

MODELO HIDROGEOLÓGICO DO GRÁBEN CRATO-JUAZEIRO (CE) – UMA NOVA PROPOSTA SOBRE A CONEXÃO HIDRÁULICA ENTRE OS SISTEMAS AQUÍFEROS SUPERIOR E MÉDIO

Gisele Kimura¹ & Celso de Oliveira Loureiro²

Resumo – Apresentou-se neste estudo uma proposta de um modelo de escoamento subterrâneo para o gráben Crato-Juazeiro, na sub-bacia do Cariri. Foi elaborado um modelo conceitual da hidrogeologia local, com a caracterização do fluxo das águas subterrâneas, a fim de avaliar o regime de escoamento das águas subterrâneas. Propõe-se um modelo em que o denominado Sistema Aquífero Médio se comporta como um aquífero livre sob a Chapada do Araripe, não formando um sistema hidráulico contínuo com o Sistema Aquífero Superior.

Abstract - This study proposes a model for the groundwater flow in the Crato-Juazeiro graben, Cariri sub-basin. A conceptual model of the local hydrogeology was developed in order to characterize the groundwater flow. The elaborated conceptual model proposes that the so-called Sistema Aquífero Médio behaves as an unconfined aquifer under the Araripe Plateau, not forming a continuous hydraulic system with the Sistema Aquífero Superior.

Palavras-Chave – hidrogeologia; Cariri; Araripe.

INTRODUÇÃO

A região do Cariri é a segunda mais desenvolvida e populosa no estado do Ceará, depois da Região Metropolitana de Fortaleza.

Devido à sua compartimentação geológica, representada pela Bacia Sedimentar do Araripe, a região tem condições extremamente favoráveis à exploração de água subterrâneas, ao contrário do que ocorre na maior parte do estado do Ceará (85%), que se localiza em terrenos cristalinos. Tanto é que no Cariri a quase totalidade da água para abastecimento público e irrigação é proveniente de

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Av. Prof. Mário Werneck, 42/504. CEP 30455-610. Fone/fax (31) 3293 4303. E-mail: gkwunder@hotmail.com

² Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Av. do Contorno, 842, 7º andar. CEP 30110-060. Belo Horizonte/MG. Fone/fax (31) 3238 1882. E-mail: celso@desa.ufmg.br

poços. Ressalta-se que a área de estudo, o gráben Crato-Juazeiro, é onde ocorrem as maiores espessuras estimadas das camadas sedimentares (e portanto dos aquíferos) na região do Cariri (Ponte & Ponte-Filho, 1996). Não coincidentemente, é também nele que se localizam as principais cidades dessa região, Crato e Juazeiro do Norte, que juntas abrigam uma população de cerca de 316.000 habitantes.

Com o intuito de compreender a hidrogeologia da região e atender às demandas de água da população, alguns estudos têm sido desenvolvidos. Dentro desse contexto, este trabalho representa uma contribuição ao conhecimento da hidrogeologia da região.

ÁREA DE ESTUDO

A área de interesse corresponde à área física do gráben Crato-Juazeiro. Localizado no sul do estado do Ceará, o gráben ocupa uma extensão de aproximadamente 1200 km², abrangendo a quase totalidade dos municípios de Crato e Juazeiro do Norte, e partes dos municípios de Barbalha e Santana do Cariri. Seus limites são definidos pelas coordenadas de projeção UTM: 427.000(W), 478.000(E), 9.176.000 (S) e 9.213.000 (N), conforme ilustrado na Figura 1.

