

ESTRATÉGIA DE PROTEÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NO ESTADO DE SÃO PAULO

Gerônimo Rocha¹, José Luiz Albuquerque Filho²; Mara Iritani³; Marta Pereira Militão da Silva⁴

ABSTRACT The South Region in Latin America Continent includes into Parana Sedimentary Basin the Guarani Aquifer System (GAS), a groundwater large reservoir by approximately 1.1 million km² area, extending through the territories of Brazil, Uruguay, Argentina and Paraguay. In Brazil the GAS occurs in the states of Sao Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Parana and Santa Catarina. The aquifer is explored with greater intensity by a thousand wells at depths from 100 to 300 meters from the edge of the basin, and some hundreds of wells in its deeper areas. The GAS is an important water source for public supply by the state of São Paulo. The unconfined areas represent regions that the aquifer is more vulnerable to contamination, a fact that justifies the creation of a Protection and Recovery Source Area (Área de Proteção e Recuperação de Manancial - APRM). The aim of this paper is to present results of the Project “Environmental Diagnosis for the Development and Environmental Protection Plan (Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo - PDPA) and present the Intervention Areas, as established in Sao Paulo state Law number 9.866/97. The characterization of the studied area focused on physical and socioeconomic aspects of the region, in addition to the pertinent legislation. Partial results indicate that the condition of the aquifer is satisfactory however the importance of territorial discipline is highlighted. This is the first APRM established to protect a groundwater resource and involves a wide geographic area. Therefore, there is the challenge to articulate actions in a regional context, of the State responsibility, with actions at a local level, responsibility of the municipalities.

INTRODUÇÃO

O Cone Sul na América Latina abriga na Bacia Sedimentar do Paraná o Sistema Aquífero Guarani (SAG), um grande reservatório de águas subterrâneas de cerca de 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, 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.

O manancial subterrâneo encontra-se protegido em quase toda a área de ocorrência graças ao tamponamento pelas espessas lavas de basalto praticamente impermeáveis; porém as faixas longitudinais de afloramento, a leste e oeste, são áreas vulneráveis à poluição. Nessas áreas existem várias cidades e pólos 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 aquífero seja utilizado ao longo das gerações.

Em São Paulo o aquífero ocupa cerca de 143.000 km² do total de 248.808,8 km² do território do Estado 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, constituindo faixa longitudinal aproximadamente N-S e correspondendo a área de recarga do manancial, conforme mostrado na Figura 01 apresentada a seguir.

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 9.866/97 (São Paulo, 1997) que estabeleceu “...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 Paulo, no âmbito do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos (PAE Aquíferos) e com financiamento do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), idealizaram estudo de diagnóstico para subsidiar um Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA) e estabelecimento de Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM) e, também, subsidiar uma lei específica de proteção do manancial Guarani na sua área de afloramento.

¹Geólogo, Secretaria do Estado do Meio Ambiente. E-mail: geroncio@ambiente.sp.gov.br. ²Hidrogeólogo, Dr., Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT. E-mail: albuzzelu@ipt.br. ³Hidrogeóloga, Dra. Instituto Geológico-IG/SMA, E-mail: mara.iritani@igeologico.sp.gov.br; ⁴Cientista Social. Secretaria do Estado do Meio Ambiente. E-mail: martas@ambiente.sp.gov.br.

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.

Este trabalho apresenta a proposta de *Área de Proteção e Recuperação de Manancial da Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (APRM-SAG)*, a partir dos resultados do estudo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 2010), com participação da CPLA (Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Estado do Meio Ambiente), CRHi (Coordenadoria de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente), IG (Instituto Geológico da Secretaria de Estado do Meio Ambiente), CPRM (Serviço Geológico do Brasil), CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) e DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo).

METODOLOGIA

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 UGRHIs (Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos) 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 efetuado 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.

Vale ressaltar que as atividades caracterizadas no Mapa de Uso e Ocupação do Solo (SMA, 2009) podem representar fontes 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, utilizando-se o software Access (Microsoft), composto por 610 poços, dos quais foram visitados em campo 344 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, tendo auxiliado, inclusive, na elaboração do mapa de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação.

Foram realizadas análises físico-químicas e bacteriológicas em 50 poços que, juntamente com os dados de análises efetuadas por outras entidades, 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 (*queries*), de acordo com a necessidade do usuário.

A vulnerabilidade natural à contaminação do SAG foi avaliada com base no método GOD (FOSTER, 1987; FOSTER & 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 grau de vulnerabilidade à contaminação do aquífero, para possibilitar a delimitação de zonas de restrição para certos tipos de atividades.

