

# FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE DOS POÇOS NAS ROCHAS CRISTALINAS DA BACIA DO RIO JUNDIAÍ (SP)

Mirna A. Neves<sup>1</sup>; Norberto Morales<sup>2</sup>

## Resumo

Nas últimas décadas, a crescente demanda por água vem incentivando a pesquisa para se obter poços mais produtivos em terrenos cristalinos, onde a percolação da água subterrânea depende de vários fatores. Dentre os fatores mais investigados como controladores da produtividade dos poços neste contexto hidrogeológico estão: a profundidade, os litotipos, a presença e espessura de coberturas sedimentares e manto de intemperismo, o *landform* as estruturas geológicas e a tectônica. Este trabalho investiga a influência destes fatores na produtividade dos poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino na bacia do rio Jundiaí, Sudeste do Brasil. A bacia está assentada, em grande parte, sobre o Embasamento Pré-Cambriano e, recobrando estas rochas, ocorrem coberturas sedimentares cenozóicas. Os resultados mostram que os depósitos sedimentares e o manto de alteração são importantes para a obtenção de poços produtivos, mas também é necessário que exista uma rede de fraturas abertas para que a produtividade seja mantida. Os locais que apresentam maiores possibilidades de se encontrar este tipo de estrutura são as zonas de cisalhamento e as zonas de falhas regionais e outras estruturas menores de direção NW-SE e E-W que caracterizam áreas sujeitas a esforços transtrativos neotectônicos.

Palavras-chave: produtividade, rochas cristalinas, Jundiaí.

## Abstract

Over the last decades, the increasing water demands have fostered researches for obtaining high well yields in crystalline terrains, where the groundwater flow depends on several factors. The depth of the wells, the lithotypes, the presence and thickness of sedimentary coverings and weathered layer, the landforms, the geological structures and the effects of tectonic stresses are between the most investigated factors considered as definer of well productivity in that

---

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP: Av. 24-A, 1515, Bela Vista, Rio Claro, SP, CEP 13506-900, fone: (19) 3526-2802, fax: (19) 3524-9562, mirnaan@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP: Av. 24-A, 1515, Bela Vista, Rio Claro, SP, CEP 13506-900, fone: (19) 3526-2826, fax: (19) 3524-9644, nmorales@rc.unesp.br

hydrogeological context. The influence of these factors on productivity of wells that exploit the Crystalline Aquifer System in the Jundiaí River Catchment, Southeastern Brazil, is investigated in this work. Most part of the studied area is located on the Pre-Cambrian Basement, partially covered by sedimentary deposits. The results show that the sedimentary deposits and the weathered layer are important to obtain high well yield, but it also depends on the existence of a net of open fractures, in order to keep the high productivity. The sites that have more possibilities of occurrence of such structures are the regional shear and fault zones and other minor structures with NW-SE and E-W directions, which characterize areas submitted to transtensional stress related to the Neotectonics.

Keywords: productivity, crystalline rocks, Jundiaí.

## **INTRODUÇÃO**

A baixa permeabilidade primária das rochas cristalinas e as dificuldades na perfuração dos poços fizeram com que o potencial dos aquíferos fraturados fosse, por muito tempo, menosprezado. Nas últimas décadas, porém, com a crescente demanda por água, estas rochas passaram a ser investigadas com mais cuidado. Porém, os fatores que causam a grande variabilidade na produtividade dos poços em rochas cristalinas ainda não foram bem estabelecidos ou o grau de influência destes fatores varia de acordo com a área estudada. Em busca de tal conhecimento, o presente trabalho analisa a influência de alguns fatores que potencialmente interferem na produtividade dos poços tubulares profundos que exploram o Sistema Aquífero Cristalino na bacia do rio Jundiaí. O estudo é feito utilizando-se dados de 1006 poços tubulares profundos compilados por Neves (2005), a partir do cadastro do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), do Serviço Geológico Nacional (CPRM) e de uma empresa particular de perfuração de poços.

## **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA**

A área de estudos constitui um polígono retangular que envolve toda a bacia do rio Jundiaí (figura 1a). É uma região de transição entre os climas Subtropical e Temperado, com temperatura média anual variando de 18 a 20°C e precipitação total anual entre 1.200 e 1.800 mm (São Paulo 2000). Os municípios de Jundiaí, Itupeva, Indaiatuba, Cabreúva e Salto estão, em sua grande parte, situados dentro dos limites da bacia; Várzea Paulista e Campo Limpo Paulista estão integralmente dentro destes limites e os municípios de Itu, Jarinu, Atibaia e Mairiporã têm uma pequena porcentagem de seu território na bacia (figura 1b).

