

RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS DO GRÁBEN CRATO-JUAZEIRO (CE)

Gisele Kimura¹ & Celso de Oliveira Loureiro²

Resumo – Apresentou-se neste estudo uma quantificação das reservas hídricas subterrâneas existentes em uma área localizada na parte nordeste da bacia sedimentar da Chapada do Araripe, mais especificamente na região caracterizada pelo gráben Crato-Juazeiro, na sub-bacia do Cariri, sul do estado do Ceará. Foi elaborado um modelo conceitual da hidrogeologia local, com a caracterização do fluxo das águas subterrâneas, a determinação do respectivo balanço hídrico e a avaliação das potencialidades hídricas subterrâneas do local. Através do balanço hídrico, foram quantificadas as reservas renováveis dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior, em $5,4 \times 10^7$ m³/ano e $4,8 \times 10^6$ m³/ano, respectivamente. Atualmente, são explorados, através de poços tubulares instalados na região, cerca de $4,0 \times 10^7$ m³/ano e $8,4 \times 10^5$ m³/ano desses sistemas aquíferos, respectivamente. Considerando-se que toda a reserva renovável possa ser explorável, restariam ainda cerca de $1,3 \times 10^7$ m³/ano e $4,0 \times 10^6$ m³/ano, dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior, respectivamente, a serem explorados.

Abstract - This study presented a quantification of the groundwater resources in an area located at the northeast side of the Chapada do Araripe sedimentary basin, more specifically at the region characterized by the Crato-Juazeiro graben, Cariri sub-basin, south of the state of Ceara. A conceptual model of the local hydrogeology was developed in order to characterize the groundwater flow system, to elaborate a groundwater budget and to provide a preliminary evaluation of the potential groundwater resources. Based on the hydrologic budget, the renewable resources were quantified, for both the Medium and Inferior aquifer systems, as $5,4 \times 10^7$ m³/year and $4,8 \times 10^6$ m³/year, respectively. Nowadays, production wells in the area extract about $4,0 \times 10^7$ m³/year and $8,4 \times 10^5$ m³/year of those aquifer systems, respectively. Considering that all renewable resources can be exploited, there would still remain about $1,3 \times 10^7$ m³/year and $4,0 \times 10^6$ m³/year, of the Médio and Inferior aquifer systems, to be explored, respectively.

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 (31) 3238 1884. Fax.: (31) 3238-1879. E-mail: celso@desa.ufmg.br

Palavras-Chave – potencialidade; Cariri; Araripe.

INTRODUÇÃO

A região do Cariri, de grande importância sócio-econômica e cultural no estado do Ceará, tem como praticamente única fonte de abastecimento de água os recursos hídricos subterrâneos. O conhecimento da hidrogeologia local é, portanto, imprescindível para garantir a oferta de água para as necessidades atuais, sem comprometer o abastecimento no futuro.

Este estudo apresenta uma quantificação das reservas hídricas subterrâneas para o gráben Crato-Juazeiro, na sub-bacia do Cariri, a fim de fornecer subsídios técnicos para o gerenciamento dos recursos hídricos da região. Para tanto, foi elaborado um modelo conceitual da hidrogeologia local, com a caracterização do fluxo das águas subterrâneas, determinação do balanço hídrico e a avaliação das potencialidades hídricas subterrâneas do local.

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).