As atividades potenciais de contaminação foram avaliadas conforme a origem, ou seja, se pontuais ou difusas. Essas atividades potencialmente poluidoras foram avaliadas e classificadas em diferentes graus potenciais de contaminação, conforme o método POSH (acrônimo em inglês de *pollutant origin, surcharge hydraulically*), que se baseia na origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica (FOSTER, 1987; FOSTER & HIRATA, 1988, apud FOSTER et al., 2006).

Além das atividades potencialmente poluidoras foram levantadas informações acerca das áreas já declaradas contaminadas (CETESB, 2008) 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 permite uma avaliação das 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 o zoneamento da APRM-SAG, delimitando Áreas de Intervenção, 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.

Todas as etapas descritas anteriormente, incluindo a elaboração da Minuta de Lei Específica para a criação da APRM-SAG, foram entremeadas por reuniões e discussões técnicas, junto ao Grupo de Acompanhamento Técnico (GAT), composto por representantes da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA) – com representantes da Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA), por intermédio do seu Departamento de Planejamento Ambiental; da Coordenadoria de Recursos Hídricos (CRHi); da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb); e do Instituto Geológico (IG); e da Secretaria de Estado de Saneamento e Energia (SSE) – com representante do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE).

CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

A região proposta como *Área de Proteção e Recuperação de Manancial da Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (APRM-SAG)* foi delimitada considerando-se a área de afloramento das formações Botucatu e Piramboia no Estado de São Paulo, acrescentando-se uma faixa de segurança (*buffer*) de 2,0 km no entorno dos locais de ocorrência dessas formações, delimitada para além do limite da região de ocorrência do aquífero em superfície.

Assim procedendo, a região proposta para a APRM-SAG resultou em território de 26.100 km², o qual inclui a área de afloramento do aquífero (15.000 km²) e o *buffer* estabelecido (11.100 km²), conforme mostrado na Figura 01, a qual é ocupada total ou parcialmente por 105 municípios. A Figura 02, por sua vez, mostra a localização regional da APRM proposta, quanto ao contexto da ocorrência do Sistema Aquífero Guarani na América do Sul.

Em relação às unidades de gestão dos recursos hídricos no Estado de São Paulo, constata-se que a APRM proposta envolve nove UGRHs (Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos), 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); UGRHI 14 (Alto Paranapanema); UGRHI 16 (Tietê/Batalha); e UGRHI 17 (Médio Paranapanema).

