

A IMPORTÂNCIA DA DELIMITAÇÃO DE BACIAS HIDROGEOLÓGICAS PARA A GESTÃO DE AQUÍFEROS TRANSFRONTEIRIÇOS: O CASO DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA (SAU)

Tássia de Melo Arraes¹ & José Eloi Guimarães Campos²

Resumo - A delimitação de bacias hidrogeológicas representa uma importante ferramenta para o estabelecimento de eficientes diretrizes de gestão de aquíferos transfronteiriços. O reconhecimento dessas bacias pode ser feito através da utilização de diversos métodos de investigação hidrogeológica, que podem ser organizados em métodos diretos e indiretos. A partir da aplicação do método da potenciometria em uma área situada no contexto do Sistema Aquífero Urucuia (SAU), definiu-se a posição do divisor hidrogeológico, caracterizando uma situação onde uma mesma bacia hidrográfica comporta duas bacias hidrogeológicas, uma ocidental e outra oriental. Observou-se ainda que na área situada entre o divisor hidrográfico e o hidrogeológico, os fluxos superficiais e subterrâneos apresentam direções contrárias, fazendo com que estejam envolvidos na gestão desse sistema aquífero os estados de Goiás, Bahia e Tocantins.

Abstract - The delimitation of hydrogeologic basins represents an important tool to the establishment of efficient management guidelines of transboundaring aquifers. These basins can be recognized through the utilization of many different hydrogeologic investigation methods, organized in direct and indirect methods. Through the application of the potentiometric method in an area situated in the Urucuia Aquifer System (UAS) context, the hydrogeologic divisor position was defined, characterizing a situation where a single hydrographic basin comprises two hydrogeologic basins, one occidental and the other oriental. It was also observed that at the asymmetry area, the superficial and ground-water flows have opposite directions, involving Goiás, Bahia and Tocantins states in the management of this aquifer system.

Palavras-chave - bacias hidrogeológicas, aquíferos transfronteiriços, gestão.

¹ Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF. Fone: 3307- 2833. Fax: 3272-4286. E-mail: tassia@unb.br

² Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF. Fone: 3307- 2830. Fax: 3272-4286. E-mail: eloi@unb.br

1 - INTRODUÇÃO

Conceitualmente, as bacias hidrogeológicas correspondem ao limite entre as zonas de recarga e descarga de um determinado aquífero, sendo a zona de recarga considerada a partir da região onde as águas ou plumas descendentes de umidade alcançam o topo da zona saturada dos aquíferos, e os exutórios os pontos ou áreas onde as águas retornam à superfície (Arraes e Campos, 2007).

Diversos são os fatores que dificultam o mapeamento das bacias hidrogeológicas, destacando-se a sua natureza encoberta, a possibilidade de sobreposição de sistemas de fluxo de diferentes magnitudes, a característica dinâmica da posição dos divisores hidrogeológicos frente a situações de sobreexploração do aquífero, além do fato de comumente não acompanharem a topografia do terreno, ultrapassando divisores topográficos (Winter et al., 2003). Dessa forma, a definição de áreas de recarga e descarga para esse tipo de bacia é bastante complexa quando comparada às das bacias hidrográficas, estando muitas vezes condicionada a variações litológicas, à presença de zonas carstificadas e a controles estruturais.

Os limites das bacias hidrogeológicas podem ser estabelecidos através da utilização de diversos métodos de investigação hidrogeológica, que podem ser organizados em métodos diretos e indiretos. Dentre os métodos diretos, merecem destaque os estudos potenciométricos, ensaios de traçador e geoquímica isotópica. Já os métodos indiretos compreendem principalmente os estudos geofísicos, geoprocessamento, estudos de hidrologia superficial e hidroquímica (Arraes e Campos, 2007). A escolha do método mais apropriado deve levar em consideração as características físicas da área e a escala de estudo adotada, não existindo assim um método ideal a ser aplicado e sim o método mais adequando às condições específicas de cada área e à escala utilizada. Portanto, dependendo da situação, os métodos podem apresentar vantagens ou desvantagens com relação à sua aplicação, devendo ser utilizado, sempre que possível, mais de um método.