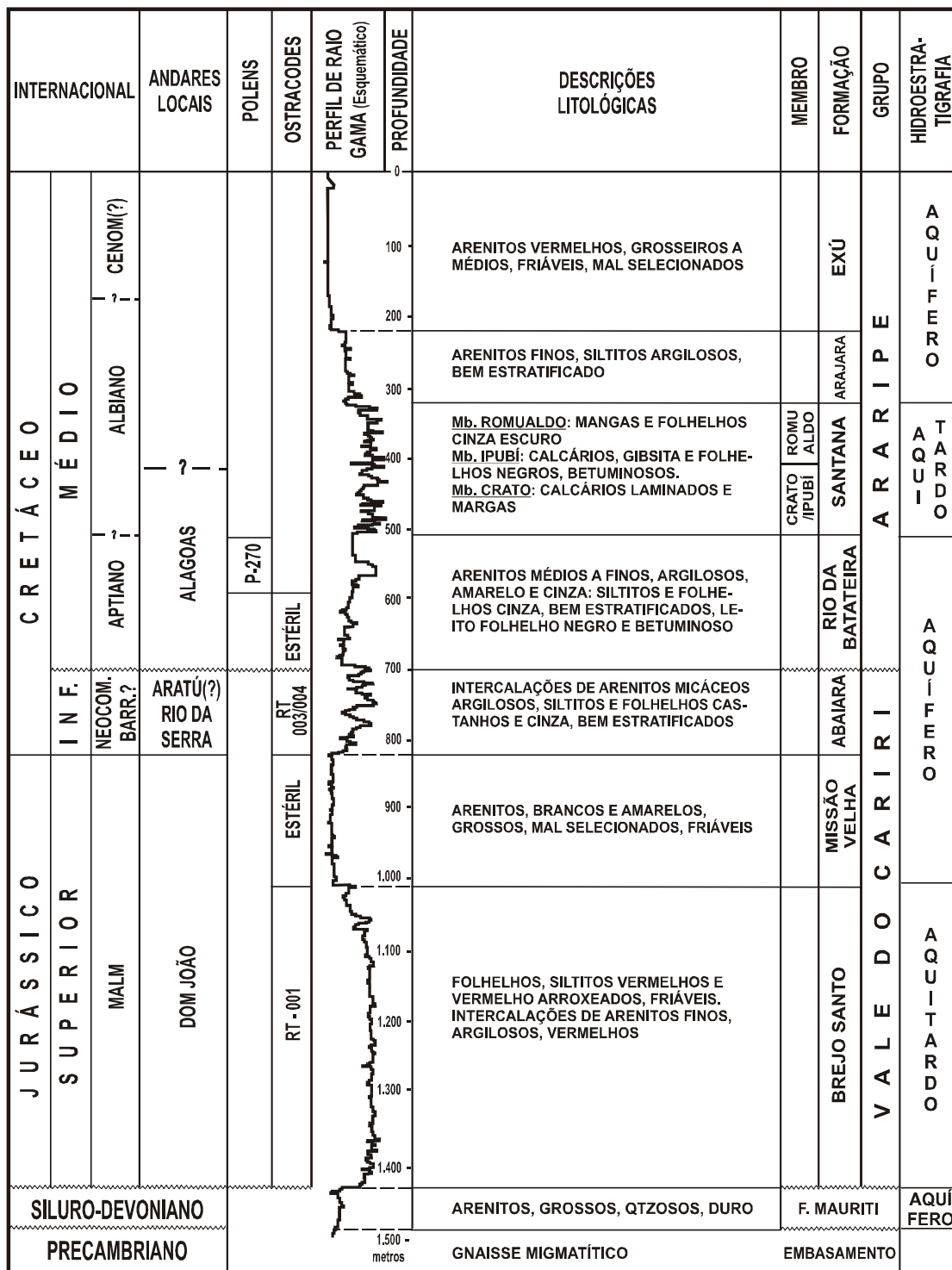
A seleção desta área para a realização da pesquisa foi feita devido à sua importância hidrogeológica na região do Cariri. Estudos da compartimentação tectônica regional (Ponte & Ponte-Filho, 1996) indicam que nesta área ocorrem as espessuras sedimentares mais significativas na sub-bacia do Cariri e, portanto, é nela que estão as ocorrências mais significativas dos aquíferos na Bacia Sedimentar do Araripe.

ESTRATIGRAFIA

O gráben Crato-Juazeiro está inserido na bacia sedimentar do Araripe, situada na região fronteira dos estados do Ceará, Pernambuco, Piauí e Paraíba. O embasamento cristalino pré-cambriano é representado por unidades litoestratigráficas do Arqueano ao Proterozóico Superior.

