

## A FIGURA ILUSTRATIVA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI: UMA VISÃO PARA A GESTÃO

Luiz Amore<sup>1</sup>, Francis Priscilla Vargas Hager<sup>2</sup> e Wilthon Oliveira Arruda<sup>3</sup>

**Resumo** - O presente trabalho é a expressão da necessidade de produção de uma figura simplificada, tomando-se por base as informações técnicas e os mapeamentos disponíveis, dentro de uma concepção de gestão sistêmica para ser imediatamente disponibilizada aos integrantes do Projeto Aquífero Guarani e do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Brasil. A elaboração da figura ilustrativa do aquífero Guarani possibilita confrontar aspectos cruciais da gestão das águas subterrâneas e superficiais. Sobre o evidente descompasso entre o conhecimento hidrogeológico e o hidrológico nacionais resultou um arrojado sistema de gestão com forte viés nas águas superficiais. A formação das bacias hidrográfica e hidrogeológica do Paraná/Prata são separadas por um hiato de algumas centenas de milhões de anos. Esse hiato se reflete em aspectos morfológicos e funcionais distintos e integrados evidenciados até mesmo a partir de um primeiro olhar na figura que se apresenta. A possibilidade de se promover a gestão integrada de parcelas do mesmo ciclo hidrológico, porém ainda tão isoladas no sistema de gerenciamento vigente, depende de amplo investimento em águas subterrâneas, motivo do Projeto Aquífero Guarani que objetiva a formulação de um marco legal e institucional para a gestão coordenada do aquífero pelos quatro países envolvidos com recursos GEF/BIRD/OEA.

**Abstract** - The present job is the expression of the need to produce, under a systemic management concept, using available maps and technical information, a simplified figure which will shortly become available not only to the Guarani Aquifer Project members but also to the Brazilian Water Resources Management System. The elaboration of a Guarani aquifer drawing makes it possible to confront crucial aspects of groundwater and land water management. The obvious lack of coordination between national hydro-geologic and hydrologic knowledge resulted in the development of a bold management system focused on land water. The formation of the Prata

---

(1) Coordenador Nacional do Projeto Aquífero Guarani (PAG) pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (SRH/MMA), (2) Consultora do PAG/SRH/MMA e (3) Técnico em Informática do PAG/SRH/MMA. Endereço: SGAN, Quadra 1, Lote 1, Ed. Sede da CODEVASF – 4º andar; CEP – 70830-901; Brasília; Distrito Federal; Telefone: (61) 317-8216; Fax: (61) 223-5366; E-mails: (1) [amore@tba.com.br](mailto:amore@tba.com.br) e (2) [ffvargas@terra.com.br](mailto:ffvargas@terra.com.br).

watershed and of the Parana hydrogeological basin is separated by hundreds of millions of years. This separation is clear in the figure at a first glance and is reflected in both specific and integrated functional and morphological aspects. The creation of an integrated management system for those insulated parcels of the same hydrological cycle depends on wide investment in groundwater, subject of the Guarani Aquifer Project. This project's objective is the formulation of a legal and institutional framework for coordinated aquifer management by the four involved countries with GEF/BIRD/OAS support.

**Palavras-chave** – Aquífero Guarani: figura, mapa; Sistema Aquífero Guarani: gestão sistêmica e integrada; Aquífero Guarani: área de captação, infiltração e surgência.

## **INTRODUÇÃO**

O aquífero Guarani é objeto da preparação de um projeto com recursos do Fundo para o Meio Ambiente Mundial (GEF-Global Environment Facility) e dos países envolvidos - Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai - para a elaboração de um marco legal e institucional para a gestão coordenada dos recursos transfronteiriços do aquífero.

Para a elaboração e proposição do marco de gestão, o Projeto de Proteção Ambiental e Gestão Sustentável Integrada do Sistema Aquífero Guarani deverá realizar uma série de estudos básicos que deverão fornecer uma visão ampliada e consolidada dos conhecimentos existentes sobre o aquífero.

O presente é a expressão da necessidade de produção de uma figura simplificada, tomando-se por base as informações técnicas e os mapeamentos disponíveis, dentro de uma concepção de gestão sistêmica para ser imediatamente disponibilizada aos integrantes do Projeto e do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Brasil.