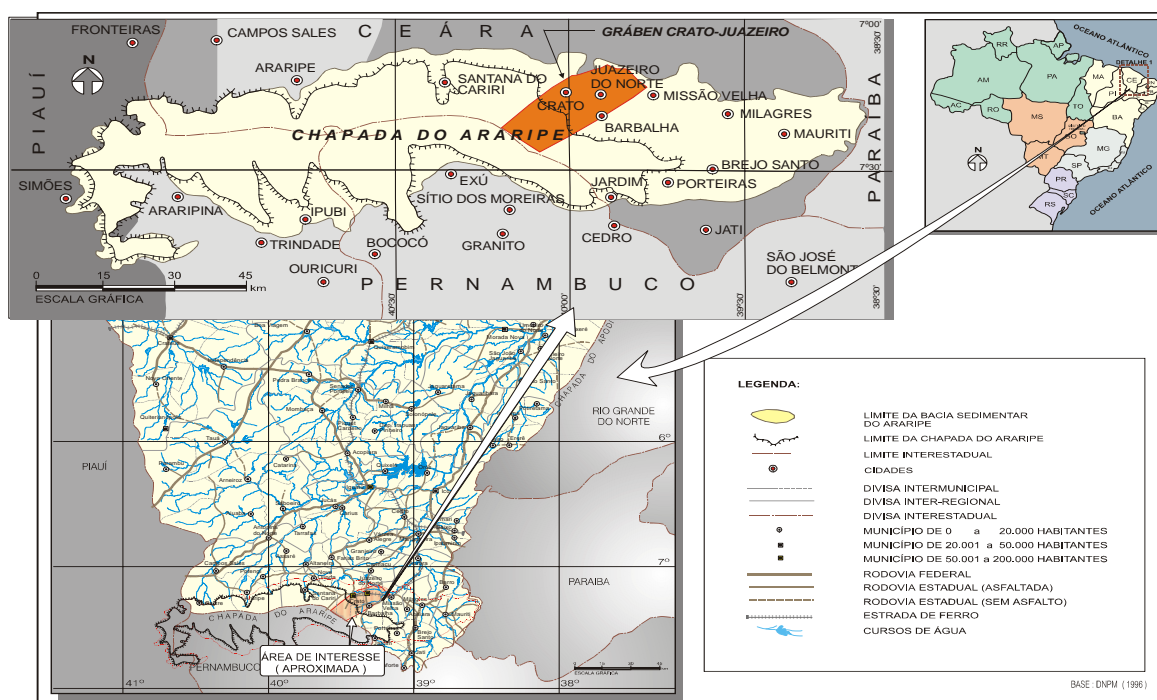


Figura 1 - Localização do gráben Crato-Juazeiro

HIDROGEOLOGIA DA BACIA DO ARARIPE

Revisão Bibliográfica

A disponibilidade de água subterrânea foi um dos fatores que mais motivaram o interesse e a realização de estudos científicos na região da bacia do Araripe. Designado pela Inspetoria de Obras Contra as Secas (IFOCS), Small (1913) apresentou um trabalho pioneiro sobre a estratigrafia da região do Cariri, com o objetivo de conhecer as possibilidades das formações geológicas da região como condutoras de água subterrânea. Neste estudo, reconheceu a zona do Cariri como “*uma das mais extensas regiões do Ceará onde se encontra água subterrânea. É uma região de arenitos molles, em que a água é absorvida pelo sólo de areia e, filtrando-se nas rochas que lhe ficam por baixo, forma uma bôa corrente subterrânea*” (sic).

No entanto, a exploração de mananciais subterrâneos até a década de 60 foi feita com a aplicação de poucos conhecimentos hidrogeológicos, devido à ausência de pessoal técnico especializado e de equipamentos de perfuração de boa qualidade. A partir desta década, a pesquisa hidrogeológica no Brasil teve grande impulso em virtude da realidade das secas na região Nordeste do Brasil. A Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) foi um dos órgãos pioneiros a desenvolver projetos hidrogeológicos que contavam com suporte técnico científico, gerando uma massa de dados hidrogeológicos significativos. Na região do Cariri, a SUDENE realizou uma série de estudos para definir as possibilidades de captação de água subterrânea destinada ao abastecimento de alguns municípios (Gaspary & Anjos, 1964 e Gaspary et al., 1965), além de estudos mais abrangentes contendo aspectos hidrológicos, hidroquímicos e hidrogeológicos da Bacia do Rio Jaguaribe (Anjos, 1963; SUDENE, 1967 e Cruz & França, 1970).

Na década de 80, foram realizados alguns estudos geofísicos voltados à prospecção de água subterrânea. Em CAGECE/PLANAT (1984), foi realizada uma investigação das propriedades hidrogeológicas e da geometria da formação Missão Velha, possibilitando assim a escolha de áreas de melhor transmissividade hidráulica para a locação de novos poços. O trabalho traz informações importantes do aquífero Missão Velha, destacando-se a seqüência geoeletrica genérica representativa da área correlacionada com a seqüência litológica. Marques et al. (1984) utilizaram o método da eletrorresistividade objetivando a prospecção de água subterrânea nos arenitos da formação Exu.

Um recente trabalho de geofísica aplicada às águas subterrâneas é o de Marinho et al. (2002), que traz uma revisão dos estudos geoeletricos publicados anteriormente, com a reinterpretação dos dados de mais de uma centena de sondagens elétricas verticais executadas na área do gráben Crato-Juazeiro, além de um levantamento geofísico por eletrorresistividade. Os objetivos principais foram

de caráter estratigráfico e hidrogeológico, com foco na formação Missão Velha, e secundariamente procurou-se contribuir para a delimitação do gráben Crato-Juazeiro.

Estudos isotópicos e hidroquímicos têm sido realizados de forma contínua desde o início da década de 90 por pesquisadores da Universidade do Ceará. Da extensa lista de publicações nessa área, destacam-se os seguintes trabalhos: Frischkorn, Santiago & Brasil (1990); Studart (1991); Silva, (1992 e 1996); Leite et al. (1996 e 1997); Silva et al. (1996); Santiago et al. (1997) e Mendonça et al. (1999). Um resumo dos resultados das pesquisas sobre as reservas hídricas subterrâneas na Chapada do Araripe e no Vale do Cariri, realizadas nos últimos doze anos de trabalho, encontra-se em Golder/Pivot (2001). A partir da caracterização físico-química e isotópica das águas subterrâneas da Chapada do Araripe e do Vale do Cariri, são propostos modelos de circulação para a região.

Ainda na década de 90, foi realizado um importante estudo hidrogeológico de caráter regional na Bacia Sedimentar do Araripe (DNPM, 1996), que propõe uma divisão hidrogeológica da bacia em três sistemas aquíferos principais: Sistema Aquífero Superior, Sistema Aquífero Médio e Sistema Aquífero Inferior. Esta divisão tem sido a mais utilizada atualmente, e será adotada neste trabalho. Para cada um dos sistemas aquíferos, o estudo elabora um balanço hídrico e quantifica suas reservas. Apresenta também os dados de um cadastro de poços tubulares e de fontes de águas subterrâneas de toda a região.