Este estudo tem o propósito de caracterizar uma situação de assimetria entre os limites de bacias hidrográficas e hidrogeológicas a partir da aplicação do método da potencimetria em uma área associada ao Sistema Aquífero Urucuia (SAU), localizada na região limítrofe dos municípios de São Domingos (GO) e Correntina (BA). Essa área evidencia um importante divisor hidrográfico regional, que inclui áreas drenadas tanto pelos afluentes da margem esquerda da bacia do Rio São Francisco, em seu médio curso, quanto pelos afluentes da margem direita da bacia do Rio Tocantins-Araguaia. Por fim, pretende-se destacar a importância dos estudos de delimitação de bacias hidrogeológicas para a viabilização de eficientes iniciativas de proteção e gestão de águas subterrâneas em aquíferos transfronteiriços.

2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 Geologia

A área estudada insere-se no contexto geológico da sub-bacia Urucuia da Bacia Sanfranciscana, que tem seu embasamento, próximo à região de São Domingos, representado por três seqüências litológicas: do Arqueano, do Paleoproterozóico e do Neoproterozóico. O embasamento arqueano é granito-gnáissico, com fácies calciossilicáticas e de metabasitos localizadas (Dávila e Kuyumjian, 2005). O representante Paleoproterozóico inclui a Seqüência São Domingos, constituída essencialmente por rochas metassedimentares, com intercalações de metavulcânicas ácidas e básicas, além das intrusões de tonalito, monzogranito, granito, piroxenito e gabro que cortam essa seqüência (Dávila e Kuyumjian, 2005). A seqüência Neoproterozóica, por sua vez, é representada pelas rochas pelito-carbonatadas do Grupo Bambuí que constitui a unidade de embasamento mais significativa da Bacia Sanfranciscana. Esse grupo é composto, da base para o topo, pelas seguintes formações: Jequitáí, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias (Dardenne, 1978; Dardenne, 2000). Em geral, as unidades de embasamento afloram na porção oeste de área, no território do estado de Goiás.

A cobertura sedimentar é composta por rochas pertencentes ao Grupo Urucuia, que se apresenta amplamente distribuído pela Bacia Sanfranciscana, sustentando a Serra Geral de Goiás. De maneira geral, esse grupo corresponde a uma unidade homogênea, composta apenas pelas formações Posse, como unidade basal, e Serra das Araras, como unidade de topo (Campos e Dardenne, 1997; Sgarbi et al., 2001). A Formação Posse é essencialmente composta por arenitos depositados por processos eólicos, enquanto que a Formação Serra das Araras inclui arenitos, conglomerados e pelitos de ambientes fluviais entrelaçados.

De acordo com Campos e Dardenne (1997), as coberturas recentes da Bacia Sanfranciscana são atribuídas à Formação Chapadão, sendo classificadas em aluvionares (ao longo das principais drenagens), coluvionares (situadas no sopé da Serra Geral de Goiás) e eluvionares (que ocupam as áreas elevadas e planas da Serra Geral de Goiás).

2.2 Geomorfologia

O contexto geomorfológico da área é essencialmente representado por dois domínios morfoestruturais: o domínio das “Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas” e o domínio dos “Crátons Neoproterozóicos” (IBGE, 2006).

Dentro do primeiro domínio ocorre a unidade de relevo “Chapadas do Rio São Francisco”, também conhecida como Chapadão do Oeste Baiano. Sua principal feição é a Serra Geral de Goiás que com cerca de 400 km de extensão, estabelece o limite do estado da Bahia com relação aos estados de Goiás e Tocantins a oeste, e em seu extremo norte com os estados do Maranhão e Piauí. Apresenta desnível de até 200m (Campos, 1996), com escarpas abruptas e abundante presença de colúvios, correspondendo a mais importante unidade de relevo presente na região, já que, contém a área de recarga do Sistema Aquífero Urucuia (Gaspar, 2006).

