

APLICAÇÃO DE ENSAIO DE TRAÇADOR E DADOS DE POTENCIOMETRIA COMO FERRAMENTAS PARA A DELIMITAÇÃO DE BACIAS HIDROGEOLÓGICAS

Tássia de Melo ARRAES ¹ & José Eloi Guimarães CAMPOS ²

(1) Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília / Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC - Ala Central. CEP 70910-900. Caixa Postal 04465. CEP 70919-970. Brasília, DF. Endereço eletrônico: tassia@unb.br

(2) Instituto de Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília / Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC - Ala Central. CEP 70910-900. Caixa Postal 04465. CEP 70919-970 Brasília, DF. Endereço eletrônico: eloi@unb.br

Introdução
Aquífero Intergranular Regional - Área Urucuia
Caracterização da Área
Métodos Aplicados
Aquífero Fraturado Local - Área Canastra
Caracterização da Área
Métodos Aplicados
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO – Os limites das bacias hidrogeológicas podem ser mapeados a partir da aplicação de diversos métodos de investigação hidrogeológica, organizados em métodos diretos e indiretos, conforme sua aplicação. Alguns destes métodos foram aplicados a situações reais de sistemas aquíferos em diferentes escalas, compreendendo o Sistema Aquífero Urucuia (intergranular) e o Sistema Aquífero Canastra (fraturado). De maneira geral, os resultados obtidos mostram que comumente existe assimetria entre os limites de bacias hidrográficas e hidrogeológicas, sendo que a falta de justaposição é variável ao longo dos eixos divisores. A importância da delimitação de bacias hidrogeológicas requer o direcionamento de pesquisas hidrogeológicas aplicadas e contribui para a implementação de medidas de controle e gestão dos recursos hídricos, para a elaboração de estudos de proteção e contaminação de aquíferos, e para o estabelecimento de diretrizes de gestão conjunta entre os países/estados relacionados a um mesmo aquífero transfronteiriço.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, bacia hidrogeológica, potenciometria e ensaio traçador.

ABSTRACT – *Arraes, T.M. & Campos, J.E.G - Tracer test and potentiometry methods as tools to delimitation hydrogeologic basins.* The hydrogeologic basins limits can be established through the application of many hydrogeologic investigation methods, organized in direct and indirect methodology. Some of these methods were applied to real aquifer system situations, in different scales, comprising the Urucuia Aquifer System (intergranular) and the Canastra Aquifer System (fractured). In general, the results point out that commonly exist asymmetry between hydrographic and hydrogeologic basins, and that this asymmetry varies across the longitudinal divisor axis. The importance of the hydrogeologic basin delimitation requires applies hydrogeologic research and contributes to the implementation of control and management measures, to the elaboration of studies about groundwater protection and contamination, and to the establishment of integrated management guidelines between the countries/states related to the same transbordering aquifer.

Keywords: hydrographic basin, hydrogeologic basin, potentiometer and tracer test.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrogeológica pode ser definida como o corpo tridimensional subsuperficial através do qual a água flui, desde a região onde as plumas descendentes de umidade alcançam o topo da zona saturada dos aquíferos, até uma zona de descarga específica, representada por pontos ou áreas onde as águas retornam à superfície (Tiedman et al., 1998; Arraes & Campos, 2007).

Embora fosse conveniente para estudos envolvendo bacias hidrográficas que os divisores hidrogeológicos coincidissem com os divisores hidrográficos, estes comumente não são semelhantes (Winter et al.,

2003). De acordo com Arraes & Campos (2007), a assimetria dos limites das bacias hidrográficas e hidrogeológicas pode ser controlada por diversos parâmetros, com destaque para: heterogeneidade dos aquíferos, anisotropia em sistemas fraturados e cársticos, variação brusca da potenciometria em situações de limites laterais de aquíferos, presença de estruturas geológicas de grande porte (dobras ou falhas), presença de aquíferos com diferentes tipos de porosidade sobrepostos, além de outros ou mesmo da associação desses fatores.

Os limites das bacias hidrogeológicas podem ser

mapeados a partir da aplicação de vários métodos de investigação hidrogeológica. Esses métodos podem ser organizados, segundo sua aplicação, em métodos diretos, compreendendo os estudos potenciométricos, ensaios traçadores e geoquímica isotópica, ou indiretos, representados pelos estudos geofísicos, geoprocessamento, estudos de hidrologia superficial e hidroquímica. Idealmente essas ferramentas devem ser aplicadas em associação, podendo em alguns casos definir de forma qualitativa a assimetria entre as

bacias, e em outros casos, determinar com precisão seus limites.

Neste artigo serão apresentados os dados obtidos a partir da aplicação dos métodos da potencimetria e ensaio traçador a duas situações reais de sistemas aquíferos, um intergranular regional (Área Urucuia) e outro fraturado local (Área Canastra). A escolha desses métodos levou em consideração principalmente as características físicas de cada área e a escala de trabalho.

AQUÍFERO INTERGRANULAR REGIONAL - ÁREA URUCUIA

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área estudada localiza-se na divisa dos municípios de Correntina - BA e São Domingos - GO. Essa região caracteriza um importante divisor hidrográfico regional representado pela Serra Geral de Goiás, incluindo 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.

