

# ZONEAMENTO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI EM SUA ÁREA DE AFLORAMENTO NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

José Luiz Albuquerque Filho<sup>1</sup>; Priscila Ikematsu<sup>2</sup>; Marina Costa Barbosa<sup>3</sup>; Ana Maciel de Carvalho<sup>4</sup>; Ana Candida Melo Cavani<sup>5</sup>

## Resumo

Este artigo objetiva apresentar e discutir o mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas na área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de São Paulo, que é constituído, neste estado, pelas formações geológicas Piramboia (base) e Botucatu (topo). O zoneamento da vulnerabilidade foi consubstanciado em escala 1: 250.000, utilizando-se o Método GOD, e faz parte do estudo desenvolvido pelo IPT, o qual realizou diagnósticos e estabeleceu subsídios para a elaboração do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA) em toda a área de afloramento do sistema aquífero no território paulista. De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, a vulnerabilidade à contaminação na região varia de Média a Alta, sendo 4.000 km<sup>2</sup> de Alta vulnerabilidade à contaminação e cerca de 12.000 km<sup>2</sup> relativos ao índice médio de vulnerabilidade. A unidade aquífera Botucatu apresenta-se mais vulnerável que a unidade aquífera Piramboia. Espera-se que os resultados deste estudo contribuam e sirvam de apoio ao órgão gestor estadual e aos comitês de bacia hidrográfica envolvidos na gestão do manancial SAG. Constatou-se, também, a necessidade de pesquisas mais detalhadas, uma vez que os trabalhos foram desenvolvidos com abrangência regional.

## Abstract

This paper aims to present and discuss the groundwater vulnerability to contamination map for the unconfined area of the Guarani Aquifer System (GAS) in the Sao Paulo State. This aquifer is represented in the state by the geological formations Piramboia (base) and Botucatu (top). The map was developed in the 1: 250,000 scale, using the GOD method and is part of a study conducted by IPT, which carried out diagnostics for the elaboration of the Development and Environmental Protection Plan (DEPP) for the unconfined area of the GAS. The results indicate that the vulnerability to contamination in the region ranges from Medium to High, which 4,000 km<sup>2</sup> has high vulnerability to contamination and 12,000 km<sup>2</sup> has an average index. The Botucatu formation is considered more vulnerable to contamination than the Piramboia formation. It is expected that the results from this study contribute and support state managers and water basin committees responsible for the GAS management. There is a need for more detailed researches in the area, since the work was developed in a regional scale.

Palavras Chave: Sistema Aquífero Guarani; Vulnerabilidade à Contaminação; Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental.

<sup>1,2,4,5</sup> Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, Av. Prof. Almeida Prado nº532, São Paulo, SP, CEP 05508-901. Fone/Fax( + 55.11.37674938).

<sup>1</sup> Hidrogeólogo, Dr. E-mail: [albuzelu@ipt.br](mailto:albuzelu@ipt.br)

<sup>2</sup> Engenheira Ambiental, Mestranda. E-mail: [priscilai@ipt.br](mailto:priscilai@ipt.br)

<sup>3</sup> Engenheira Civil, MSc, University of Southern Queensland – USQ; PhD Student Department, West Street, 4350, Toowoomba, QLD, Australia. E-mail: [marinacbarbosa@gmail.com](mailto:marinacbarbosa@gmail.com)

<sup>4</sup> Geóloga, Mestranda. E-mail: [amaciel@ipt.br](mailto:amaciel@ipt.br)

<sup>5</sup> Matemática, MSc. E-mail: [anacandi@ipt.br](mailto:anacandi@ipt.br)

## 1. INTRODUÇÃO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) ocupa, no Estado de São Paulo, 143.000 km<sup>2</sup> (OEA, 2009), mas possui apenas 15.000 km<sup>2</sup> aflorando em superfície e constituindo importante área de recarga. Essa área aflorante representa a porção em condições livres do aquífero e, portanto, se constitui em território que requer grande atenção quanto à proteção e controle, para evitar possíveis contaminações do manancial.

Assim sendo, o presente trabalho objetiva apresentar e discutir o mapeamento da vulnerabilidade à contaminação na área de afloramento do SAG - formações Botucatu e Piramboia, incluindo coberturas aluvionares pouco espessas e a elas superpostas, de acordo com o Mapa Geológico na escala 1:250.000 (convênio DAEE/UNESP, 1980), e zona de amortecimento (*buffer*) de 2 km no seu entorno. Dessa forma, a área de estudo, que ocorre na porção centro-leste do Estado, com direção aproximada N-S, totalizou 26.100 km<sup>2</sup> de superfície.