Entre os trabalhos acadêmicos mais recentes voltados à disponibilidade de recursos hídricos na região, destacam-se os de Mendonça (1996 e 2001), Anjos (2000) e Kimura (2003). Mendonça (1996) realizou uma modelagem matemática, química e isotópica de uma bateria de poços na cidade de Juazeiro do Norte, verificando conexões hidráulicas entre os aquíferos Rio da Batateira e Missão Velha e prevendo dimensões do cone de depressão em condições desfavoráveis para a recarga do aquífero.

Em Anjos (2000), foi realizada uma avaliação da possibilidade de exploração do aquífero Rio da Batateira para atender à demanda populacional dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha prevista para o ano de 2020. Kimura (2003) elaborou um modelo hidrogeológico conceitual e computacional do gráben Crato-Juazeiro, quantificando as suas reservas renováveis.

Com relação aos recursos hídricos da Chapada do Araripe, um estudo integrado foi realizado por Mendonça (2001), com a aplicação de métodos de hidrogeologia, hidroquímica, hidrologia isotópica e modelagem numérica para quantificar as reservas e avaliar a sua vulnerabilidade à poluição.

Unidades hidroestratigráficas

Neste trabalho, adota-se a coluna estratigráfica proposta por Ponte & Appi (1990). Na Chapada do Araripe, as formações encontram-se sub-horizontais e na ordem cronoestratigráfica

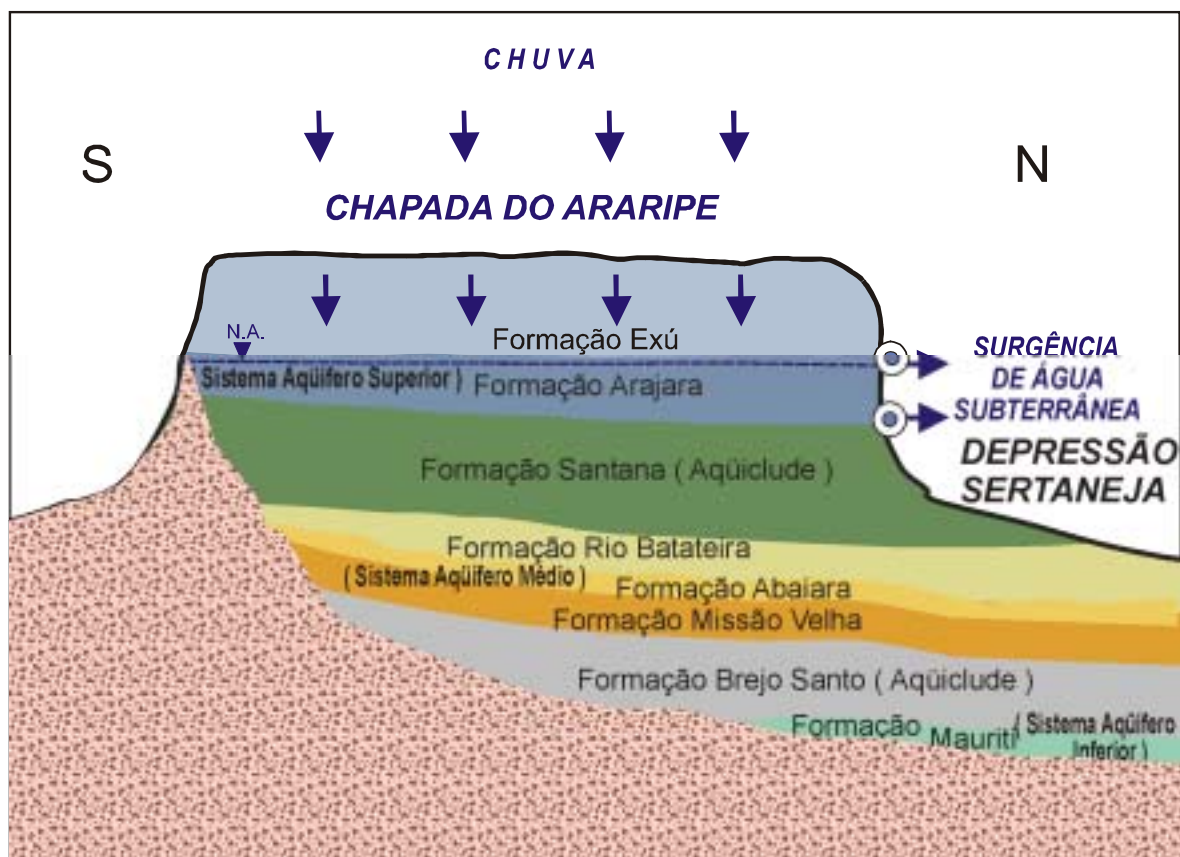
normal. As espessuras de cada formação foram ponderadas com base na literatura. A seqüência do pacote sedimentar na chapada, do topo para a base, é apresentada a seguir:

- Formação Exu: reúne arenitos médios a grossos, avermelhados ou rosados, em grande parte silicificados, que sustentam as escarpas da Chapada do Araripe. Espessura média: 200 metros.
- Formação Arajara: representada por arenitos finos, às vezes caulíníticos, e siltitos escuros inter-acamadados. Espessura média: 120 metros.
- Formação Santana: margas e folhelhos cinza-escuros, calcários, evaporitos (gipsita), arenitos, folhelho negro betuminosos, margas e calcários laminados e intercalados. Espessura média: 120 metros.
- Formação Rio da Batateira: constituída por arenitos médios a finos, argilosos, amarelos e cinzentos, com siltitos e folhelhos interestratificados, bem como leitos de folhelhos negro betuminosos. Espessura média: 80 metros.
- Formação Abaiara: reúne arenitos micáceos argilosos, intercalados com siltitos e folhelhos castanhos, cinzentos e verdes, bem estratificados, contendo delgadas camadas de carbonatos impuros. Espessura média: 80 metros.
- Formação Missão Velha: constituída de arenitos grossos, mal selecionados, às vezes conglomeráticos, com estratificação cruzada tabular e acanalada de pequeno porte, brancos e amarelados, portadores de troncos e fragmentos de madeira silicificada. Possui intercalações métricas de siltitos arroxeados. Espessura média: 200 metros.
- Formação Brejo Santo: folhelhos, argilitos, siltitos e arenitos argilosos, com intercalações de arenitos finos argilosos, de cor avermelhada. Espessura média: 400 metros.
- Formação Mauriti: arenitos quartzosos, grossos a médios, mal selecionados e contendo camadas conglomeráticas, com seixos de até 3 cm de quartzo. A estratificação cruzada de pequeno a médio porte é comum e os arenitos apresentam-se compactos e silicificados. Espessura média: 80 metros.

De modo geral, as formações Exu, Arajara, Rio da Batateira, Abaiara, Missão Velha e Mauriti são definidas como unidades aquíferas da região, enquanto as formações Santana e Brejo Santo se comportam predominantemente como unidades confinantes, com baixos valores de condutividade hidráulica, característicos de aquíferos e aquícluses. DNPM (1996) elaborou um importante estudo hidrogeológico com abrangência regional na Bacia Sedimentar do Araripe, em que é proposta a seguinte divisão hidrogeológica da bacia (Figura 2):

- Sistema Aquífero Superior (formações Exu e Arajara): ± 320 m de espessura;
- Aquícluse Santana: ± 180 m de espessura;
- Sistema Aquífero Médio (formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha): ± 500 m de espessura;
- Aquícluse Brejo Santo: ± 400 m de espessura; e,

- Sistema Aquífero Inferior (formação Mauriti e parte basal da formação Brejo Santo): \pm 60 a 100 m de espessura.



(FONTE: DNPM, 1996.)

Figura 2 - Representação esquemática das unidades hidroestratigráficas da Bacia do Araripe.

Fluxo de água subterrânea

A seguir será feita uma descrição do escoamento das águas subterrâneas em cada um dos principais sistemas aquíferos localizados dentro da área de estudo.

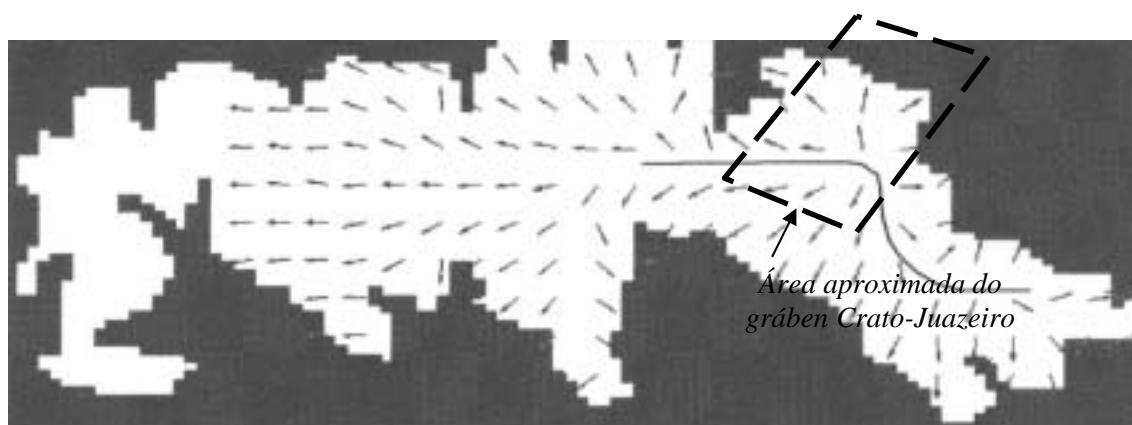
Sistema Aquífero Superior

A realização de uma análise potenciométrica no Sistema Aquífero Superior é prejudicada pela escassez de medições de nível d'água em campo, uma vez que são muito poucos os poços instalados na Chapada do Araripe. No entanto, a água infiltrada no topo da chapada desce por gravidade até atingir o nível de saturação, passando a circular sub-horizontalmente no sentido dos exutórios naturais (sentido geral NE).

Devido à ausência de dados piezométricos, não é possível avaliar o gradiente hidráulico nesse sistema. Contudo, segundo DNPM (1996), o escoamento ocorre por gradientes provavelmente muito baixos, em virtude da semi-horizontalidade do relevo e estruturas geológicas. As estruturas

principais, com suave mergulho para norte ou nordeste, é que determinam o sentido do fluxo subterrâneo da água preferencialmente em direção ao vale do Cariri, no estado do Ceará.