A geologia da área está inserida no contexto da sub-bacia Urucuia, que tem seu embasamento, próximo à região de São Domingos, representado por três sequências litológicas: do Arqueano, do Paleoproterozóico e do Neoproterozóico. De acordo com Silva et al. (1983), o embasamento arqueano é granito-gnáissico, com fácies calciossilicática e metabasitos localizados. O representante Paleoproterozóico inclui a Sequência São Domingos, constituída essencialmente por rochas metassedimentares, com intercalações de metavulcânicas ácidas e básicas, além de intrusões de tonalito, monzogranito, granito, piroxenito e gabro que atravessam essa sequência (Dávila & Kuyumjian, 2005). A Sequência Neoproterozóica, por sua vez, é representada pelas rochas pelito-carbonatadas do Grupo Bambuí 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). A cobertura sedimentar é composta por rochas pertencentes ao Grupo Urucuia, constituído pelas formações Posse, como unidade basal, e Serra das Araras, como unidade de topo (Campos & Dardenne, 1997; Sgarbi et al. 2001). As coberturas recentes são atribuídas à Formação Chapadão, sendo classificadas em aluvionares, coluvionares e eluvionares.

O contexto geomorfológico da área é essencialmente representado por dois domínios morfoestruturais: o domínio das “Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas”, onde ocorre a unidade de relevo “Chapadas do Rio São Francisco”, e o domínio

“Crátons Neoproterozóicos”, onde ocorre a unidade “Patamares dos Rios São Francisco/Tocantins”, bordejando a unidade anteriormente descrita em toda a sua extensão (IBGE, 2006). As classes de solos predominantes são os Latossolos Amarelos e Neossolos Quartzarênicos, seguidos pelos Cambissolos Háplicos e Gleissolos Háplicos (IBGE & EMBRAPA, 2001; IBGE, 2006).

Os sistemas aquíferos presentes na área de estudo são: o Sistema Aquífero Urucuia (SAU), no estado da Bahia, e o Sistema Aquífero Freático I (F_1), no estado de Goiás (Almeida et al. 2006). De maneira geral, o SAU representa um sistema do tipo intergranular, homogêneo e isotrópico, podendo apresentar subtipos aquíferos em decorrência de pequenas variações faciológicas dentro da unidade (Gaspar, 2006). Já o Sistema F_1 localiza-se essencialmente próximo à borda oeste da Serra Geral, compondo aquíferos intergranulares rasos, contínuos, livres, de grande extensão lateral e elevada importância hidrogeológica (Almeida et al. 2006).

MÉTODOS APLICADOS

A potencimetria foi a ferramenta aplicada 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 de 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.

Para a construção do mapa potenciométrico foi elaborado um inventário dos pontos d'água presentes na área, contemplando nascentes perenes e poços tubulares. Em geral, as nascentes localizadas na borda oeste da Serra Geral, associadas às porções onde a borda recua em direção ao estado da Bahia, ocorrem em altitudes médias de 800 m. Já as nascentes

posicionadas nas áreas onde a borda da serra possui conformação mais retilínea, ocorrem em cotas mais baixas, variando em torno de 750 m.

As informações relativas aos poços foram adquiridas de um amplo cadastro elaborado para a região do oeste baiano por Gaspar (2006), o qual foi adensado buscando a melhor distribuição dos dados na área. As análises foram realizadas considerando-se o valor da cota piezométrica do poço, ou seja, o valor de altimetria do poço, descontado o valor do nível estático medido.

Os dados cadastrados foram utilizados para a construção de um mapa potenciométrico com o auxílio do *software* SURFER® versão 8.0 (Golden, 2002). O método de interpolação adotado foi o da krigagem ordinária, escolhido em função da natureza regionalizada da variável “nível potenciométrico” e da ausência de tendência ou deriva nos dados. O modelo

que melhor se ajustou ao variograma experimental foi o *Rational Quadratic*, com *nugget effect* (efeito pepita).

Após o processo de interpolação foi construído um mapa de linhas equipotenciais representativo da superfície potenciométrica local, permitindo assim a definição do divisor hidrogeológico. O mapa potenciométrico referente à porção do SAU presente na área estudada, mostrando a posição dos divisores hidrogeológico e hidrográfico, bem como a distribuição dos pontos d'água, está representado na Figura 1.

