

# ESTÃO OS AQÜÍFEROS DA REGIÃO DE JURUBATUBA (SÃO PAULO) SOB RISCO?

Carvalho, A.M.<sup>1</sup>; Conicelli, B.P.<sup>1</sup>; Hirata, R.<sup>2</sup>; L'Apicciarella, E.S.<sup>1</sup>; Simonato, M.D.<sup>1</sup>; Campos, J.E.<sup>3</sup>; Rocha, G.<sup>3</sup>; Surita, C.; Pillon, A.M.<sup>1</sup>; Abreu, M.C.<sup>1</sup>; Bertolo, R.<sup>2</sup>; Wendland, E.<sup>4</sup>

## RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a integração entre a vulnerabilidade dos aquíferos, através do método GOD, e a classificação das indústrias com potencial de degradar o solo e águas subterrâneas, pelo método POSH, tendo em vista o risco de desabastecimento público pela contaminação dos aquíferos. Embora existam trabalhos que avaliem o perigo de contaminação, este é um dos primeiros a validar essa metodologia no Brasil, a partir da análise de casos comprovados de degradação de aquíferos.

Os resultados mostraram que os aquíferos apresentam média a alta vulnerabilidade devido aos elevados níveis freáticos e à litologia de média permeabilidade. O trabalho cadastrou 3.905 atividades potencialmente contaminantes, classificando 2.490 como de elevado índice. Para a avaliação dos perigos de contaminação, definida pela integração desses dois parâmetros, um novo método foi proposto e aplicado com sucesso. A região foi dividida em células de 500x500m e a densidade da ocupação industrial de elevado índice foi avaliada em cada uma delas. Isso permitiu identificar áreas onde existem perigos elevados, quando a alta densidade de atividades encontrava-se sobre aquíferos vulneráveis. A avaliação individual das 84 áreas comprovadamente contaminadas da CETESB indicou que essas se localizavam nas áreas de maior perigo, mostrando o sucesso da metodologia desenvolvida.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the interaction between the aquifer vulnerability, using the GOD method, and the potential subsurface contaminant load, classified by POSH method, in view of potential water supply problems due to aquifers contamination. Although there are many studies that evaluate the groundwater pollution hazard in Brazil,

---

<sup>1</sup>Servmar Serviços Técnicos e Ambientais

<sup>2</sup>Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo

<sup>3</sup>DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica;

<sup>4</sup>Departamento de Hidráulica e Saneamento - Universidade de São Paulo

this is the first one that was possible to validate the results, comparing them to proven cases of aquifer contamination.

The results showed that the aquifers have high to medium pollution vulnerability indexes. These indexes were associated with high water table level and medium permeable lithologies. 3.905 potential contaminant loads were identified and 2.490 activities were classified as elevate index. The aquifer contamination hazard assessment was defined by the interaction between these two parameters. For a better evaluation at regional level, the area was divided into 500x500m cells and industrial occupation classified as elevate index density was assessed for each of them. Cells that present high contaminant load density, located on vulnerable aquifers, were classified as high hazardous area. The CETESB has identified 84 activities that provoked soil and aquifer contaminations. To validate the methodology, these activities were studied and almost all of them were located in high hazardous index cells.

**Palavras-chave:** Jurubatuba (São Paulo), abastecimento, vulnerabilidade, contaminação

## 1 – INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas do abastecimento público dos municípios da Bacia do Alto Tietê (BAT) é o desequilíbrio entre oferta e demanda. A operadora do sistema é limitada em fornecer 64 m<sup>3</sup>/s. O restante da demanda, de 72m<sup>3</sup>/s, é complementado por 12 mil poços tubulares privados operados, em sua maioria (>70%), ilegalmente <sup>[1]</sup>. Devido ao total descontrole desses poços, os municípios e a própria concessionária são reféns desses usuários, pois a perda de poços, por contaminação ou por superexploração, causaria o abandono dos mesmos e a migração desses usuários à rede pública. Tal migração induziria o colapso do sistema. Essa situação não é diferente do encontrado em Jurubatuba, na cidade de São Paulo. Adicionalmente, nessa área de 120km<sup>2</sup>, as indústrias utilizam as águas de aquíferos quer por que a concessionária não tem como fornecer mais água, quer por que o sucesso comercial das atividades necessita de água de baixo custo.