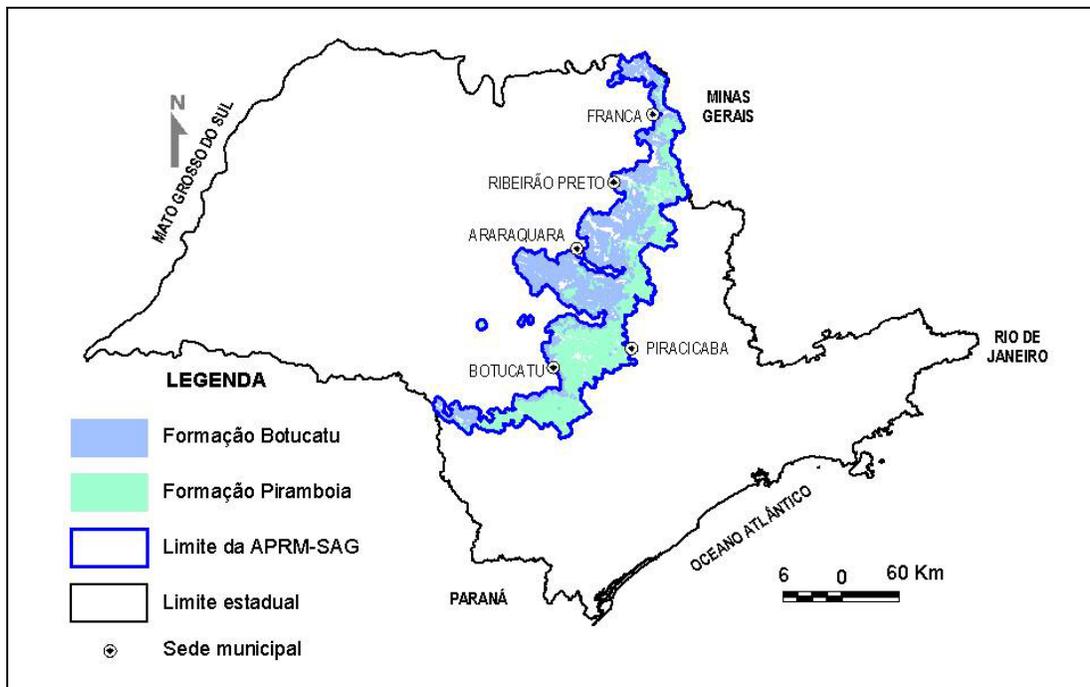


Figura 01 – Unidades geológicas componentes do SAG na área da APRM

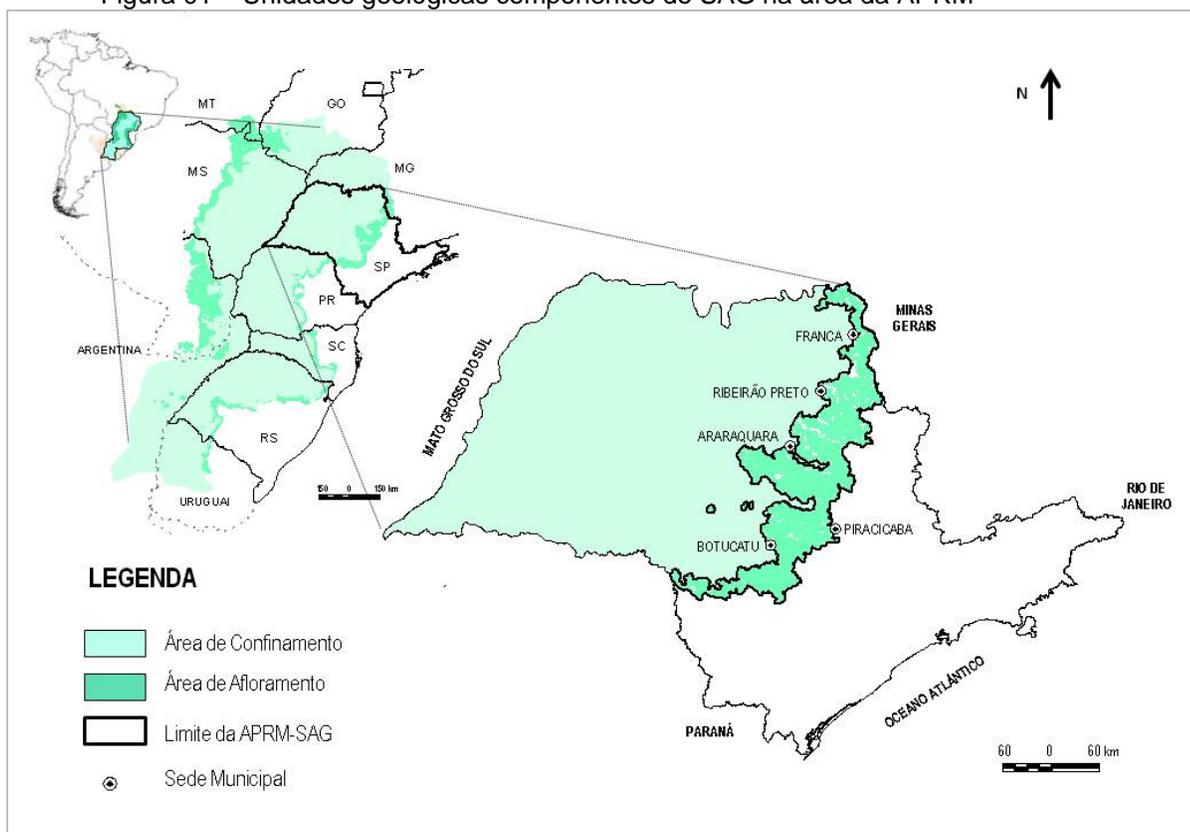


Figura 02: Mapa de localização regional da APRM-SAG

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 granulação 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, sotoposta, é constituída por arenitos médios a finos, localmente grossos a conglomeráticos, com cores esbranquiçadas e avermelhadas a alaranjadas, com geometria 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 sul-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 com a citada faixa de perorância 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 alto valor paisagístico.

Os 99 municípios dentre os 105 municípios inseridos total ou parcialmente na APRM-SAG e considerados na pesquisa possuem população total estimada de 3.872.435 habitantes. Cerca de 85% dos municípios possuem população inferior a 50 mil habitantes, sendo considerados municípios de pequeno porte. Há, 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%.

Em 2007, segundo IPT (2010), 73% dos municípios atingiam 100% de abastecimento urbano domiciliar de água; 15% dos municípios apresentavam atendimento entre 90 e 100%; e apenas 12% atendiam menos do 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 kgDBO_{5,20}/dia), Piracicaba (19.267 kgDBO_{5,20}/dia) e Franca (17.665 kgDBO_{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.

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.

Em relação às condições dos municípios da APRM-SAG no ano de 1997, verificou-se que 69,7% foram enquadrados em condições inadequadas de instalações de tratamento e/ou destinação final de resíduos sólidos domiciliares, 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.

