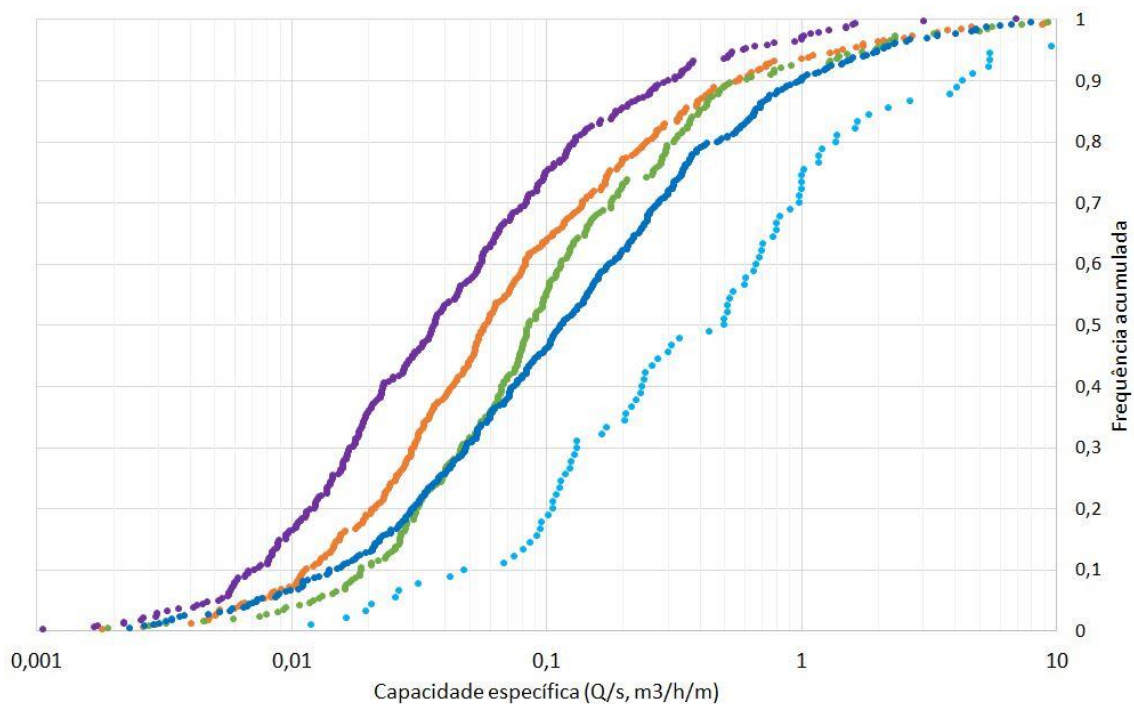


Figura 4. Curvas de frequência acumulada de capacidades específicas dos poços situados nos polígonos da Figura 5. A mediana de cada classe de polígonos, em ordem decrescente, é: 0,50 m³/h/m (azul escuro); 0,11 m³/h/m (azul claro); 0,07 m³/h/m (verde); 0,06 m³/h/m (laranja); 0,03 m³/h/m (roxo).

Os mapas geológico e de polígonos foram cruzados no ArcGis e, com isso, foi obtido um zoneamento com quatro classes (áreas de interesse) com potencial distinto (Figura 6):

- alto interesse (MQ/s > 0,10 para litologia e polígono)
- bom interesse (MQ/s > 0,10 para litologia ou para polígono)
- moderado interesse (0,08 < MQ/s < 0,10 para litologia ou para polígono)
- baixo interesse (MQ/s < 0,08 para litologia ou para polígono),

onde MQ/s significa mediana da capacidade específica em m³/h/m.

A seleção de novos pontos de perfuração foram iniciados pelas áreas de interesse alto, mas as de interesse bom e moderado também tiveram pontos selecionados, em vista da necessidade de abastecimento. Foram priorizados locais de cruzamento de lineamentos associados a drenagens com trend bem definido e retilíneas, sendo pelo menos uma delas mais longa e com presença de planície aluvial, pois verificou-se que poços nesta situação são claramente mais produtivos. Locais de granito maciço, que oferecem maior risco de obter vazões baixas foram evitados.