Este trabalho, portanto, demonstra a importância de conhecer as atividades potenciais de contaminação frente à vulnerabilidade à poluição dos aquíferos da região

com a finalidade de prevenir novas contaminações e, conseqüentemente, o risco de desabastecimento público, uma vez que a região já apresenta 84 áreas declaradas contaminadas, conforme cadastro da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), principalmente por solventes orgânicos clorados (*dense nonaqueous phase liquid* – DNAPL); um intenso número de atividades antrópicas e oferta de água superficial insuficiente para a demanda de uso na região.

## 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado neste trabalho o método GOD, índice que indica a vulnerabilidade natural do aquífero segundo as suas características hidrogeológicas<sup>[2]</sup>,<sup>[3]</sup>, considerando os seguintes fatores:

- **G**rau de confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero em estudo;
- **O**corrência de estratos de cobertura, em termos da característica hidrogeológica e do grau de consolidação que determinam sua capacidade de atenuação do contaminante;
- **D**istância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado.

Na avaliação do aquífero, cada um destes fatores recebe um índice, e o produto destes índices representa a vulnerabilidade natural dos aquíferos da região. O método, como descrito, permite classificar o aquífero em cinco níveis de vulnerabilidade à poluição (insignificante, baixo, médio, alto e extremo).

Para classificar as fontes potenciais de carga contaminante no subsolo foi utilizado o método **POSH** (acrônimo em inglês de *Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*), que avalia a probabilidade da presença de substância poluente associada com o tipo de atividade humana e a provável sobrecarga hidráulica com base no uso da água<sup>[2]</sup>.

Podem-se classificar três níveis qualitativos (reduzido, moderado e elevado). Na área de estudos foi possível fazer a classificação a partir do cadastro de 3.905 atividades econômicas existentes, fornecido pelo Sistema de Fontes de Poluição (Sipol), da CETESB, a agência de meio ambiente do Estado de São Paulo.

Para identificar áreas onde realmente existem perigos elevados de contaminação, a região foi dividida em células de 500x500m. Tal dimensão da célula foi estabelecida a partir da distância aproximada de 500m para a migração de contaminantes em dez anos, baseada somente no fluxo advectivo na zona saturada do aquífero, definida através de modelação numérica<sup>[4]</sup>.

A densidade de atividades por célula foi definida de acordo com a distribuição espacial das atividades com elevado potencial de contaminação. Essa densidade foi avaliada verificando a vulnerabilidade dos aquíferos. A avaliação do perigo de contaminação foi definida onde a célula apresentava alta densidade de fontes potenciais de elevado índice em área de alta vulnerabilidade à poluição do aquífero.

Os métodos foram aplicados gerando-se mapas elaborados em base digital utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o programa ArcGIS versão 9.2.

### **3 – VULNERABILIDADE E PERIGO DE POLUIÇÃO DOS AQUÍFEROS**

Na área de estudo ocorrem basicamente dois sistemas aquíferos: o Sedimentar e o Cristalino. O Sistema Aquífero Sedimentar (SAS), de porosidade primária, subdivide-se nos aquíferos Quaternário, São Paulo e Resende. Já o Sistema Aquífero Cristalino (SAC), de porosidade secundária, subdivide-se em aquíferos A e B <sup>[5]</sup>. Ambos sistemas são classificados como não confinados.

A distância até o nível freático foi definida conforme a correlação de dados disponíveis de níveis de água, a partir de informações de campo medidos em poços de monitoramento rasos e cacimbas, e a topografia. Comparando-se os dados de campo com as cotas topográficas notou-se que as cotas topográficas mais elevadas apresentam os níveis freáticos mais profundos e as cotas mais baixas, níveis rasos. Pode-se afirmar assim, que o nível freático acompanha, de forma aproximada, a topografia em toda a região. Na porção central e leste da área, predominam os níveis rasos e na porção oeste, níveis profundos.

O *Aquífero Quaternário* apresenta índice de vulnerabilidade alto por conter porções areno-argilosas e devido à baixa profundidade do nível freático, entre 1 a 5m.