As principais atividades desenvolvidas na área são a agroindústria, a agropecuária e a indústria urbana. A ocupação por pastagem soma 50% da área, seguida da agroindústria com 25%; a vegetação natural recobre 23% da área. As culturas predominantes em área são a cana de açúcar, os cítricos e o café, todas com uso intensivo de agroquímicos.

A água do SAG é, usualmente, potável, sendo classificada como bicarbonatada sódica e cálcio-magnésiana nas proximidades da área de recarga direta (ASSINE *et al.*, 2004).

De acordo com CRH (2006), mais de 100 municípios paulistas utilizam, parcial ou totalmente, as águas do SAG - poços na área aflorante e confinada - para o abastecimento público das cidades, destacando-se, entre outros: Ribeirão Preto (100%); Araraquara (50%); São Carlos (50%); e São José do Rio Preto (40%).

Vulnerabilidade natural do SAG à contaminação

A vulnerabilidade natural do SAG à contaminação, segundo o mapeamento efetuado pelo IPT (2010), varia 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 (Figura 03).

A área das classes de vulnerabilidade na região estudada está apresentada na Tabela 01.

Tabela 01: Classificação da vulnerabilidade à contaminação na área de estudo.

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

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. Observando-se a área mapeada (Figura 03), 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. É fundamental, portanto, o desenvolvimento de estudos em escalas de maior detalhe, principalmente nos locais já identificados como de Alta vulnerabilidade à contaminação.