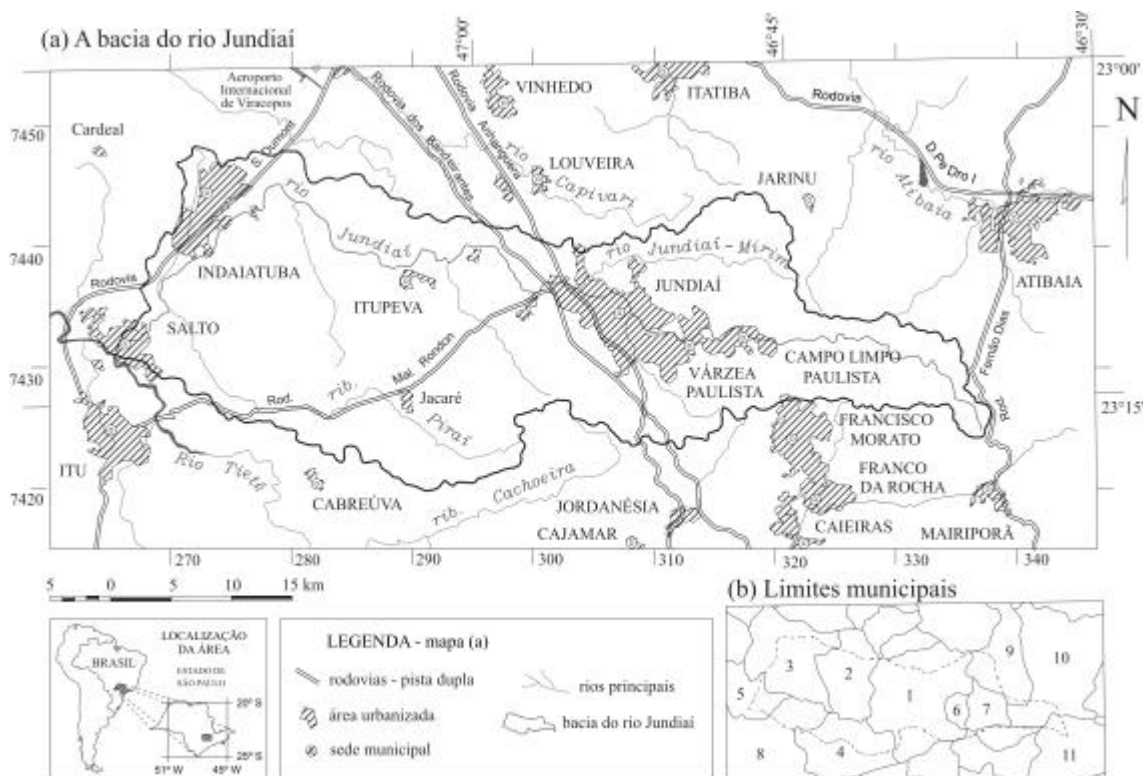


Figura 1: (a) Mapa de localização da bacia do rio Jundiaí e (b) limites dos municípios com território dentro da bacia (1 = Jundiaí, 2 = Itupeva, 3 = Indaiatuba, 4 = Cabreúva, 5 = Salto, 6 = Várzea Paulista, 7 = Campo Limpo Paulista, 8 = Itu, 9 = Jarinu, 10 = Atibaia, 11 = Mairiporã).

## Contexto geológico

A maior parte da bacia do rio Jundiaí ocorre sobre o Embasamento Cristalino ou Embasamento Pré-Cambriano, onde predominam gnaisses com intercalações de quartzitos, xistos e anfíbolitos pertencentes ao Complexo Amparo (Hasui et al. 1981). Na porção sul da área ocorrem rochas do Domínio São Roque, constituído principalmente por filitos com intercalações de metarenitos, quartzitos e rochas calciossilicáticas, além de xistos, metacherts e mármores (Juliani e Beljavskis 1995). Intrusões granitóides são muito comuns em ambas as unidades.

No lado oeste da área, rochas sedimentares paleozóicas do Grupo Itararé compõem as camadas basais da Bacia Sedimentar do Paraná. Existem ainda outras coberturas sedimentares, como os Depósitos Terciários (Neves et al. 2005), que constituem ocorrências locais nas proximidades da Serra do Japi; os Depósitos Colúvio-Eluviais, que recobrem grande parte dos litotipos anteriormente descritos; os Depósitos de Terraços e os Depósitos Aluviais quaternários, distribuídos ao longo dos principais canais de drenagem (Neves 1999, Neves et al. no prelo).

## Contexto estrutural e tectônico

As zonas de cisalhamento que atravessam a área (Jundiuvira, Extrema, Valinhos e Campinas) e as falhas de grande extensão (de Itu, do Piraí, do Cururu e de Cachoeira) constituem importantes estruturas geológicas que controlam o relevo e toda a configuração da bacia do rio Jundiá (Neves et al. 2003). A maioria delas correspondem a escarpas de falhas que delimitam compartimentos morfoestruturais. Os compartimentos morfoestruturais denominados Japi, Jardim, Cristais e Itu compõem altos topográficos em relação aos compartimentos Central e Bacia do Paraná (figura 2). Nos compartimentos abatidos, o manto de alteração tende a ser mais espesso e neles se concentra a maior parte das coberturas sedimentares (Neves 2005).

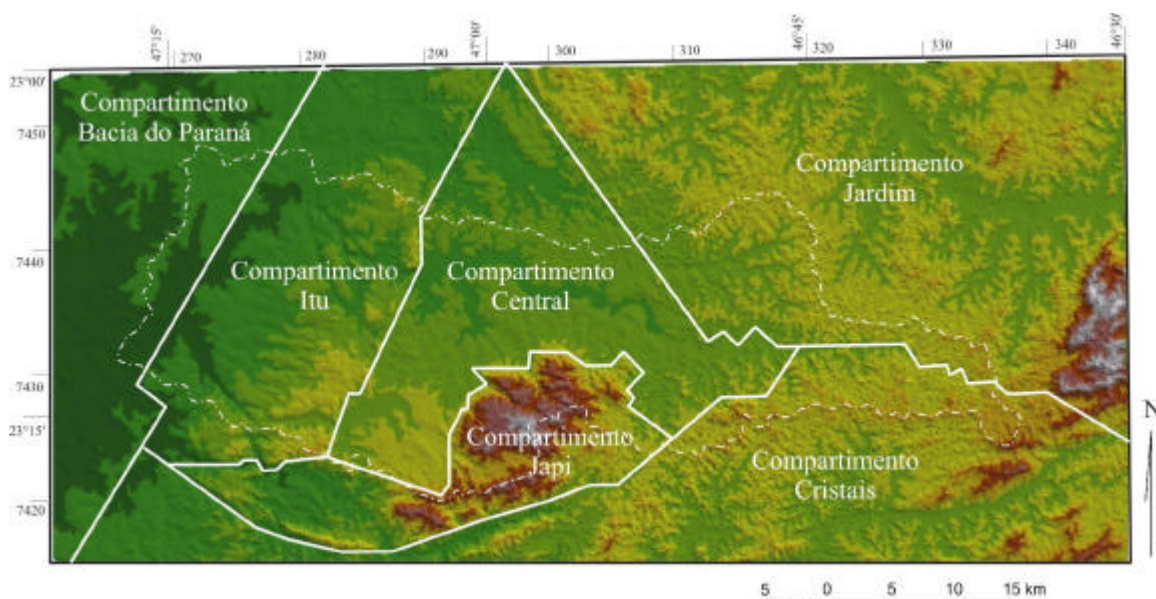


Figura 2: Compartimentação morfoestrutural da área (Neves 2005).

Da evolução tectônica regional, cabe destacar dois importantes estágios: o regime distensivo da separação continental e o regime transcorrente neotectônico. O regime distensivo, que culminou com a fragmentação do Gondwana e a separação continental, possuía um tensor regional com  $\sigma_1$  vertical,  $\sigma_2$  horizontal de direção NE-SW e  $\sigma_3$  horizontal de direção NW-SE. Sob este arranjo, falhas normais e juntas abertas se formam predominantemente na direção NE-SW e há tendência de abertura das estruturas NE-SW pré-cambrianas. O regime distensivo progressivamente cedeu lugar a outro transcorrente, imposto pela rotação da Placa Sul-Americana para oeste, evento que tem sido referido como neotectônico. Existem algumas divergências quanto às fases de deformação neotectônicas, mas há certo consenso quanto à existência de uma fase transcorrente dextral, que seria única ou, no mínimo, importante (e.g. Hasui 1990, Saadi 1993, Riccomini 1995). Neste regime, atua um par conjugado de direção E-W que forma, dentre outras discontinuidades, fraturas abertas de direção NW-SE e falhas transcorrentes dextrais de direção E-W.