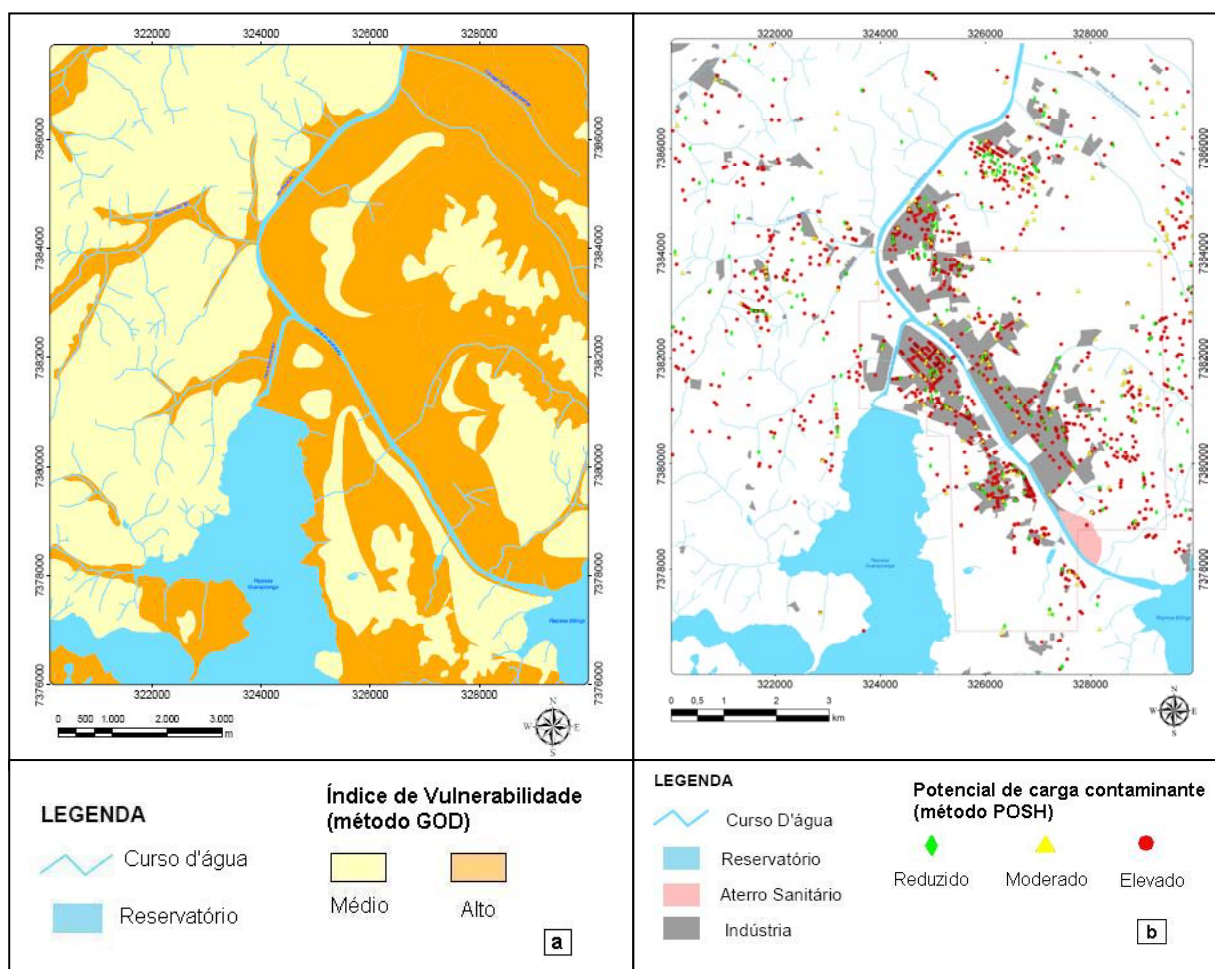
O *Aquífero São Paulo* apresenta um índice de vulnerabilidade médio devido às porções de silte-argila, e ao nível freático ser mais profundo, entre 5 a 20m.

O *Aquífero Resende* é dividido em duas fácies. Sendo assim, os depósitos que predominam lamitos areno-argilosos e níveis freáticos rasos, entre 1 a 5m, possui um índice de vulnerabilidade alto e a mesma fácies com predominância de nível freático mais profundo, maior que 5m, apresenta índice médio, assim como a camada que há predominância de lamitos acamados e níveis freáticos maiores que 5m apresenta um índice de vulnerabilidade médio.

O SAC apresenta grande heterogeneidade hidráulica e baixa densidade de dados, dificultando a determinação da vulnerabilidade do aquífero. Na região, o estrato de cobertura caracterizado pelo intemperismo de rochas metamórficas e ígneas e níveis freáticos médios (entre 5 a 20m) a profundos (maiores de 20m), permitiu classificar o sistema como índice de vulnerabilidade médio.