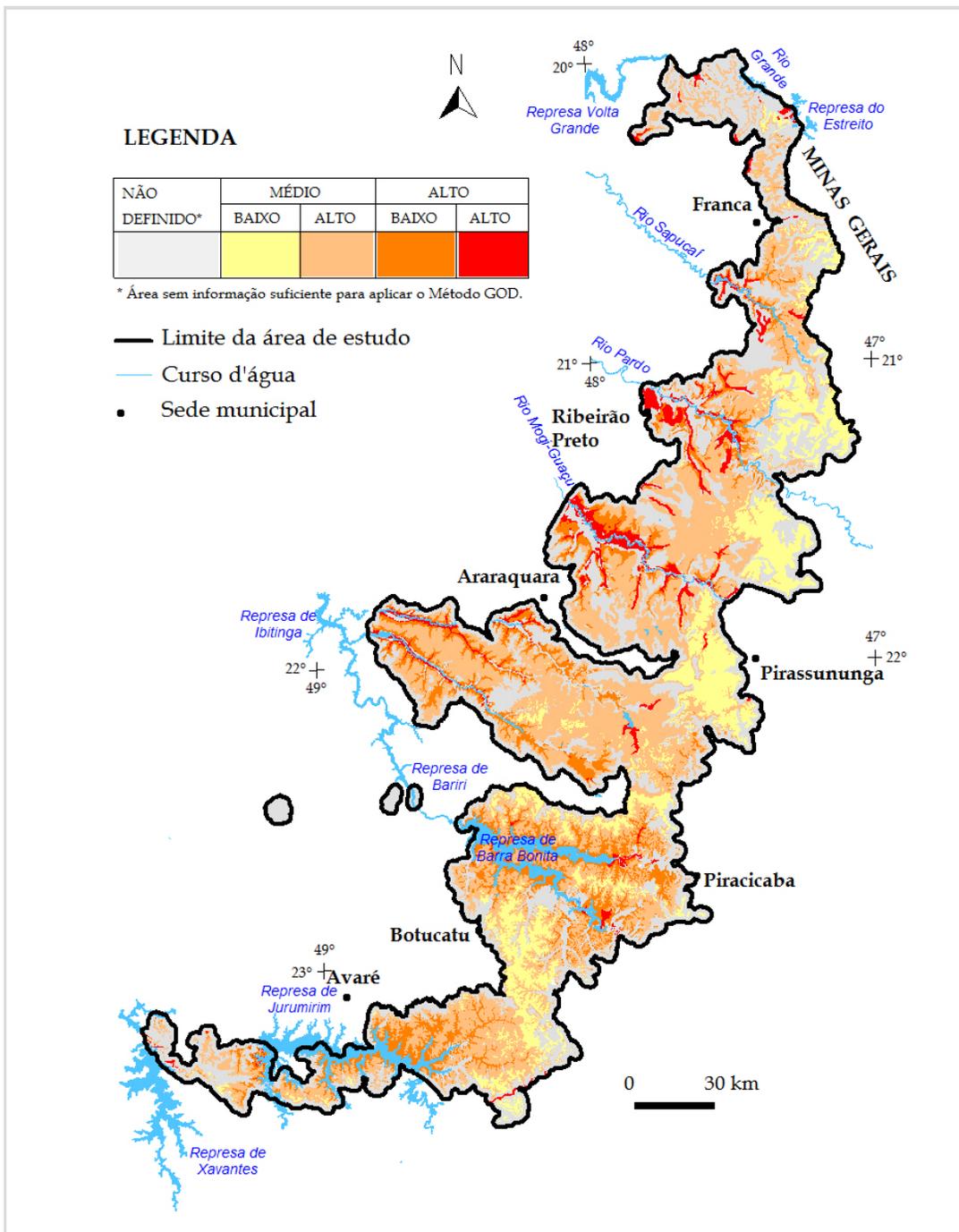


Figura 3 – Vulnerabilidade natural do SAG à contaminação na APRM-SAG

Fontes pontuais potenciais de contaminação

Visando a avaliação do potencial de contaminação das fontes pontuais foram levantados as atividades licenciados pela Cetesb. Para tal, a Cetesb forneceu uma listagem do Sistema de Informações de Fontes de Poluição (Sipol) constando 10.064 atividades, localizadas nos municípios com território inserido, total ou

parcialmente, na APRM-SAG. Essa listagem compreende atividades industriais, postos de gasolina, locais de disposição de resíduos, lagoas de tratamento de efluentes, entre outros.

A partir dos dados obtidos o IPT (2010) efetuou dois tipos de análise visando à avaliação das fontes pontuais potenciais de contaminação da água do SAG, a saber: uma avaliação geral, desenvolvida por município e uma avaliação detalhada, realizada pela espacialização de algumas atividades na área de estudo.

Primeiramente foi realizada uma análise geral das 10.064 atividades, considerando os municípios com área inserida na APRM-SAG. Embora essa avaliação não possibilite determinar se a fonte está localizada dentro dos limites da APRM-SAG, permite uma avaliação do padrão de ocupação da área e indica as municipalidades que merecem destaque quanto ao potencial de contaminação.

Dessa análise concluiu-se que, entre as atividades cadastradas no Sipol, nos municípios com território, total ou parcial, na APRM, 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 gasolina (8%).

Após a avaliação dos tipos de fontes, foi realizada classificação do potencial de contaminação das áreas industriais e postos de gasolina que resultou em níveis elevado, moderado e reduzido. Ressalte-se que, após essa avaliação, as atividades classificadas com potencial reduzido foram desconsideradas. Observou-se que o padrão de municípios com elevado potencial, de acordo com diferentes atividades, se repete, valendo destacar os seguintes municípios: Araraquara, Araras, Franca, Jaú, Piracicaba, Ribeirão Preto, Rio Claro e São Carlos.

Observe-se ainda que esses municípios constituem-se em importantes pólos do Estado de São Paulo, mas, no entanto, possuem as respectivas áreas urbanas localizadas fora do território da APRM-SAG, excetuando-se os municípios de Ribeirão Preto, São Carlos e Piracicaba.

Dessa forma, conclui-se que um número reduzido de municípios apresenta potencial mais elevado de contaminação das águas do SAG decorrente de fontes industriais e de postos de gasolina. Nessa avaliação, os municípios de Ribeirão Preto, São Carlos e Piracicaba foram considerados como de interesse prioritário para investigações futuras mais detalhadas.

A partir da avaliação mais geral, foi efetuada análise mais detalhada e, principalmente, considerando-se a localização geográfica dessas fontes potenciais de contaminação, em um segundo momento, foram estabelecidos critérios para a seleção de atividades, considerando o potencial de contaminação e a atual fiscalização desenvolvida pela Cetesb.

Nesse sentido, apenas para as atividades selecionadas, foi realizado o levantamento *in situ* de informações adicionais nas Agências Ambientais da Cetesb e a obtenção de coordenadas geográficas em campo, uma vez que a listagem disponibilizada pelo órgão ambiental não dispõe das coordenadas geográficas.

Considerando os critérios de seleção previamente definidos, que levou em conta, principalmente, o potencial de contaminação das águas subterrâneas e o porte da atividade, os responsáveis técnicos (gerentes) das Agências Ambientais indicaram 302 atividades prioritárias para o levantamento de informações adicionais e para o campo de tomada de coordenadas geográficas.

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. Das atividades de disposição de resíduos, por outro lado, a grande maioria (85%) apresenta moderado potencial de contaminação.

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.

Das 99 atividades industriais, 98 foram classificadas de acordo com o tipo da atividade, segundo a proposta estabelecida pelo método POSH. Apenas uma atividade não foi classificada, pois não se enquadrava em nenhum dos tipos previstos pelo método utilizado.

Ressalte-se que, na APRM-SAG, as principais atividades industriais existentes são atividades que envolvem o uso de minerais não-metálicos e atividades de engenharia mecânica, compreendendo 52% das atividades.

As atividades classificadas como minerais não-metálicos referem-se, primordialmente, a indústrias cerâmicas, que ocorrem em maior número no município de Tambaú.