## **CONCEPÇÃO E METODOLOGIA**

O aquífero Guarani não é um corpo isolado e suas águas apenas “estão” subterrâneas, refletindo todas as interações do ponto de vista dos recursos hídricos e do meio ambiente no qual se insere. Dentro de uma concepção inovadora, foram delimitadas e definidas como (1) área de captação (cor amarela), aquela de onde as águas são drenadas e conduzidas para o aquífero; (2) área

de infiltração (cor verde), aquela onde as águas se infiltram no sistema aquífero, seja pelas áreas de afloramento do Guarani ou pelas áreas fissuradas das formações geológicas superiores, nas quais o potencial hidráulico está abaixo da superfície topográfica; e, (3) área de surgência (cor alaranjada), aquela de onde as águas saem naturalmente por nascentes e descarga de base dos rios ou por meio dos poços jorrantes, uma vez que o potencial hidráulico situa-se acima da superfície do terreno.

Para a confecção da figura foram reunidos os mapas geológicos e hidrogeológicos disponíveis e especificados nas referências bibliográficas. Foi escolhido como mapa base o da bacia hidrográfica do Prata (OEA, 1970) e sobre ele analisado e discutido todos os aspectos das áreas acima relacionadas e dos demais mapas reunidos. A escolha do mapa da bacia do Prata se deu, além do aquífero apresentar grande parte de sua extensão sobre ou sob esta bacia, também, para avaliar a relação do aquífero com a bacia hidrográfica.

Inicialmente, a idéia era elaborar um mapa georreferenciado, porém, dadas as dificuldades estruturais e limitações de processamento encontrados foi necessário optar pela produção uma figura de caráter ilustrativo. Apesar das dificuldades, foi feita a aquisição digital do mapa básico original e agregadas as demais informações em formato “raster”. Entretanto, o modelo de figura que foi produzida revela seu caráter abrangente para a compreensão da amplitude das questões de águas subterrâneas na região, além de simples e útil ao junto dos participantes do Projeto Aquífero Guarani.

## **DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

Sobre a base digitalizada da bacia hidrográfica do Prata (OEA, 1970) foram lançadas as divisões políticas, os contornos da bacia geológica sedimentar do Paraná, os afloramentos do aquífero Guarani e os principais exutórios de água mapeados na bacia, com base nos mapas geológicos e hidrogeológicos da região disponíveis.

Com base nos mapas hidrogeológicos de BACIA DO PRATA, em elaboração e AQUIFERO GUARANI (1999) são ressaltadas as áreas de afloramento do aquífero Guarani e os limites da bacia sedimentar do Paraná, sem distinção das formações da base da bacia (aquitardo). Na área brasileira, três regiões do sistema aquífero extrapolam os limites da bacia hidrográfica: nas proximidades de Porto Alegre-RS, Florianópolis-SC (ambas de vertente atlântica) e no Alto rio Araguaia, MT-GO. As áreas de drenagem da bacia do Prata nas proximidades de Montevideu e Buenos Aires não são captadas pelo Guarani (cor branca). Por falta de informações suficientes, os limites do aquífero na porção Argentina foram inferidos com base em AQUIFERO GUARANI, 1999 e como decorrência dos esparsos poços profundos perfurados na região.

Devido aos processos tectônicos e história geológica da região, supõe-se que na porção Argentina, a bacia sedimentar terciária do Chaco, mais recente que a do Paraná, estaria recobrendo parcelas ainda não completamente definidas do aquífero Guarani. Além disso, de Buenos Aires, na Argentina, até Asunción, Paraguai, existe um alto estrutural (ARAÚJO, FRANÇA e POTTER, 1995), que poderia provocar o isolamento hidráulico das porções oriental e ocidental do aquífero. Estruturas geológicas poderiam ter provocado outros compartimentos com características peculiares no aquífero Guarani (ARGENTINA/BRASIL/PARAGUAI/URUGUAI - GEF/BIRD/OEA, 2001).

Os limites das áreas de surgência foram definidos buscando-se cruzar aqueles apresentados em AQUÍFERO GUARANI (1999) e CPRM (1997). É interessante ressaltar que áreas de afloramento do Guarani podem comportar-se como área de surgência ou recarga, dependendo do comportamento do gradiente hidráulico em relação à superfície do terreno. As áreas de afloramento foram diferenciadas por coloração mais intensa seja na área de infiltração ou de surgência do sistema aquífero. Além da indefinição dos limites do aquífero na porção Argentina não se pode afirmar que as áreas de surgência estejam relacionadas ao Guarani (a coloração não uniforme revela a situação indefinida).