## Contexto hidrogeológico

O Sistema Aquífero Cristalino ocupa a maior parte da bacia do rio Jundiá, tal como ilustrado na figura 3. Ele ocorre nas rochas do Embasamento Cristalino, cuja permeabilidade é condicionada à presença de descontinuidades como falhas e juntas e, em certos casos, contatos litológicos (Neves 2005). Acima da rocha fraturada, o manto de alteração ou manto de intemperismo pode constituir um aquífero de porosidade granular, responsável pela maior parte do escoamento básico da bacia (Lopes 1994).

Em uma pequena faixa no lado oeste da área ocorre o Sistema Aquífero Tubarão, também conhecido como Aquífero Itararé por envolver as rochas pertencentes ao Grupo Itararé. A heterogeneidade vertical e horizontal desta unidade confere baixa permeabilidade e potencialidade limitada ao aquífero (Stevaux et al. 1987). Mesmo onde há considerável espessura de arenitos, existe grande variação da capacidade específica dos poços, o que se deve à pequena dimensão e à falta de conectividade dos corpos arenosos. De ocorrência mais restrita, existe ainda o Sistema Aquífero Cenozóico ao longo das planícies aluviais dos principais canais de drenagem.

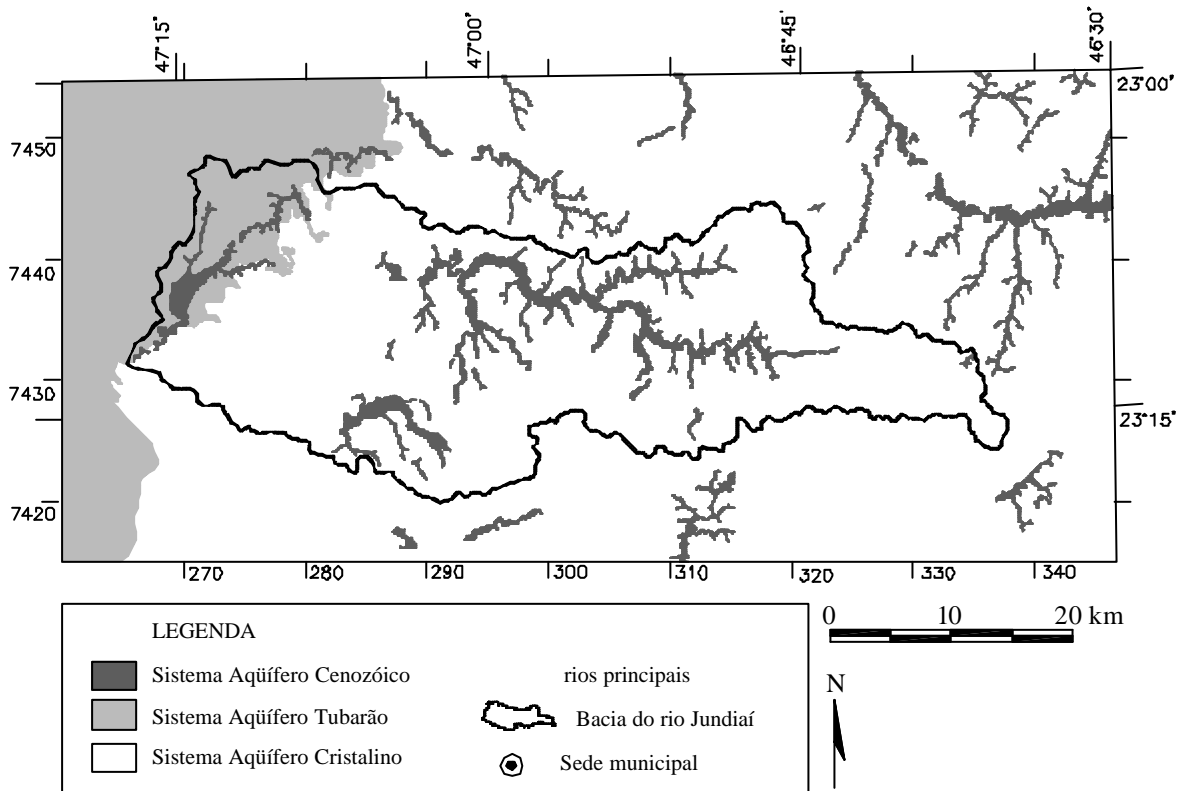


Figura 3: Mapa hidrogeológico da área (Neves 2005, modificado).

## FATORES CONTROLADORES DA PRODUTIVIDADE DOS POÇOS

### Profundidade

Alguns trabalhos se dedicam à definição do melhor intervalo de profundidade ou da profundidade máxima que um poço deve atingir para obter boas produtividades em terrenos cristalinos (e.g. Davis e Turk 1964, Banks 1992). A maior parte deles concorda que há tendência de diminuição da produtividade dos poços com o aumento da profundidade devido ao fechamento das descontinuidades pelos efeitos da pressão litostática.

Para testar esta relação nos poços da bacia do rio Jundiá, apresenta-se o gráfico da figura 4. Este gráfico mostra que, de fato, há tendência de diminuição da produtividade com a profundidade dos poços, mas o coeficiente de correlação entre as variáveis é baixo. Chama atenção os alinhamentos de pontos indicando poços com profundidades idênticas (200, 250 e 300 metros, por exemplo), mas com valores de capacidade específica muito distintos. Isto conduz a um raciocínio lógico: a profundidade do poço é definida por questões contratuais, pelas necessidades do usuário e pela maior lucratividade da obra, que muitas vezes prevalecem sobre as possibilidades de se obter melhores produtividades com o aprofundamento do poço. Pode-se dizer também que, embora os valores de capacidade específica superiores a  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  estejam concentrados em profundidades menores que 150 metros, a capacidade específica dos poços mais profundos não são necessariamente baixas. Aos 300 metros de profundidade, por exemplo, existem poços com valores que vão desde 0,001 a mais de  $1,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ .

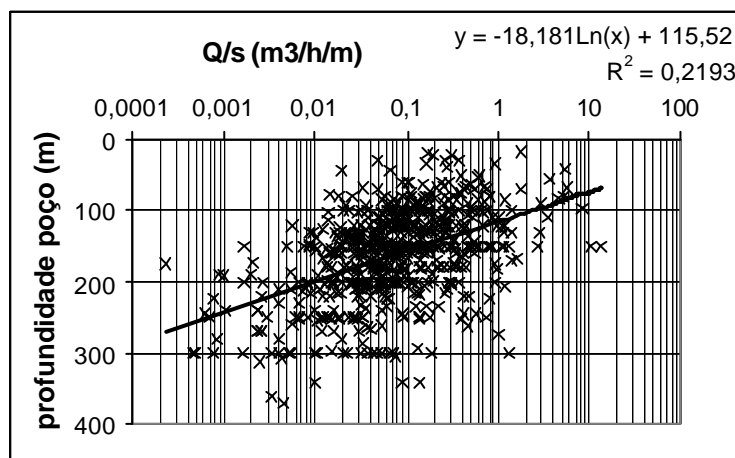


Figura 4: Gráfico de correlação entre a capacidade específica (Q/s) e a profundidade dos poços.

## Litotipos

Morland (1997, apud Banks e Robins 2002), estudando rochas cristalinas na Noruega, constata que a produtividade dos gnaisses é maior do que a dos metassedimentos e estes são apenas um pouco mais produtivos do que os granitos. Singhal e Gupta (1999) afirmam que a foliação também é um fator importante, o que significaria dizer que xistos deveriam ser mais produtivos do que granitos e gnaisses, já que neles a foliação é mais conspícua.

Os xistos presentes na área de estudos fornecem valores de capacidade específica um pouco abaixo do que os demais litotipos (figura 5). Os valores próximos à mediana são semelhantes, tanto para gnaisses quanto para granitos e xistos ( $\sim 0,07 \text{ m}^3/\text{h/m}$ ). Os metassedimentos, no entanto, apresentam distribuição de valores mais elevados e a mediana é de  $0,2 \text{ m}^3/\text{h/m}$ . Estas rochas têm importante contribuição carbonática, onde os processos de dissolução podem ser os responsáveis por destacar sua produtividade.

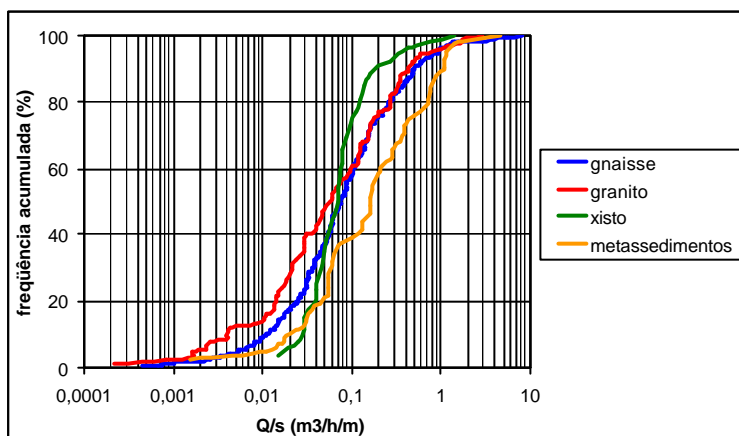


Figura 5: Gráfico de frequência acumulada da capacidade específica (Q/s) de poços que exploram diferentes tipos de rochas cristalinas.

## Coberturas sedimentares

Embora grande parte da área esteja situada em terrenos cristalinos, a presença de coberturas sedimentares é muito comum. Elas não são muito espessas, mas são amplamente distribuídas e a possibilidade de atuarem como zona de recarga sugere a possibilidade de se obter poços mais produtivos nos locais onde estão presentes (Henriksen 1995, Banks e Robins 2002).

Foram selecionados os poços que exploram apenas a rocha fraturada e que possuem algum tipo de cobertura sedimentar. O gráfico de frequência acumulada da figura 6 mostra que a distribuição da capacidade específica dos poços com cobertura coluvial e com rochas sedimentares do Grupo Itararé é muito parecida com a dos poços sem cobertura sedimentar (mediana de  $0,07 \text{ m}^3/\text{h/m}$ ). Já os poços com cobertura aluvial possuem distribuição de valores mais elevados

(mediana de 0,11 m<sup>3</sup>/h/m). Estes poços são revestidos até o topo da rocha sã e, portanto, está sendo testada a influência da cobertura na recarga e na produtividade do aquífero da rocha fraturada e não a produtividade do aquífero poroso constituído pela cobertura sedimentar.

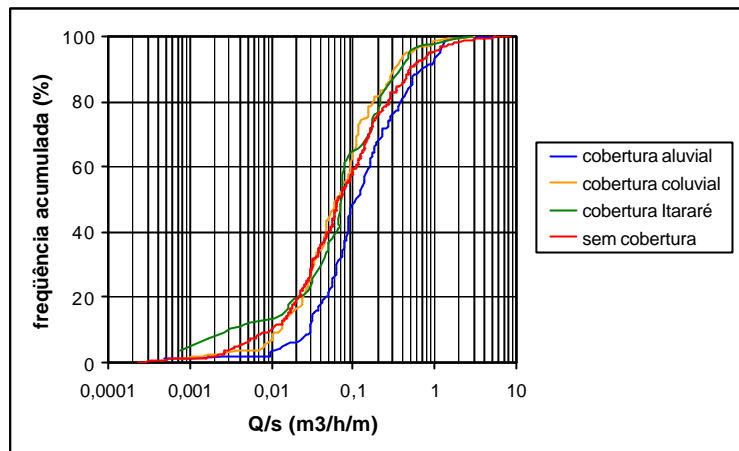


Figura 6: Diagrama de frequência acumulada da capacidade específica (Q/s) dos poços que exploram a rocha fraturada com diferentes tipos de cobertura e sem cobertura sedimentar.

Alguns poços não trazem informação quanto ao tipo de cobertura na seção geológica, mas há informação quanto à profundidade do topo da rocha alterada. Esta medida corresponde à distância entre a superfície do terreno e a base da cobertura sedimentar, ou seja, à espessura da camada de sedimentos. O gráfico da figura 7 mostra uma baixa correlação entre estas variáveis, indicando que não há influência da espessura de cobertura diretamente sobre a produtividade dos poços.