Por outro lado, as indústrias mecânicas se concentram nos municípios de Ribeirão Preto e São Carlos, e referem-se a indústrias de fabricação de máquinas, motores e bombas, entre outros equipamentos.

Em relação às atividades de disposição de resíduos, foram classificadas em aterro inerte, lixão e aterro sanitário e aterro em vala. Para essa última classe, uma vez que o dado fornecido pela Cetesb não permitiu confirmar se o local de disposição se referia a um aterro sanitário ou a um aterro em vala, optou-se pela junção das categorias. Isso porque, ambas as atividades apresentam o mesmo potencial de contaminação – moderado – pelo método adotado por IPT (2010).

Na APRM-SAG ocorrem, portanto, 17 atividades de disposição de resíduos, sendo a maioria classificada como aterro sanitário e/ou aterro em vala (59%) que ocorre em 15 municípios.

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.

Destaque-se que, os resultados da avaliação de maior detalhe, considerando a localização geográfica da atividade, está de acordo com os resultados gerados da análise geral desenvolvida por município.

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, desenvolvidas no âmbito do estudo do IPT (2010) e visam uma avaliação regional para subsidiar a criação da APRM-SAG.

Fontes potenciais difusas de contaminação

Visando 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.

As áreas urbanas, obtidas a partir do Mapa de Uso e Ocupação do Solo (SMA, 2009), representam locais onde, provavelmente, ocorre o saneamento *in situ* de maneira mais concentrada.

O Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo - 2008 (CETESB, 2009) apresenta informações referentes à população urbana e ao percentual de atendimento do município por rede coletora de esgoto. Segundo o citado relatório, as áreas residenciais urbanas que não possuem rede de esgoto e se utilizam de fossas sépticas e negras para a disposição do efluente gerado, foram consideradas como locais com saneamento *in situ*. Problema semelhante pode ocorrer, ainda, nas zonas rurais, porém, tendendo a assumir dimensões menores, pela dispersão das moradias em relação às áreas de ocorrência, não tendo sido retratados.

Nessa análise, foram considerados apenas os municípios que possuem área urbana com território localizado, parcial ou totalmente, na APRM-SAG. A classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas decorrente do saneamento *in situ*, considerou, portanto, o percentual de atendimento de rede coletora de esgoto e a densidade demográfica dos municípios inseridos na APRM-SAG.

Os resultados indicam que a maioria das áreas urbanas inseridas na APRM-SAG tem reduzido potencial de contaminação das águas subterrâneas por fontes difusas.

Isso se deu, principalmente, pela ampliação da cobertura de rede coletora de esgoto nos municípios do Estado de São Paulo, onde, entre os municípios com área urbana, parcial ou totalmente, inserida na APRM-SAG, apenas os municípios de Anhembi, Rifaina e Torre de Pedra possuem menos de 75% de atendimento.

Para a avaliação e a classificação das culturas, como fontes difusas potenciais de contaminação da água subterrânea, utilizou-se os níveis qualitativos do método POSH, acrônimo em inglês de *pollutant origin, surcharge hydraulically* (FOSTER *et al.*, 2006) e a classificação dos Domínios Pedomorfoagroclimáticos proposta pela Embrapa (GOMES, 2008).

O método POSH classifica em três níveis qualitativos o potencial para gerar uma carga contaminante no subsolo (Reduzido, Moderado e Elevado) e baseia-se na origem do poluente e na sua sobrecarga hidráulica (FOSTER *et al.*, 2006).

Por sua vez, o princípio do método apresentado por Gomes (2008) é classificar os riscos de contaminação das águas subterrâneas conforme as atividades agrícolas existentes (culturas), considerando a entrada potencial de agroquímicos no solo e a qualidade do manejo praticado, o qual pode resultar em maior ou menor taxa de lixiviação/infiltração.

O mapeamento do uso e ocupação do solo, que mostra a delimitação das culturas anuais, perenes e semiperenes na área de estudo corresponde ao estudo da SMA (2009), o qual foi utilizado para a classificação do potencial de contaminação das atividades agrícolas.

Conforme o Método POSH as culturas 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. O Método proposto por Gomes (2008), por sua vez, distingue as culturas em anuais, perenes ou semiperenes. Adotando-se a classificação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo observa-se que as mesmas, segundo Gomes (2008), poderiam ser classificadas como risco alto ou médio de contaminação da água subterrânea, devido à prática adotada, em geral, de solo bem manejado.

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, a 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 alto 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.

