

Estimativa da Reserva Renovável dos Sistemas Aquíferos da Porção Oriental da Bacia Sedimentar do Araripe

Sônia Maria Silva Vasconcelos¹, Zulene Almada Teixeira², José Alves Carneiro Neto²,
Renata Mendes Luna³

smaria@ufc.br, zulene.almada@cogerh.com.br, alves.neto@cogerh.com.br, renata.luna@ufc.br

Recebido: 19/04/11 – revisado: 21/07/11 – aceito: 30/11/12

RESUMO

A quantificação das reservas hídricas subterrâneas é de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos, em especial nas regiões semiáridas, onde as altas taxas de evaporação influenciam sobremaneira o armazenamento das águas superficiais. Na região do Cariri, sul do Estado do Ceará, localiza-se a maior reserva de águas subterrâneas deste Estado. A população desta área é, prioritariamente, abastecida por esse recurso. O trabalho tem como objetivo estimar as reservas subterrâneas renováveis que compreendem o sistema aquífero médio e inferior da porção oriental da Bacia Sedimentar do Araripe. Foram empregadas duas metodologias para avaliação das reservas renováveis: balanço hídrico, aplicando a fórmula de Thornthwaite e variações sazonais do nível potenciométrico de poços monitorados na área de estudo. A avaliação das reservas renováveis apresentou os valores $116,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ em 2008 e $38,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ em 2009 para uma disponibilidade média de recarga direta de precipitação de $95 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Palavras-Chave: Águas subterrâneas. Estimativa de reservas. Bacia Sedimentar do Araripe.

INTRODUÇÃO

A Bacia Sedimentar do Araripe está localizada na porção sul do estado do Ceará, com uma área de aproximadamente 11.000 km², constitui-se num divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe (CE), ao norte; do São Francisco (PE), ao sul e do Parnaíba (PI) a oeste.

Nesta região, a reserva hídrica subterrânea é a mais importante fonte de água potável para abastecimento público e privado, bem como para as diversas atividades de práticas agrícolas, industriais e de lazer, de uma população de cerca de 650.000 habitantes (COGERH, 2010).

Os volumes hídricos armazenados nos sistemas aquíferos representam as reservas, que podem ser classificadas como renováveis e não renováveis. Vários parâmetros influenciam o cálculo destas reservas de águas subterrâneas, tais como: precipitação pluviométrica, tipo de aquífero,

características dimensionais e hidrodinâmicas do meio. As reservas totais são obtidas pela somatória das reservas renováveis e permanentes.

As Reservas Renováveis (Rr) são representadas pelo volume hídrico armazenado entre os níveis de flutuação máximo e mínimo dos aquíferos livres (CAVALCANTE, 1998). Participam do ciclo hidrológico numa escala de tempo anual, interanual ou sazonal, estando, desta forma, em constante movimento.

Uma das formas de quantificação da Rr de uma bacia ou região hidrográfica é através do balanço hídrico do sistema aquífero, o qual tem sido utilizado para quantificar elementos não conhecidos da equação do balanço de massa, do ciclo hidrológico, no sistema considerado.

Nas regiões semi-áridas, a evapotranspiração potencial normalmente ultrapassa as taxas médias de precipitação que significa que apenas em situações favoráveis a água precipitada é suficiente para a recarga (KUNZLER, 2007). A realimentação dos sistemas é irregular e a observação dos processos dinâmicos nos aquíferos é muito limitada **em função da carência de dados**.

Estes fatores associados às variações da topografia, da cobertura vegetal, dos tipos de solo e de outros elementos hidrológicos, dificultam

¹ Departamento de Geologia – UFC

² Técnicos COGERH / Águas Subterrâneas

³ Departamento de Hidráulica – UFC

extremamente a quantificação da recarga subterrânea (KUNZLER, 2007).

As Reservas Permanentes (Rp) representam o volume de água subterrânea que participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenar. Corresponde aos volumes estocados abaixo do limite inferior de flutuação sazonal do nível de saturação dos aquíferos livres ou ao volume armazenado na própria camada no caso de aquíferos confinados.

Este trabalho utiliza resultados obtidos de levantamentos de dados de precipitação, de testes de bombeamento e de monitoramento de níveis estáticos em poços tubulares contidos na área de estudo, para a estimativa, individualizada, das Reservas Renováveis dos sistemas aquíferos sítos na porção oriental da bacia sedimentar do Araripe.

CONTEXTUALIZAÇÃO CLIMÁTICA E HIDROLÓGICA

A área objeto deste trabalho corresponde à porção oriental da Bacia Sedimentar do Araripe, com cerca de 2.900 km² (Figura 1), delimitada pelas coordenadas geográficas de W 38°30' a W 39° 28' e de S 7° 05' a S 7°40'. Nesta área, estão localizadas as três principais cidades da região do Cariri Cearense, que são Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, além de Missão Velha, Brejo Santo, Mauriti, Milagres e Porteiras (Figura 1).