Algumas outras áreas como a do mar Chiquita, Tucumán ou nas proximidades de Córdoba estão apontadas como de surgência (AMERICA DEL SUR, 1996), mas eventualmente estariam fora dos limites previamente estabelecidos para o Guarani. Em geral, as áreas na Argentina, e do Chaco em particular, são apontadas como de surgência, porém dadas as particularidades acima, vinculadas a eventos geológicos ainda não explicitados, a intensidade da cor diminui e as manchas tornam-se mais esparsas expressando a situação de dúvida existente. Um dos componentes principais do Projeto Aquífero Guarani objetiva o desenvolvimento do conhecimento técnico básico e deverá contribuir para a elucidação de algumas das questões colocadas.

Entre o limite do aquífero Guarani e a área de surgência foi delimitada a área de infiltração ou recarga. As zonas de infiltração foram divididas em regime poroso e fissural. A infiltração da água no regime poroso ocorre nas áreas de afloramento do Guarani, por entre os interstícios dos grânulos de areia depositados em ambiente desértico do Período Jurássico, entre 205-135 milhões de anos. A esse tipo de infiltração, conhecida como recarga direta, soma-se a recarga de domínio fissural, que foi traçada com base nos mapeamentos consultados. As áreas são estimadas uma vez que a definição precisa depende da definição dos gradientes hidráulicos. Nesta área foram inseridos os derrames basálticos ocorridos entre 120 e 130 milhões de anos e os sedimentos mais recentes do Grupo Bauru, depositados no período Cretáceo, entre 135 e 65 milhões de anos. O Bauru configura-se em um aquífero mais superficial que pereniza rios com descargas de base relativamente elevadas, porém mesmo armazenando suas águas em domínio poroso, o acesso ao Guarani é feito pelas

fraturas do basalto. Algumas das áreas de afloramento do Guarani estão caracterizadas como de surgência e não de recarga, devido à localização destas áreas, seja de surgência natural ou artificial.

## CONCLUSÕES

A concepção adotada na elaboração da figura do Guarani mostra-se adequada à gestão hídrica e do meio ambiente por permitir a visualização das principais área do aquífero, ressaltando as funções e relações básicas que elas guardam entre si. As áreas de captação, infiltração e surgência das águas do Guarani guardam especificidades que deverão merecer atenção específica na formulação de políticas e normas por parte do conjunto do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e órgãos afetos à gestão do uso do solo e do meio ambiente.

Fica evidenciado que a bacia hidrogeológica (ou sedimentar) do Paraná não coincide com a bacia hidrográfica do rio Paraná. O aquífero Guarani transcende os limites da bacia hidrográfica do Prata. A área do aquífero próxima à região de Porto Alegre é bastante significativa e situa-se na bacia do rio Jacuí, nas outras porções os afloramentos não foram mapeados na figura. As áreas na Argentina ainda estão indefinidas mas eventualmente poderão revelar novas supresas. Os estudos dos regimes de fluxo do aquífero, a caracterização das interfaces e quantificação dos processos envolvidos deverão estabelecer as bases da gestão sistêmica e integrada do Guarani. A sistematização dos levantamentos e dados em mapas em escalas apropriadas à gestão dos recursos hídricos serão indispensáveis.

O aquífero Guarani deve ser visto como uma unidade de planejamento e gestão específica. No caso brasileiro, a lógica da gestão por sub-bacia hidrográfica ou por estado isoladamente revela-se ainda inconsistente, devendo ser melhor articulada para se fazer efetiva. Nesta direção, as ações do Conselho Nacional de Recursos Hídricos e de sua Câmara Técnica de Águas Subterrâneas mostram-se adequadas e vanguardistas.

O Brasil fez investimentos elevados para o conhecimento do aquífero, comparativamente aos demais países. Entretanto, é necessário o estabelecimento de um amplo programa nacional de águas subterrâneas capaz de formular uma política adequada por meio do aprofundamento dos conhecimentos básicos existentes, do estabelecimento de aspectos legais e institucionais adequados, do estabelecimento de projetos pilotos que permitam fazer as correções necessárias e de um amplo processo de mobilização social para a gestão integrada.

