

Diretrizes para o desenvolvimento e proteção ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no estado de São Paulo, Brasil

J. L. Albuquerque Filho⁽¹⁾, A. M. de Carvalho⁽²⁾, P. Ikematsu⁽³⁾, M. Costa Barbosa⁽⁴⁾, M. Iritani⁽⁵⁾, M. M. Nogueira Pressinotti⁽⁶⁾, G. Rocha⁽⁷⁾, M. Pereira Militão da Silva⁽⁸⁾, A. Theodorovicz⁽⁹⁾

(1) Hidrogeólogo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT, Av. Prof. Almeida Prado, 532, São Paulo, SP. albuzele@ipt.br

(2) Geóloga, Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT. amaciel@ipt.br

(3) Engenheira Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT. priscilal@ipt.br

(4) Engenheira Civil, MSc, University of Southern Queensland. marinacbarbosa@gmail.com

(5) Hidrogeóloga, Dra. Instituto Geológico-IG/SMA. mara.iritani@igeologico.sp.gov.br

(6) Geóloga, MSc., Instituto Geológico-IG/SMA. mpressinotti@igeologico.sp.gov.br

(7) Geólogo, Secretaria do Estado do Meio Ambiente. rocha.geroncio@gmail.com

(8) Cientista Social. Secretaria do Estado do Meio Ambiente. martas@ambiente.sp.gov.br

(9) Geólogo, Antonio Theodorovicz. antonio.theodorovicz@cprm.gov.br

RESUMO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) constitui um importante manancial de abastecimento público e, em geral, a sua área de afloramento encontra-se mais vulnerável à contaminação, fato que justifica o estabelecimento de uma Área de Proteção e Recuperação de Manancial (APRM), conforme preconizado na Lei Estadual de São Paulo nº 9.866/97. Apresenta-se neste artigo os resultados do 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 (PDPA-SAG)* e a proposta de Áreas de Intervenção, ambos instrumentos de planejamento e gestão definidos pela referida lei. O estudo considerou diversos aspectos do meio físico e socioeconômico, além de diplomas legais pertinentes e os seus resultados demonstram que, no âmbito regional, a situação atual do SAG é satisfatória, porém, destaca-se a importância do disciplinamento territorial.

Palavras-chave: Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM), Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA), Sistema Aquífero Guarani (SAG)

Guidelines for the development and environmental protection of the outcrop area in the Guarani aquifer system in São Paulo State, Brazil

ABSTRACT

The Guarani aquifer system (GAS) is an important public water source. The unconfined areas are those where the aquifer is more vulnerable to contamination, justifying the creation of a Protection and Recovery Source Area (Área de Proteção e Recuperação de Manancial - APRM), as established in Act 9.866/97 of São Paulo State. We present here the results of the project "Environmental Diagnosis in Support of the Plan for the Development and Environmental Protection Plan of the Outcrop Area of the Guarani Aquifer System in São Paulo State (Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo – PDPA-SAG)" and describe the areas of intervention defined by this law. The characterization of the area studied focuses on the physical and socio-economic aspects of the region, in addition to the pertinent legislation. Partial results indicate that the condition of the aquifer is satisfactory, but territorial discipline continues to be of prime importance.

Key words: development and environmental protection plan, Guarani Aquifer System, protection and recovery source area

ABRIDGED ENGLISH VERSION

The Guarani aquifer system (GAS), occupying an area of approximately 143.000 km² in São Paulo state, is an important public water source, most of it being covered (approximately 128.000 km²) with thick layers of almost impermeable basalt. The east and west zones (about 15.000 km²) are geologically unconfined areas, however, and are therefore more vulnerable to contamination. In these unconfined areas there are several towns and agro-industrial sectors, the waste from which is released into the soil and waterways. Within this context, the control of pollution sources is a basic condition for the continued availability of water to forthcoming generations both in terms of quantity and quality.

Due to degradation in the quality and quantity of water resources from numerous sources, putting at serious risk the safety of the public supply to increasing numbers of the population, the Sao Paulo State passed Act 9.866/97 (São Paulo, 1997), which established "...guidelines and standards for the protection and recovery of basin sources of regional interest ..."; in which "... are considered to be sources of regional inland waters: groundwater, surface water, flowing, emerging or in deposit, effective or potentially usable for public supply ..."; and also provides for the establishment of the Protection and Recovery Area of the Water Sources - PRAWS interest for public supply.

This paper presents the results of the project "Environmental Diagnosis in Support of the Development and Environmental Protection Plan of the Unconfined Area of the GAS in São Paulo State (DEPP-GAS)" and describes the intervention areas proposed, both in terms of the planning and management tools defined by the Act.

The study area refers to the geologically unconfined zone of the GAS in São Paulo State, composed of Triassic units at the base (Pirambaia) and Jurassic deposits (Botucatu) forming the top and a surrounding buffer region some 2.0 km wide, totalling an area of approximately 26,110 km². This area was named the Protection and Recovery Area of the Water Source from the Unconfined Area of the Guarani aquifer system (PRAWS-GAS) and involves 105 municipalities and 7 Water Resources Management Units of Sao Paulo State.

To characterize the area in question we undertook research into the physical environment, the socio-economic environment and conservation and related fields pertinent to the region proposed as PRAWS-SAG. We also obtained more well data, which resulted in the registration of 610 wells in the area, to help with the quantitative and qualitative analyses of groundwater. To this end, 344 wells were visited to update our records and two water sampling campaigns were initiated, one in 49 wells to analyse the physical-chemical and bacteriological parameters, and another in 50 wells to analyse the nitrogen series. The study indicated that regionally the water could be qualified as drinkable, but that at local levels there were anomalies in some parameters, such as nitrate, nitrogen, iron and manganese. In terms of quantity, the irrigation sector enjoys the highest discharges granted and is the largest user of GAS, despite owning only 10% of the wells.

The natural vulnerability to contamination of the GAS was assessed according to the GOD method (Foster, 1987; Foster and Hirata, 1988; cited in Foster et al., 2006), which takes into account such parameters as groundwater occurrence (G), overall characteristic of the aquifer (O) and depth of the water table (D). It is important to ascertain the contamination vulnerability index of the aquifer, which ranges from Great to Insignificant in the classification proposed by the GOD method, to delimit the restrictions zone for certain types of activities. As shown on the maps drawn by IPT (2010) at a scale of 1:250.000, the vulnerability index is classified at general levels of from medium to high.

The potential activities of groundwater contamination were assessed in terms of two types of occurrence: specific sources, such as solid-waste disposal, petrol stations and industrial areas; or diffuse sources, such those deriving from in situ sanitation and types of culture. Classification was based on two methods: the POSH method, which takes into account the origin of the pollutant and its hydraulic burden (Foster, 1987; Foster and Hirata, 1988, cited in Foster et al., 2006), and that adopted for the classification of agricultural activities by Embrapa (Gomes, 2008), which classifies these activities as the potential load of inputs or agrochemical infiltration coupled with the type of soil management. It must be emphasised that the main activities developed in this area are agricultural, among which annual and semi-perennial crops were classified as having the highest potential for groundwater pollution, totalling 91% of the agricultural areas recognised in the PRAWS-GAS.

Apart from that concerning potentially polluting activities, we also collected information about already contaminated areas (Cetesb, 2008) in the study area.

The data on the interaction of the natural vulnerability of the aquifer and the contaminant load that is, will or may be applied to the ground as a result of human activities allowed us to assess the contamination hazard of the aquifer, in the way proposed by Foster et al. (2006), to indicate the most sensitive areas of the PRAWS that require special attention or even the proposition of priority actions to undertake more detailed studies. Their results show that at the regional level the current state of the GAS is satisfactory, but that territorial discipline remains of prime importance.

On the basis of these studies and as a result of the project (IPT, 2010) a specific parliamentary bill was drafted that established allowances for the DEPP-GAS concerning the regional boundaries of the intervention areas of the PRAWS-GAS, to allow the appropriate use and occupation of each zone, as established by means of guidelines, goals and programs, especially with regard to control of the use and protection of water quality.