Mendonça (2001) propõe um modelo de circulação das águas na Chapada do Araripe. A partir de estudos isotópicos nas águas subterrâneas e de modelos numéricos, identifica a falha de Jardim como divisor de águas para o fluxo no Sistema Aquífero Superior (Figura 3). Esta falha apresenta-se linearmente como uma calha sobre a chapada com extensão de 34 km que acompanha o limite dos estados do Ceará e Pernambuco. Na porção oriental da chapada, onde se localiza a área deste estudo, as águas escoam no sentido da Depressão Sertaneja com gradiente hidráulico de 0,7 %.



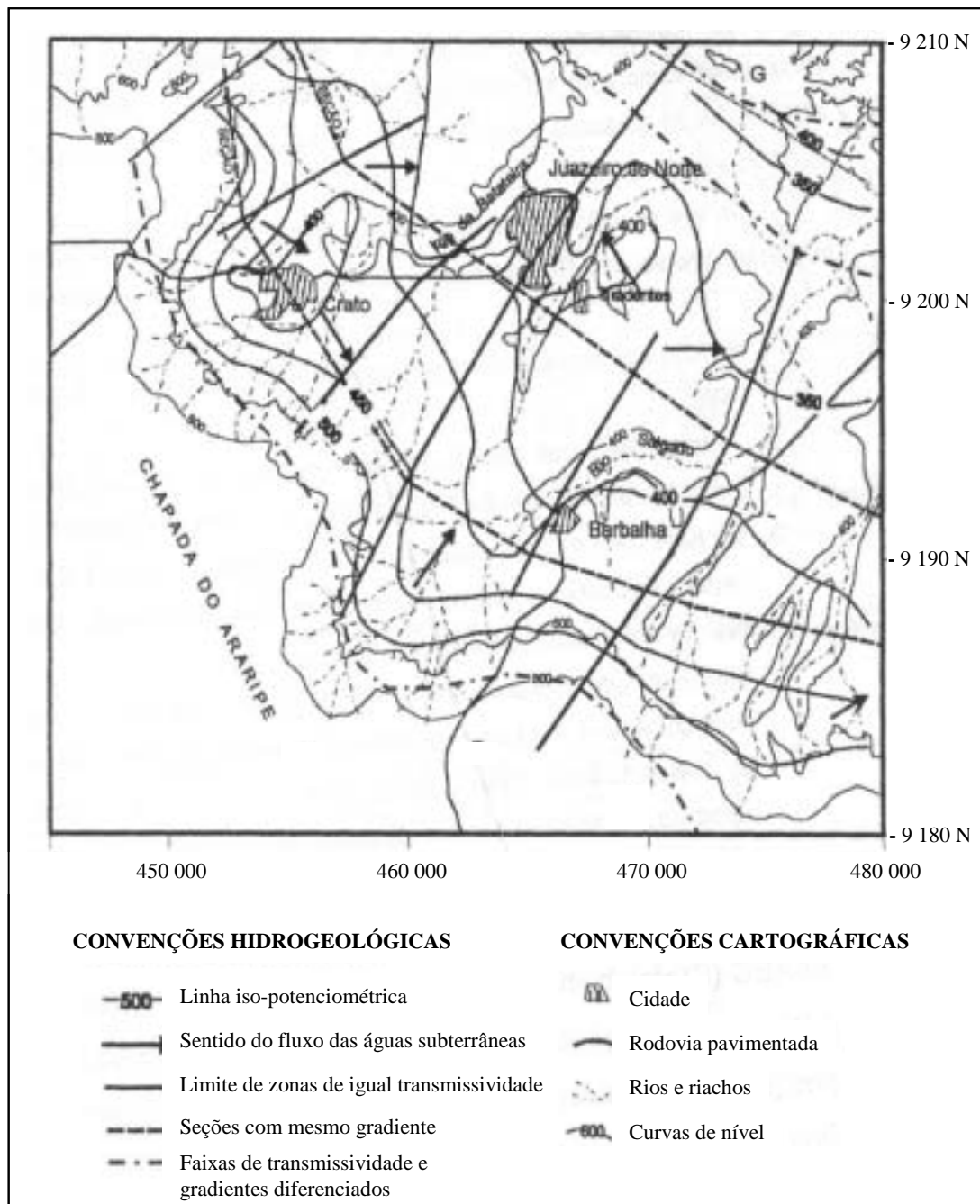
FONTE: Mendonça, 2001.

Figura 3 - Estimativa do escoamento da água subterrânea em toda a Chapada do Araripe.

Sistema Aquífero Médio

Pode-se subdividir este sistema em duas grandes porções: a porção localizada na depressão sertaneja, onde o aquífero é livre, e a porção localizada sob a Chapada do Araripe, onde o sistema tem sido interpretado como confinado.