Nota-se a existência de assimetria entre os limites das bacias hidrográfica e hidrogeológica, situação em que a bacia hidrográfica comporta duas bacias hidrogeológicas: uma localizada a leste do divisor hidrogeológico (oriental) e outra a oeste do mesmo (ocidental). Essa assimetria mostra-se mais forte nas

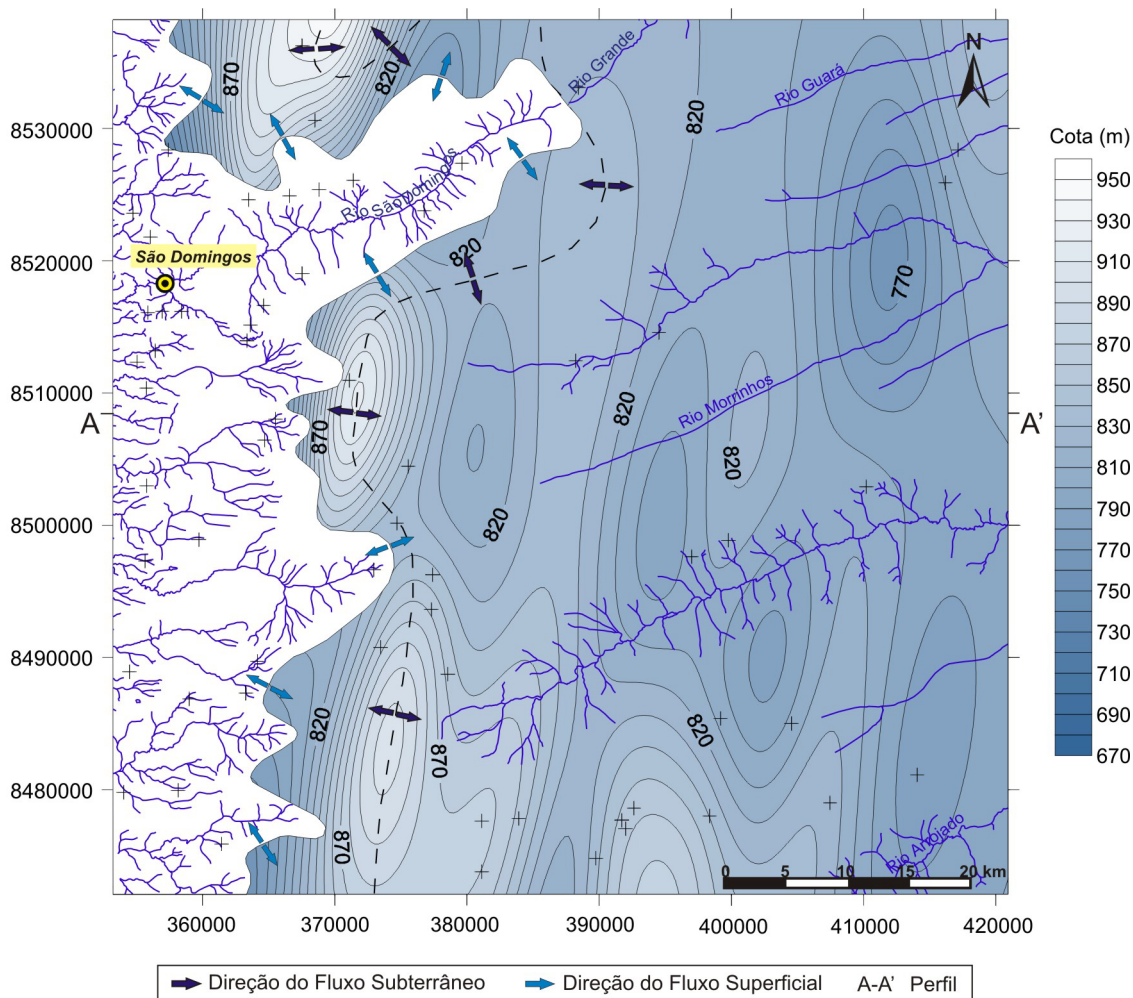


FIGURA 1. Mapa potenciométrico referente à porção do Sistema Aquífero Urucua presente na área estudada, mostrando a distribuição dos pontos e a localização dos divisores hidrográfico (linha contínua) e hidrogeológico (linha tracejada).

porções em que a borda da serra apresenta conformação mais retilínea, sendo menor nas demais regiões ou até nula, como observado na porção norte da área, na região das nascentes dos rios São Domingos e Grande.

A água de recarga que infiltra na região do divisor hidrogeológico, distribui-se tanto para a bacia oriental quanto para a bacia 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 532 km², situada entre os divisores superficial e subterrâneo, flui em direção ao estado de Goiás, mesmo que o fluxo superficial siga no sentido contrário (Figura 2).