O mapa de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos está ilustrado na **Figura 1a**.

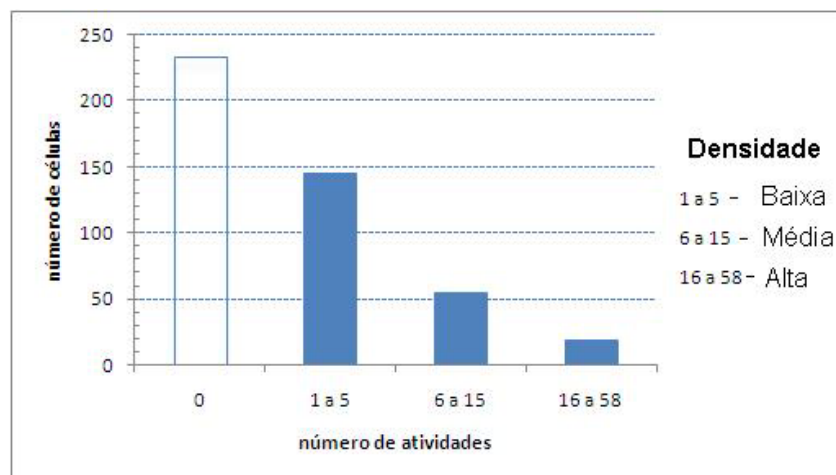
A principal atividade antrópica que ocorre na área em estudo e pode prejudicar a qualidade da água subterrânea é a atividade industrial. Na área ocorrem 2.490 atividades com índice elevado de potencial de poluição, conforme a classificação pelo método POSH, baseada nas características químicas de substâncias usadas pela atividade e no potencial de geração de cargas contaminantes.



**Figura 1** – Vulnerabilidade natural dos aquíferos (a) e distribuição das atividades com carga potencial de contaminação (b).

O manuseio de produtos químicos tóxicos ou nocivos (principalmente hidrocarbonetos, solventes clorados, metais pesados, etc.) se despejados no solo, sem

tratamento adequado, podem provocar extensas plumas de contaminação e de difícil remediação, por isso são classificados como potencial elevado de contaminação. Os principais tipos de atividades industriais que ocorrem na área são de manufatura de produtos químicos orgânicos, elétricos eletrônicos, farmacêuticos e produtos plásticos (**Figura 1b**).