Nesse trabalho, será adotada a divisão estratigráfica proposta por Ponte & Appi (1990), ilustrada na Figura 1, a qual considera a coluna sedimentar da bacia do Araripe constituída por três

seções distintas, limitadas por discordâncias angulares de extensão regional e denominadas, da base para o topo, de: 1) Formação Mauriti; 2) Grupo Vale do Cariri, e 3) Grupo Araripe.



FONTE: Ponte & Appi, 1990.

Figura 1 - Coluna litoestratigráfica da bacia do Araripe com caracterizações hidroestratigráficas.

HIDROGEOLOGIA DA BACIA DO ARARIPE

Os depósitos sedimentares da bacia sedimentar do Araripe podem ser representados por unidades hidroestratigráficas diferenciadas com base nas suas propriedades hidráulicas.

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 aquícludes e aquícludes. Um importante estudo hidrogeológico com abrangência regional na Bacia Sedimentar do Araripe foi realizado pelo DNPM (1996), propondo a seguinte divisão hidrogeológica da bacia :

- Sistema Aquífero Superior (formações Exu e Arajara): ± 320 m de espessura;
- Aquíclude Santana: ± 180 m de espessura;
- Sistema Aquífero Médio (formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha): ± 500 m de espessura;
- Aquíclude Brejo Santo: ± 400 m de espessura; e,
- Sistema Aquífero Inferior (formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo): ± 60 a 100 m de espessura.

BALANÇO HÍDRICO DA ÁREA

O balanço hídrico da área foi realizado a partir da análise quantitativa da recarga e descarga nos sistemas de fluxo existentes. A Figura 2 apresenta os principais componentes envolvidos no balanço hídrico de cada um dos principais sistemas aquíferos existentes no gráben Crato-Juazeiro, descritos a seguir.

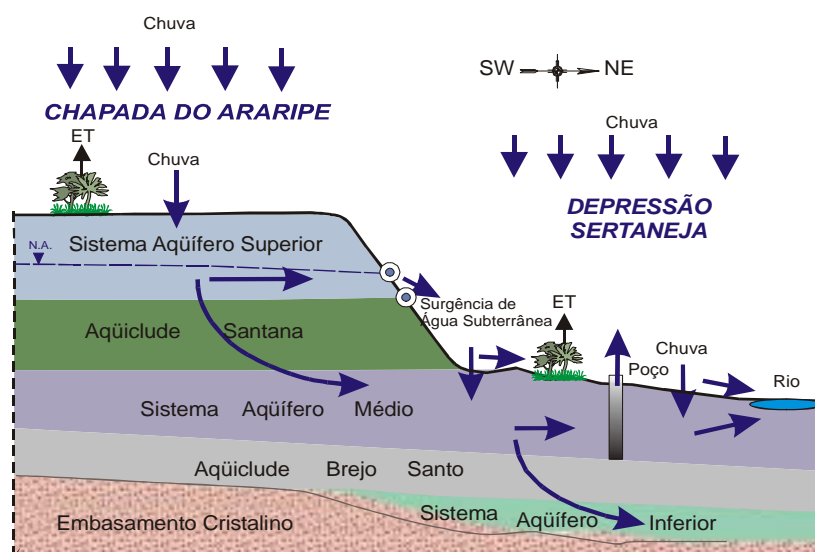


Figura 2 - Esquema do balanço hídrico na bacia do Araripe.