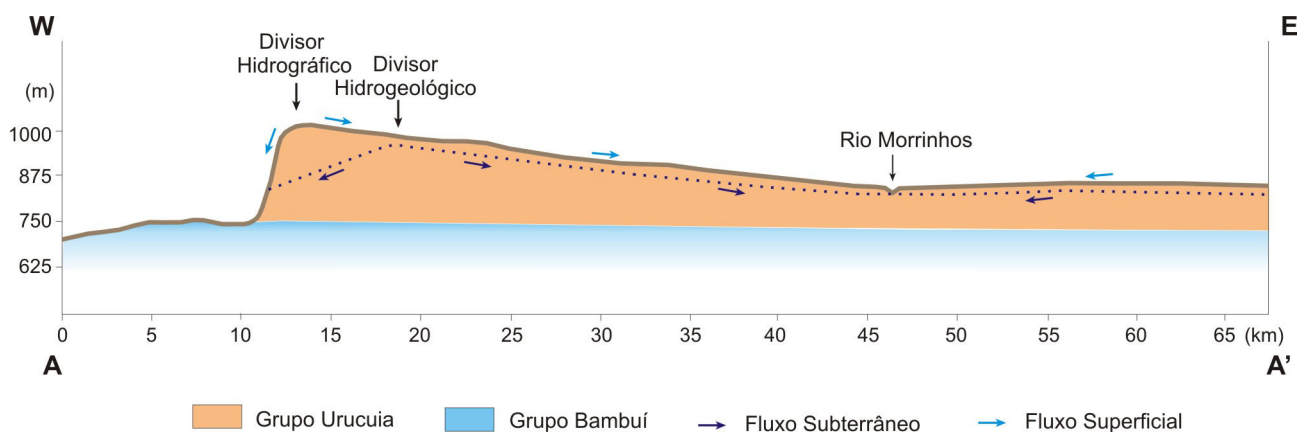


FIGURA 2. Perfil AA' indicado no mapa da Figura 1, ilustrando esquematicamente a sobreposição dos grupos Urucuia e Bambuí, além do posicionamento relativo dos divisores hidrográfico e hidrogeológico, com suas respectivas direções de fluxo (Exagero Vertical: 20x).

AQUÍFERO FRATURADO LOCAL - ÁREA CANASTRA

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está situada na porção leste do Distrito Federal (DF), próximo ao divisor de duas grandes bacias hidrográficas, a Bacia do Rio São Bartolomeu e a Bacia do Rio Preto. Os métodos utilizados foram aplicados em uma região pertencente ao Núcleo Rural Assentamento Três Conquistas, inserido no âmbito da Bacia do Alto Rio Jardim, a principal sub-bacia do Rio Preto.

A geologia da área inclui litotipos correlacionáveis aos grupos Canastra, Paranoá, Araxá e Bambuí, além de suas respectivas coberturas de solos residuais ou coluvionares (Campos, 2004).

Esses conjuntos litológicos são compostos essencialmente por metassedimentos de baixo grau metamórfico que representam o fechamento de bacias oceânicas em diferentes contextos sedimentares. Falhas de empurrão marcam o contato regional entre as unidades, onde todo o conjunto apresenta-se intensamente fraturado com padrão estrutural complexo, marcado pela superimposição de desdobramentos com eixos ortogonais (Campos & Freitas-Silva, 1998). Na área estudada ocorrem somente rochas pertencentes ao

Grupo Canastra, correlacionáveis às formações Serra do Landim e Paracatu. A Formação Serra do Landim constitui-se de calcita-dolomita-clorita-sericita filitos, frequentemente intercalado com lentes ou até mesmo níveis contínuos de quartzitos finos no topo. Um nível de transição característico composto por quartzo-sericita-clorita-filito cinza escuro, rico em matéria orgânica, marca o limite entre essa formação e a subsequente (Zini et al. 1988; Freitas-Silva, 1991; Freitas-Silva & Dardenne, 1991). A Formação Paracatu é representada por filitos com intercalações de quartzitos e ocasionalmente mármore, podendo ser dividida, da base para o topo, em dois membros: Morro do Ouro, composto basicamente por filitos carbonosos e Serra da Anta, constituído por sericita-clorita-quartzo filitos (Freitas-Silva & Dardenne, 1992; Freitas-Silva, 1996).

O contexto geomorfológico da área é dominado por três compartimentos: Região de Chapada, correspondente ao divisor das bacias São Bartolomeu e Preto; Região Dissecada de Vales, referente ao curso superior do Rio São Bartolomeu; e Região de Dissecção Intermediária, correspondente ao vale do Rio Preto (Novaes Pinto, 1994).

Segundo Reatto et al. (2004), a área de estudo pode ser caracterizada como a zona de transição entre dois tipos principais de classes de solos, os Latossolos e os Cambissolos. Nessa região, esses dois tipos pedológicos ocorrem associados por uma extensa zona, abrangendo as bacias dos rios São Bartolomeu e Preto.

No Distrito Federal podem ser individualizados dois grandes grupos de aquíferos: o Domínio Poroso e o Domínio Fraturado (Campos, 2004). O primeiro domínio, caracterizado por meios geológicos com porosidade intergranular (porosidade primária), foi subdividido nos sistemas P_1 , P_2 , P_3 e P_4 , sendo representado pelos solos, mantos de alteração das rochas e aluviões. O segundo grupo está associado ao desenvolvimento de porosidade representada pelas juntas ou falhas armazenadoras de água (porosidade secundária), sendo dividido nos sistemas Paranoá, Canastra, Bambuí e Araxá (Campos & Freitas-Silva, 1998). O sistema Paranoá foi ainda subdividido nos sistemas S/A, A, Q_3/R_3 , R_4 e PPC, e o sistema Canastra nos subsistemas F e F/Q/M (Campos, 2004). Na área de estudo ocorrem aquíferos associados tanto ao Domínio Poroso (subsistema P_2), quanto ao Domínio Fraturado, representado pelo sistema Canastra (subsistema F).