The scenario presented justifies the establishment of management tools that can ensure sustainable development in the unconfined area of the GAS. Within this context, the proposed creation of the Protection and Recovery Area for the unconfined area of the Guarani Aquifer System (PRA-GAS) by specific law is of strategic interest because it seeks to govern the forms of occupation of this area with a view to ensuring groundwater quality and quantity appropriate to the population. Restrictions and control of the use and occupation of the soil should be established in the PRA-GAS, taking into account the natural vulnerability of the groundwater to contamination and the importance of the aquifer system in the regional context. Therefore, it is proposed to define Intervention Areas, with their respective guidelines consistent with the protection and recovery of the GAS, as set out in Parliamentary Act 9.866/97 (São Paulo, 1997).

It must be stressed that the study area is highly complex, due to its length and the number of municipalities involved, and that this complicates any proposal for the delimitation of Intervention Areas that bear in mind the specificity of each region, since they all have their own characteristics and interests. Accordingly, this proposal is regional in character and should be considered as the beginning of the process of territorial disciplining referred to in the PRA-GAS. In the study area, the Intervention Areas are divided into Areas of Restricted Occupation (ARO) Areas of Oriented Occupation (AOO), and Environmental Recovery Areas (ERA). Accordingly, the Project DEPP-GAS (IPT, 2010) proposes guidelines and regional measures to control the occupation of the territory combined with actions aimed at reparation and the prevention of situations that may cause negative impacts upon this basin. General guidelines of a regional character have been established for the whole PRA-SAG area and specific guidelines for each Intervention Area (ARO, AOO or ERA).

The general guidelines for the PRA-SAG aim to avoid harm to groundwater reserves arising from possible contamination problems and also to overexploitation so as to ensure the fulfilment of current and future human needs and sustainable use of the GAS. The recommended actions should be subsidized by resources from the state (Fehidro - Water Resources Fund). For this reason, it is important to emphasise that any discussions conducted by the river basin committees must count on the participation of the municipalities, a requirement already established in Act 7.663/91 (Sao Paulo, 1991). Integration between the DEPP and the municipalities' Master Plans, which are included in the PRA-SAG, as well as with other instruments of urban policy for municipal planning, Watershed Plans, among others, are essential to the success of future management of the water resources in the area in question.

Introdução

A América Latina abriga, na Bacia Sedimentar do Paraná, o Sistema Aquífero Guarani (SAG), um importante reservatório de águas subterrâneas com aproximadamente 1,1 milhão de km² de área de ocorrência, que se estende pelos territórios do Brasil, do Uruguai, da Argentina e do Paraguai. Em território brasileiro, por sua vez, uma área aproximada de 840.000 km² do SAG ocorre nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina. O aquífero é explorado com maior intensidade por cerca de mil poços a profundidades de 100 a 300 metros nas bordas da Bacia, e por algumas centenas de poços, em suas áreas mais profundas (OEA, 2009).

O manancial subterrâneo encontra-se protegido em quase toda a área de ocorrência devido às espessas camadas de rochas basálticas praticamente impermeáveis da Formação Serra Geral, que ocorrem superpondo as camadas que compõem o sistema (Rocha, 1996). No entanto, as faixas longitudinais, a leste e oeste, são áreas de afloramento e, portanto, áreas vulneráveis à poluição. Nestas áreas existem várias cidades e polos agroindustriais, cujos rejeitos

do metabolismo urbano e rural são lançados no solo e nos cursos d'água.

O controle das fontes de poluição é condição básica para que o sistema aquífero apresente disponibilidade quali-quantitativa de água que possa ser utilizada ao longo das gerações. No Estado de São Paulo, cerca de 60% de seu território é ocupado pelo SAG em uma área aproximada de 143.000 km² e os basaltos a ele sobrejacentes estão presentes em cerca 90% da sua superfície total (128.000 km²). Porém, os demais 10% (cerca de 15.000 km²) ocorrem em superfície (IPT, 2010), constituindo faixa longitudinal aproximadamente N-S e correspondendo a área de recarga do manancial.

O SAG é considerado por diversos autores uma reserva estratégica de água doce da América Latina para o abastecimento público e outros usos, por apresentar boas características de armazenamento de água e por estar mais protegido que corpos hídricos superficiais. Além disso, está, em uma grande parte, mais protegido que outros aquíferos, devido à camada de rochas basálticas que o sobrepõe na maior parte de sua extensão.

No Estado de São Paulo a situação se confirma, sendo o SAG considerado a principal reserva de água subterrânea para utilização, devido ao crescimento da demanda por água influenciada pelo crescimento

populacional e econômico regional. Este crescimento vem ocorrendo de maneira desenfreada e com deficiências no planejamento, ocasionando problemas de contaminação e até exploração intensiva dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos.

Diante da situação de degradação na qualidade e quantidade dos recursos hídricos de inúmeros mananciais, colocando em sério risco a segurança do abastecimento público de contingentes populacionais cada vez maiores, o Estado de São Paulo promulgou a Lei nº 9.866/97 (São Paulo, 1997) que estabelece "... diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional ..." na qual "...consideram-se mananciais de interesse regional as águas interiores subterrâneas, superficiais, fluentes, emergentes ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizáveis para o abastecimento público..." e prevê a criação da Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais – APRM de interesse para abastecimento público.

Considerando o fato de que as áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) apresentam uso crescente das águas subterrâneas e que, ao mesmo tempo, representam regiões estratégicas para a garantia da recarga do manancial e são naturalmente vulneráveis a diferentes contaminações oriundas das atividades antrópicas pontuais e difusas, os órgãos gestores de recursos hídricos do Estado de São Pau-

lo, no âmbito do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos (PAE Aquíferos) e com financiamento do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (Fehidro), idealizaram o estudo de diagnóstico para subsidiar um Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA) e estabelecimento da primeira Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM) já proposta para um manancial subterrâneo e, também, auxiliar na elaboração de uma minuta de lei específica de proteção do manancial SAG na sua área de afloramento.

O PDPA visa contribuir para um novo modelo de gestão coordenada, que se baseia no fortalecimento da articulação entre as ações dos órgãos estaduais e municipais, bem como da sociedade em geral.

Este trabalho apresenta, portanto, a proposta da Área de Proteção e Recuperação de Manancial da Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (APRM-SAG) com as devidas diretrizes e recomendações para o desenvolvimento visando a proteção deste manancial, a partir dos resultados do estudo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 2010).

Área de estudo

A área de estudo se refere à porção de afloramento do SAG no Estado de São Paulo, cuja composição é