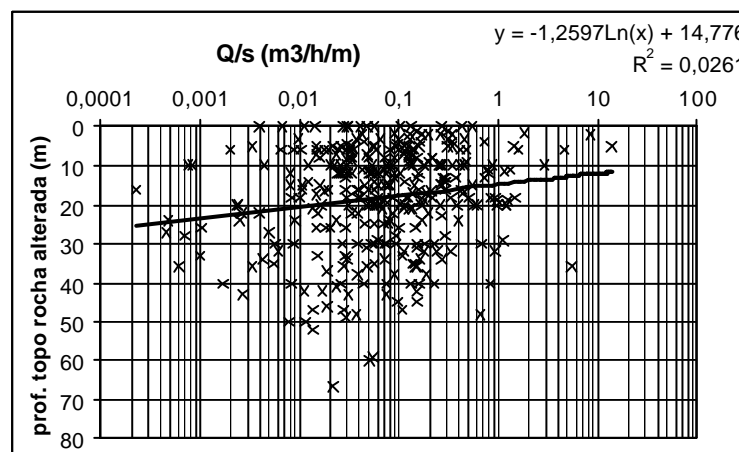


Figura 7: Gráfico de correlação entre a capacidade específica (Q/s) dos poços e a profundidade do topo da rocha alterada (que corresponde à espessura de cobertura sedimentar).



## Manto de intemperismo

O manto de intemperismo formado a partir da alteração das rochas também tem sido apontado como importante fonte de recarga do aquífero fraturado (e.g. Lachassagne et al. 2001). Para testar a influência deste fator sobre a produtividade, foram selecionados os poços com dados relativos à profundidade do topo da rocha sã e do revestimento. Normalmente, o revestimento é utilizado na seção do poço onde a rocha é alterada para evitar desmoronamento das paredes ou uma possível contaminação pelas águas do freático. Assim, quanto maior a profundidade do revestimento, tanto maior a espessura do manto de intemperismo. Embora as variáveis topo da rocha sã e profundidade do revestimento tenham o mesmo significado, elas são apresentadas em gráficos distintos, pois nem todo poço que traz uma informação traz a outra, isto é, as amostras são diferentes. Porém, a correlação é baixa em ambos os casos, como ilustrado na figura 8.

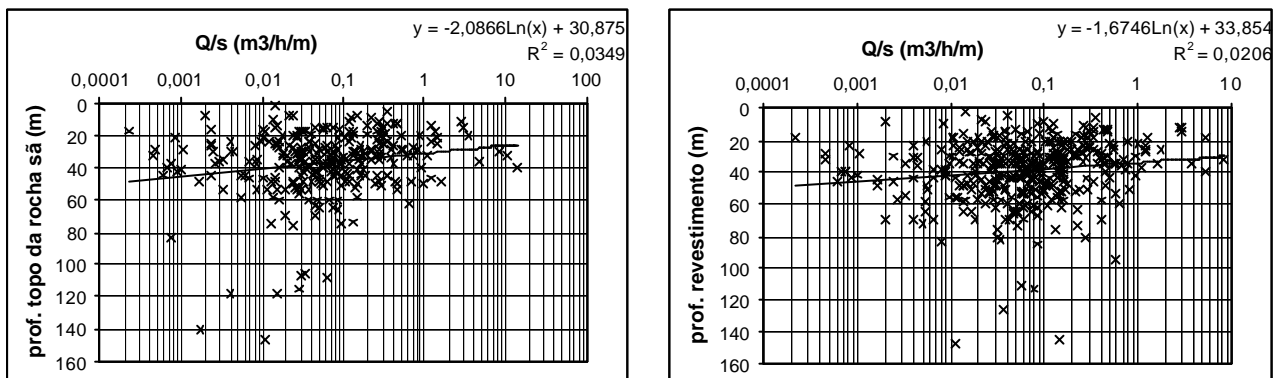


Figura 8: Gráficos de correlação da capacidade específica (Q/s) com (a) a profundidade do topo da rocha sã e (b) do revestimento dos poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino.

Alguns poços possuem revestimento sem filtro ao longo da rocha alterada e exploram apenas a água da rocha sã. Em outros poços são instalados um ou mais filtros na seção que atravessa o manto de intemperismo, geralmente na base desta camada ou na interface com a rocha sã. Estes poços podem explorar apenas o manto ou o manto e a rocha fraturada.

Os poços que exploram apenas a rocha fraturada ou tanto a rocha fraturada quanto o manto de alteração tendem a ser menos produtivos do que aqueles que exploram apenas o manto intemperizado (medianas de 0,06 e 0,25 m<sup>3</sup>/h/m, respectivamente) (figura 9). É provável que estes sejam mais produtivos por captar água do fluxo horizontal existente entre o manto de alteração e a rocha fraturada, fato corroborado pelo modelo conceitual de Chilton e Foster (1995), no qual a interface entre o manto de alteração e a rocha sã apresenta condutividade hidráulica elevada.

Seria de se esperar, portanto, que os poços que exploram tanto o manto de intemperismo quanto a rocha sã fossem também mais produtivos, o que não ocorre. Supõe-se que eles estejam

locados em situações onde outros fatores são desfavoráveis e, não encontrando água no manto, a tendência é avançar a perfuração na rocha cristalina.

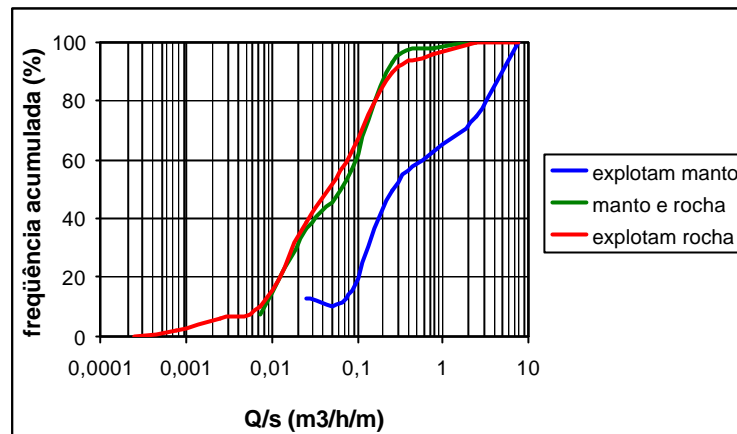


Figura 9: Diagrama de frequência acumulada da capacidade específica (Q/s) dos poços que explotam apenas o manto de intemperismo, o manto e a rocha sã e apenas a rocha sã.

### Compartimentação morfoestrutural

Cada compartimento morfoestrutural identificado na área (figura 2), por suas características topográficas e litológicas, pode ser correlacionado a um *landform* típico de terrenos cristalinos. Os compartimentos Japi, Cristais e Itu podem ser considerados *landforms* do tipo relevo estrutural; o compartimento Jardim é análogo a um *landform* do tipo relevo estrutural com pedimentos e os compartimentos Central e Bacia do Paraná se assemelham a pedimentos enterrados.