Registros de postos pluviométricos na porção leste da Bacia do Araripe apresentam uma precipitação média anual de 945,5 mm, sendo os maiores valores registrados nos municípios de Barbalha e Crato. Quanto à distribuição da precipitação no tempo, observa-se que o mês de março apresenta as maiores médias mensais, com valores de 230,7 mm, enquanto que o mês de agosto apresenta os menores índices de precipitação, com média mensal de apenas 4,2 mm. Constata-se ainda, que o período de janeiro a abril totaliza 720,4 mm, o que corresponde a 76% da precipitação média anual.

As temperaturas médias anuais são pouco variáveis (entre 24°C e 26°C). Juazeiro do Norte, com média anual de 25,4°C, tem o mês de julho como o mais frio (23,5°C) e o mês de novembro como o mais quente (27,4°C). Em Barbalha, verifica-se uma média anual de 25,8°C, sendo junho o mês mais frio com 23°C e novembro o mês mais quente, com 27,7°C (IPLANCE,1997).

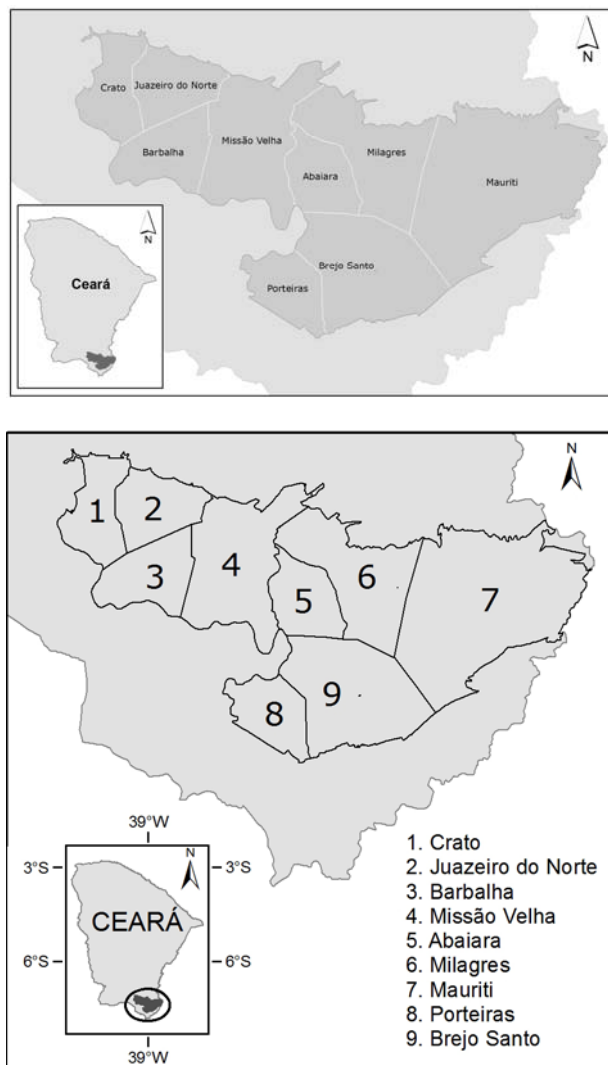


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

De acordo com os dados da estação de Barbalha, a umidade relativa do ar oscila de 51%, em outubro, a 80%, em março, com média anual de 63,8%. A insolação apresenta um valor total anual de 2.848 horas e a evaporação, nesta mesma estação, registra um valor anual da ordem de 2.288,6 mm, com máxima em setembro (292,8mm) e mínima em abril (100,5mm) (VERÍSSIMO, 1999).

Segundo Costa (1998), os níveis de insolação na Região do Cariri são elevados, com valor total anual de 2.848 horas. A média mais elevada ocorre em setembro, com 276,4 horas de insolação, e a média mais baixa ocorre em fevereiro, com 191,9 horas de insolação.

Baseado nos índices hídricos expostos, a Região do Cariri classificada como de barlavento

possui um intensificado efeito orográfico, aumentando o índice de precipitação na região (GOLDER/PIVOT, 2005). Na Figura 2 observa-se que a drenagem superficial converge para o cerne do vale.



Figura 2 - Fluxo da água superficial.

A drenagem superficial da região encontra-se inserida na sub-bacia do rio Salgado, com área de 12.216 km², pertencente à bacia hidrográfica do Jaguaribe, sendo caracterizada pela ausência de rede de drenagem na parte superior da Chapada; pelo setor torrencial nas vertentes da chapada até as planícies, com contribuições em forma de fontes pontuais ou difusas; e, a zona de espriamento (aluviões), onde são depositadas as cargas das torrentes (MONT'ALVERNE, 1996).

CONTEXTUALIZAÇÃO FISIAGRÁFICA E GEOLÓGICA

Em um estudo pioneiro sobre a geologia do Ceará, Small (1913) descreveu duas divisões topográficas principais na região do Cariri: um planalto interior e a chapada do Araripe: “um imenso planalto cuja direção é leste e oeste e constitui uma das feições topográficas mais importantes do noroeste do Brasil”.