Bordejando a unidade de relevo anteriormente descrita em toda a sua extensão, ocorre a unidade “Patamares dos Rios São Francisco/Tocantins”, pertencente ao domínio “Crátons Neoproterozóicos”. Essa unidade corresponde a uma região de relevo ondulado, que constitui a superfície intermediária entre áreas topograficamente mais altas, representadas pela Serra Geral de Goiás, e áreas adjacentes de relevo mais baixo situadas a oeste (IBGE, 2006).

2.3 Pedologia

As classes de solos predominantes na área de estudo são os Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos e os Neossolos Quartzarênicos órticos, seguidos pelos Cambissolos Háplicos e Gleissolos Háplicos, os quais ocorrem em proporções relativamente menores (IBGE e EMBRAPA, 2001).

De maneira geral, os Latossolos Vermelho-Amarelos são solos distróficos, com atividade biológica comum, textura franco arenosa, estrutura em blocos angulares e grãos simples (Freitas et al., 2004). Relacionam-se a áreas de relevo plano a suave ondulado, correspondendo à classe de solo mais amplamente distribuída na área referente à unidade de relevo *Chapadas do Rio São Francisco* (IBGE, 2006).

Os Neossolos Quartzarênicos são solos profundos que ocorrem em porções relativamente restritas quando comparados aos Latossolos. Associam-se a condições de relevo plano, por vezes relacionados às calhas dos rios. Apresentam textura arenosa, sendo constituídos essencialmente por quartzo em grãos simples. Os Cambissolos possuem textura argilosa e pedregosidade, ocorrendo na borda ocidental da Serra Geral de Goiás, onde o relevo é caracteristicamente suave ondulado a ondulado.

Os Gleissolos comumente distribuem-se por estreitas faixas de acumulação inundáveis, localizadas em amplos vales de fundo plano e raso, denominados “veredas”. Essas áreas ficam úmidas ou constantemente inundadas, constituindo as nascentes dos rios da margem esquerda da Bacia do Rio São Francisco.

2.4 Hidrogeologia

Os sistemas aquíferos presentes na área de estudo são: o Sistema Aquífero Urucuia (SAU), no estado da Bahia, e o Sistema Aquífero Freático I (F₁), no estado de Goiás (Almeida et al., 2006; Gaspar, 2006).

O Sistema Aquífero Urucuia corresponde ao conjunto de aquíferos que ocorrem no domínio do Grupo Urucuia, o qual se distribui na forma de uma superfície tabular sobre toda a área de abrangência da Sub-Bacia Urucuia. De maneira geral, representa um sistema do tipo intergranular, homogêneo e isotrópico, de elevada importância hidrogeológica. Entretanto, pequenas variações faciológicas dentro dessa unidade refletem na mudança das propriedades hidrodinâmicas do sistema aquífero, permitindo a diferenciação de subtipos aquíferos (Gaspar, 2006).

A área de estudo está relacionada a dois desses subtipos: o *aquífero livre regional* e o *aquífero livre profundo*. O primeiro subtipo sobrepõe-se aos demais, caracterizando-se principalmente por apresentar nível estático variável e por manter a perenidade e a elevada vazão específica da rede de drenagem da região do oeste baiano, que, por sua vez, contribui para a regularização da vazão do médio São Francisco nos períodos de seca. Já o segundo subtipo, apresenta nível estático profundo e seu fluxo de base alimenta as nascentes localizadas na base da Serra Geral de Goiás, mantendo os rios que correm na porção cárstica e cristalina da área.

O Sistema Aquífero Freático I localiza-se principalmente próximo a borda oeste da Serra Geral, sendo representado pelos Neossolos Quartzarênicos desenvolvidos a partir do colúvios de arenitos da Bacia Sanfranciscana. Compõem aquíferos intergranulares rasos, contínuos, livres, de grande extensão lateral e alta importância hidrogeológica, principalmente no tocante aos aspectos de recarga dos reservatórios mais profundos e de regularização das vazões da rede de drenagem superficial (Almeida et al., 2006).