O estudo faz parte da pesquisa desenvolvida pelo IPT (2010) que constituiu o projeto intitulado “*Diagnóstico Ambiental para Subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo (PDPA-SAG)*” e a proposta de Áreas de Intervenção, conforme preconizado na Lei Estadual nº 9.866/97 (São Paulo, 1997).

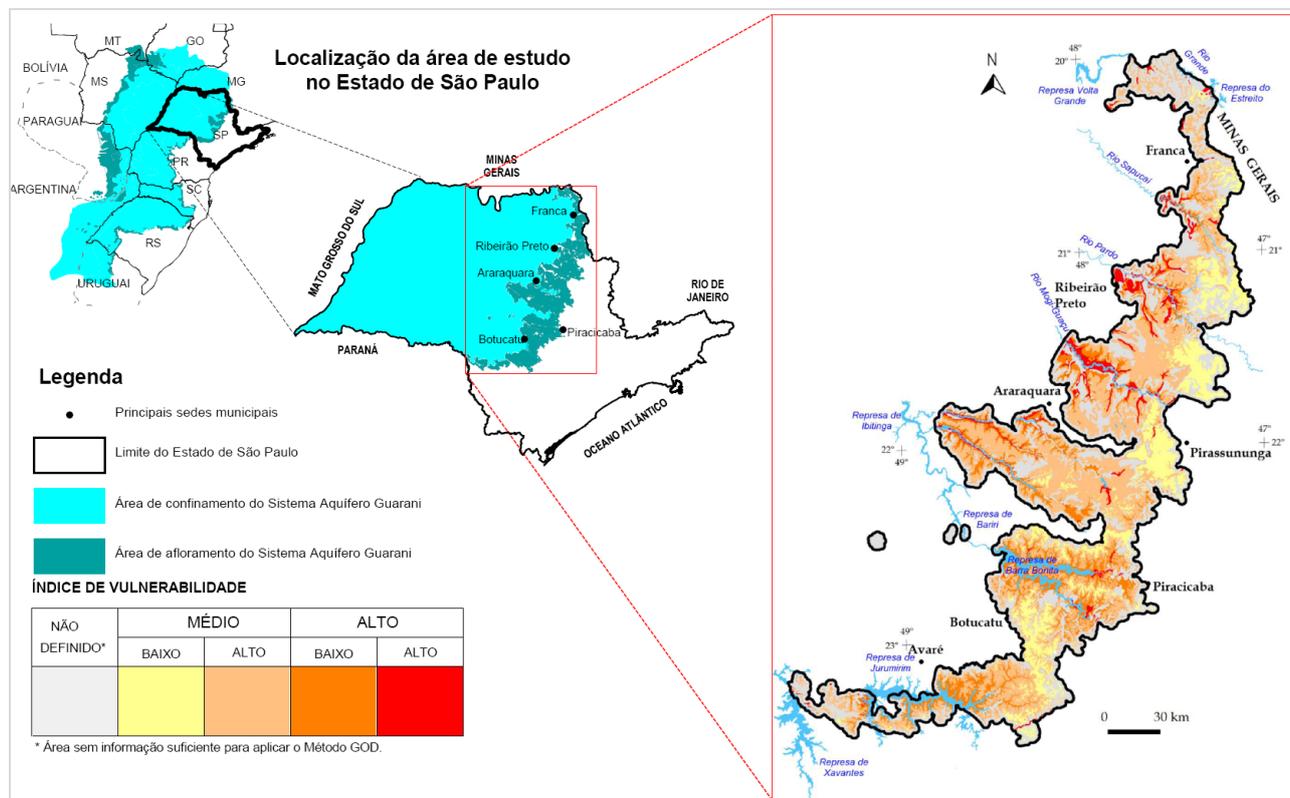
## 2. MÉTODO DE TRABALHO

O mapeamento da vulnerabilidade à contaminação foi desenvolvido utilizando-se o Método GOD (Foster e Hirata, 1988), que consiste na avaliação de três fatores hidrogeológicos, quais sejam: grau de confinamento da água subterrânea (G); ocorrência de estratos de cobertura (O); e distância até o nível da água subterrânea (D). Foi utilizado o software Mapinfo<sup>®</sup> na versão 10.0 para a elaboração dos mapas de interesse ao estudo.