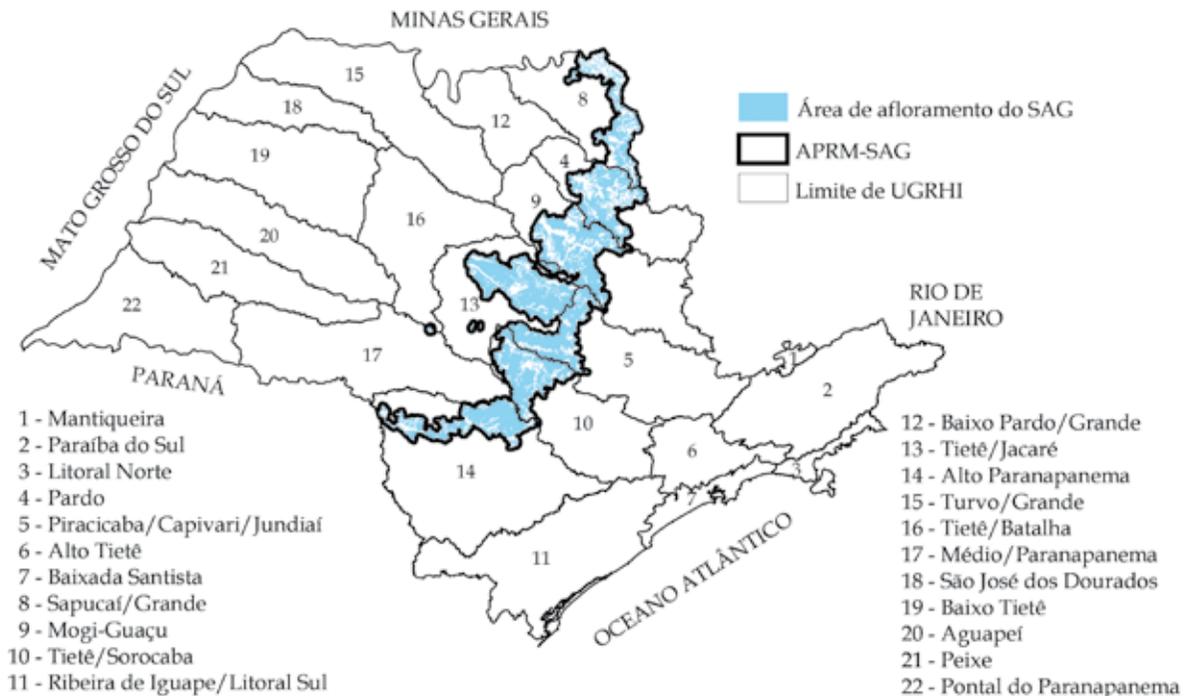


Figura 1. Área de estudo nas Unidades de Gerenciamentos de Recursos Hídricos (UGRHs) do Estado de São Paulo. Fonte: IPT (2010).
Figure 1. Study Area in the Units of Water-Resource Management of São Paulo State. From IPT (2010).

dada pelas formações geológicas Piramboia, de idade Triássica, que corresponde na estratigrafia à porção basal; e Botucatu, de idade Jurássica, que corresponde ao topo.

A delimitação da área de estudo, que também configura a APRM-SAG, efetuada pelo IPT (2010), considerou o limite da porção aflorante do SAG no Estado de São Paulo (formações Botucatu e Piramboia), de acordo com o Mapa Geológico na escala 1: 250.000 (Convênio DAEE/Unesp, 1980), tendo sido acrescentada uma faixa de segurança de 2,0 km de largura (*buffer*) ao longo do perímetro da região de ocorrência superficial considerada, totalizando uma área de aproximadamente 26.110 km² (Figura 1).

Vale destacar que a área de estudo foi delimitada de acordo com a ocorrência de um manancial subterrâneo e não a partir de limites de bacias hidrográficas ou limites municipais. Nesse sentido, envolve, mesmo que parcialmente, 105 municípios do Estado de São Paulo e 7 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs), quais sejam, UGRHI 4 - Pardo, UGRHI 5 - Piracicaba/Capivari/Jundiaí, UGRHI 8 - Sapucaí/Grande, UGRHI 9 - Mogi-Guaçu, UGRHI 10 - Tietê/Sorocaba, UGRHI 13 - Tietê/Jacaré e UGRHI 14 - Alto Paranapanema.

Métodos

Para a caracterização da área de interesse buscou-se informações relativas ao meio físico, ao meio socioeconômico, além de informações das unidades de conservação e áreas correlatas que ocorrem na região proposta como APRM-SAG.

Os aspectos básicos do meio físico foram analisados a partir da compilação e tratamento de dados de geologia e geomorfologia da região de estudo. Uma vez que se constitui em uma importante reserva de água doce subterrânea, avaliou-se, de uma maneira geral, a disponibilidade hídrica na sua área de afloramento, com base em dados secundários apresentados nos Planos de Bacia Hidrográfica das UGRHs do Estado, além de outros estudos.

A caracterização dos aspectos socioeconômicos incluiu uma análise das formas de uso e ocupação do solo e a contextualização da dinâmica demográfica e socioeconômica dos municípios inseridos na área de estudo. Não foram considerados aqueles municípios com área inferior a 8% na APRM-SAG, e cujo território abrange apenas a zona rural. Dessa forma, o levantamento de dados socioeconômicos foi efetuada para 99 municípios daqueles 105 com território na área de interesse.

Os dados populacionais utilizados correspondem aos da Contagem Populacional de 2007, realizada pelo Instituto Brasileiro Geografia e Estatística (IBGE). Questões relacionadas ao desenvolvimento econômico, tais como, principais atividades econômicas desenvolvidas, participação no Produto Interno Bruto (PIB), entre outros aspectos, também foram consideradas. Em relação ao saneamento básico, destacam-se os fatores relacionados ao abastecimento público, ao esgotamento sanitário e à coleta e tratamento dos resíduos sólidos domésticos.

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo (SMA, 2009) foi utilizado para avaliar os usos na APRM-SAG, indicando, entre outras informações, as atividades que podem representar fontes difusas potenciais de contaminação dos aquíferos.

Os aspectos legais foram pesquisados respeitando-se as diversas esferas políticas brasileiras que definem as unidades de conservação ambiental e as áreas correlatas, a fim de integrar as áreas legalmente protegidas às Áreas de Intervenção da APRM-SAG.

Para o conhecimento das características do SAG e avaliação do uso atual da água, foram compilados os dados dos poços tubulares existentes na APRM-SAG. Foram consultadas diversas fontes, a saber: Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), Instituto Geológico (IG) e Projeto Piloto Sistema Aquífero Guarani - Ribeirão Preto.

A partir dessa compilação, estruturou-se um banco de dados composto por 610 poços utilizando-se o software Access (Microsoft), dos quais foram visitados em campo 344 poços para a atualização das informações existentes e a seleção de captações para a amostragem de águas subterrâneas. O banco de dados de poços tubulares apresenta informações gerais, geológicas, construtivas e de qualidade da água dos poços, além de informações adquiridas na etapa de campo.

Adicionalmente, foram realizadas duas campanhas de amostragem, sendo a primeira voltada para caracterização físico-química e bacteriológica em 49 poços e a segunda visando uma análise detalhada da série nitrogenada em 50 poços (não necessariamente coincidentes com os poços da primeira campanha). Juntamente com os dados de análises anteriormente efetuadas por outras entidades, os resultados auxiliaram a caracterização da qualidade natural das águas do SAG e a identificação de possíveis alterações em relação aos limites estabelecidos pelas legislações vigentes.

Além desse banco de dados alfanuméricos, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi utilizado

como ferramenta para visualização integrada das informações espaciais. A criação do banco em ambiente SIG e Access permite uma variada gama de consultas, de acordo com a necessidade do usuário.

A vulnerabilidade natural à contaminação do SAG foi avaliada com base no método GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988, apud Foster *et al.*, 2006), que considera alguns parâmetros do sistema aquífero, como o grau de confinamento hidráulico (G), ocorrência dos estratos de cobertura ou características litológicas (O) e distância até o nível freático (D). É importante conhecer o índice de vulnerabilidade à contaminação do aquífero, que vai de Extremo à Insignificante segundo classificação proposta pelo método GOD, para possibilitar a delimitação de zonas de restrição para certos tipos de atividades.

As atividades potenciais de contaminação foram avaliadas conforme as duas formas de ocorrência, ou seja, pontuais, como, por exemplo, deposição de resíduos sólidos, postos de gasolina e áreas industriais; ou difusas, como saneamento *in situ* e tipo de cultura.

As atividades pontuais potencialmente poluidoras foram selecionadas a partir de informações do cadastro do Sistema de Fontes de Poluição – Sipol, disponibilizado pela Cetesb em 2009, e com apoio das suas Agências Ambientais, destacando-se 302 empreendimentos prioritários localizados nos municípios inseridos na APRM-SAG.