3 - DELIMITAÇÃO DAS BACIAS HIDROGEOLÓGICAS

A potenciometria foi aplicada como principal ferramenta na avaliação da distribuição do fluxo subterrâneo da área, com vistas ao mapeamento da posição do divisor hidrogeológico. O segmento do divisor hidrográfico regional das bacias dos rios São Francisco e Araguaia-Tocantins, presente na área de estudo, foi traçado a partir dos dados de topografia disponíveis na base cartográfica digital, coincidindo aproximadamente com o limite dos estados da Bahia e Goiás, próximo à borda oeste da Serra Geral de Goiás, uma vez que a quebra de relevo é o critério de divisão geopolítica entre os estados nessa região.

Para a construção do mapa potenciométrico foi elaborado um inventário dos pontos d'água presentes na área, contemplando dados de nascentes perenes e de poços tubulares. Ao todo foram cadastradas informações referentes à localização e altimetria de 38 nascentes e à localização e nível potenciométrico de 24 poços. Através da utilização do *software* SURFER® versão 8.0, esses dados foram interpolados pelo método da krigagem ordinária, possibilitando a elaboração de um mapa de linhas equipotenciais e a definição da localização do divisor hidrogeológico. O mapa potenciométrico referente à porção ocidental do Sistema Aquífero Urucua presente na área estudada, mostrando a posição do divisor hidrogeológico e a distribuição dos pontos d'água, está representado na figura 1.