Na depressão sertaneja, o fluxo das águas subterrâneas ocorre preferencialmente de S/SW para N/NE tendo, como descarga, o rio Salgado e seus principais afluentes (rio da Batateira, rio Carás e rio Salamanca). Nas proximidades da cidade de Crato, ocorre um rebaixamento do nível estático provavelmente provocado pela elevada concentração de poços tubulares para o abastecimento de água. Tais observações são verificadas pelo estudo regional realizado por DNPM (1996), em que foi elaborado um mapa iso-piezométrico para a bacia sedimentar do Araripe a partir dos dados de 807 poços cadastrados na região. A Figura 4 apresenta o mapa potenciométrico do Aquífero Médio, na depressão sertaneja incluída na região de interesse deste estudo.



FONTE: Anjos (2000, modificado de DNPM, 1996).

Figura 4 – Mapa potenciométrico do Aquífero Médio na depressão sertaneja.

Sistema Aquífero Inferior

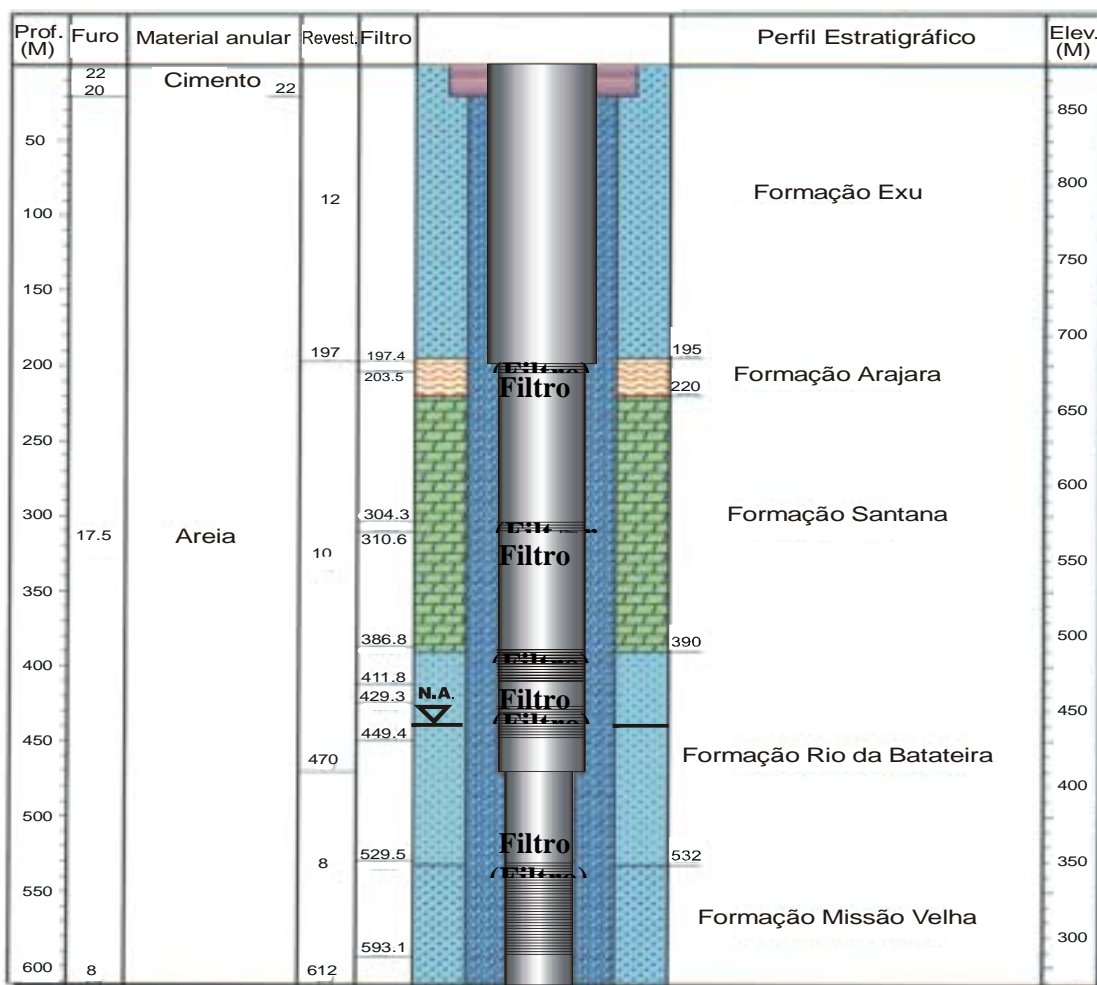
As formações Mauriti e Brejo Santo afloram na parte norte do gráben Crato-Juazeiro. Nessa região, o sentido do fluxo é de norte para sul, tendo como ponto de descarga o rio Carás.

CONEXÃO ENTRE OS SISTEMAS AQUÍFEROS SUPERIOR E MÉDIO

No estudo de DNPM (1996), considera-se que a fm. Santana é praticamente impermeável, impossibilitando portanto a conexão hidráulica entre os Sistemas Aquíferos Superior e Médio. Estudos isotópicos, hidroquímicos e de modelagem matemática realizados pela Universidade Federal do Ceará (Santiago et al., 1988; Mendonça, 2001), contudo, indicam que há percolação de água do Sistema Aquífero Superior através do aquícluído Santana, atuando como recarga no Sistema Aquífero Médio. A importância desta contribuição, no entanto, é controversa entre os hidrogeólogos.