Já para a avaliação do potencial de contaminação das fontes difusas foi analisado o uso e ocupação do solo na APRM. Considerou-se como fonte difusa potencial de contaminação, o saneamento *in situ* e as atividades agrícolas existentes na região. Para tal classificação o estudo baseou-se no método POSH (acrônimo em inglês de *pollutant origin, surcharge hydraulically*), que considera em sua análise a origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988, apud Foster *et al.*, 2006) e, apenas para as atividades agrícolas, adotou-se a classificação dos Domínios Pedomorfoagrocimáticos proposto pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (Gomes, 2008), que classifica essas atividades conforme a carga potencial de infiltração de insumos ou agroquímicos, aliada ao tipo de manejo de solo.

A classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas decorrente do saneamento *in situ*, considerou o percentual de atendimento de rede coletora de esgoto e a densidade demográfica dos municípios inseridos na APRM-SAG. Para a avaliação e a classificação das culturas, conforme o Método POSH, aquelas presentes na área poderiam ser classificadas com potencial Elevado de contaminação, devido ao

clima úmido da região e à adoção de culturas intensivas, geralmente monoculturas. Já o método proposto por Gomes (2008) distingue as culturas em anuais, perenes ou semi perenes - mesma classificação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo (SMA, 2009) – propondo o enquadramento em risco alto ou médio de contaminação da água subterrânea, devido à prática adotada, em geral, de solo bem manejado.

Além das atividades potencialmente poluidoras foram levantadas informações acerca das áreas já declaradas contaminadas (CETESB, 2008a) existentes na região de estudo.

A interação dos dados da vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante que é, será ou poderá ser aplicada ao subsolo como resultado de atividades humanas permitiu uma avaliação do perigo de contaminação do aquífero, conforme proposto por Foster *et al.* (2006), ou seja, indicar as áreas mais sensíveis da APRM e que necessitarão de atenção especial e, até mesmo, a proposição de ações prioritárias, visando estudos mais detalhados.

Como resultado do projeto (IPT, 2010) foi elaborada a Minuta de lei específica e estabelecidos subsídios para o PDPA-SAG, com a delimitação regional das Áreas de Intervenção da APRM-SAG, de modo a permitir o uso e ocupação adequados para cada zona estabelecida por meio de diretrizes, metas e programas, principalmente no que se refere ao controle do uso e da qualidade das águas.

Caracterização geral da área

A região proposta para a APRM-SAG resultou em território de 26.100 km², o qual inclui a área de afloramento do SAG (15.000 km²) e o *buffer* estabelecido (11.100 km²), conforme mostrado na Figura 1.

Em termos geológicos, o SAG é composto basicamente de arenitos das formações Botucatu e Piramboia, pertencentes ao Grupo São Bento da Bacia do Paraná. Na sua área de afloramento, usualmente apresenta coberturas de sedimentos quaternários com espessuras variando em dezenas de metros (Convênio DAEE/Unesp, 1980; Perrota *et al.*, 2005; Almeida *et al.*, 1981).

A Formação Botucatu, de idade Jurássica, unidade estratigraficamente superior do SAG, é constituída predominantemente por arenitos de granulção média a fina, de cor avermelhada, com grãos bem selecionados, arredondados e com alta esfericidade, com estratificações cruzadas de grande porte, depositados em dunas eólicas de ambiente desértico.

A Formação Piramboia, de idade Triássica, soto-posta, é constituída por arenitos médios a finos, lo-

calmente grossos a conglomeráticos, com cores esbranquiçadas e avermelhadas a alaranjadas, com estratificação lenticular bem desenvolvida, depositados em ambiente continental flúvio-lacustrino e eólico (Takahashi, 2005). Almeida e Melo (1981) citam espessuras da parte aflorante da Formação Botucatu de 50 a 100 m, e, para a Formação Piramboia, de até 270 metros na região de Anhembi-São Pedro.

Em termos geomorfológicos, na área de afloramento do SAG no Estado de São Paulo, predomina a província de *Cuestas* Basálticas (cerca de 60% da área de afloramento do aquífero), ladeada, a leste e a sudeste, por algumas áreas restritas da Depressão Periférica (aproximadamente 30%), e, a oeste, ocorrem pequenas porções do Planalto Ocidental (por volta de 10%), em geral consistindo parcialmente a citada faixa de segurança da APRM. As *cuestas*, no território paulista, podem ser observadas desde o vale do rio Grande, ao norte do Estado, até o rio Paranapanema, a sudoeste, apresentando significativo valor paisagístico.

Os 99 municípios dentre os 105 municípios inseridos, total ou parcialmente, na APRM-SAG, considerados na pesquisa, possuem população total estimada de 3.872.435 habitantes. Aproximadamente 85% dos municípios possuem população inferior a 50 mil habitantes, sendo considerados municípios de pequeno porte. Ocorrem, também, importantes municípios de médio porte, como Ribeirão Preto (547.000 habitantes), Piracicaba (358.000 habitantes), Rio Claro (190.000 habitantes), Jaú (190.000 habitantes), Botucatu (120.000 habitantes) e Araras (108.000 habitantes). A taxa de urbanização dos municípios predomina na faixa de 80% a 94%. É importante ressaltar que as grandes áreas urbanas estão situadas fora da área de estudo, caracterizada predominantemente pelo uso agrícola (IBGE, 2008; SEADE, 2009a).

Em 2007, segundo SEADE (2009a), cerca de 67% dos municípios atingiam 100% de abastecimento urbano domiciliar de água; 19% dos municípios apresentavam atendimento entre 90 e 100%; e apenas 12% atendiam menos de 90% dos domicílios.

Os pontos de lançamento de esgoto domiciliar coletado em áreas urbanas são considerados fontes pontuais de poluição direta dos cursos d'água onde são lançados, podendo também afetar as águas subterrâneas e solos, de forma indireta.

Os dados do ano de 2007 acerca da Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$) apontam que os municípios que apresentam maior carga poluidora potencial são: Ribeirão Preto (29.989 kg $DBO_{5,20}$ /dia), Piracicaba (19.267 kg $DBO_{5,20}$ /dia) e Franca (17.665 kg $DBO_{5,20}$ /dia). Destes, somente Franca conta com nível de redução da carga orgânica eficiente, de 93%. Ribeirão Preto e Piracicaba reduzem, respectivamente, 68% e 27% da

carga orgânica potencial (CETESB, 2008b; SEADE, 2008).

Quanto aos níveis de esgoto tratado, em 1999, 58 dos 99 municípios tratavam menos de 10% do esgoto gerado e apenas 30 municípios tratavam mais de 90% do esgoto. Em 2007 verificam-se melhoras no tocante ao tratamento de esgoto, uma vez que diminuíram de 58 para 41 os municípios que tratam menos de 10% de esgoto e aumentou de 30 para 45 o número de municípios que tratam mais de 90% do esgoto doméstico (SEADE, 2008; SEADE, 2009b).

Em relação às condições de instalações de tratamento e/ou destinação final de resíduos sólidos domiciliares dos municípios da APRM-SAG no ano de 1997, verificou-se que 69,7% foram enquadrados em condições inadequadas, 27,3% em condições controladas e apenas 3% em condições adequadas. No ano de 2009, por sua vez, 70,7% dos municípios apresentaram condições adequadas de instalações de tratamento e/ou destinação final de resíduos sólidos domiciliares, 28,3% em condições controladas e 1% em condições inadequadas (CETESB, 2010).

As principais atividades desenvolvidas na área são as culturas, principalmente cana de açúcar, cítricos e café, todas com uso intensivo de agroquímicos (SMA, 2009).

Em relação à qualidade da água do SAG esta é, usualmente, potável, sendo classificada como bicarbonatada sódica e cálcio-magnésiana nas proximidades da área de recarga direta (Assine *et al.*, 2004). Alguns estudos constataram anomalias em determinadas áreas. Por exemplo, a Cetesb (2007) constatou incrementos nos teores para os parâmetros alumínio, bário e nitrogênio nitrato, além de detectar, mesmo que localmente, concentrações de cromo, fluoreto, fósforo, chumbo, ferro, manganês e coliformes fecais.