Iplance (1997) também identifica o relevo da região em duas formas predominantes: o Planalto Sedimentar (Chapada do Araripe), cujas condições morfogenéticas têm influência direta da estrutura geológica, e a Depressão Periférica do Ceará, dependente de processos degradacionais. A

zona intermediária ou de talude é englobada no planalto sedimentar.

A litoestratigrafia da Bacia Sedimentar do Araripe foi primeiramente descrita em detalhe por Small (1913), porém, a proposta mais utilizada atualmente é a de Ponte e Appi (1990), conciliando o moderno enfoque da estratigrafia genética, que se utiliza da identificação de seqüências tectono-estratigráficas naturais com os sistemas deposicionais que as incluem; não abdicando do enfoque descritivo da litoestratigrafia formal. Essa divisão estratigráfica é apresentada na Tabela 1.

Na sub-bacia do Cariri (Figura 1) o controle tectônico afetou bastante as estruturas geológicas, compondo um quadro de altos e baixos sucessivos, o que dificulta o dimensionamento dos volumes acumulados de sedimentos em cada compartimento, sobretudo pela ausência de poços profundos perfurados.

A compartimentação estrutural exerce grande influência no Sistema Aquífero Médio, onde o tectonismo causou falhas geológicas normais resultando no deslocamento vertical de blocos de rochas, formando as estruturas de gráben e horst. As espessuras sedimentares dos horst são inferiores às espessuras encontradas nos grábens.

CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

A Bacia Sedimentar do Araripe apresenta uma diversificação litológica caracterizada por seqüências alternadas de arenitos, siltitos, calcários, argilitos e folhelhos, podendo alcançar uma espessura total da ordem de 1600 metros (MONT'ALVERNE, 1996).

Essa diversidade litoestratigráfica acarreta a formação de uma alternância de aquíferos, aquíferos e aquícludes, que apresentam características variáveis também com relação à localização, variando espacialmente e mostrando discontinuidades verticais e laterais.

Baseado na semelhança de características hidrogeológicas, considerando a imprecisão dos perfis geológicos de poços perfurados e a pouca profundidade alcançada (máxima de 250 m), Mont'alverne (1996) propôs a seguinte divisão hidrogeológica para a Bacia do Araripe (ver Tabela 1):

- Sistema Aquífero Superior – representado pelas formações Exu e Arajara;

Tabela 1 - Coluna lito-estratigráfica da Bacia Sedimentar do Araripe (Aguilar et al., 2008).

PERÍODO	FORMAÇÃO	MEMBRO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	GRUPO
CRETÁCEO	MÉDIO	Exu	Arenitos vermelhos, grossos a médios, friáveis, mal selecionados.	CHAPADA DO ARARIPE
		Arajara	Arenitos finos, siltitos argilosos, bem estratificados.	
		Santana	Romualdo	
			Ipubi	
			Crato	
	Rio Batateira		Arenitos médios a finos, argilosos, amarelo e cinza, siltitos e folhelhos cinza, bem estratificados, leitos de folhelho negro betuminoso.	
	INFERIOR	Abaiara	Intercalações de arenitos micáceos argilosos, siltitos e folhelhos castanhos e cinza, bem estratificados	
JURÁSSICO	SUPERIOR	Missão Velha	Arenitos grossos, mal selecionados, as vezes conglomeráticos, com estratificação cruzada, brancos e amarelos, com troncos e fragmentos de madeira silicificadas.	VALE DO CARIRI
		Brejo Santo	Folhechos, siltitos vermelhos, friáveis, intercalações de arenitos finos, argilosos, vermelhos	
SILURO-DEVONIANO	Mauriti		Arenitos quartzosos, grossos a médios, mal selecionados e duros	
PRÉ-CAMBRIANO	Rochas gnaissicas-migmatíticas do Embasamento Cristalino			

- Aquiclude Santana – representado pela formação homônima;
- Sistema Aquífero Médio – representado pelas formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha;
- Aquiclude Brejo Santo – representado pela formação homônima;
- Sistema Aquífero Inferior – representado pela Formação Mauriti e a parte basal da Formação Brejo Santo.

O abastecimento de água da população desta área é feito essencialmente pela utilização de água subterrânea explotada através de poços tubulares, tendo como principais unidades aquíferas os arenitos das Formações Rio da Batateira e Missão Velha, pertencentes ao Sistema Aquífero Médio.

A recarga dos sistemas aquíferos na sub-bacia do Cariri é, predominantemente, proveniente

da infiltração direta da água das chuvas. A descarga natural do sistema se faz ao longo do vale do rio Salgado e de seus afluentes, o riacho das Batateiras e o riacho dos Porcos, garantindo parcialmente o caráter perene de algumas drenagens da região. A descarga artificial ocorre principalmente através do bombeamento de poços tubulares profundos, totalizando na sub-bacia do Cariri um volume anual explotado de 72.333.429,28 m³/ano (COGERH, 2010).