MÉTODOS APLICADOS

Para este estudo de caso foram aplicados os métodos do ensaio traçador e da potenciometria. O ensaio traçador foi desenvolvido com a aplicação de uma solução de água e cloreto de sódio (NaCl), substância escolhida em função do baixo custo, facilidade de detecção e baixa adsorção. A área onde se desenvolveu o ensaio traçador caracteriza-se por apresentar gradiente moderado e contar com um conjunto de cinco poços de observação instalados em pontos estratégicos com relação à topografia, visando ao monitoramento do nível freático e a realização de ensaios traçadores (Figura 3).

Os perfis construtivos e a descrição obtida durante a perfuração são semelhantes para os cinco poços. O poço de observação 1 foi escolhido como ponto de injeção da solução salina, elaborada a partir da dissolução de 30kg de NaCl em cerca de 220L de água, sendo os pontos de amostragem os poços 2, 3, 4 e 5. A solução foi injetada diretamente na zona saturada com o auxílio de uma mangueira plástica, sob condições de fluxo constante, durante 15 min. O tempo total do ensaio foi de 28 h, sendo as amostragens desenvolvidas primeiramente em intervalos de 20 min, passando para intervalos de 40 min após 11 h, onde a cada amostragem

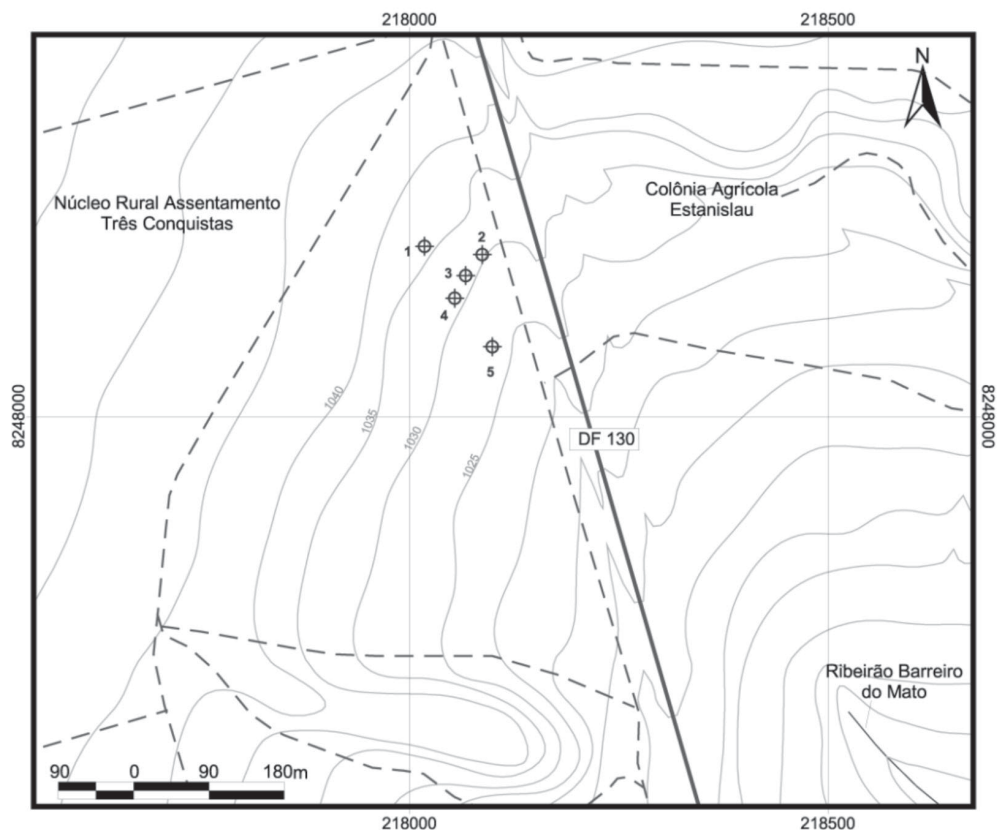


FIGURA 3. Mapa de distribuição dos poços de observação utilizados no ensaio traçador.

eram avaliadas a condutividade elétrica e a temperatura da água, parâmetro que influencia diretamente na condutividade elétrica.

A partir dos dados obtidos no ensaio de traçador foi elaborado um gráfico da condutividade elétrica *versus* tempo, apresentado na Figura 4. A turbulência no fluxo observada durante o ensaio não era esperada, uma vez que em meios intergranulares comumente desenvolve-se fluxo laminar. A ocorrência desse tipo de fluxo foi atribuída à presença de intensa bioturbação na área.

As informações obtidas através do ensaio de traçador mostraram que o fluxo subterrâneo não acompanha a topografia do terreno, que apresenta declividade mais acentuada na direção dos poços de observação 4 e 5. Ao contrário, a pluma seguiu orientação preferencial S55E, passando com elevadas concentrações no poço 3, e com concentrações relativamente mais baixas nos poços 2 e 4, marcando os limites laterais da pluma, já que o poço 5 não registrou a influência de sua passagem, mantendo os valores de CE, em geral, abaixo do *background*. As pequenas oscilações positivas nos valores de condutividade elétrica com relação ao *background* nesse poço se devem principalmente a variações de temperatura.