No estudo de IPT (2010), alguns parâmetros avaliados (nitrogênio nitrato, ferro e manganês) superaram os Valores de Referência da Qualidade para o SAG, definidos com 0,3 mg/L, e até mesmo os Valores de Intervenção, definidos como 10 mg/L, conforme os Valores Orientadores da Qualidade da Águas Subterrânea (CETESB, 2007).

Conforme IPT (2010), de acordo com as informações do banco de dados de poços tubulares, o setor de irrigação apresenta as maiores vazões de outorga, e é considerado o maior usuário do SAG, apesar de apresentar apenas 10% do total de poços para essa finalidade. Os usos, cujas finalidades são para abastecimento público e uso doméstico, se destacam em termos de quantidade de poços, com 30% e 34%, respectivamente.

Em termos gerais, o estudo de IPT (2010) mostrou que as vazões extraídas por meio de poços são infe-

riores à 25m³/h, sendo que a maior vazão, de aproximadamente 400m³/h, é de uso para irrigação.

Vulnerabilidade natural do SAG à contaminação

A vulnerabilidade natural do SAG à contaminação corresponde às áreas das formações Botucatu e Piramboia, somadas às áreas dos depósitos aluvionares, que lhes sobrepõem segundo camadas pouco espessas. Conforme o mapeamento efetuado pelo IPT (2010), o índice de vulnerabilidade situa-se em níveis gerais médio a alto, sendo que essas classes, por sua vez, foram subdivididas em dois subníveis (alto e baixo), existindo, portanto, quatro classes de vulnerabilidade, a saber: Médio-baixo, Médio-alto, Alto-baixo e Alto-alto (Figura 2).

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 é mais vulnerável.

Observa-se assim, que aproximadamente, 4.000 km² da região proposta para a APRM-SAG se configuram como de Alta vulnerabilidade à contaminação e que cerca de 12.000 km² apresentam índice Médio de vulnerabilidade (Tabela 1). Observando-se a área mapeada (Figura 2), percebe-se que o índice Alto ocorre nas margens das principais drenagens, onde a profundidade do nível d'água subterrânea tende a ser menos profunda (menor do que 20 m).

Vale ressaltar que os resultados ora apresentados retratam uma avaliação da vulnerabilidade natural do SAG à contaminação realizada em escala regional (1: 250.000). É fundamental, portanto, o desenvolvimento de estudos em escalas de maior detalhe, principalmente nos locais já identificados como de Alta vulnerabilidade à contaminação.

A área das classes de vulnerabilidade na região estudada está apresentada na Tabela 1.

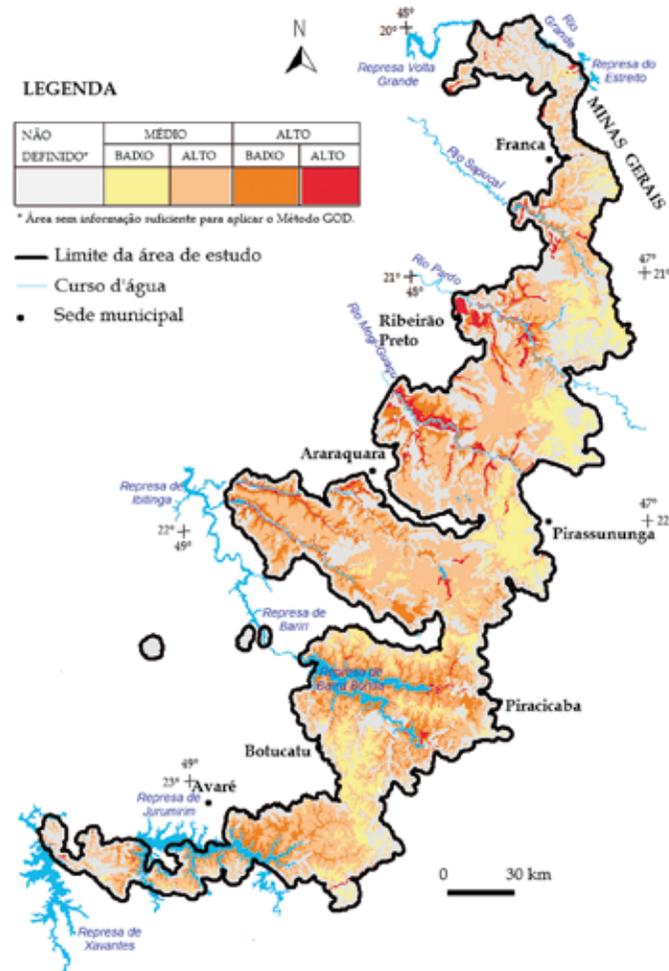


Figura 2. Vulnerabilidade natural do SAG à contaminação na APRM-SAG. Fonte: IPT (2010).

Figure 2. Natural vulnerability to contamination of the GAS in the APRM-SAG. From IPT (2010).

Unidades	Classificação	Área (km ²)
SAG e depósitos aluvionares	Alto-alto	988
	Alto-baixo	2.849
	Médio-alto	8.927
	Médio-baixo	3.066
TOTAL		15.830
Outras	Não definido	10.270
TOTAL		26.100

Tabela 1. Classificação da vulnerabilidade à contaminação na área de estudo. Fonte: IPT (2010).

Table 1. Classification of vulnerability to contamination in the study area. From IPT (2010).

Fontes pontuais potenciais de contaminação

A análise geral das 10.064 atividades cadastradas no Sipol, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb, nos municípios com território, total ou parcial na APRM, indica que a maioria se enquadra na categoria área industrial (62%), seguido pelas atividades não classificáveis (18%), existindo uma porcentagem equivalente de mineração (8%) e postos de combustíveis (8%). Essa primeira análise indica que um número reduzido de municípios apresenta potencial mais elevado de contaminação das águas do SAG, que é decorrente de fontes industriais e de postos de combustíveis. Os municípios de Ribeirão Preto, São Carlos e Piracicaba foram considerados como de

interesse prioritário para investigações futuras mais detalhadas.

A partir dessa avaliação mais geral, foi efetuada análise mais detalhada considerando-se, principalmente, a localização geográfica dos 302 empreendimentos priorizados juntamente com as Agências Ambientais da Cetesb. Do total de atividades selecionadas (302), 116 (ou 38%) se inserem no interior dos limites da APRM, sendo 99 atividades industriais e 17 atividades de disposição de resíduos. Dentre as atividades industriais, a maioria foi classificada com um potencial de contaminação que varia de moderado a elevado, sendo 47% de elevado potencial de contaminação. Por outro lado, a grande maioria das atividades de disposição de resíduos (85%) apresenta moderado potencial de contaminação.

Os municípios de São Carlos, Ribeirão Preto e Tambaú são os municípios onde foi identificada uma maior quantidade de atividades industriais licenciadas, as quais podem ser classificadas, principalmente, com elevado potencial, nos dois primeiros municípios, e reduzido potencial de contaminação, no município de Tambaú.

Diante das duas análises desenvolvidas, conclui-se que na área de estudo não ocorre uma quantidade significativa de fontes pontuais de contaminação, não representando a principal preocupação para a contaminação do SAG. No entanto, ressalta-se que os métodos apresentados retratam uma primeira avaliação das fontes pontuais potenciais de contaminação, desenvolvida no âmbito do estudo do IPT (2010) e visam uma avaliação regional para subsidiar a criação da APRM-SAG.

Fontes difusas potenciais de contaminação

Os resultados da avaliação das fontes potenciais difusas relacionadas ao saneamento *in situ* indicam que a maioria das áreas urbanas inseridas na APRM-SAG tem reduzido potencial de contaminação das águas subterrâneas. Isso se deu, principalmente, pela ampliação da cobertura de rede coletora de esgoto nos municípios do Estado de São Paulo. Entre os municípios com área urbana, parcial ou totalmente, inserida na APRM-SAG, apenas Anhembi, Rifaina e Torre de Pedra possuem menos de 75% de atendimento.