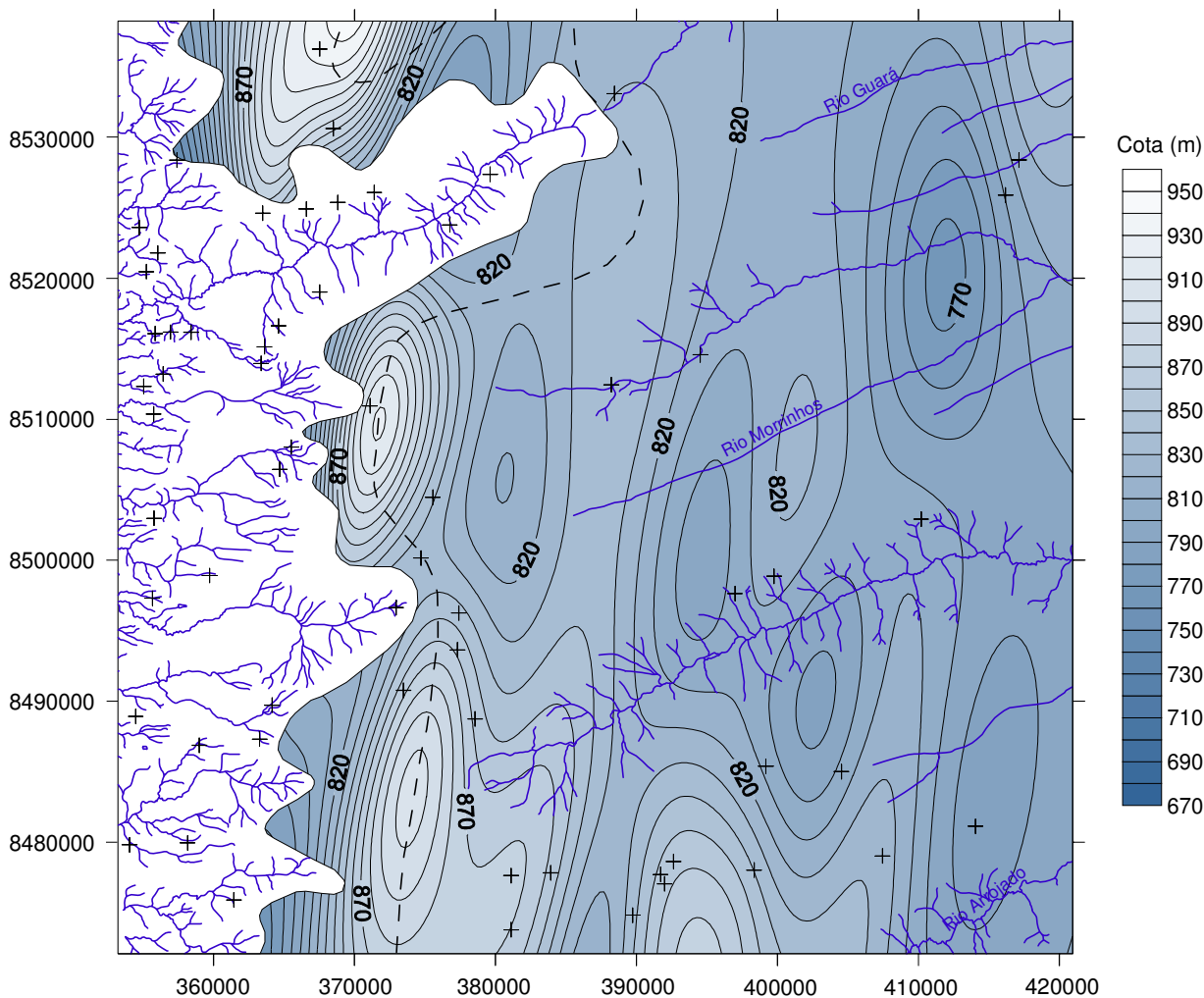


Figura 1. Mapa potenciométrico referente à porção do Sistema Aquífero Urucua presente na área estudada, mostrando a distribuição dos pontos e a localização do divisor hidrogeológico (linha tracejada).

A figura 2 mostra a localização relativa entre os divisores hidrogeológico e hidrográfico. Nota-se a existência de assimetria entre os limites das bacias, onde a bacia hidrográfica comporta duas bacias hidrogeológicas: uma situada a leste do divisor hidrogeológico (oriental) e outra situada a oeste do mesmo (ocidental).