CONCLUSÕES

A identificação de critérios de seleção de pontos de perfuração de novos poços, inicialmente contemplou uma análise regional com o objetivo de delimitar áreas com potencialidades distintas de exploração de água subterrânea. Esta análise utilizou cadastro de poços e mapa de polígonos estruturais elaborados neste projeto, bem como mapa geológico compilado. A análise resultou em mapa de áreas de interesse elevado, bom, moderado e baixo, que indicam, em ordem decrescente, os diferentes potenciais de produção presentes na RMSP. A seleção de pontos de perfuração foi iniciada pelas áreas de maior interesse, sendo seguida pelas áreas de interesse médio ou baixo, em que vazões menores são esperadas. Espera-se que as melhores vazões sejam obtidas em locais de cruzamento de lineamentos associados a drenagens com trend bem definido e retilíneas, e constituídos de unidades geológicas contendo rochas com grande número de descontinuidades prévias, tais contatos entre litologias distintas, bandamento e foliação.

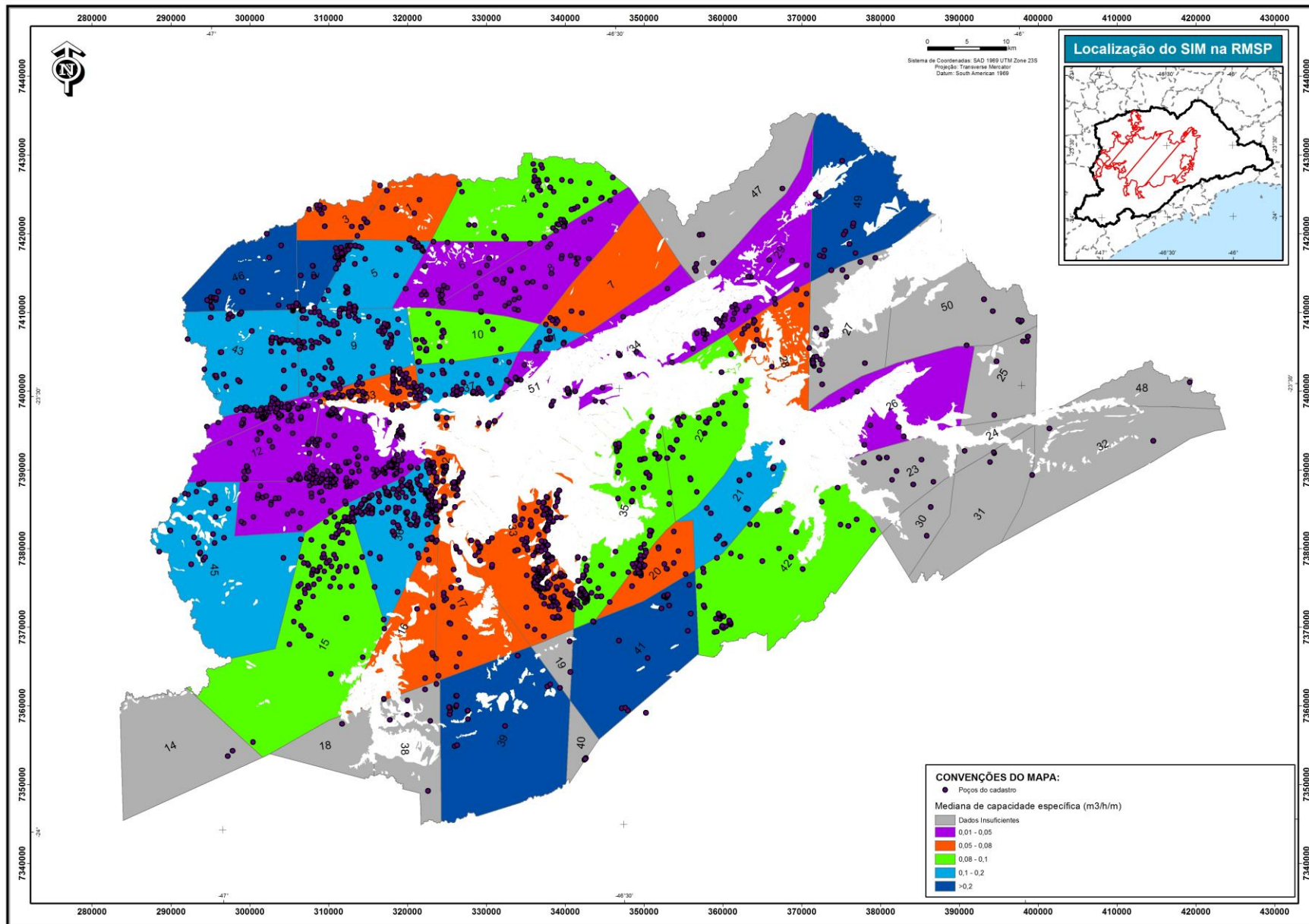


Figura 5. Mapa de polígonos estruturais delimitados pelos principais lineamentos e classificados (cores na legenda) conforme seu potencial hidrogeológico.