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A quantificação dos recursos hídricos subterrâneos se apresenta como uma tarefa de difícil execução considerando a carência de dados que possibilitem a utilização de procedimento

Tabela 2 – Postos pluviométricos utilizados para estimativa da infiltração efetiva.

Nome do Posto	UTM-E	UTM-N	Série	Anos sem Observação	Anos Observados
Crato	456450	9201050	1912-2009	2	96
Brejo Santo	501840	9172820	1911-2009	6	93
Missão Velha	483440	9198610	1912-2009	7	92
Milagres	505520	9191240	1912-2009	12	86
Barbalha	465660	9191230	1911-2009	33	66
Juazeiro do Norte	469343	9186319	1912-2009	48	50
Mauriti	522684	9182024	1962-2009	3	45
Porteiras	487129	9167287	1979-2009	0	31

metodológico que resulte em uma determinação com nível de confiabilidade compatível as exigências do trabalho de gestão dos recursos hídricos. A reserva de água subterrânea deve ser obtida diferenciando uma parcela que é designada como renovável ou recarga subterrânea e outra parcela que é designada como permanente, que não sofre variações sazonais. A reserva renovável foi estimada pelo procedimento do balanço hídrico utilizando a fórmula de Thornthwaite para determinar evapotranspiração potencial e obtendo a infiltração efetiva (I_e) que se constitui em recarga subterrânea conforme apresentado em Castany (1975), e também foi calculada como uma variação do armazenamento utilizando medidas mensais do nível potenciométrico no período de maio de 2008 a dezembro de 2009.

A variabilidade espacial dos fatores envolvidos foi considerada através de grade de interpolação obtida por krigagem com resolução definida a partir da distribuição espacial dos pontos de medida. Os resultados estão apresentados como mapas de linhas de contorno (isolinhas) que foram traçadas com base nas grades de interpolação.

ESTIMATIVA DA RECARGA SUBTERRÂNEA UTILIZANDO DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Para a estimativa da reserva subterrânea renovável através do balanço hídrico, foi considerado como recarga o saldo da água de precipitação pluviométrica subtraída a água utilizada no processo de evapotranspiração, nesta metodologia designada como infiltração efetiva (I_e). Para tanto, foram utilizados dados de séries históricas de oito postos pluviométricos (Tabela 2), disponíveis no banco de dados da Fundação

Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, e valores médios de temperatura estimados por regressão linear múltipla.

A infiltração efetiva foi obtida para cada um dos postos, calculando-se a evapotranspiração potencial (ETP) mensal, pela fórmula de Thornthwaite, e, em seguida, a evapotranspiração real (ETR) mensal e a infiltração efetiva (I_e), admitido que a retenção da água de precipitação no solo é de 100 mm (CASTANY, 1975).

DETERMINAÇÃO DA RECARGA SUBTERRÂNEA UTILIZANDO MEDIDAS DE NÍVEIS POTENCIOMÉTRICOS

A recarga subterrânea é efetivamente determinada como uma variação do armazenamento a partir de dados de variação sazonal de níveis potenciométricos. Neste método, a suposição básica é que o acréscimo da espessura saturada de um aquífero livre é devido à recarga por precipitação. Em suas áreas aflorantes os aquíferos são do tipo livre, suas potencialidades estão condicionadas à infiltração direta das águas de chuva, cujo volume efetivamente infiltrado restitui as reservas de águas subterrâneas que alimentam os escoamentos naturais e a exploração por poços.

Em condições de estado estacionário, o nível hidrostático é uma função da quantidade de recarga, da transmissividade do aquífero e de sua geometria. Considerando uma área A , se a variação na espessura saturada em um período Δt é Δh , a recarga devido à precipitação corresponderá à variação no armazenamento do aquífero ΔS , que, em unidade de volume, pode ser estimada como:

$$\Delta S = S_y \Delta h \times A + Q_A \Delta t - RI \quad (01)$$

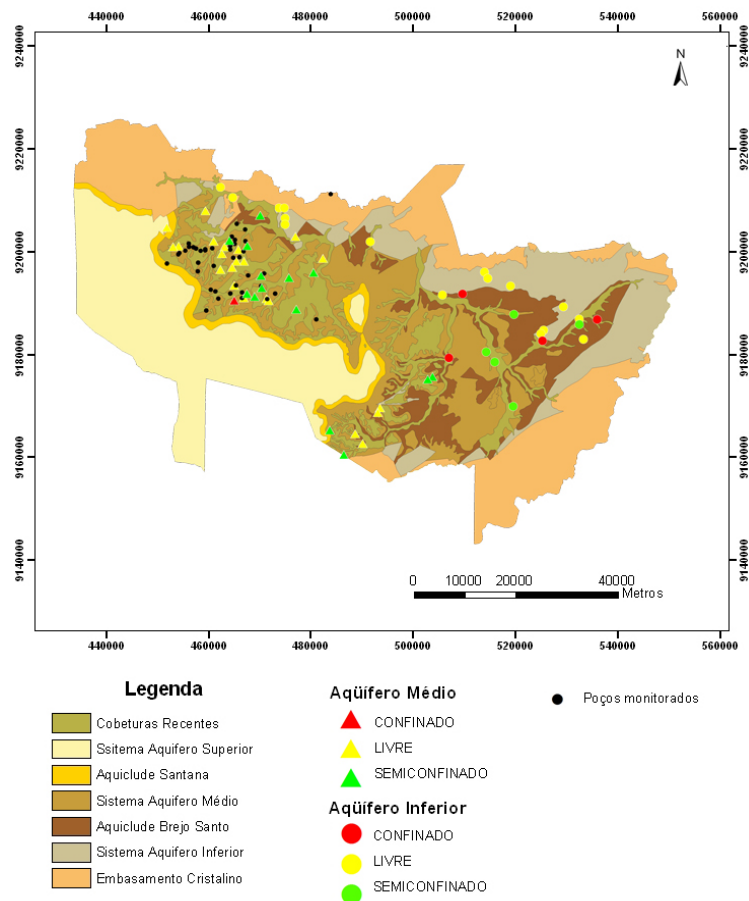


Figura 3 – Posicionamento dos poços cujos testes de bombeamento foram interpretados para caracterização dos aquíferos Médio e Inferior.

Tabela 3 – Infiltração efetiva estimada através do balanço hídrico.

Posto	PPT (mm)	ETR (mm)	Ie (mm)	Ie (% PPT)
Crato	1087,2	734,6	252,6	23,2
Brejo Santo	899,1	684,6	112,7	12,5
Missão Velha	977,0	697,2	179,8	18,4
Milagres	938,7	695,9	142,8	15,2
Barbalha	1091,0	721,0	269,9	24,7
Juazeiro do Norte	951,3	706,4	146,8	15,4
Mauriti	798,2	639,3	58,9	7,4
Porteiras	819,3	681,1	38,2	4,7

onde, S_y é a porosidade específica, Q_a é o fluxo subterrâneo natural e R_i é a recarga devida a outras fontes.

Desprezando o fluxo subterrâneo e considerando apenas a precipitação como única fonte, a recarga por unidade de área será:

$$\Delta S = S_y \cdot \Delta h \tag{02}$$

A porosidade efetiva é um termo importante neste procedimento, na medida em que é utilizada para transformar uma variação de nível hidrostático de um aquífero livre, em uma variação equivalente do armazenamento de água neste aquífero.

A porosidade efetiva S_y é definida como a quantidade de água por unidade de volume de material poroso que é drenada de uma coluna deste

material, a partir do nível hidrostático, até o nível mais profundo, por unidade de rebaixamento do nível hidrostático. Esta é a porosidade de drenagem e, neste sentido, pode ser avaliada pela equação de Bieciński (PAZDRO, 1983, In: ALVAREZ e NIEDZIELSKI, 1996):

$$S_y = 0,117 \cdot \sqrt{K} \quad (03)$$

para a condutividade hidráulica K expressa em m/dia.

Com a interpretação dos testes de bombeamento, da observação cuidadosa dos perfis litológicos de cada poço e do posicionamento desses sobre a base cartográfica litológica (Figura 3), foram obtidos os valores médios dos parâmetros para caracterização dos sistemas aquíferos, apresentados na Tabela 3.

Assim, com os valores de transmissividade e conhecendo-se a espessura do aquífero determina-se a condutividade hidráulica (K).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ESTIMATIVA DA RECARGA SUBTERRÂNEA UTILIZANDO DADOS DE PRECIPITAÇÃO

A infiltração efetiva estimada a partir do balanço hídrico corresponde à parcela da água de precipitação que estaria disponível para recarga subterrânea (Tabela 3). A sua variação espacial está representada no mapa de isolinhas da Figura 4.

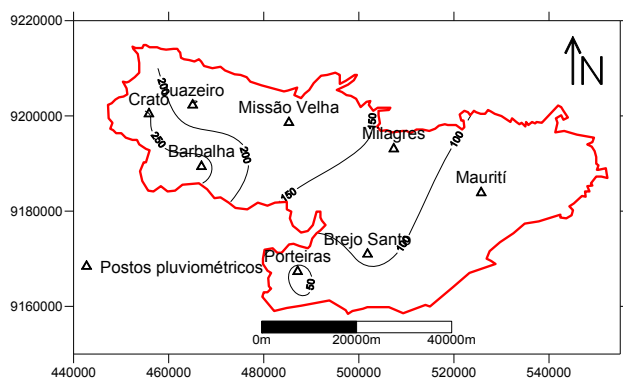


Figura 4 – Isolinhas de infiltração efetiva (Ie), em milímetros, obtidas pelo método do balanço hídrico para cada um dos postos pluviométricos.