A canalização do fluxo em direção ao poço 3 deve-se provavelmente à presença de planos de fratura no saprolito que provocam um rebaixamento local do nível freático do aquífero intergranular sobrejacente, na região desse poço. Além disso, dados de condutividade hidráulica obtidos em ensaios anteriores indicaram que os poços de observação 2 e 3 possuem condutividades hidráulicas mais elevadas que os demais poços, sugerindo a existência de heterogeneidade no meio, embora os poços de observação estejam inseridos no

meio intergranular. O poço 5 provavelmente integra outro sistema de fluxo hidrogeológico, pois além de não ter detectado a passagem da pluma, apresenta valores de condutividade hidráulica inferiores aos verificados nos demais poços.

Assim, embora fosse esperado que o fluxo subterrâneo descrevesse um meio isotrópico homogêneo, os contrastes observados nos valores de condutividade hidráulica, aliados às informações obtidas no ensaio traçador sugerem a existência de um sistema de fluxo diferenciado na área de estudo, caracterizando a presença de divisores de fluxo subterrâneo que individualizam as sub-bacias hidrogeológicas I, II e III (Figura 5).

Por fim, foi feita uma avaliação qualitativa das medidas potenciométricas dos 5 poços de observação, efetuadas mensalmente no ano de 2006. A potenciométrica da área indica um alto no nível freático na posição do poço de observação 4, que divide o fluxo tanto em direção aos poços 1, 2 e 3, quanto em direção ao poço 5. Esses dados não corroboram os resultados obtidos no ensaio de traçador, embora igualmente indiquem que o poço 5, que apresenta nível freático mais profundo, realmente integra um sistema de fluxo subterrâneo distinto. Vale destacar que se a área contasse com uma rede de poços de observação mais densa e regularmente espaçada, provavelmente as medidas indicariam a presença dos dois divisores hidrogeológicos mapeados pelo ensaio de traçador. Fica destacada também a importância da aplicação conjunta de ferramentas de investigação, uma vez que os resultados adquiridos a partir da aplicação de um método possibilitam não só a confirmação, mas também a avaliação crítica dos dados resultantes da aplicação de outro método, aumentando assim a confiabilidade do estudo.

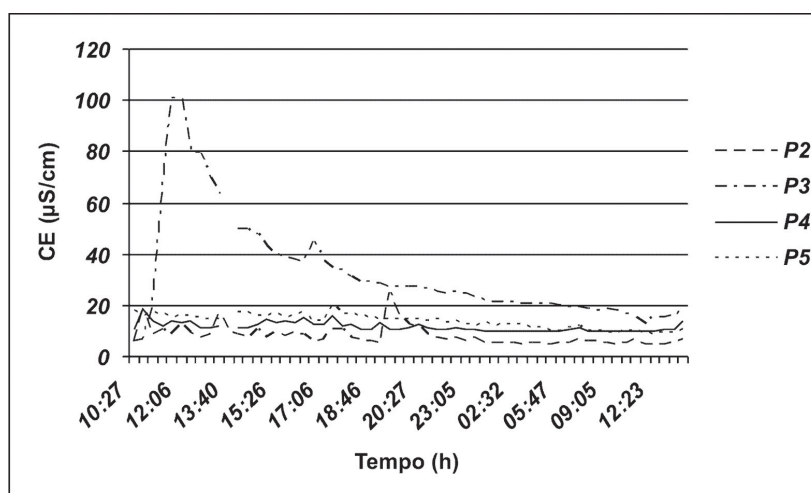


FIGURA 4. Curva de condutividade elétrica (mS/cm) x tempo (horas) para os dados obtidos no ensaio traçador.