De acordo com Singhal e Gupta (1999), os *landforms* mostram potencialidades distintas para o fornecimento de água subterrânea. A comparação entre a produtividade dos poços locados nos diferentes compartimentos corrobora com as observações destes autores, os quais atribuem baixo potencial hídrico para *landforms* do tipo relevo estrutural e inselbergues, médio para os pedimentos e alto para os pedimentos enterrados e vales preenchidos. O gráfico da figura 10 mostra que poços locados nos compartimentos Itu e Japi apresentam valores de capacidade específica mais baixos (medianas de 0,03 e 0,04 m<sup>3</sup>/h/m) do que aqueles locados nos compartimentos Central, Jardim e Bacia do Paraná (medianas de 0,07 e 0,08 m<sup>3</sup>/h/m); já no compartimento Cristais os valores são consideravelmente maiores (mediana de 0,21 m<sup>3</sup>/h/m). Cabe destacar que neste compartimento estão presentes os metassedimentos carbonáticos do Grupo São Roque, cuja susceptibilidade à solubilização influencia de forma decisiva a produtividade dos poços.

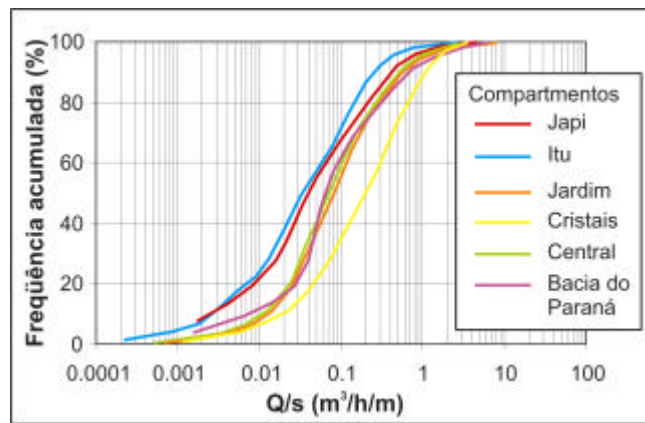


Figura 10: Diagrama de frequência acumulada da capacidade específica (Q/s) dos poços localizados nos diferentes compartimentos morfoestruturais da área de estudos.

### Tectônica e estruturas geológicas

Um procedimento muito comum utilizado na locação de poços em terrenos cristalinos é o traçado de lineamentos em imagens de sensores remotos em busca da estrutura geológica fornecedora de água. Costuma-se correlacionar estatisticamente a produtividade dos poços com sua distância aos lineamentos ou com o comprimento, densidade e número de intersecção de lineamentos. Mas a subjetividade do traçado de lineamentos tem sido discutida em diversos trabalhos (e.g. Wise 1982, Tam et al. 2004). Geralmente, ao utilizar este método, são descartadas as características da feição estrutural que se manifesta como lineamento, como sua tipologia, o ângulo de mergulho ou sua gênese, fundamental na definição da abertura. Além disso, a não associação com outros dados acaba por descartar a influência dos vários fatores que podem alterar a produtividade dos poços. Na bacia do rio Jundiáí, as coberturas sedimentares e o manto de alteração podem mascarar as estruturas do embasamento subjacente e, conseqüentemente, as diferentes densidades de lineamentos que se observa nas imagens de sensores remotos não refletem o grau de fraturamento do substrato rochoso, motivo pelo qual esta técnica não se aplica aqui.

Considera-se importante um estudo integrado, utilizando dados estruturais levantados em campo, informações obtidas em mapas e dados dos poços tubulares profundos existentes na área. Obviamente, é necessário um estudo prévio dos lineamentos em imagem de sensores remotos, como imagem de radar e fotografias aéreas, para direcionar os estudos de detalhe.

Utilizando tal procedimento, Neves (2005) constata que as estruturas geológicas regionais que delimitam os compartimentos morfoestruturais da bacia do rio Jundiáí (figura 2) constituem faixas onde se concentram poços de produtividade elevada. Mas o simples fato de estar localizado próximo a estas zonas não indica que um poço perfurado ali certamente será muito produtivo. É necessário que ele esteja em posição favorável relativa ao mergulho da estrutura, em profundidade

tal que a intercepte em subsuperfície e, ainda, que a direção da estrutura seja propícia à abertura pela atuação dos esforços tectônicos.

A formação de descontinuidades abertas e/ou a abertura de descontinuidades antigas ocorrem de acordo com a orientação do maior esforço tectônico horizontal. Como a abertura tem sido considerada um fator fundamental para a obtenção de boas produtividades em rochas fraturadas (Lachassagne et al. 2001, Banks et al. 1996, Banks e Robins 2002), os efeitos da tectônica distensiva e os efeitos transtrativos da tectônica transcorrente são de grande importância para o fluxo subterrâneo na área de estudos.

Neves (2005) considera como estruturas potencialmente abertas aquelas presentes em locais onde sistemas de direção NW-SE estão associadas a sistemas E-W de alto ângulo. Nestes locais, é muito comum a ocorrência de Depósitos Aluviais cujas formas acompanham as direções NW-SE, E-W e, subordinadamente, NE-SW. Os poços locados nestas áreas possuem capacidade específica mediana sempre superior à mediana calculada para a amostra de poços que exploram o Sistema Aquífero Cristalino na área como um todo. Contudo, próximo aos poços mais produtivos também existem poços com produtividade baixa, que geralmente estão mal localizados em relação às estruturas geológicas. O fato foi observado em diferentes locais, como os três exemplos ilustrados na figura 11.

Além das estruturas formadas ou reativadas pela atuação do tensor neotectônico, estruturas mais antigas também podem permanecer abertas ao longo do tempo geológico, especialmente em ambiente intraplaca, onde os esforços tectônicos são menos intensos do que em bordas de placas. Considera-se que as zonas de falhas de direção NE-SW, herdadas do regime distensivo atuante na separação continental (figura 4) também possam constituir estruturas favoráveis ao fluxo de água subterrânea, desde que a alteração não tenha transformado o material fragmentado em argila, o que tenderia a selar as descontinuidades. A importância destas estruturas na percolação da água subterrânea, inclusive em profundidades relativamente grandes, é atestada pela presença de fontes termais ao longo da zona de cisalhamento Valinhos registradas por Hasui et al. (1989). A associação entre poços de produtividade relativamente alta e estruturas de caráter regional semelhantes às que ocorrem na área de estudos (de direções NW-SE e NNE-SSW) foi identificada também na região de Campinas por Fernandes e Rudolph (2001), que as consideram abertas por eventos neotectônicos.