Balanço hídrico no Sistema Aquífero Superior

A recarga no topo da Chapada do Araripe ocorre através da infiltração na fm. Exu. A maior parte da água que infiltra na chapada escoar sob a forma de fontes ou exutórios naturais nos contatos entre as formações Exu/Arajara e Arajara/Santana. A perda de água por escoamento superficial no topo da Chapada é praticamente desprezível. Estudos isotópicos, hidroquímicos e de modelagem matemática realizados pela Universidade Federal do Ceará (Santiago et al., 1988; Mendonça, 2001) indicam que há percolação de água do Aquífero Superior através do aquícluído Santana, atuando como recarga no Sistema Aquífero Médio. Neste estudo, admite-se também que uma pequena parcela de água percola através da fm. Santana, recarregando a Ffm. Rio da Batateira (Sistema Aquífero Médio).

A água das fontes que provém do Sistema Aquífero Superior aflora nos taludes da Chapada do Araripe e se subdivide em três parcelas principais: a primeira, que escoar superficialmente e que acaba retornando ao aquífero através de infiltração nos leitos de drenagem; a segunda, que escoar superficialmente alimentando os principais rios da região; e a terceira, que é captada por diversos usuários no Vale do Cariri.

Balanço hídrico no Sistema Aquífero Médio

A recarga das formações do Sistema Aquífero Médio ocorre através dos seguintes componentes: 1) percolação de água do Sistema Aquífero Superior através da formação Santana; 2) infiltração direta a partir das chuvas, e; 3) infiltração de parte das águas das fontes. Para este sistema aquífero, a descarga natural ocorre através do escoamento de base para o rio Salgado e seus afluentes. A descarga artificial ocorre principalmente através de poços tubulares, que fornecem a quase totalidade de água para consumo na região.

Balanço hídrico no Sistema Aquífero Inferior

Nos locais onde o Sistema Aquífero Inferior é aflorante (porções restritas na porção norte do gráben Crato-Juazeiro), sua recarga é realizada através de infiltração direta das águas pluviais. Nas demais localidades, este sistema é alimentado por drenança dos aquíferos subjacentes.

A descarga natural deste sistema ocorre através do rio Carás e a descarga artificial, através do bombeamento de poços tubulares.

A quantificação de cada um dos componentes descritos será feita a seguir, a partir dos dados existentes na literatura.

Recarga Hidrogeológica

A recarga hidrogeológica corresponde à parcela de água precipitada que não esco superficialmente nem é evapotranspirada. É a parcela que infiltra no solo e que efetivamente alimenta os aquíferos. As recargas na região até o presente não foram determinadas através de medições diretas das taxas de infiltração. No entanto, alguns estudos estimam que a recarga na Chapada do Araripe (Sistema Aquífero Superior) seja de aproximadamente 40 mm/ano (DNPM, 1996 e Mendonça, 2001). Considerando este valor médio e uma área de recarga de 537.357.988 m², a recarga anual neste sistema aquífero seria de 2,1×10⁷ m³/ano.

A parcela de recarga do Sistema Aquífero Médio que corresponde à infiltração de água através da formação Santana não é conhecida. Contudo, utilizando o valor de condutividade hidráulica média estimada para esta formação, de 1,0×10⁻¹⁰ m/s (Mendonça, 2001), e convertendo-o para a unidade correspondente de recarga (mm/ano), obtém-se uma taxa de recarga equivalente a 3,15 mm/ano. Considerando esta taxa e uma área de 641 km² para infiltração através da formação Santana, o total infiltrado no aquífero médio por esta parcela seria de 2,0×10⁶ m³/ano.

Na área da depressão sertaneja localizada na região de interesse deste estudo (Crato - Missão Velha), DNPM (1996) quantificou a recarga do sistema aquífero médio em 103,2 mm/ano através do cálculo da vazão de escoamento natural. Anjos (2000), através deste mesmo método de cálculo, obteve uma taxa de recarga de 148,2 mm/ano na área do gráben Crato-Juazeiro. A partir da avaliação do balanço hídrico total da área, também verificou-se que a taxa de 148 mm/ano é a recarga que resulta em um estado de equilíbrio estacionário para este sistema aquífero, confirmando o valor obtido por Anjos (2000). Utilizando este valor, o volume infiltrado na área do Sistema Aquífero Médio (355 km²) equivaleria a 5,3×10⁷ m³/ano.