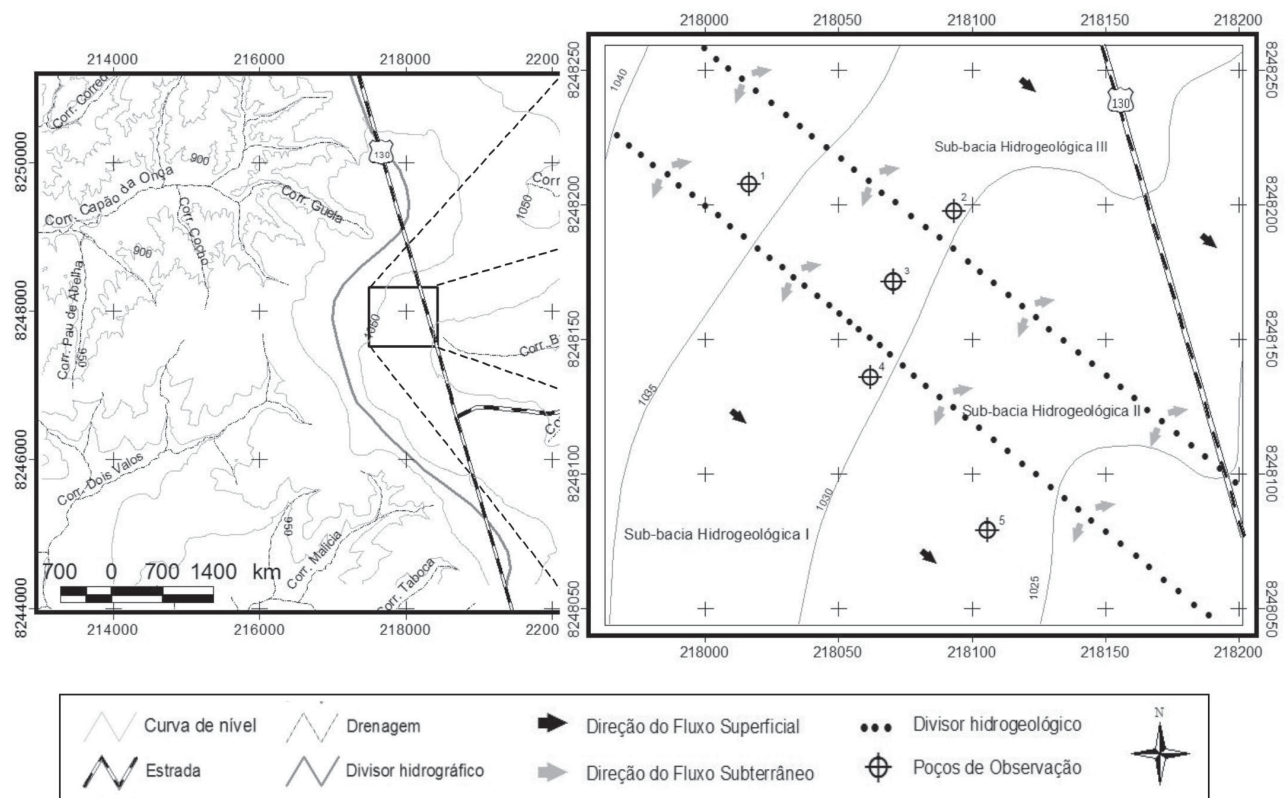


FIGURA 5. Mapa de localização do divisor hidrogeológico e das sub-bacias inseridas no contexto da área de estudo, juntamente com as direções de fluxo superficial e subterrâneo.

CONCLUSÕES

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 magnitudes diversas, a característica dinâmica da posição dos divisores de fluxo hidrogeológico frente a situações de sobreexploração do aquífero, além do fato de comumente não acompanharem a topografia do terreno, ultrapassando divisores topográficos. Portanto, a definição das áreas de recarga e descarga para esse tipo de bacia é bastante complexa quando comparada às das bacias hidrográficas, e estas áreas, muitas vezes, estão condicionadas a variações litológicas e a controles estruturais.

É importante ressaltar que o conceito de “bacia hidrogeológica” não corresponde àquele relativo a “sistema aquífero”, uma vez que um mesmo sistema aquífero pode estar associado a mais de uma bacia hidrogeológica, ou ainda um conjunto de sistemas aquíferos sobrepostos podem constituir uma única bacia hidrogeológica, desde que estes possuam zonas de recarga e descarga coincidentes.

A escolha do método mais apropriado para o mapeamento do divisor hidrogeológico 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 adequado às condições específicas de cada área e à escala utilizada. Por conseguinte, dependendo da situação, os métodos podem apresentar vantagens ou desvantagens com relação a sua aplicação.

Os métodos diretos geralmente mapeiam os limites das bacias hidrogeológicas de maneira acurada. Dentre eles, a potenciometria corresponde à ferramenta mais importante, pois pode ser aplicada em diversos contextos, frequentemente apresentando excelentes resultados. Os ensaios de traçadores igualmente apresentam bons resultados, correspondendo à maneira mais prática de se avaliar a direção do fluxo subterrâneo e representando, em alguns casos, a única técnica confiável.

A aplicação desses métodos de investigação hidrogeológica apresentada neste trabalho apontou que comumente existe assimetria entre os limites das bacias hidrográficas e hidrogeológicas. Diferente do esperado, essa assimetria pode ser significativa em sistemas considerados homogêneos e isotrópicos, onde o fluxo subterrâneo nem sempre acompanha a topografia do terreno.

A avaliação da área referente ao aquífero intergranular regional (Área Urucuia) mostrou que a assimetria pode variar ao longo dos eixos divisores, chegando a ser nula em determinadas regiões. Observou-se ainda que na área situada entre o divisor hidrográfico e o hidrogeológico, os fluxos superficiais e subterrâneos apresentam direções contrárias, caracterizando uma situação onde uma mesma bacia hidrográfica comporta duas bacias hidrogeológicas.

A determinação da assimetria existente nesta área levanta uma série de questões envolvendo fundamentalmente a proteção, manutenção e gestão do manancial hídrico subterrâneo. O fato de a bacia hidrogeológica ocidental estar sobrejacente tanto ao estado de Goiás quanto da Bahia, faz com que os dois estados se comprometam com a gestão dessa bacia, devendo, portanto, haver um controle mútuo das atividades desenvolvidas, principalmente na área situada entre os dois divisores. Esse controle deve buscar garantir a proteção do aquífero contra, por exemplo, a percolação de contaminantes de elevado tempo de residência, já

que comprometeria o abastecimento de água na região do extremo nordeste do estado de Goiás, e também contra a sobreexploração do aquífero que acarretaria no rebaixamento do nível d'água e consequente migração do divisor hidrogeológico.