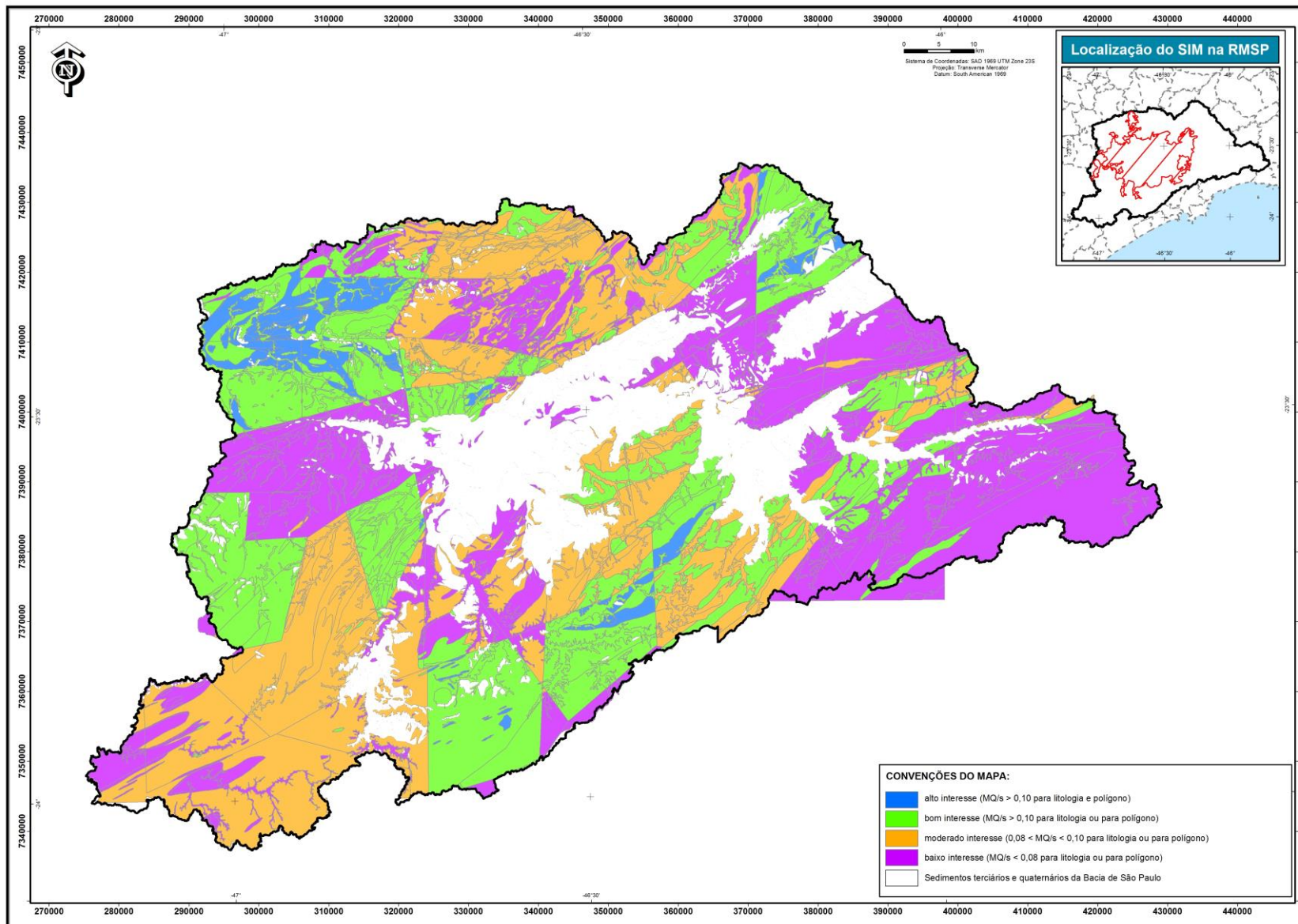


Figura 6. Mapa de áreas de interesse com potencial distinto de captação de água subterrânea.