Para quantificar a recarga no Sistema Aquífero Médio que ocorre através da infiltração da água dos exutórios naturais, utilizou-se a mesma porcentagem de infiltração das águas de chuva na depressão sertaneja, de 13,7%. Aplicando-se esta taxa à vazão total das fontes na área do gráben Crato-Juazeiro, que é de 19.850.160 m³/ano (DNPM, 1996), obtém-se o valor de 2,7×10⁶ m³/ano.

Uma estimativa de recarga realizada por DNPM (1996) indicou uma taxa de infiltração de 44,15 mm/ano no Sistema Aquífero Inferior, equivalente a um volume infiltrado de 4,8×10⁶ m³/ano para a área onde o aquífero é livre, de 106 km². Contudo, a partir da avaliação do balanço hídrico total, verifica-se que seria necessária uma recarga de 56 mm/ano para que o aquífero estivesse em equilíbrio. Considerando essa taxa, o volume infiltrado seria de 6,0×10⁶ m³/ano.

Descarga

No Sistema Aquífero Superior, a perda de água por escoamento superficial é praticamente desprezível. A descarga ocorre através das fontes ou exutórios naturais e da infiltração através da

formação Santana. Um cadastramento de fontes realizado por DNPM (1996) mostra que na área considerada do gráben Crato-Juazeiro, a vazão total das fontes identificadas é de 19.850.160 m³/ano. Considerando um valor de condutividade hidráulica médio de 1,0×10⁻¹⁰ m/s para a formação Santana (SUDENE, 1967), e uma área de 641 km² para infiltração através desta formação, a parcela da descarga infiltrada seria de 2,0×10⁶ m³/ano.

A descarga natural do Sistema Aquífero Médio ocorre através do escoamento de base para o rio Salgado e seus afluentes. A descarga artificial ocorre principalmente através de poços tubulares, que fornecem a quase totalidade de água para consumo na região.

A descarga natural do Sistema Aquífero Médio no gráben Crato-Juazeiro foi obtida a partir da separação do escoamento de base no hidrograma da Estação Lapinha (Kimura, 2003). A partir dos resultados obtidos para esta estação, foram extrapolados os valores de escoamento de base para a área correspondente ao gráben Crato-Juazeiro e calculada a respectiva parcela correspondente ao Sistema Aquífero Médio, de 1,7×10⁷ m³/ano.

Para quantificar a descarga artificial do Sistema Aquífero Médio, utilizaram-se os dados de um cadastramento de poços tubulares realizado por DNPM (1996). Do total de poços cadastrados, 346 localizam-se nesse sistema aquífero dentro do gráben Crato-Juazeiro. Computando apenas os poços em funcionamento (290), admitiu-se um regime de funcionamento de 20 horas/dia para poços públicos e 2 horas/dia para poços privados e extrapolaram-se as vazões anuais para o período de 1985 a 1998 (mesmo período de observação dos dados fluviométricos), considerando-se a taxa de crescimento de demanda de água de 1,77%/ano³. Obteve-se, assim, um valor médio total de 4,0×10⁷ m³/ano para a descarga artificial desse sistema.

A descarga natural do Sistema Aquífero Inferior ocorre através do rio Carás. Seu cálculo foi realizado de forma análoga à descarga natural do Sistema Aquífero Médio, e equivale a 5,2×10⁶ m³/ano.

A descarga artificial do Sistema Aquífero Inferior, através do bombeamento de poços tubulares cadastrados no gráben Crato-Juazeiro, foi quantificada pelo mesmo procedimento utilizado no cálculo da descarga artificial do Sistema Aquífero Médio. Para os 23 poços em funcionamento nesse sistema, obteve-se um valor médio total de 8,4×10⁵ m³/ano para a descarga artificial desse sistema.

A Tabela 1 apresenta um resumo do balanço hídrico da área, com todos os componentes de recarga e descarga considerados.