ESTIMATIVA DA RECARGA SUBTERRÂNEA UTILIZANDO MEDIDAS DE NÍVEIS POTENCIOMÉTRICOS

Para a Bacia Sedimentar do Araripe os dados de monitoramento da carga hidráulica (H) e de ensaios de bombeamento existentes permitiram uma avaliação da porosidade efetiva (S_y), no entanto, há uma grande dificuldade de individualizar as unidades aquíferas através do exame dos perfis litológicos apresentados nos relatórios de construção dos poços. Além disso, existe a possibilidade do poço estar explorando, simultaneamente, distintas unidades aquíferas o que dificulta a aplicação desta metodologia para avaliação da recarga subterrânea de cada uma das unidades, o que não permite assegurar a confiabilidade dos dados.

As variações de carga hidráulica (ΔH) observadas em 2008 (184 poços) e em 2009 (163 poços) e a configuração da variação espaço temporal da carga hidráulica (ΔH) estão representadas nas Figuras 5 e 6, para os anos de 2008 e 2009, respectivamente.

Ambos os métodos aplicados para a estimativa de recarga subterrânea padecem de um alto grau de incerteza. Contudo, trata-se de uma limitação inerente a todos os métodos conhecidos devido à enorme complexidade intrínseca ao fenômeno associada à falta de registros confiáveis de dados de campo.

A avaliação da recarga das águas subterrâneas a partir das variações sazonais do nível potenciométrico se constitui na forma mais confiável de determinação da recarga subterrânea. A dificuldade existe na falta de um conhecimento adequado da porosidade efetiva do material aquífero sujeito a variação sazonal e no desconhecimento de variações espaciais das características do aquífero.

Para uma avaliação de maior confiabilidade da recarga subterrânea são necessárias observações bem distribuídas espacialmente, durante um período suficientemente longo, de todas as variáveis envolvidas no processo.

A porosidade efetiva constitui um termo de influência fundamental para avaliação dos volumes de água subterrânea presentes nos aquíferos, tanto os volumes que constituem as reservas renováveis, quanto àqueles que constituem as reservas permanentes. Nesta avaliação de reservas foi utilizada uma fórmula empírica para a sua

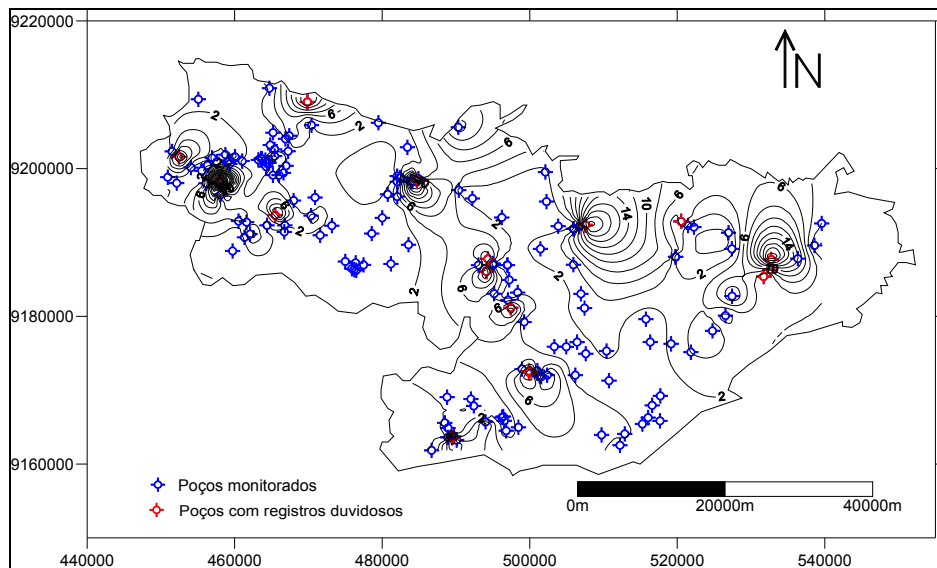


Figura 5 - Mapa de isolinhas da máxima variação anual de carga hidráulica (ΔH) no ano de 2008.

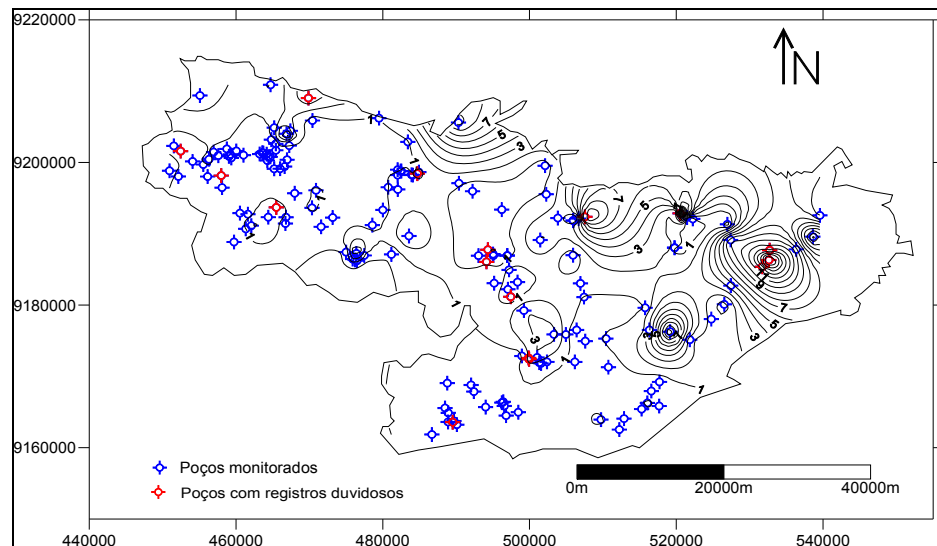


Figura 6 - Mapa de isolinhas da máxima variação anual de carga hidráulica (ΔH) no ano de 2009.