Baseando-se nos dois métodos supracitados - POSH (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988, apud Foster *et al.*, 2006) e Gomes (2008) - as culturas anuais e semi perenes foram classificadas como de elevado potencial de contaminação, totalizando 91% da área de culturas presentes na APRM-SAG, e as demais, culturas perenes, de moderado potencial de contaminação.

Avaliação do perigo de Contaminação do SAG

Avaliar o perigo de contaminação das águas subterrâneas significa avaliar a probabilidade de um aquífero sofrer impactos negativos, decorrentes de determinada atividade humana, em tal nível que a água subterrânea se torne imprópria para o consumo, segundo os valores de referência para a qualidade da água potável.

O perigo de contaminação é maior quando atividades com elevado potencial de contaminação se desenvolvem em áreas onde o aquífero possui alta vulnerabilidade natural à contaminação. À medida que as condições do grau de vulnerabilidade e do potencial de contaminação das atividades diminuem, por consequência, também diminui o perigo.

Segundo IPT (2010), avaliando-se o perigo de contaminação do SAG, decorrente de fontes pontuais potenciais de contaminação, constatou-se que apenas no município de Ribeirão Preto foi identificada uma concentração de atividades com elevado potencial de contaminação do SAG em áreas de alta vulnerabilidade à contaminação. Como resultado, foi indicada uma região que pode representar um alto perigo de contaminação da água subterrânea na APRM-SAG.

Nos demais casos, essa situação se apresentou de forma pontual, não justificando a delimitação de regiões de alto perigo de contaminação da água subterrânea.

Vale destacar, também, que a avaliação de perigo decorrente de fontes pontuais é apenas um indicativo do que provavelmente ocorre na APRM-SAG, uma vez que o número de atividades disposta em mapa é pequeno, se comparado ao total de atividades que ocorrem na região.

O perigo de contaminação da água subterrânea na APRM-SAG decorrente de fontes difusas, especificamente saneamento *in situ*, apresenta variação de baixa a alta, com predominância de baixo a moderado, devido, principalmente, a maior parte dos municípios apresentarem carga com reduzido potencial de contaminação da água subterrânea.

Por outro lado, vale destacar que uma pequena parcela da área urbana dos municípios de Anhembi, Botucatu, Franca, Jardinópolis, Pedregulho e Piracicaba foi classificada com perigo alto de contaminação da água subterrânea, merecendo, portanto, maior atenção.

Quanto à avaliação focando-se nas culturas, IPT (2010) demonstra que uma área de cerca de 2.250 km² é classificada como alto perigo de contaminação por fontes difusas (Tabela 2). Ao mesmo tempo, constata-se que existe uma significativa parcela da área classificada como perigo "Não Determinado", correspon-

Perigo de contaminação	Área (km ²)
Alto	2.248
Moderado	281
Não Determinado	23.581
Total	26.110

Tabela 2. Perigo de contaminação do SAG decorrente das atividades agrícolas. Fonte: IPT (2010).

Table 2. Danger of contamination from agricultural activities in the SAG. From IPT (2010).

dente às áreas “Não Definidas” no zoneamento da vulnerabilidade e aos locais onde não ocorre ou não foram mapeadas fontes difusas de contaminação, no caso as práticas agrícolas.

Essa situação retrata o caráter regional do estudo do IPT (2010), que representa uma primeira avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea para a área de afloramento do SAG no Estado de São Paulo, mas ao mesmo tempo identifica áreas prioritárias, principalmente, no que se refere à necessidade de realização de estudos em escala de maior detalhe e investigações visando o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas e adoção de medidas de gestão e gerenciamento, que possibilitem a adequada proteção do SAG em sua área de afloramento/recarga.

Ordenamento territorial

O panorama apresentado justifica o estabelecimento de instrumentos de gestão que possam garantir o desenvolvimento sustentável na área de afloramento do SAG. Nesse contexto, a proposta de criação da Área de Proteção e Recuperação da Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (APRM-SAG) por meio de lei específica é de interesse estratégico, pois visa nortear as formas de ocupação dessa área com vistas à garantia de água subterrânea em quantidade e qualidade adequadas à população.

Na APRM-SAG devem ser estabelecidas as restrições e controle do uso e ocupação do solo, considerando a vulnerabilidade do aquífero e a importância do sistema no contexto regional. Para tanto, foi proposta a delimitação das Áreas de Intervenção (Figura 3), com suas respectivas diretrizes compatíveis com a proteção e recuperação do SAG, conforme preconizado na Lei Estadual nº 9.866/97 (São Paulo, 1997).

Vale ressaltar que a complexidade da área de estudo, devido a sua extensão e número de municípios envolvidos, dificultou uma proposta de delimitação de Áreas de Intervenção que considerasse a especifici-

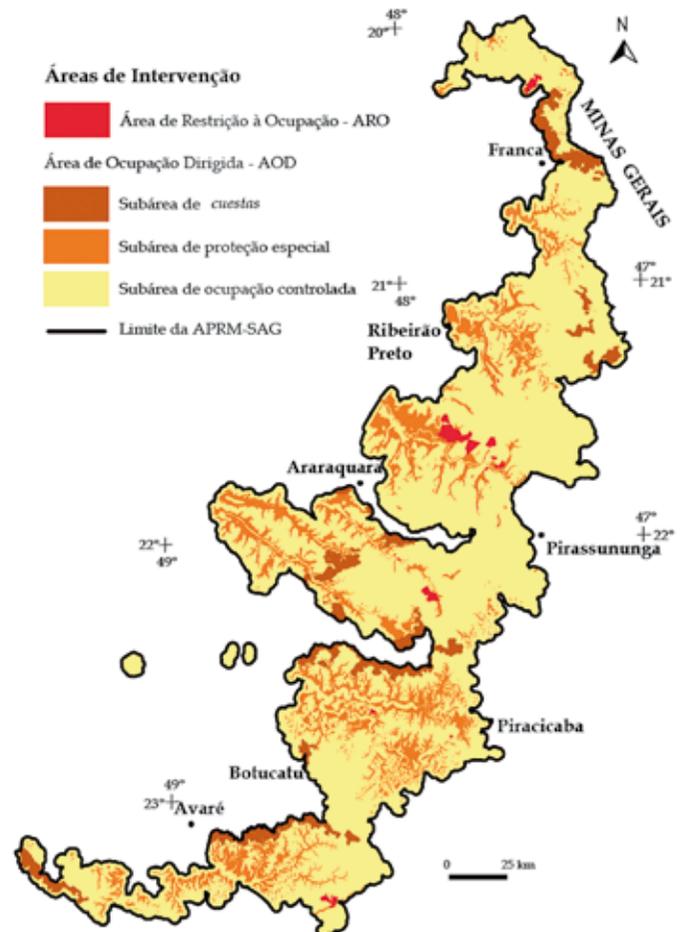


Figura 3. Áreas de Intervenção na APRM-SAG. Fonte: IPT (2010).

Figure 3. Intervention Areas in the APRM-SAG. From IPT (2010).

cidade de cada região, cada qual com suas características e interesses distintos. Nesse sentido, a proposta possui caráter regional, devendo ser considerada como o início do processo de disciplinamento territorial da APRM-SAG. Na área de estudo, as Áreas de Intervenção foram divididas em Áreas de Restrição à Ocupação (ARO); Áreas de Ocupação Dirigida (AOD); e Áreas de Recuperação Ambiental (ARA), conforme indicado na Lei nº 9.866/97 (São Paulo, 1997).

As AROs são aquelas de essencial interesse para a proteção dos recursos hídricos do SAG, sendo consideradas como de preservação permanente e restrição máxima à ocupação. Nessa categoria, foram enquadradas as Unidades de Conservação de Proteção Integral, definidas nos termos da legislação que estabeleceu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (Brasil, 2000), as Áreas de Preservação Permanente (APP) e de reserva legal e outras áreas declaradas pelo Poder Público como de especial interesse para a preservação ambiental e dos recursos hídricos.