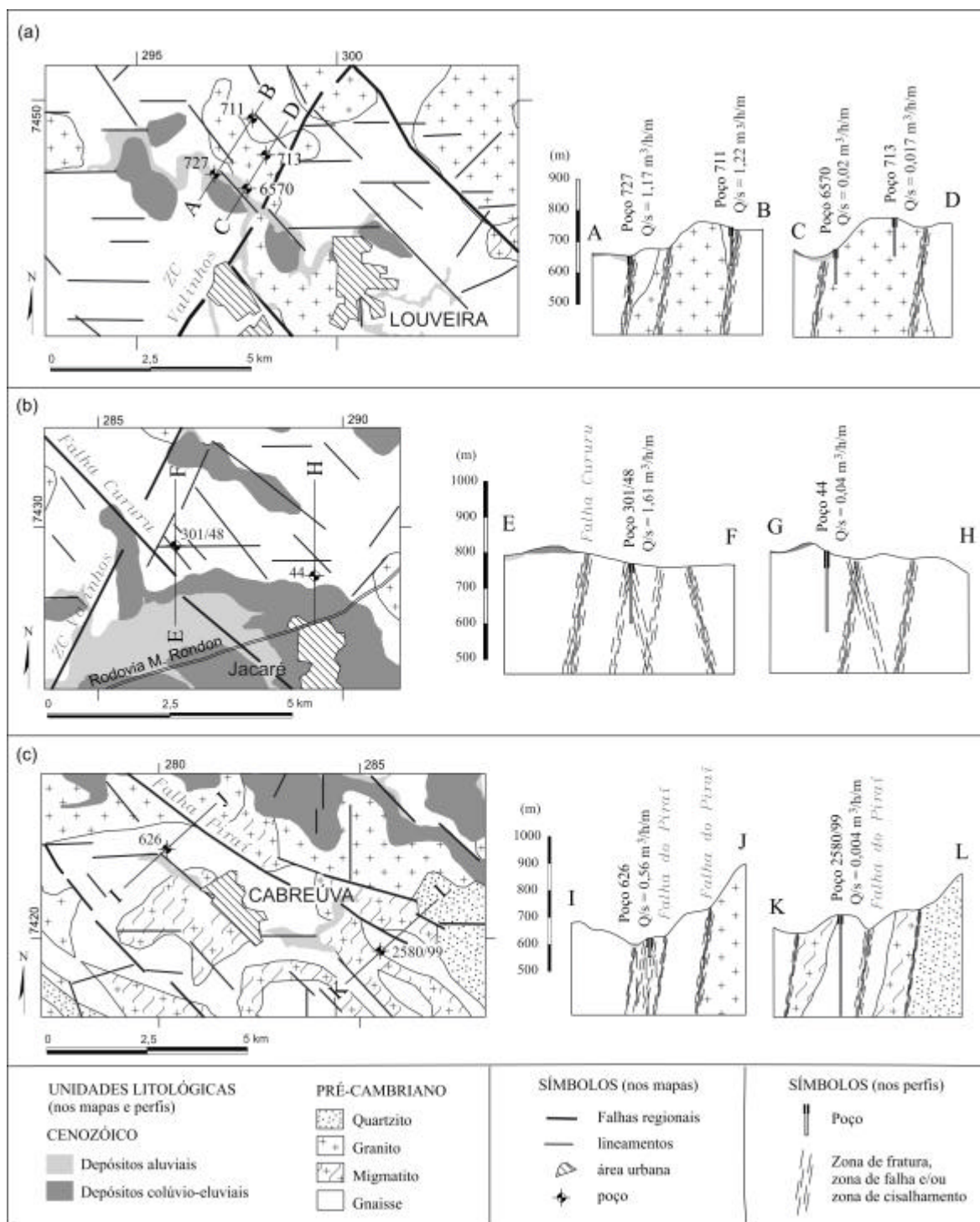


Figura 11: Controle estrutural sobre a produtividade dos poços. A associação de estruturas NW-SE e E-W indica local sujeito a esforços transtrativos.

## CONCLUSÕES

O comportamento hidráulico dos diferentes tipos de rochas cristalinas é muito variável e depende, além das propriedades intrínsecas da rocha, de fatores externos a ela. Este trabalho mostra que vários fatores podem controlar a produtividade dos poços que exploram o Sistema Aquífero

Cristalino na bacia do rio Jundiá os quais, quando associados, são responsáveis pela obtenção de poços com produtividade elevada em relação aos demais.

A influência do litotipo só ocorre nas rochas de composição carbonática como os metassedimentos do Grupo São Roque. Dentre os demais litotipos não foi possível identificar grandes variações nos valores de produtividade. O manto de intemperismo e a presença de coberturas sedimentares são importantes para manter a recarga do aquífero fraturado, mas a espessura destas camadas não exerce influência direta sobre a produtividade dos poços, sendo necessária a associação com outros fatores. A compartimentação morfoestrutural da área exerce influência por apresentarem ou não pedimentos e/ou coberturas sedimentares que aumentam as possibilidades de recarga. Os limites entre os compartimentos constituem zonas propícias à percolação, pois ali se concentram estruturas reativadas tectonicamente durante a evolução geológica da área. As estruturas fundamentais para a obtenção de poços produtivos na rocha cristalina são as falhas e juntas originalmente abertas ou que tenham sido submetidas a esforços distensivos durante as reativações tectônicas. Os eventos tectônicos mais importantes na área e que propiciam a formação de estruturas e de locais sujeitos à abertura constituem o evento distensivo da separação continental no final do Mesozóico ao início do Terciário (direção NE-SW) e o evento transcorrente relacionado à atuação da Neotectônica (NW-SE associadas às E-W).

O modelo de percolação apresentado da figura 12 resume a idéia geral das condições que controlam a obtenção de poços produtivos neste contexto hidrogeológico. As camadas destacadas em tons de cinza podem constituir coberturas sedimentares ou o manto de intemperismo da rocha cristalina subjacente. Já as discontinuidades da rocha fraturada são aquelas encontradas nas condições descritas acima.