Quanto à área relacionada ao aquífero fraturado local (Área Canastra), foi caracterizado um sistema de fluxo diferenciado, evidenciando a presença de divisores de fluxo subterrâneo que individualizam sub-bacias hidrogeológicas. A potenciométrica nesse caso não corroborou os dados do ensaio de traçador, mostrando as limitações desse método quando aplicado a estudos de escala de detalhe, onde a rede de piezômetros possui baixa densidade. A melhor compreensão das direções de fluxo subterrâneo a partir do mapeamento dos divisores hidrogeológicos presentes na Área Canastra mostra a importância do desenvolvimento de medidas efetivas de gestão das águas subterrâneas da região, visto que o fluxo subterrâneo caracteriza um meio anisotrópico e não segue a topografia do terreno, contrariando o modelo esperado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L.; RESENDE, L.; RODRIGUES, A.P.; CAMPOS, J.E.G. **Hidrogeologia do estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiás, Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração. Série Geologia e Mineração, n. 1, 132 p., 2006.
- ARRAES, T.M. & CAMPOS, J.E.G. Proposição de critérios para avaliação e delimitação de bacias hidrogeológicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, p. 81-89, 2007.
- CAMPOS J.E.G. Hidrogeologia do distrito Federal: subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 1, p. 41- 48, 2004.
- CAMPOS, J.E.G. & DARDENNE, M.A. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, p. 269-282, 1997.
- CAMPOS, J.E.G. & FREITAS-SILVA, F.H. Hidrogeologia do Distrito Federal. **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I, v. II, 66 p., 1998.
- DARDENNE, M.A. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978, v. 2, p. 597-610.
- DARDENNE, M.A. The Brasília fold belt. In: CORDANNI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAS FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Coords.), **Tectonic Evolution of South América**, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, p. 231-263, 2000.
- DÁVILA, C.A.R. & 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, n. 2, p. 187-198, 2005.
- FREITAS-SILVA, F.H. **Enquadramento Litoestratigráfico e Estrutural do Depósito de Ouro do Morro do Ouro, Paracatu - MG**. Brasília, 1991. 151 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- FREITAS-SILVA, H.F. 1996. **Metalogênese do Depósito do Morro do Ouro, Paracatu - MG**. Brasília, 1991, 338 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- FREITAS-SILVA, F.H. & DARDENNE, M.A. Quadro Estratigráfico das Formações Vazante e Paracatu na Região de Paracatu na Região de Paracatu – MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 6, 1992, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, Sociedade Brasileira de Geologia - MG, REM, 1992, v. 45, p. 91-93.
- GASPAR, M.T.P. **Sistema Aquífero Urucuia: caracterização regional e propostas de gestão**. Brasília, 2006. 158 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- IBGE & EMBRAPA. **Mapa de solos do Brasil**, escala 1:5.000.000, Rio de Janeiro, 2001.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de unidades de relevo do Brasil**, escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro, 2006.
- NOVAES PINTO, M. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M. (Org.), **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília. Editora UnB, 2^a ed., p. 285-320, 1994.
- REATTO, A.; MARTINS, E.S.; FARIAS, M.F.R.; SILVA, A.V.S.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. Mapa pedológico digital - SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo. **Documentos**, Embrapa Cerrados, 31p., 2004.
- 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., **A Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais**. SBG/MG – Belo Horizonte, p. 93-138, 2001.
- SILVA, A.B.; MENDONÇA JÚNIOR, T.; OLIVEIRA, T.; ANCHESCHI, W.J.; CRUZ, A.S.J.; GIACOMETI, A.N.;

- ARRUDA, G.A.; DAOUD, W.E.K.; SANTOS, R.V.; BIZZI, L.A.; CARVALHO JÚNIOR, A.L.P.; PEREIRA, S.P.; FERREIRA, A.M.; COLELA JÚNIOR, O.; BANHOS, S.S.; ROSA, J.W.C.; ABDALLAH, S.; SERRADOURADA, H.P.; AZEVEDO, G.C.; SANTOS, R.B.; MARTINEZ, J.E.A.; PONTES, C.S. Geologia da região de São Domingos- GO. **Trabalho Final de Graduação**, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 1983.
19. TIEDMAN, R.C.; GOODE, D.J.; HSIEH, P.A. Characterizing a groundwater basin in New England Mountain and valley terrain. **Ground Water**, v. 36, n. 4, p. 611-621, 1998.
20. 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.
21. ZINI, A.; FORLIN, R.; ANDREAZZA, P.; SOUZA, A. Depósito do Morro do Ouro. Paracatu, Minas Gerais. In: SHOBENHAUS, C. & COELHO, C.E.S., **Principais Depósitos Minerais no Brasil**. Metais Básicos não Ferrosos, Ouro e Alumínio. Brasília, DNPM, v. 3, p. 479-489, 1988.

Manuscrito Recebido em: 8 de abril de 2010
Revisado e Aceito em: 30 de agosto de 2010