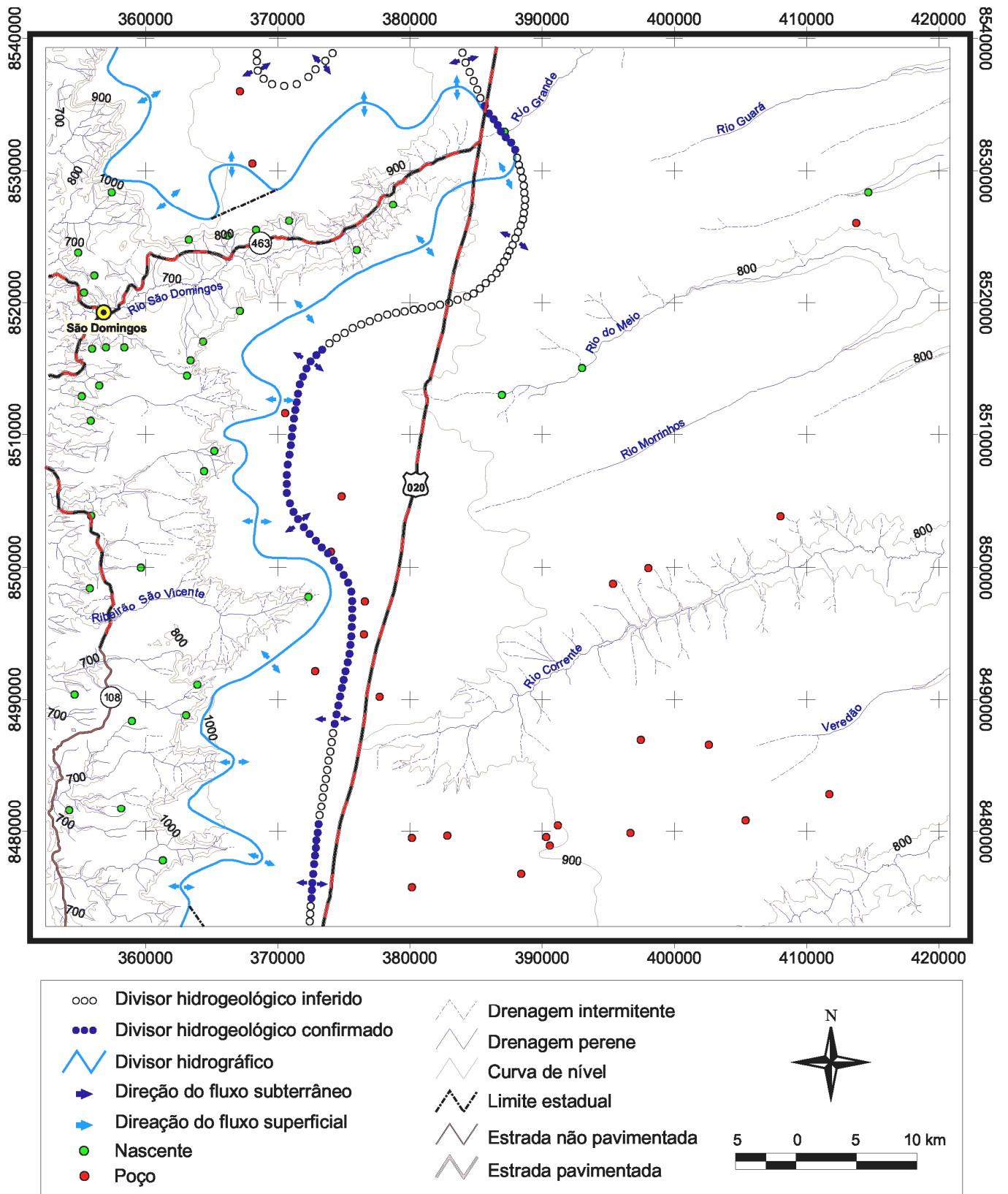


Figura 2. Mapa indicando a assimetria existente entre as bacias hidrográficas e hidrogeológicas, mostrando ainda a distribuição dos pontos d'água e as direções de fluxo superficial e subterrâneo.

Essa assimetria é mais forte nas porções em que a borda da serra apresenta conformação mais retilínea, sendo que nas demais regiões, a assimetria diminui significativamente, podendo até ser nula como observado na porção norte da área, na região das nascentes dos rios São Domingos e Grande.

Assim, a água de recarga que infiltra na região do divisor hidrogeológico, distribui-se tanto para a bacia hidrogeológica oriental quanto ocidental, onde a primeira contribui com o fluxo de base que mantém a rede de drenagem da bacia do Rio São Francisco e a segunda para as drenagens da bacia do Rio Araguaia-Tocantins. Portanto, a água que infiltra na área de aproximadamente 532km², situada entre os divisores superficial e subterrâneo, flui em direção ao estado do Goiás, mesmo que o fluxo superficial siga no sentido contrário, ou seja, em direção ao estado da Bahia.

É importante destacar que foi utilizada a simbologia proposta por Arraes (2008), na qual uma linha contínua de cor azul-claro caracteriza o divisor superficial e uma linha pontilhada de cor azul-escuro define o divisor subterrâneo. Salienta-se ainda que nas porções em que o divisor subterrâneo foi considerado como inferido, este foi diferenciado utilizando-se linha pontilhada aberta. Quanto às direções de fluxo superficial e subterrâneo, estas foram representadas, respectivamente, por setas de cor azul-claro e azul-escuro.

4 - CONCLUSÃO

Aquíferos transfronteiriços não ocorrem apenas em situações em que o sistema aquífero ultrapassa os limites das divisões geopolíticas entre estados ou países. O caso apresentado neste estudo mostra um sistema aquífero que apesar de possuir sua fronteira física limitada a uma única unidade da federação, é um exemplo de aquífero transfronteiriço, pois há assimetria entre o limite da bacia hidrográfica (que determina o limite geopolítico) e o da bacia hidrogeológica.

A determinação dessa assimetria existente entre as bacias hidrográfica e hidrogeológica na área estudada levanta uma série de questões envolvendo fundamentalmente a proteção, manutenção e gestão do manancial hídrico subterrâneo da região. O fato do limite hidrográfico das bacias dos rios São Francisco e Tocantins-Araguaia demarcar o limite estadual entre Goiás/Bahia e Tocantins/Bahia, e ainda de a bacia hidrogeológica ocidental ultrapassar esse limite, estando sobrejacente a esses três estados, faz com esses três estados estejam comprometidos com a gestão dessa bacia subterrânea, de forma que o controle das atividades desenvolvidas, principalmente na área de assimetria seja mútuo.