O aquífero Guarani, por sua importância geopolítica regional, fortalece os laços de integração entre os países. No âmbito do Projeto Aquífero Guarani, os países já se comprometeram a iniciar entendimentos para a elaboração de instrumentos diplomáticos de suporte à gestão compartilhada e integrada dos seus recursos hídricos subterrâneos.

Os estudos a serem realizados dentro do Projeto Aquífero Guarani deverão subsidiar a solução de questões básicas para a formulação de um marco legal e institucional transfronteiriço adequado à gestão do recurso compartilhado pelos países envolvidos, e dentro de cada país junto aos entes federais envolvidos. A abordagem sistêmica e a colaboração ativa entre todos os envolvidos são condições indispensáveis ao sucesso do Projeto.

O Projeto Aquífero Guarani é pioneiro e abrirá inúmeras possibilidades e direcionará vários projetos e pesquisas. Desde já o conjunto de acertos e deficiências deverão ser corrigidas. Muito mais está por ser feito para a efetivação da gestão sistêmica e integrada. A Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente está consciente de seu papel e lançou, recentemente, o Programa de Águas Subterrâneas, na busca de fazer emergir a importância do tesouro que está em nosso subsolo.

## **AGRADECIMENTOS**

Prestamos nossas homenagens ao saudoso Flávio Terra Barth que prontamente percebeu a amplitude dos recursos hídricos subterrâneos mas, tão subitamente, partiu.

Agradecemos o apoio de Aldo da Cunha Rebouças, cuja compreensão integrada e sistêmica da gestão contagia a todos com os quais se relaciona.

Nossos agradecimentos aos demais integrantes da Unidade Nacional de Preparação do Projeto Aquífero Guarani e aos organismos internacionais envolvidos, que são responsáveis pelos avanços recentes na abordagem das águas subterrâneas e na gestão sistêmica e integrada dos recursos hídricos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AMERICA DEL SUR: mapa hidrogeológico. Brasília, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO, Programa Hidrológico Internacional-PHI, MME/DNPM/CPRM, 1996. 1 mapa, 2 folhas, color., 82cm x 117cm cada folha. Escala 1:5.000.000.

AQUÍFERO GUARANI: mapa hidrogeológico. Porto Alegre, 1999, 1 mapa, color., 94cm x 133cm.

Escala 1:2.500.000 *in* CAMPOS, H. C. Modelación conceptual y matemática del acuífero Guarani. 1999. 60 p. Tese (pós-Doutorado) – Universidad Politécnica de Cataluña – UPC e Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

ARAÚJO, L.M., FRANÇA, A.B. e POTTER, P.E. Aquífero Gigante do MERCOSUL no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. 1995. UFPR e PETROBRAS, 16 p. Curitiba, Paraná - Brasil.

ARGENTINA/BRASIL/PARAGUAI/URUGUAI - GEF/BIRD/OEA. Projeto de Proteção Ambiental e Gestão Sustentável Integrada do Sistema Aquífero Guarani. Informe Técnico do Componente de Expansão e Consolidação da Base Atual de Conhecimento Básico da fase de Preparação (org. ROSA FILHO, E.). 2001.

BACIA DO PRATA e áreas adjacentes: mapa de integração geológica. MERCOSUL, SGT-2: MME/DNPM/CPRM/SUREG, 1998, 1 mapa, 4 folhas, color., 77cm x 80cm. Escala 1:2.500.000.

BACIA DO PRATA e áreas adjacentes: mapa de integração hidrogeológica. MERCOSUL, SGT-2: MME/DNPM/CPRM/SUREG, em elaboração. 1 mapa, color., 133cm x 135cm. Escala 1:2.500.000.

BRASIL e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais: mapa geológico. Brasília: Ministério de Minas e Energia-MME, Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM, 1982, 2ª Edição de 1995. 1 mapa, 4 folhas, color., 102cm x 118cm cada folha. Escala 1:2.500.000.

CUENCA DEL RIO DE LA PRATA: mapa geológico. Organização dos Estados Americanos – OEA, 1970. 1 mapa, color., 103cm x 105cm. Escala: 1:3.000.000.