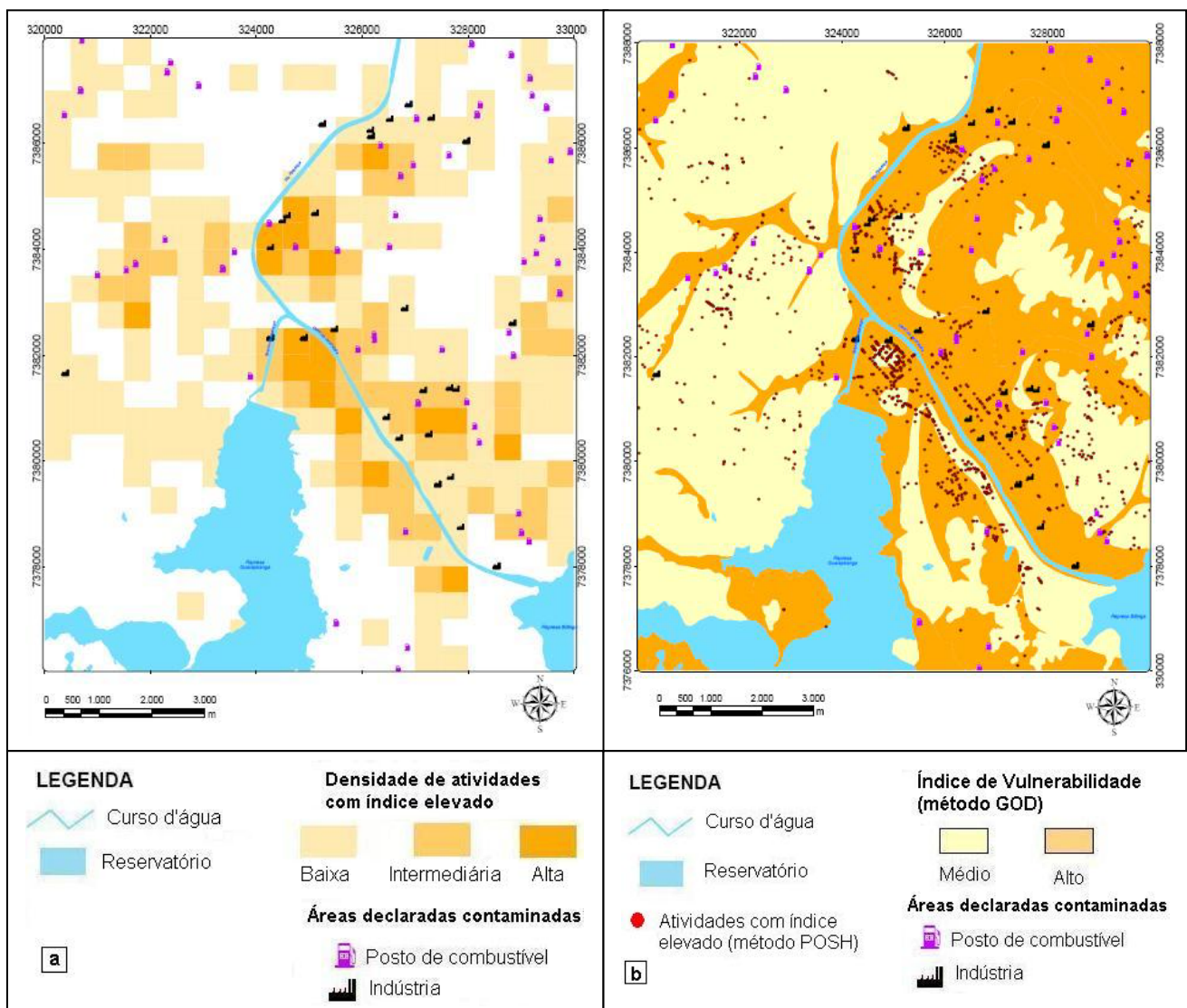


**Figura 2** – Distribuição das 2.490 atividades potencialmente contaminantes classificadas como de elevado índice nas células de 500 m x 500 m.

Observa-se que as maiores densidades de atividades (**Figura 2**) com elevado potencial de contaminação e áreas declaradas contaminadas ocorrem em torno do rio Pinheiros e canais Jurubatuba e Guarapiranga (**Figura 3a**). Uma avaliação do mapa de densidade de atividades confrontado com o de ocorrências de áreas declaradamente contaminadas permite concluir que há correspondência entre elas. Nas áreas onde a densidade é baixa, há pontos restritos de contaminação declarada em solo ou água subterrânea. Já naquelas de maior ou média ocupação (quando essa é próxima a áreas de alta densidade) há maior ocorrência de contaminação real. Ao avaliar a densidade de atividades com potencial elevado de contaminação à vulnerabilidade natural do aquífero, nota-se que as células de maiores densidades estão sobre aquíferos de alta vulnerabilidade, assim como áreas declaradas contaminadas também estão sobre o aquífero de alta vulnerabilidade (**Figura 3b**).

As áreas declaradamente contaminadas não contemplam todas aquelas realmente existentes na região de estudo. A obrigatoriedade de estudos de detalhe para essas atividades ainda é pouco exigida pelo órgão ambiental. Entretanto, tais resultados já permitem identificar que nas áreas com alta e média densidades de fontes potenciais

elevadas de contaminação há maior presença das atividades realmente contaminadoras dos aquíferos. Da mesma forma, as áreas com baixa densidade de atividades não apresentou quase nenhuma contaminação confirmada. Esse resultado permite estender os resultados para outras áreas de forte ocupação industrial, permitindo identificar aquelas áreas onde providências urgentes de gerenciamento devem ser tomadas para evitar que a água torna-se imprópria para consumo humano, colocando em risco o abastecimento de água à população. Da mesma forma, esse zoneamento permite priorizar as ações dos órgãos de controle ambiental e de vigilância sanitária no combate às atividades de maior potencial contaminador ou mesmo na orientação da localização de poços de monitoramento de aquíferos.



**Figura 3** – Densidade de atividades com potencial elevado de contaminação e áreas declaradas contaminadas (a) e vulnerabilidade dos aquíferos à poluição (b).

## 4 – CONCLUSÕES

O risco de escassez de água na Região Metropolitana de São Paulo é cada vez maior, algumas regiões já apresentam o cenário de stress hídrico onde a demanda de água por habitante é maior do que a oferta disponível. Esse cenário de escassez é fruto do alto consumo de água, das perdas nas redes de abastecimento público e da falta de saneamento que gera poluição nos recursos hídricos. O aumento da demanda do uso de água subterrânea levou à preocupação com a qualidade desse recurso.