Esse controle deve buscar garantir a proteção do aquífero contra, por exemplo, a percolação de contaminantes de elevado tempo de residência, que poderia resultar no comprometimento do abastecimento de água na região do extremo nordeste do estado de Goiás, e também contra a

sobrexplotação do aquífero que acarretaria no rebaixamento do nível d'água e conseqüente migração do divisor hidrogeológico.

Portanto, especialmente nos casos envolvendo aquíferos transfronteiriços, a delimitação das bacias hidrogeológicas representa peça fundamental para a correta determinação dos estados/países envolvidos, auxiliando na elaboração de diretrizes de gestão conjunta e na avaliação das reais reservas hídricas explotáveis. A determinação dos limites permite ainda a quantificação da parcela de comprometimento de cada estado/país, bem como, a partir do reconhecimento das áreas de recarga e descarga das bacias, a avaliação das medidas preventivas necessárias contra a ação de possíveis cargas contaminantes.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L., RESENDE, L., RODRIGUES, A.P., CAMPOS, J.E.G. 2006. *Hidrogeologia do estado de Goiás e Distrito Federal*. Goiás: Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração. 2006. 132p. (Série Geologia e Mineração, n.1).

ARRAES, T.M. e CAMPOS, J.E.G. Proposição de critérios para avaliação e delimitação de bacias hidrogeológicas. *Revista Brasileira de Geociências*, v.37, p.81-89, 2007. www.sbgeo.org.br

ARRAES, T. M. *Proposição de critérios e métodos para delimitação de bacias hidrogeológicas*. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2008.

CAMPOS, J.E.G. e DARDENNE, M.A. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, v.27, p.269-282, 1997. www.sbgeo.org.br

CAMPOS, J.E.G. *Estratigrafia, sedimentação, evolução tectônica e geologia do diamante da porção centro-norte da Bacia Sanfranciscana*. 1996. 204 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

DARDENNE, M.A. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, *Anais...* Recife: SBG, 1978, p.597-610. 1978.

DARDENNE, M.A. The Brasília fold belt. In: SBG, INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 2000, p. 231-263.

DÁVILA, C. A. R. e KUYUMJIAN, R.M.. Mineralizações de ouro do tipo orogênico em arco magmático paleoproterozóico, borda oeste do Cráton São Francisco, regiões de São Domingos (GO) e Correntina (BA). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, p.187-198, 2005. www.sbgeo.org.br

FREITAS, P.L., BERNARDI, A.C.C., MANZATTO, C.V., RAMOS, D.P., DOWICH, I., LANDERS, J.N. **Comportamento físico-químico dos solos de textura arenosa e média do oeste baiano**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 7p.(Comunicado técnico). www.embrapa.br

Gaspar, M.T.P. *Sistema Aquífero Urucuia: caracterização regional e propostas de gestão*. 2006. 158 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2006.

IBGE e EMBRAPA. Mapa de solos do Brasil. 1:5.000.000, Rio de Janeiro. 2001. www.ibge.gov.br

IBGE. Mapa de unidades de relevo do Brasil. 1:5.000.000, Rio de Janeiro. 2006. www.ibge.gov.br

SGARBI, G.N., SGARBI, P.B.A., CAMPOS, J.E.G., DARDENNE, M.A., PENHA, U.C. Bacia Sanfranciscana: O registro Fanerozóico da Bacia do São Francisco. In: Pinto, C.P. & Martins-Neto, M.A. (Org.). *A Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. Belo Horizonte: SBG/MG, 2001. p. 93-138.

WINTER, T.C., ROSENBERRY, D.O., LABAUGH, J.W. Where does the groundwater in small watersheds come from? *Ground Water, watershed issue*, v. 41, p.989-1000, 2003.