Para a porção do Sistema Aquífero Médio localizada sob a Chapada do Araripe, não há dados piezométricos suficientes para elaborar um mapa potenciométrico. Há somente um poço profundo instalado no topo da chapada, doravante denominado de poço Serra de Santo Antônio. Segundo o perfil construtivo da empresa Constroli (Constroli, 2000), esquematizado na Figura 5, este poço possui profundidade total de 612 m e é penetrante cerca de 200 m no Sistema Aquífero Médio.

Os dados do poço Serra de Santo Antônio são importantes porque permitem inferir que os Sistemas Aquíferos Superior e Médio não formam um sistema hidráulico contínuo, havendo uma zona não saturada entre eles. Segundo as informações do perfil construtivo e geológico deste poço (Anexo A), os filtros estão instalados dentro do aquícluído da formação Santana e dos aquíferos das formações Arajara, Rio da Batateira e Missão Velha. Caso houvesse continuidade hidráulica entre os dois sistemas aquíferos, e o sistema médio estivesse sob confinamento, as cargas hidráulicas nas formações Rio da Batateira e Missão Velha estariam acima do topo da formação Rio da Batateira. Por estar situado em uma zona de recarga, admite-se que as cargas hidráulicas no aquífero superior e na formação Santana seriam maiores do que no aquífero médio. Conseqüentemente, o nível estático medido no poço estaria necessariamente acima da cota 490m, onde se localiza a interface das formações Santana e Rio da Batateira. Contudo, o nível estático registrado encontra-se na cota 440m, dentro da formação Rio da Batateira, indicando que a parte superior deste aquífero não se encontra saturada, e que o Sistema Aquífero Médio também se comporta como um aquífero livre nesta porção. Nesse caso, pode haver drenança entre os dois sistemas aquíferos Médio e Superior através da formação Santana, porém esta taxa de recarga é menor do que a velocidade de escoamento, e portanto não é suficiente para saturar o Sistema Aquífero Médio. A Figura 5 ilustra a situação do poço descrita acima.



ADAPTADO de Constrolí (2000) – Perfil Construtivo e Geológico do Poço Serra de Santo Antônio

Figura 5 - Perfil esquemático do poço Serra de Santo Antônio.

Além desta evidência, Kimura (2003) elaborou um modelo hidrogeológico computacional do gráben Crato-Juazeiro, com o auxílio da ferramenta Visual Modflow. Nas fases preliminares do modelamento, houve uma tentativa de simular o comportamento de todos os três sistemas aquíferos da Bacia do Araripe, incorporando-se também as topografias da chapada do Araripe e da depressão sertaneja. Como resultado, utilizando uma condutividade hidráulica de $1,0 \times 10^{-10}$ m/s para a formação Santana, a partir de dados de literatura, verificou que as células abaixo da formação Santana secavam, resultando em uma superfície freática dentro do Sistema Aquífero Médio na porção sob a chapada do Araripe, contínua à superfície piezométrica na sua porção aflorante na depressão sertaneja. Como a ferramenta não é capaz de resolver numericamente este tipo de sistema, com duas superfícies piezométricas distintas, foi realizado o modelamento do sistema apenas para os Sistemas Aquíferos Médio e Inferior.

CONCLUSÕES

O Sistema Aquífero Médio pode ser subdividido em duas grandes porções: a porção localizada na depressão sertaneja, e a porção localizada sob a Chapada do Araripe.

Na porção do Sistema Aquífero Médio localizada na depressão sertaneja, o aquífero é livre e o fluxo das águas subterrâneas ocorre preferencialmente de S/SW para N/NE, tendo como descarga o rio Salgado e seus principais afluentes.

Neste estudo, propõe-se que a porção do Sistema Aquífero Médio localizada sob a Chapada do Araripe, que vinha sendo interpretado como confinado, também pode se comportar como um aquífero livre, ou seja, os Sistemas Aquíferos Superior e Médio não formam um sistema hidráulico contínuo, havendo uma zona não saturada entre eles. Neste caso, pode haver drenança entre os dois Sistemas Aquíferos Médio e Superior através da formação Santana, porém esta taxa de recarga é menor do que a velocidade de escoamento, e portanto não é suficiente para saturar o Sistema Aquífero Médio. O Sistema Aquífero Superior se comportaria, assim, como um aquífero livre suspenso.

Ressalta-se, contudo que esta conclusão é baseada em dados limitados de campo, e portanto recomenda-se a realização de outros trabalhos de interesse tais como a determinação das taxas de recarga nos diversos sistemas aquíferos e a melhor caracterização do comportamento das águas subterrâneas entre os Sistemas Aquíferos Superior e Médio através de métodos diretos e indiretos, a fim de avaliar o modelo conceitual proposto neste estudo, de que não há continuidade hidráulica entre estes dois sistemas na Chapada do Araripe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANJOS, N. F. R. *Novos elementos sobre hidrogeologia do Alto Jaguaribe - Ceará*. Recife: SUDENE, 1963. 19 p. (Série Hidrogeologia n.º. 1).
- [2] ANJOS, F. T. dos. Estudo hidrogeológico do aquífero Rio da Batateira e caracterização da possibilidade de abastecimento d'água nos municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha no ano 2020. 2000. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Tecnologia, Universidade de Pernambuco, Recife.
- [3] CAGECE/PLANAT. Captação de Juazeiro do Norte: Estudo Geofísico por eletrorresistividade. 1984. 153 p. (Relatório técnico).
- [4] CONSTROLI. Relatório Final de construção do poço Serra de Santo Antônio – Exu/PE. 2000.
- [5] CRUZ, W. B. & FRANÇA, H. P. M. *Inventário hidrogeológico básico do Nordeste, Folha 14 – Jaguaribe SO*. Recife: SUDENE/DRN, 1970. 22 p. (Série Hidrogeologia n.º.31).
- [6] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. *Programa nacional de estudos dos distritos mineiros: Projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe*.