O grau de confinamento (G) foi classificado conforme estudos regionais do SAG realizados por DAEE/IG/IPT/CPRM (Rocha, 2005) e IG/CETESB/DAEE (Hirata et al., 1997). Para a determinação da ocorrência de estratos de cobertura (O) utilizou-se o Mapa Geológico do Estado de São Paulo 1: 250.000 (Convênio DAEE/UNESP, 1980) e estudos de IPT (1981), Caetano-Chang & Wu (1992), Milani et al. (1994) e Gianini et al. (2004). E, por último, para obter a distância até o nível d'água subterrânea (D) foram avaliadas as profundidades do nível estático de 127 poços medidos em campanha de cadastramento realizada em 2009 pelo IPT (2010). Em seguida, os intervalos de nível estático foram associados aos intervalos de cotas topográficas observadas nos mapas em escala 1: 250.000 da região.

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

O mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação do SAG na sua área de afloramento no Estado de São Paulo, realizado na escala 1: 250.000, está apresentado na Figura 1.



**Figura 1** – Mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação na área de afloramento do SAG.

Na área de estudo, a vulnerabilidade à contaminação variou de Média a Alta, sendo que essas classes foram subdivididas em dois subníveis (alto e baixo), existindo, portanto, quatro classes de vulnerabilidade, a saber: Alto-alto; Alto-baixo; Médio-alto; e Médio-baixo. Os resultados demonstraram que o índice para a unidade aquífera Botucatu varia de Alto-alto a Médio-alto e para a unidade aquífera Piramboia varia de Alto-baixo a Médio-baixo, comprovando que a unidade aquífera Botucatu se apresenta um pouco mais vulnerável.

O mapeamento realizado (escala 1: 250.000) representa um importante avanço do conhecimento na área de afloramento do SAG, uma vez que para toda essa região existia apenas o mapeamento da vulnerabilidade de todo o Estado de São Paulo, desenvolvido na escala 1: 500.000 e editado em 1: 1.000.000, (Hirata et al., 1997).

Os resultados do mapeamento indicam áreas frágeis e vulneráveis, que requerem cuidados específicos quanto ao uso e ocupação do solo. Espera-se que o presente estudo contribua e sirva de apoio ao órgão gestor estadual e aos comitês de bacia hidrográfica envolvidos na gestão do manancial SAG. No entanto, os resultados devem ser vistos como orientação para as ações na área devido, principalmente, ao caráter regional do estudo, sendo imprescindível a realização de estudos

de detalhe nas áreas identificadas com alto perigo de contaminação, a fim de subsidiar os trabalhos de monitoramento e controle da qualidade das águas subterrâneas.

#### 4. AGRADECIMENTOS

Julga-se oportuno agradecer ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) pelo apoio financeiro, por intermédio do Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI) e da Secretaria do Estado de Meio Ambiente (SMA)/Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA) e, também, agradecer a todas as entidades e profissionais que contribuíram para o Projeto Diagnóstico Ambiental para Subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAETANO-CHANG, M.R. & WU, F.T. Bacia do Paraná: formações Pirambóia e Botucatu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. **Roteiro de Excursão...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992, v. 2, p. 1-19.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE & UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. **Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1: 250.000.** São Paulo: Convênio DAEE/ UNESP, Secretaria de Obras e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1980. (Compilação eletrônica Lebac/ IGCE/ Unesp, 2009).

FOSTER & HIRATA. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. **CEPIS/PAHO-WHO Technical Report.** Lima (Peru), 1988. 81p.

GIANINI, P. C. F. *et al.* Paleoventos e paleocorrentes subaquosas do sistema deposicional Pirambóia nos estados de São Paulo e Paraná, Bacia do Paraná: estudo baseado em análise estatística de dados azimutais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 2, p. 282-292, jun. 2004.

HIRATA, R.; BASTOS, C. R. A; ROCHA, G. A. (Coords.) **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo.** São Paulo: IG/ CETESB/DAEE, v.1 e 2, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** Escala 1: 1.000.000. São Paulo: IPT, 1981. 2 v. (Publicação, 1 183; Monografias, 5).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Diagnóstico Ambiental para Subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 2010. 7v. 384 p.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. **Bol. Geociênc. Petro.** v. 8, p. 69-82, 1994.

ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS - OEA. **Aquífero Guarani: programa estratégico de ação** = Aquífero Guaraní: programa estatégico de acción. Edição bilíngue. OEA: Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai, 2009. 424 p.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 9.866/97, de 28 de Novembro de 1997.** Dispõe de diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo e dá outras providências. Disponível em: [http://www.mananciais.org.br/upload/\\_lei\\_estadual\\_9866\\_97.pdf](http://www.mananciais.org.br/upload/_lei_estadual_9866_97.pdf)

ROCHA, G. A. (Coord.). **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo - escala 1: 1.000.000.** São Paulo: DAEE/ IG/ IPT/ CPRM, 2005. 119 p.