A avaliação do perigo envolve, portanto, uma interpretação da interação desses dois temas, tendo sido desenvolvida por meio da sobreposição do Zoneamento da Vulnerabilidade à Contaminação da APRM-SAG com as Atividades Pontuais e Difusas Potenciais de Contaminação

Segundo IPT (2010) a maioria das atividades pontuais potenciais de contaminação das águas subterrâneas da APRM-SAG (áreas industriais e locais de disposição de resíduos sólidos) se localiza em áreas não definidas da mapa de Vulnerabilidade à Contaminação elaborado para a APRM-SAG.

Essas áreas referem-se a locais onde ocorrem outras formações geológicas, não representando, assim, as áreas das formações Botucatu e Piramboia, retratando, portanto, aquíferos menos vulneráveis, segundo IG/Cetesb/DAEE (1997), devido as suas características hidrogeológicas.

No entanto, apenas no município de Ribeirão Preto foi identificada uma concentração de atividades com elevado potencial de contaminação da água subterrânea em áreas de alta vulnerabilidade à contaminação, o que justificou a delimitação de um polígono que representa um alto perigo de contaminação da água subterrânea nesta região da 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 especializadas é pequeno, se comparado ao total de atividades que ocorrem na região.

O perigo de contaminação da água subterrânea na APRM-SAG decorrente do saneamento *in situ* variou de baixo a alto, com predominância de baixo a moderado, devido, principalmente, a maior parte dos municípios terem sido classificados 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.

A caracterização do perigo de contaminação do SAG permite uma orientação para a seleção de áreas prioritárias, principalmente, no que se refere à realização de estudos em escala de maior detalhe e investigações visando o acompanhamento da qualidade das águas subterrâneas.

Em relação ao perigo de contaminação do SAG na área da APRM, a partir da sobreposição do mapa do zoneamento da vulnerabilidade do SAG à contaminação ao mapa da classificação do potencial de contaminação das culturas (IPT, 2010) possibilitou a elaboração do mapa do perigo de contaminação da área de afloramento do SAG no Estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. A Tabela 2 apresenta as classes de perigo observadas na área estudada.

Tabela 2: Perigo de contaminação do SAG decorrente das atividades agrícolas.

PERIGO DE CONTAMINAÇÃO	ÁREA (km ²)
Alto	2.248
Moderado	281
Não Determinado	23.581
Total	26.110

A Tabela 2 mostra a ocorrência de área de cerca de 2.250 km² classificada como Alto perigo de contaminação por fontes difusas, no caso, atividades agrícolas. Ao mesmo tempo, nota-se que existe uma significativa parcela da área classificada como perigo “Não Determinado”, correspondente 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.

4. ORDENAMENTO TERRITORIAL

O panorama apresentado justifica o estabelecimento de instrumentos de gestão que possam garantir o desenvolvimento sustentável da área de afloramento do SAG. Nesse contexto, urge a necessidade de criar, por meio de Lei Específica, a Área de Proteção e Recuperação da Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (APRM-SAG).

Na APRM-SAG devem-se estabelecer 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, com suas respectivas diretrizes e normas ambientais e urbanísticas, compatíveis com a proteção e recuperação do 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) (Figura 04).