A AOD é constituída pelas áreas de interesse para consolidação ou a implantação de usos rurais ou urbanos. A fim de compatibilizar a necessária proteção das áreas vulneráveis e a manutenção da recarga natural direta do SAG. Devido à diversidade de ocupação na APRM, foi necessária uma subdivisão da AOD em 3 (três) categorias, tendo-se estabelecido: a) Subárea de *Cuestas*, que compreende a faixa de escarpas das *cuestas* basálticas presentes na área de estudo; b) Subárea de Proteção Especial, que compreende as áreas consideradas altamente vulneráveis à contaminação, destinadas à proteção e conservação da qualidade e quantidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; e c) Subárea de Ocupação Controlada, que compreende as demais áreas da categoria AOD.

As ARAs, por sua vez, representam áreas com ocupação em condições incompatíveis com a proteção da APRM-SAG, pela possibilidade de comprometimento da quantidade e qualidade das suas águas, exigindo intervenções de caráter corretivo. As ARAs compreendem as áreas degradadas, as áreas sem infraestrutura urbana, as áreas contaminadas, entre outras, podendo estar localizadas tanto nas AROs e AODs. Elas não foram mapeadas devido a sua expressão territorial frente à escala de elaboração do trabalho.

A especificidade da APRM-SAG que, além de ser a primeira APRM estabelecida visando à proteção de um manancial subterrâneo, envolve 105 (cento e cinco) municípios, com particularidades distintas, compreendendo uma extensa área territorial, exige um planejamento articulado e que consiga conciliar interesses divergentes. O grande desafio do planejamento e gestão da ocupação nas áreas de afloramento do SAG é estabelecer critérios e parâmetros explícitos e mensuráveis de controle e monitoramento dos processos de uso do solo em suas diferentes atividades e formas.

Nesse sentido, o Projeto PDPA-SAG (IPT, 2010) propõe as diretrizes e as medidas regionais de controle da ocupação do território conjugadas com ações voltadas à recuperação e prevenção de situações existentes que acarretam impactos negativos a esse manancial. Foram estabelecidas diretrizes gerais para toda a APRM-SAG, de caráter regional, e diretrizes específicas para cada Área de Intervenção (ARO, AOD, ARA), de acordo com as especificidades de cada uma.

As diretrizes gerais para a APRM-SAG objetivam evitar o comprometimento das reservas subterrâneas decorrentes de eventuais problemas de contaminação e, também, de superexploração, para garantir o atendimento das necessidades humanas atuais e futuras e o aproveitamento sustentável do Sistema Aquífero Guarani. As diretrizes foram divididas nos temas considerados relevantes na área de estudo, a saber:

- *Diretrizes voltadas à ocupação das áreas agrícolas*, visto que a classe agrícola é predominante ao longo de toda a sua extensão, com plantações de cana de açúcar, laranja, café, entre outras. A prática da agricultura e a utilização intensiva de agroquímicos representam fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas, principalmente, quando realizadas em solos arenosos, muito friáveis, permeáveis e com baixa capacidade de reter poluentes, como ocorre na área de estudo. Por isso, é necessária a adoção de boas práticas agrícolas; controlar e fiscalizar as atividades agrícolas que utilizam produtos tóxicos; estimular o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas nas áreas rurais; ampliar as pesquisas a respeito da contaminação da água subterrânea associada ao uso de agroquímicos, entre outros.
- *Diretrizes visando à garantia da disponibilidade hídrica*, pois na APRM-SAG existe a predominância de solos porosos e permeáveis, que naturalmente favorecem a infiltração e a recarga do aquífero. Nesse sentido, recomenda-se preservar as áreas planas, as áreas de várzea e as nascentes; controlar as captações, para que não se atinjam níveis de superexploração; promover estudos detalhados para a quantificação da disponibilidade hídrica do SAG; regularizar as outorgas de uso da água subterrânea, além de incentivar o uso racional da água.
- *Diretrizes visando o disciplinamento das atividades com potencial de contaminação do SAG*, baseando-se no pressuposto de que, em geral, qualquer atividade pode vir a contaminar as águas subterrâneas. Sendo assim, algumas das diretrizes estabelecidas são: proibir a implantação e a ampliação de atividades, obras e empreendimentos que resultem na disposição de efluentes com características físico-químicas e biológicas que possam significar ameaças à qualidade da água do manancial subterrâneo; avaliar os processos produtivos empregados, as matérias-primas utilizadas, assim como os produtos e resíduos gerados pelas atividades industriais; evitar a instalação de loteamentos e a expansão da área urbana nas áreas de várzeas; bem como exigir do empreendedor a implantação de um programa de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas.
- *Diretrizes voltadas à prevenção dos processos de dinâmica superficial*, considerando que a APRM-SAG apresenta, em diferentes graus, suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos, o que pode impactar, direta ou indiretamente, as águas

subterrâneas. Os arenitos das formações Botucatu e Piramboia geralmente decompõem-se em solos arenosos pouco férteis, podendo dar origem a extensas coberturas de areias soltas avermelhadas a róseas, extremamente frágeis do ponto de vista de resistência à erosão. Para evitar as consequências negativas desses processos, recomenda-se, entre outras ações necessárias, mapear a susceptibilidade natural à erosão; fixar exigências especiais para a ocupação em áreas declivosas; priorizar as culturas de longo ciclo e evitar as práticas de agricultura mecanizada em áreas de maior declive; e recuperar as áreas com processos erosivos já iniciados.

- *Diretrizes para a manutenção e preservação dos remanescentes de vegetação*, já que a APRM-SAG possui importantes áreas com remanescentes de vegetação que contribuem para a recarga do aquífero. Por isso, devem ser adotadas diretrizes para impedir as atividades antrópicas que resultem em impactos ou extinção de espécies da flora e fauna; condicionar a ocupação da área com atividades ou empreendimentos que assegurem a permeabilidade natural do solo e que possuam parcelas de áreas verdes representativas; e incentivar a criação de áreas protegidas, de áreas verdes e de equipamentos comunitários, visando à preservação de áreas florestadas.

- *Diretrizes voltadas ao saneamento ambiental nas áreas rurais e urbanas*, principalmente relacionadas à construção de fossas sépticas, de poços tubulares profundos e poços cacimba, tais como: proteger o entorno dos poços tubulares ativos e tamponar os poços abandonados; incentivar a ampliação do saneamento básico e reduzir vazamentos das redes coletoras de esgoto; proibir a disposição de resíduos sólidos provenientes de municípios fora da APRM-SAG, entre outros.

Já as diretrizes específicas de cada Área de Intervenção estão apresentadas na Tabela 3 e foram estabelecidas considerando as particularidades de cada categoria (ARO, AOD e ARA). É importante ressaltar que, quando forem identificadas áreas que se enquadrem nas demais subáreas de AOD, ou demais categorias das Áreas de Intervenção, mas que não foram cartografadas, devido à escala do mapeamento, deve-se adotar as diretrizes mais restritivas.

As ações indicadas deverão ser subsidiadas por recursos advindos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (Fehidro). Por esse motivo, é importante reforçar que as discussões, a serem feitas no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs), devem contar, necessariamente, com a participação dos municípios, fato já previsto na Lei Estadual nº 7.663/91 (São Paulo, 1991). É fundamental a integração entre o PDPA e os

Área de Intervenção	Subárea	Principais diretrizes específicas
ARO	-	I. possibilitar a realização de atividades de recreação e lazer, educação ambiental e pesquisa científica; II. permitir a implantação de instalações sanitárias e de infraestrutura, quando essenciais para o controle e a recuperação da qualidade das águas; III. permitir intervenções de interesse social e ambiental; e IV. promover o manejo sustentável da vegetação.
AOD	Subárea de <i>Cuestas</i>	I. impedir a ocupação ou continuidade de adoção de práticas que resultem na supressão da vegetação; II. evitar o avanço das práticas agrícolas nas áreas próximas aos topos das escarpas; e III. estimular o estabelecimento de planos que promovam o ecoturismo nas áreas das escarpas.
	Subárea de Proteção Especial	I. não permitir a implantação de indústrias de alto risco ambiental e quaisquer outras fontes de grande impacto ambiental ou de extrema periculosidade; II. não permitir a ocupação da área por atividades agrícolas que utilizem produtos tóxicos de grande mobilidade.
	Subárea de Ocupação Controlada	I. atender todas as diretrizes gerais estabelecidas para a APRM-SAG.
ARA	-	A ser definida de acordo com o tipo de recuperação necessária.