Os resultados deste trabalho demonstram que os recursos hídricos subterrâneos da região do Jurubatuba, na cidade de São Paulo, estão com sua qualidade ameaçada devido ao risco de contaminação do aquífero local. A inviabilidade na utilização desse recurso agravará o cenário de escassez hídrica que aflige a região.

A aplicação dos métodos GOD e POSH com o sistema de informação geográfica (SIG) teve o propósito de avaliar o risco de contaminação do aquífero que abastece a região de Jurubatuba. A integração dos dados em um ambiente SIG permitiu compreender e visualizar os problemas referentes à intensa ocupação industrial, disposta desordenadamente sobre os aquíferos de média e alta vulnerabilidade caracterizados na região.

O método utilizado de definição do risco é uma poderosa ferramenta, que embora de fácil e rápida aplicação, devido a sua simplicidade, não perde a sua robustez.

O método para a caracterização da carga contaminante é inédito e mostrou excelentes resultados que, conjuntamente com dados reais referentes ao uso e ocupação territorial, áreas contaminadas e a cartografia de vulnerabilidade, utilizando a clássica técnica GOD, permitiram identificar áreas de maior e menor risco de contaminação.

O método POSH para carga contaminante classificou 3.905 atividades industriais, sendo que 2.490 foram classificadas como elevado potencial de contaminação. No total de 120 km<sup>2</sup> de área estudada, 4,5 km<sup>2</sup> foram classificadas como alta densidade dessas atividades, 13,2 km<sup>2</sup> e 39,4 km<sup>2</sup>, de média e baixa densidade, respectivamente. Esses resultados demonstram que cerca de 47% da área de estudo apresenta algum perigo de contaminação pela presença de fontes potenciais antrópicas.

O sucesso do método pode ser comprovado pela grande correspondência entre as áreas com alta e média densidade de atividades com elevado potencial de contaminação e a localização das 84 áreas declaradas contaminadas pelo órgão gestor.



A técnica de determinação de áreas de alto risco é capaz de identificar as áreas onde provavelmente haverá risco de desabastecimento de água subterrânea no local, agravando o problema de disponibilidade hídrica, pois o sistema de abastecimento público operado pela concessionária encontra-se no limite da capacidade de suprir de água na área.

Outro resultado importante permitiu avaliar áreas onde o perigo de contaminação é baixo, pela ausência de fontes potenciais antrópica na célula. Em tais células, com 52,5% da área total, a exploração de água subterrânea por poços tubulares é ainda seguro, comparativamente às células com presença de fontes antrópicas. São, portanto, nessas células que o abastecimento privado deve continuar para manter o equilíbrio entre a demanda e a produção de água da região do Jurubatuba.

Como mitigação do problema deve-se aprofundar o conhecimento sobre o potencial de contaminação dessas atividades focando prioritariamente nas células de maior perigo, definindo diretrizes de gerenciamento adaptadas às condições hidrogeológicas do local, incluindo o auto-monitoramento dos poços existentes e a identificação de poços clandestinos. Já nas células com baixo perigo, são necessárias ações de gestão para evitar futuras contaminações e possível inapropriação do uso da água subterrânea para consumo humano.

## 5 – REFERÊNCIAS

- [1] FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – FUSP, 2002. Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – Caderno Técnico Institucional.
- [2] FOSTER & HIRATA 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. CEPIS/PAHO-WHO Technical Report. Lima (Peru), 81p.
- [3] FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D`ELIA, M.; PARIS, M. 2006. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Mundial, Washington, 104p.
- [4] SERVIMAR, 2008. Delimitação de Áreas de Restrição e Controle de Captação e Uso das Águas Subterrâneas no Município de São Paulo (Bloco B: Aquífero Cristalino). Relatório Final. DAEE/Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento. São Paulo, 143 p.
- [5] 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 31(1), p 43-50.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Servmar Serviços Técnicos e Ambientais e ao DAEE (Departamento de Água e Energia Elétrica) por permitirem a utilização dos dados gerados a partir do Projeto de “Delimitação de Áreas de Restrição e Controle de Captação e Uso das Águas Subterrâneas no Município de São Paulo (Bloco B: Aquífero Cristalino)”, o que possibilitou a realização desse artigo.