Tabela 4 – Disponibilidade de água de precipitação (infiltração efetiva - I_e) para recarga subterrânea estimada pelo balanço hídrico.

Área (km ²)		I_e (mm) (valor mínimo da malha interpolação)	I_e (mm) (valor máximo da malha interpolação)	I_e (m) (valor médio da malha interpolação)	Volume anual (x 10 ⁶ m ³)
Total	2632	39,5	267,4	0,13	356
Aquíferos aflorantes	731,6				95

determinação o que prejudica o grau de confiabilidade dos valores avaliados.

Deve-se destacar a importância da descrição litológica e a realização do maior número possível de testes de aquífero nos poços presentes na área.

As isolinhas de infiltração efetiva estimadas pelo balanço hídrico mostram uma disponibilidade maior na parte noroeste da área onde estão os municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Missão Velha e Barbalha. Observa-se, também, que os valores de AH para o ano de 2008 (Figura 4) são superiores aos de 2009; fato que se explica pela pluviometria ter sido superior à média regional durante o ano de 2008.

RESERVA RENOVÁVEL

Com os valores de infiltração efetiva obtidos pelo balanço hídrico, considerando a variabilidade espacial, foi calculado o volume da disponibilidade anual de água de precipitação para recarga subterrânea de toda a área da bacia sedimentar (2632 km²) e para somente a soma das áreas dos polígonos onde afloram os aquíferos que representam cada um dos sistemas aquíferos (731,6 km²), com aplicação do valor médio para a infiltração efetiva (Tabela 4).

Estes volumes são valores estimados utilizando uma série histórica de dados de precipitação e temperaturas calculadas por regressão linear múltipla.

Tabela 5 – Recarga subterrânea avaliada a partir do monitoramento do nível potenciométrico.

Aquífero	Área (km ²)	Sy (%)	ΔH (m)		Volume anual (10 ⁶ m ³)
Médio	216,4	12,8	2008	1,5	41,5
			2009	0,5	13,8
Inferior	515,2	9,7	2008	1,5	75,0
			2009	0,5	25,0
TOTAL	731,6		2008		116,5
			2009		38,8

A recarga subterrânea é efetivamente calculada a partir dos dados de monitoramento de níveis estático em poços de observação. Os valores apresentados na Tabela 5 correspondem à recarga

subterrânea anual e foram calculados para cada um dos sistemas usando parâmetros considerados representativos. Para a porosidade efetiva foram utilizadas as médias aritméticas e para ΔH um valor considerado predominante (moda) nas áreas aflorantes de cada um dos sistemas aquíferos: Médio e Inferior

A recarga subterrânea total (38,8 x 10⁶ m³) calculada para o ano de 2009 corresponde a 41% da disponibilidade de água de precipitação estimada pelo balanço hídrico considerando somente os polígonos de afloramento das formações (95 x 10⁶ m³, vide Tabela 4, enquanto que a recarga obtida para 2008 (116,5 x 10⁶ m³) excede este valor. Vale ressaltar que a disponibilidade hídrica resultante do balanço hídrico é estimada a partir de uma série histórica, portanto, revela um valor de disponibilidade representativo para a região. Outro aspecto que deve ser ressaltado é que a avaliação calculada pela variação do nível potenciométrico não está levando em consideração a variabilidade espacial dos parâmetros envolvidos no cálculo.

CONCLUSÕES

A reserva renovável para a área em questão foi calculada através de dois procedimentos: utilizando os valores de infiltração efetiva obtidos pelo balanço hídrico e utilizando os resultados do monitoramento do nível potenciométrico. Como parâmetro para infiltração efetiva utilizou-se o valor médio da malha de interpolação e o volume da disponibilidade anual de água de precipitação para recarga subterrânea foi estimado para toda a área limite da malha (2.632 km²) que corresponde ao limite da bacia sedimentar onde afloram os aquíferos e para somente a soma das áreas dos polígonos que representam cada uma das áreas aflorantes dos sistemas aquíferos (731,6 km²). Neste procedimento os volumes são valores estimados utilizando uma série histórica de dados de precipitação e temperaturas calculadas por regressão linear múltipla. Dessa forma, para 2.632 km² o volume anual foi 356 x 10⁶ m³ e para 731,6 km² o volume resultou em 95 x 10⁶ m³.