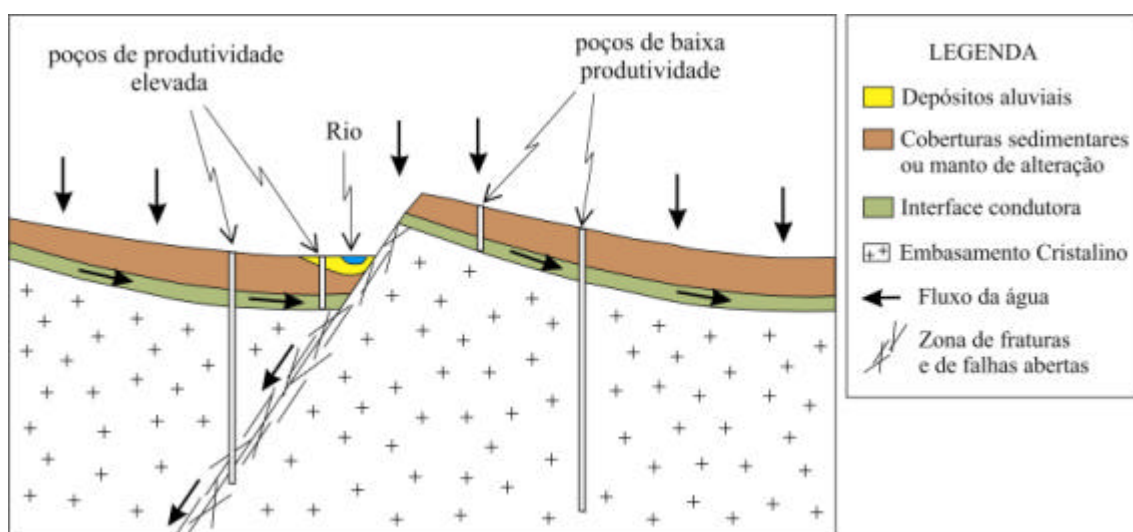


Figura 12: Esquema do fluxo da água subterrânea na interface entre as coberturas ou o manto de intemperismo e a rocha fraturada e ao longo de discontinuidades abertas formadas em uma zona de fraturas ou de cisalhamento (s/ escalas).

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da tese de doutoramento que serviu de base para este trabalho e à Jundsondas Poços Artesianos pelos dados de poços tubulares profundos.

## REFERÊNCIAS

BANKS, D. Optimal orientation of water-supply boreholes in fractured aquifers. *Ground Water*, v. 30, n. 6, p. 895-900, 1992.

BANKS, D.; ROBINS, N. *An Introduction to Groundwater in Crystalline Bedrock*. Norges geologiske undersøkelse. Trondheim: Geological Survey of Norway, 2002. 64 p.

BANKS, D.; ODLING, N.E.; SKARPHAGEN, H.; ROHR-TORP, E. Permeability and stress in crystalline rocks. *Terra Nova*, v. 8, n. 3, p. 223-235, 1996.

CHILTON, P.J.; FOSTER, S.S.D. Hydrological characterization and water-supply potential of basement aquifers in tropical Africa. *Hydrogeology Journal*, v. 3, n. 1, p. 36-49, 1995.

DAVIS, S.N.; TURK, L.J. Optimum depth of wells in crystalline rocks. *Ground Water*, EUA, v. 22, p. 6-11, 1964.

FERNANDES, A.J.; RUDOLPH, D.L. The influence of Cenozoic tectonics on the groundwater production capacity of fractured zones: a case study in São Paulo, Brazil. *Hydrogeology Journal*, v. 9, n. 2, p. 151-167. 2001.

HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORKSHOP NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CONTINENTAL CENOZÓICA NO SUDESTE BRASILEIRO, 1990, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG-Núcleo Minas Gerais, 1990. p.1-31.

HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI C.A. O embasamento pré-cambriano e o eopaleozóico em São Paulo. In: ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L. et al. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*. São Paulo: IPT, 1981. v. 1, p.12-45. (Monografia 6).

HASUI, Y.; HARALYI, N.L.E.; MIOTO, J.A. et al. *Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT, 1989. 2v. (Relatório n. 27.394).

- HENRIKSEN, H. Relation between topography and well yield in boreholes in crystalline rocks, Sogn og Fjordane, Norway. *Ground Water*, v. 33, n. 4, p. 635-643, 1995.
- JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P. Revisão da litoestratigrafia da faixa São Roque/Serra do Itaberaba (SP). *Revista do Instituto Geológico*, v. 16, n. 1/2, p. 33-58, 1995.
- LACHASSAGNE, P.; WYNS, R.; BERARD, P. et al. Exploitation of high-yields in hard-rock aquifers: Downscaling methodology combining GIS and multicriteria analysis to delineate field prospecting zones. *Ground Water*, v. 39, n. 4, p. 568-581, 2001.
- LOPES, M.F.C. *Condições de Ocorrência de Água Subterrânea nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari*. 1994. 83 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, 1994.
- NEVES, M.A. *Evolução Cenozóica da Região de Jundiaí (SP)*. 1999. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.
- NEVES, M.A. *Análise Integrada Aplicada à Exploração de Água Subterrânea na Bacia do Rio Jundiaí (SP)*. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.
- NEVES, M.A.; MORALES, N.; BORGES, M.S.; EBERT, H.D. Compartimentação morfotectônica da região de Jundiaí (SP). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 167-176, 2003.
- NEVES, M.A.; MORALES, N.; SAAD, A.R. Facies analysis of Tertiary alluvial fan deposits in the Jundiaí region, São Paulo, southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Science*, v. 19, n. 4, p. 509-520, 2005.
- NEVES, M.A.; MORALES, N.; SAAD, A.R. Coberturas sedimentares cenozóicas da bacia do rio Jundiaí (SP). *Geociências* (NO PRELO).
- RICCOMINI, C. *Tectonismo Gerador e Deformador dos Depósitos Sedimentares Pós-gonduânicos da Porção Centro-oriental do Estado de São Paulo e Áreas Vizinhas*. 1995. 100 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- SAADI, A. Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretação preliminar. *Geonomos*, v.1, n.1, p.1-15, 1993.
- SÃO PAULO (Estado). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: Relatório Zero*. Piracicaba, 2000a. 1CD.



SINGHAL, B.B.S.; GUPTA, R.P. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999. 400 p.

STEVAUX, J.C.; SOUZA FILHO, E.E.de; TEIXEIRA, J.A.; LANDIM, P.M.B. Sistemas deposicionais do Sub-Grupo Itararé na bacia hidrográfica do baixo rio Capivari, SP: um modelo para prospecção de água subterrânea. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6., 1987, São Paulo. *Atas...* São Paulo: SBG-Núcleo São Paulo, 1987. v.1, p. 355-374.

TAM, V.T.; De SMEDT, F.; BATELAAN, O.; DASSARGUES, A. Study on the relationship between lineaments and boreholes specific capacity in a fractured and karstified limestone area in Vietnam. *Hydrogeology Journal*, v. 12, p. 662-673, 2004.

WISE, D.U. Linesmanship and the practice of linear geo-art. *Geological Society of America Bulletin*, v. 93, p. 886-888, 1982.