³ <http://www.ibge.gov.br> . Média das taxas de crescimento populacional dos municípios de Crato Juazeiro do Norte e Barbalha entre 1980 e 1996.

Tabela 1 - Balanço hídrico do sistema hidrogeológico do gráben Crato-Juazeiro.

| Sistema Aquífero | Recarga (m³/ano) | | Descarga (m³/ano) | |
|---------------------------|--|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Sistema Aquífero Superior | Infiltração | 2,1 x 10 ⁷ | Escoamento superficial | 0 |
| | | | Exutórios naturais | 2,0 x 10 ⁷ |
| | | | Infiltração | 2,0 x 10 ⁶ |
| Total parcial | 2,1 x 10 ⁷ | | 2,2 x 10 ⁷ | |
| Sistema Aquífero Médio | Infiltração da chuva no vale | 5,3 x 10 ⁷ | Bombeamento de poços | 4,0 x 10 ⁷ |
| | Infiltração através da Fm Santana na chapada | 2,0 x 10 ⁶ | Descarga natural nos rios | 1,7 x 10 ⁷ |
| | Infiltração das fontes | 2,7 x 10 ⁶ | | |
| Total parcial | 5,8 x 10 ⁷ | | 5,7 x 10 ⁷ | |
| Sistema Aquífero Inferior | Infiltração direta da chuva | 6,0 x 10 ⁶ | Bombeamento de poços | 8,4 x 10 ⁵ |
| | | | Descarga natural nos rios | 5,2 x 10 ⁶ |
| Total parcial | 6,0 x 10 ⁶ | | 6,0 x 10 ⁶ | |
| Total geral | 8,5 x 10 ⁷ | | 8,5 x 10 ⁷ | |

RESEVAS EXPLOTÁVEIS

As reservas explotáveis constituem a quantidade máxima de água que poderia ser explotada de um aquífero, sem riscos de prejuízo ao manancial. O conceito de reservas explotáveis é relativamente controvertido, uma vez que há inúmeros fatores que atuam para acarretar ou minimizar os efeitos indesejáveis. Alguns autores consideram que os valores entendidos e adotados como reservas explotáveis não poderiam nunca exceder os valores efetivos das reservas renováveis. Outros consideram que as reservas explotáveis seriam constituídas pelas reservas reguladoras e uma parcela das reservas permanentes. Na verdade, a determinação das reservas explotáveis de um aquífero deve levar em consideração a sua realidade única, dentro de um contexto não apenas físico, mas também sócio-econômico. A gestão dos recursos hídricos deve satisfazer a um conjunto de objetivos associados aos diversos usos da água, envolvendo uma análise dos custos e benefícios, presentes e futuros, da sua utilização.

Neste estudo, considera-se como reserva explotável como sendo a reserva reguladora ou renovável, ou seja, a quantidade de água correspondente à recarga anual do aquífero. Devido às condições climáticas e fisiográficas da região, considera-se que a explotação da reserva permanente poderia provocar o rebaixamento do lençol freático, levando a alguns efeitos indesejáveis tais como danos à vegetação natural ou inutilização de alguns poços já existentes. Ainda que se considere que a explotação das reservas permanentes pode, em muitos casos, induzir a um aumento da recarga através do escoamento de águas das áreas vizinhas, este efeito teria menor intensidade no gráben

Crato-Juazeiro, uma vez que este se encontra quase totalmente circundado por rochas do embasamento cristalino com limitada transmissividade.