Tabela 3. Diretrizes específicas para as Áreas de Intervenção da APRM-SAG. Fonte: IPT (2010).

Table 3. Specific guidelines for the Intervention Areas recommended in the APRM-SAG. From IPT (2010).

Planos Diretores dos municípios que estão inseridos na APRM-SAG, bem como com os demais instrumentos de política urbana de ordenamento municipal, os Planos de Bacia Hidrográfica, entre outros, para concretizar essa proposta de proteção.

Considerações finais

A criação da Área de Proteção e Recuperação de Manancial (APRM-SAG) é de interesse estratégico, tanto pelo significado em termos da recarga do aquífero, como também pelo potencial de contaminação das atividades que ali se desenvolvem. Nesse sentido, o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo (PDPA) busca contribuir para um novo modelo de gestão coordenada, fornecendo orientações e diretrizes para a ocupação em cada Área de Intervenção delimitada.

Conforme discutido anteriormente, essa proposta de Áreas de Intervenção é pioneira e possui caráter regional, devendo ser considerada como o início do processo de disciplinamento territorial da APRM-SAG. A realização de mapeamentos que possibilitem o detalhamento, além da participação dos órgãos gestores nas futuras discussões, é essencial para que haja o aprimoramento do conhecimento e um adequado planejamento da ocupação atual e futura.

O grande desafio para a gestão da APRM-SAG compreende em articular e implementar as ações das políticas estabelecidas no âmbito regional, de responsabilidade do Estado, com as ações de âmbito local, de responsabilidade dos municípios. As indicações apresentadas no PDPA são fundamentais para o estabelecimento de medidas de intervenção, a fim de evitar que as águas subterrâneas sejam comprometidas, principalmente por alterações da qualidade natural, decorrentes do inadequado uso e ocupação do solo nas áreas mais vulneráveis.

A lei de proteção e recuperação dos mananciais –Lei Estadual n.º 9.866/97 (São Paulo, 1997)– indica que é necessário conciliar as políticas urbanas com as políticas de recursos hídricos e às ambientais em curso nas áreas protegidas, condição fundamental para a sua efetividade.

Agradecimentos

Registra-se o reconhecimento 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), ao 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. Agradece-se, também, ao Centro Nacional de Treinamento para o Controle da Poluição da Mineração (Cecopomin) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) pelas análises físico-químicas de água, e também às agências ambientais regionais (Araraquara, Bauru, Botucatu, Franca, Itapetininga, Jaboticabal, Pirassununga, Ribeirão Preto e São José do Rio Pardo) da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), pela colaboração em disponibilizar informações sobre empreendimentos potencialmente poluidores. Agradece-se, ainda, ao Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) pela gentileza do fornecimento de dados de cadastro de poços. Por fim, agradece-se a todas as entidades municipais, estaduais e federais que contribuíram de alguma forma com o desenvolvimento do Projeto.

Referências

- Almeida, F.F.M., Hasuy, Y., Ponçano, W.L., Dantas, A.S.L., Carneiro, C.D.R., Melo, M.S. y Bistrichi, C.A. 1981. *Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*. IPT, São Paulo, 2 v. (Publicação, 1184; Monografias, 6).
- Almeida, F.F.M. e Melo, M.S. 1981. A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: ALMEIDA, F.F.M. et al. *Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*. IPT, São Paulo, v. 1, 46-81. (Publicação, 1 184; Monografias, 6).
- Assine, M.L., Piranha, J.M., Carneiro, C.D.R. 2004. Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: Mantesso-Neto, V. et al. (Org.). *Geologia do Continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, São Paulo, 77-94.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 2000. *Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC: Lei n° 9.985*, de 18 de julho de 2000. MMA, Brasília.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 2007. *Relatório de Qualidade das Águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2004-2006*. CETESB, São Paulo, 142 pp.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 2008a. Relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo. Cetesb, São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/publicacoes.asp>>. Acesso em: abr.2010.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 2008b. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2007. São Paulo: CETESB, Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/rios/publicacoes.asp>>. Acesso em: mar. 2009.

- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. 2009. Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares: relatório de 2009. São Paulo: Cetesb, 2010. 177 p. il. (Série Relatórios/ SMA). Disponível em: <<http://www.cetesb.gov.sp.br>>. Acesso em: fev. 2010.
- Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE & Universidade Estadual Paulista - Unesp. 1980. *Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:250.000*. Convênio DAEE/ UNESP, Secretaria de Obras e do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo. (Compilação eletrônica Lebac/ IGCE/ Unesp, 2009).
- 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, 104 pp.
- Gomes, M.A.F. (Ed.). 2008. *Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental*. EMBRAPA, Brasília, 417 pp.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Contagem da população 2007. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. Disponível em: <http://www.ibge.com.br/servidor_arquivos_est/>. Acesso em: fev. 2009.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. 2010. *Diagnóstico Ambiental para Subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo*. IPT, São Paulo, 7v. 384 pp.
- Instituto Geológico - IG. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Cetesb. Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. 1997. *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. IG/ Cetesb/ DAEE, São Paulo, 2 v., mapas. (Série Documentos).
- Perrotta, M.M., Salvador, E.D., Lopes, R.C., D'Agostino, L.Z., Peruffo, N., Gomes, S.D., Sachs, L.L.B., Meira, V.T., Lacerda Filho, J.V. 2005. *Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil / MME – Ministério de Minas e Energia.
- Organização dos Estados Americanos - OEA. 2009. *Aquífero Guarani: programa estratégico de ação*. Aquífero Guarani: programa estratégico de acción. Edição bilingue. Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai, OEA, 424 pp.
- Rocha, G.A. *Mega reservatório de água subterrânea do Cone Sul: bases para uma política de desenvolvimento e gestão*. Contribuição ao Seminário Internacional "Aquífero Gigante do Mercosul". Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná, 1996. 26 p.
- São Paulo (Estado). 1991. *Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991*. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/lrh2000/LE/Leis/03_LEI_n_7663_de_30_de_dezembro_de_1991.htm>. Acesso 11 fev. 2011.
- São Paulo (Estado). 1997. *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>. Acesso 22 nov. 2010.
- Fundação Sistema Estadual de Análise de dados - SEADE. Pesquisa Municipal Unificada Ambiental. São Paulo: Seade, 2008. 1 CD-ROM. (Coordenadoria de Planejamento Ambiental – CPLA).
- Fundação Sistema Estadual de Análise de dados - SEADE. Perfil Municipal. São Paulo: Seade, 2009a. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos>>. Acesso em: jun. 2009.
- Fundação Sistema Estadual de Análise de dados - SEADE. Pesquisa Municipal Unificada. São Paulo: Seade, 2009b. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/pmu/index.php>>. Acesso em out. 2009.
- Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA. 2009. *Mapeamento do uso e ocupação do solo no Estado de São Paulo*. São Paulo: SMA.
- Takahashi, A. 2005. *Aquífero Guarani*. In: Rocha, G. (Coord.) et al. *Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000*. Nota Explicativa. DAEE/ IG/ IPT/ CPRM, São Paulo, 39-45.

Recibido: diciembre 2011

Revisado: febrero 2012

Aceptado: marzo 2012

Publicado: julio 2012