A recarga subterrânea obtida a partir do monitoramento do nível potenciométrico para o Aquífero Médio, considerando 216,4 km², porosidade efetiva de 12,8% e variação da carga hidráulica de 1,5m resultou em um volume de 41,5 x 10⁶ m³ para o ano de 2008; Enquanto que para o

ano de 2009 com variação da carga hidráulica de 0,5 m o volume foi de $13,8 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Obteve-se para o Aquífero Inferior, área de 515,2 km², porosidade efetiva de 9,7%, variação da carga hidráulica de 1,5 m em 2008 e 0,5 m em 2009, os volumes foram respectivamente $75,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $25,0 \times 10^6 \text{ m}^3$. Vale salientar que os valores mais altos de porosidade efetiva estão registrados no aquífero médio na porção sul e noroeste

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. B. de; VERÍSSIMO, L. S. e VASCONCELOS, S. M. S., Avaliação da recarga subterrânea no vale do Cariri, Ceará, Brasil. 2008. IX Congresso Latinoamericano de Hidrologia Subterrânea, Quito-Ecuador, julho de 2008.
- ALVAREZ, R. H.; NIEDZIELSKI, H.. Estimacion de la recarga en la subcuena Rio de las Avenidas Pachuca Hidalgo México, In: Congresso Latinoamericano de Hid, Sub, 3, México, 1996, Anais do 3o Congresso Latino-americano de Hid, Sub,, México: ALHSUD, 1996. p, 35-46.
- CASTANY, G. Prospección y explotación de las aguas subterráneas, Barcelona: Ediciones Omega.1975, 738 p.
- CAVALCANTE, I. N. Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na região metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. 1998. 156 f. Tese (Doutorado). Inédito. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo/USP, 1998.
- COSTA, W. D. Uso e gestão de água subterrânea, In: Feitosa, F. C. Manuel Filho. J. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*, CPRM, Cap. 14, 1997, p. 341 – 365.
- GOLDER/PIVOT *Implantação do Sistema de Monitoramento/Gestão de Uma Área Piloto do Aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri, no Estado do Ceará*. Relatório Final do Projeto, IX volumes, 2005.
- IPLANCE - Fundação Instituto de Planejamento do Ceará. *Atlas do Ceará*. Governo do Estado do Ceará, 1997.
- KUNZLER, J. C. S *Estimativa da Recarga da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe através da Modelagem Matemática do Fluxo Subterrâneo*. 2007. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, Paraíba, 2007.
- LERNER, D. N., ISSAR, A. S., SIMMERS, I. Groundwater recharge: A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge, Hannover, Germany: Heire (International Contributions to Hydrogeology, v, 8). 1990, 326 p.
- MONT'ALVERNE, A. A. F. (Coord), Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe, Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros, Departamento Nacional de Produção Mineral (MONT'ALVERNE), Distritos Regionais Pernambuco e Ceará, Recife. 1996, 101p.
- PAZDRO, Z. Hydrogeologia Ogólna, W,G, Warszawa. 1983, p. 575.
- PONTE, F. C.; APPI C. J. *Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe*. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, Anais, 1990, 1:211-226.
- REBOUÇAS, A. C. Desenvolvimento e proteção das águas subterráneas, ABAS/MG, Rio de Janeiro – RJ, 1997. 13p.
- RUSHTON, K. R., 1988. Numerical and conceptual models for recharge estimation in arid and semi-arid zones, In: Simmers,I., Estimation of Natural Groundwater Recharge, Dordrecht: D, Reidel, p. 223-238.
- SMALL, H. L. Geologia e Suprimento de Água Subterrânea no Piauí e Parte do Ceará, Recife, Inspetoria de Obras Contra Secas, 1913, 80p. (Publicação 25).
- VASCONCELOS, S. M. S. Estimativa da Recarga Subterrânea a partir do Balanço Hídrico - Exemplo de Fortaleza, (CE), Revista de Geologia, Fortaleza: UFC/DEGEO, v, 7, p, 27-34, 1996.
- VERÍSSIMO, L. S. A importância das Águas Subterráneas para o Desenvolvimento Socioeconômico do Eixo CRAJUBAR, Cariri Ocidental - Estado do Ceará. 1999. 140f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Ceará – UFC, 1999.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada, Rio de Janeiro: McGraw-Hill, p.9, 1975.

Recharge Estimation Of Aquifer Systems In The Eastern Portion Of Araripe Sedimentary Basin

ABSTRACT

Groundwater is an important natural resource. In the area of Araripe Sedimentary Basin is the largest groundwater reserve in Ceará State, which supplies most of the population. . The objective of this work is to estimate the groundwater recharge of the aquifers of the middle and lower aquifer in the eastern portion of Araripe Sedimentary Basin. Two methods were applied to obtain the groundwater recharge: water budget applying the formula of Thornthwaite and the seasonal variations of the hydraulic level of wells monitored in this area.

Key-words: Groundwater resources, Araripe Sedimentary Basin.