Recife: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), distritos regionais Pernambuco e Ceará, 1996. 101 p.

- [7] FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F. & BRASIL, R. Aspectos hídricos do Cariri. In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, 1990, Crato. *Atas...* Crato: DNPM/SBP/SBG, 1990. p. 99-110.
- [8] GASPARY, J. & ANJOS, N. F. R. *Estudo Hidrogeológico de Juazeiro do Norte - Ceará*. Recife: SUDENE, 1964. 25 p. (Série Hidrogeologia n.º 3).
- [9] GASPARY, J.; REBOUÇAS, A.C.; ANJOS, N. F. R. & LEAL, O. *Estudo Hidrogeológico de Missão Velha - Ceará*. Recife: SUDENE, 1965. 18 p.
- [10] GOLDBER/PIVOT. Projeto Implantação do Sistema de Monitoramento/Gestão de uma Área Piloto do Aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri. Belo Horizonte, 2001. 2 v. Relatório Específico – Fase I dos Serviços.
- [11] KIMURA, G. *Caracterização Hidrogeológica do Sistema Sedimentar do Gráben Crato-Juazeiro, no Vale do Cariri (CE)*. 2003. 108 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- [12] LEITE, J. C. B.; SANTIAGO, M. F.; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H. & SILVA, C. M. V. Diferenciação hidroquímica e isotópica dos aquíferos Missão Velha e Mauriti. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 9, 1996, Salvador. *Anais...* Salvador: ABAS, 1996. p.78-80.
- [13] LEITE, J. C.; SANTIAGO, M. F.; SILVA, C. V. S.; FRISCHKORN, H. & MENDES FILHO, J. Processos de salinização nos sistemas aquíferos médio e inferior do Vale do Cariri. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória. *Anais...* Vitória: ABRH, 1997. p. 469-474.
- [14] MARINHO, J. M.; CORDEIRO, W.; VASCONCELOS, S.M. S. & SOUZA, M. L. Estudos hidro-estratigráficos da Bacia do Araripe, Ceará, utilizando eletrorresistividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12, 2002, Fortaleza. *Anais...* 1 CD ROM.
- [15] MARQUES, A.A.; MACEDO, I.P.; MARINHO, J.M.L. & OLIVEIRA, R.R. de. Eletrorresistividade aplicada à prospecção de água subterrânea na Chapada do Araripe-Ce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 3, 1984, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ABAS, 1984. p. 269-284.
- [16] MENDONÇA, L. A. R. M. *Modelagem matemática, química e isotópica de uma bateria de poços na cidade de Juazeiro do Norte – Ceará*. 1996. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

- [17] MENDONÇA, L. A. R. M. *Recursos Hídricos da Chapada da Araripe*. 2001. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- [18] MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. F. & MENDES FILHO, J. 1999. Hidroquímica das águas da Chapada do Araripe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13, 1999, Belo Horizonte. *Anais...*Belo Horizonte:ABRH, 1999.
- [19] PONTE, F. C. & APPI, C. J. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. *Anais...* Natal: SBG, 1990. p. 211-226.
- [20] PONTE, F.C. & PONTE-FILHO, F. C. *Estrutura Geológica e Evolução Tectônica da Bacia do Araripe*. Recife: DNPM, 1996. 68 p.
- [21] SANTIAGO, M. F.; SILVA, C. M. S. V.; MENDES FILHO, J. & FRISCHKORN, H. Characterization of groundwater in the Cariri (Ceará, Brazil) by environmental isotopes and electric conductivity. *Radiocarbon*, Arizona, v.39, 1, p. 49 – 59, 1997.
- [22] SILVA, C. M. S. V. *Estudo da dinâmica da água subterrânea no Cariri com base em dados de trítio*. 1992. 105 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- [23] SILVA, C. M. S. V. *Modelo fenomenológico para a circulação de água na bacia sedimentar do Cariri com base em isótopos e hidroquímica*. 1996. 162 f. Tese (Doutorado em Física) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- [24] SILVA, C. M. V.; SANTIAGO, M. F; FRISCHKORN, H. & MENDES FILHO, J. Distinção entre águas dos aluviões e águas profundas nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte - CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 9, 1996, Salvador. *Anais...*Salvador:ABAS, 1996. p. 75–77.
- [25] SMALL, H. L. *Geologia e Suprimento de Água Subterrânea no Piauí e Parte do Ceará*. Recife: Inspetoria de Obras Contra Secas, 1913. 80 p. (Publicação 25).
- [26] STUDART, T. M. C. *Variações sazonais das vazões de fontes da Chapada do Araripe*. 1991. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- [27] SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. *Estudo geral de base do Vale do Jaguaribe*. Recife: 1967. 245 p. (Hidrogeologia, v.7).