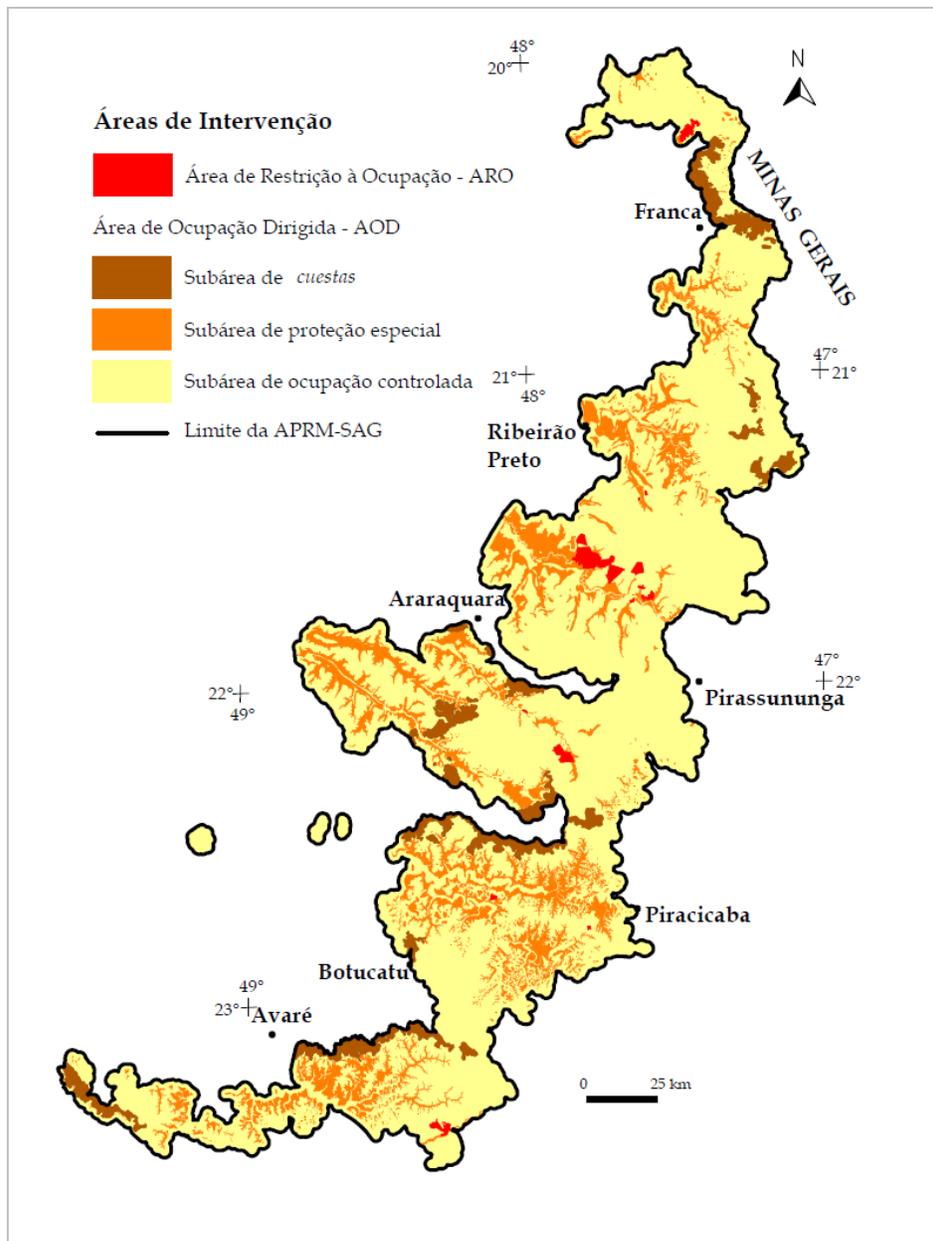


Figura 4 – Zoneamento das Áreas de Intervenção na APRM-SAG

Vale ressaltar que a complexidade da área de estudo, devido a sua extensão e número de municípios envolvidos, que possuem características e interesses distintos, dificultou uma proposta de delimitação de Áreas de Intervenção que considerasse a especificidade de cada região. Nesse sentido, a proposta possui caráter regional, devendo ser considerada como o início do processo de disciplinamento territorial da APRM-SAG.

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 pela do Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, 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 com a diversidade de ocupação na APRM, foi necessária uma subdivisão da AOD em 3 (três) categorias, tendo-se estabelecido: Subárea de *Cuestas*, que compreende a faixa de escarpas das *cuestas* basálticas presentes na área de estudo; 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 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.

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.

Dada essa complexidade, o estabelecimento de um cenário desejável para a ocupação da área, a ser alcançado por meio de diretrizes, metas e programas deve também ser considerado de maneira diferenciada. Verifica-se o aumento gradual no uso da água do SAG e, também, a potencial alteração da qualidade da água do aquífero, por conta das fontes difusas, ainda pouco estudadas no Brasil.

O estabelecimento de cenários de ocupação depende de uma série de fatores, tais como: o entendimento do mecanismo de recarga do aquífero, o comportamento dos poluentes difusos em subsuperfície, a evolução da população e da demanda pela água por atividades desenvolvidas, entre outros. Numa área tão extensa como a APRM-SAG, integrar essas variáveis representa uma árdua tarefa.

O grande desafio do planejamento e gestão da ocupação nas áreas de afloramento do SAG é estabelecer critérios e parâmetros claros 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 medidas regionais de controle da ocupação do território conjugadas a ações voltadas à recuperação e prevenção de situações existentes que acarretam impactos negativos a esse manancial.

Destaque-se a dificuldade durante o processo de compilação das informações existentes, que corrobora para a importância de atualizar e padronizar os dados sobre os poços tubulares na área de afloramento da APRM-SAG. Associar informações consistentes dos aspectos construtivos, hidrogeológicos e de qualidade da água, possíveis fontes de contaminação, o uso e ocupação do solo e as tendências de crescimento da área é fundamental para a proposição de metas e programas para proteção das águas subterrâneas.

Ressalte-se que o sucesso das recomendações a serem apresentadas depende, principalmente, da integração e cooperação entre os responsáveis e demais envolvidos nas ações de proteção e recuperação dos mananciais. Além disso, deve-se considerar o grau de prioridade dada às atividades e a real viabilidade das medidas de controle necessárias.

5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

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.

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 nº 9.866/97 – indica que é necessário conciliar as políticas urbanas às políticas de recursos hídricos e 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.