As reservas renováveis dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior foram quantificadas em $5,8 \times 10^7$ m³/ano e $6,0 \times 10^6$ m³/ano, respectivamente. Atualmente, são explorados através de poços tubulares na região $4,0 \times 10^7$ m³/ano e $8,4 \times 10^5$ m³/ano dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior, respectivamente. A diferença do volume de água entre a recarga e a parcela explorada esco superficialmente através do sistema de drenagem representado pelos córregos e ribeirões da área. Considerando-se que toda reserva renovável seja explotável, restariam ainda $1,8 \times 10^7$ m³/ano e $5,2 \times 10^6$ m³/ano dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior, respectivamente, a serem explorados. Isto poderia implicar, no entanto, em diminuição da vazão dos rios, e possíveis prejuízos para o ecossistema da região e a jusante.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi apresentada uma quantificação das reservas hídricas subterrâneas para o gráben Crato-Juazeiro, na sub-bacia do Cariri, a fim de fornecer subsídios técnicos para o gerenciamento dos recursos hídricos da região. Para tanto, foi elaborado um modelo conceitual da hidrogeologia local, com a caracterização do fluxo das águas subterrâneas, determinação do balanço hídrico e a avaliação das potencialidades hídricas subterrâneas do local. Os resultados do balanço hídrico e das potencialidades hidrogeológicas são resumidos a seguir.

- Para o Sistema Aquífero Superior, a recarga pluvial de 40 mm/ano equivaleria a um volume infiltrado de $2,1 \times 10^7$ m³/ano. A descarga através de exutórios naturais e infiltrações para o aquífero médio corresponde a $2,0 \times 10^7$ m³/ano e $2,1 \times 10^6$ m³/ano, respectivamente, resultando em uma descarga total de $2,2 \times 10^7$ m³/ano.
- No Sistema Aquífero Médio, as recargas relativas à infiltração direta das chuvas (148 mm/ano), à infiltração de água através da formação Santana (3,15 mm/ano) e à infiltração das surgências seriam de $5,3 \times 10^7$ m³/ano, $2,0 \times 10^6$ m³/ano e $2,7 \times 10^6$ m³/ano, respectivamente, totalizando $5,8 \times 10^7$ m³/ano. As descargas ocorrem através de poços tubulares e do escoamento superficial, com valores respectivos de $4,0 \times 10^7$ m³/ano, $1,7 \times 10^7$ m³/ano, perfazendo um total de $5,7 \times 10^7$ m³/ano.
- O volume infiltrado no Sistema Aquífero Inferior, através da infiltração da chuva, é de $4,8 \times 10^6$ m³/ano, considerando uma taxa de recarga de 56 mm/ano. A descarga através de poços tubulares e do escoamento superficial corresponde a $8,4 \times 10^5$ m³/ano e $5,2 \times 10^6$ m³/ano, respectivamente, resultando em uma descarga total de $6,0 \times 10^6$ m³/ano.

• As reservas renováveis dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior são $5,8 \times 10^7$ m³/ano e $6,0 \times 10^6$ m³/ano, respectivamente. Atualmente, são explorados através de poços tubulares na região $4,0 \times 10^7$ m³/ano e $8,4 \times 10^5$ m³/ano dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior. A diferença do volume de água entre a recarga e a parcela explorada escoam superficialmente através dos corpos d'água. Considerando-se que toda reserva renovável pode ser explorável, restariam ainda $1,8 \times 10^7$ m³/ano e $5,2 \times 10^6$ m³/ano dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior, respectivamente, a serem explorados. Isto poderia implicar, no entanto, em diminuição da vazão dos rios, e possíveis prejuízos para o ecossistema da região e a jusante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 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 Federal de Pernambuco, Recife.
- [2] 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.
- [3] GOLDBERGER/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.
- [4] KIMURA, G. *Caracterização Hidrogeológica do Sistema Sedimentar do Gráben Crato-Juazeiro, no Vale do Cariri (CE)*. 2003. 108 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] PONTE, F.C. & PONTE-FILHO, F. C. *Estrutura Geológica e Evolução Tectônica da Bacia do Araripe*. Recife: DNPM, 1996. 68 p.

- [8] SANTIAGO, M. F.; FRISCHKORN, H.; BEZERRA A. & BRASIL, R. Medidas hidroquímicas em poços e fontes no Cariri - sul do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5, 1988, São Paulo. *Anais...*São Paulo: ABAS, 1988. p. 112 - 120.