AGRADECIMENTOS

Dedicamos agradecimentos especiais à SABESP pela oportunidade de desenvolvimento do projeto, bem como pela autorização de utilização dos dados para esta publicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito-Neves, B. B., Fuck, R. A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth-Sci. Rev*, Volume 17, pp. 1 - 29.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A. 1977. As províncias estruturais brasileiras. In: Sociedade Brasileira de Geologia, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Atas, p. 363-391.
- Barton , C.A.; Zoback , M.D.; Moos, D. 1995. Fluid flow along potentially active faults in crystalline rock. *Geology*, 23(8):683-686.
- Bertachini, A.C. 1987. Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido, na região de Jundiaí. São Paulo, 180 f. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências – USP.
- Campos, J. E. & Albuquerque Filho, J. L. 2005. Aquífero São Paulo. Em: Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. s.l.:s.n., pp. 52 - 56.
- Coutinho, J.M.V. 1980. Carta geológica da região metropolitana da Grande São Paulo. São Paulo, EMPLASA, mapa geológico, 1:100000, 2 fl.
- Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) 2008. Base cartográfica digital, escala 1:50.000 - Projeto GISAT. São Paulo: DAEE.
- Fernandes, A. J., Perrotta, M. M., Salvador, E. D., Azevedo, S. G., Gimenez Filho, A., Paulon, N. 2007. Potencial dos aquíferos fraturados do Estado de São Paulo: condicionantes geológicos. *Águas Subterrâneas (São Paulo)*. v.21, p.63 - 84.
- Fernandes, A.J. 1997. Tectônica cenozóica na porção média da bacia do rio Piracicaba e sua aplicação à hidrogeologia de meios fraturados. São Paulo, 244 f. Tese, Instituto de Geociências-USP.
- Fernandes, A.J.; Perrota, M.M.; Salvador,E.; Azevedo, S.A; Gimenez Filho,A. Stefani, F.L.; Paulon, N. 2005. Aquíferos Fraturados. In: G. Rocha, A.J. Fernandes,M. Mancuso (ed.) Mapa de Aguas Subterraneas do Estado de Sao Paulo, Nota explicativa, DAEE/IG/CPRM/IPT, p. 66-84.
- Fernandes, A.J.; Rudolph, D. 2001. The influence of Cenozoic Tectonics on the groundwater-production capacity of fractured zones: a case study in Sao Paulo, Brazil. *Hydrogeology Journal*, n.9, p.151-167.

- Ferril, D.A.; Winterle, J.; Wittmeier, G.; Sims, D.; Colton, S.; Armstrong, A; Morris, A.P. 1999. Stressed rock strains groundwater at Yucca Mountain, Nevada. *GSA Today*, 9(5):1-8.
- Hirata, R. C. A. & Ferreira, L. M. R. 2001. Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. *Revista Brasileira de Geociências*, Março, 31(1), pp. 43 - 50.
- Madrucci, V. 2004. Prospecção de água subterrânea em terreno cristalino utilizando-se análise integrada de dados de sensoriamento remoto, geofísicos e técnicas de geoprocessamento, região de Lindóia, SP. São Paulo, Tese. Instituto de Geociências - USP.
- Morin, R.H. & Savage, W.Z. 2003. Effects of crustal stresses on fluid transport in fractured rock: case studies from northeastern and southwestern USA. *Hydrogeology Journal*, 11:100-112.
- Perrotta, M.M. et al. 2005. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000. São Paulo, CPRM (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).
- Riccomini, C.; Coimbra, A. M. 1992. Geologia da Bacia Sedimentar. In: Negro JR., A.; Ferreira, A.A.; Alonso, U.R.; Luz, P.A. (eds.) *Solos da Cidade de São Paulo*. ABMS/ABEF, p. 37-94.
- SABESP/CEPAS-IGc-USP. 1994. Estudo hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo. Mapa geológico em 1:100.000. Convênio SABESP/CEPAS-IGc-USP. 1 mapa.
- Talbot, C. J., Sirat, M. .2001. Stress control of hydraulic conductivity in fracture-saturated Swedish bedrock. *Engineering geology*, 61(2), 145-153.