



## ANÁLISE DOS PROCESSOS HIDROLÓGICOS DE UMA MICROBACIA SEMIÁRIDA

*Thayslan Renato A. de Carvalho<sup>1</sup>; Wendel de Melo Massaranduba<sup>2</sup>; Sávio de Brito Fontenele<sup>3</sup>; Rafael Bezerra Tavares Vasques Landim<sup>1</sup>; Luiz Alberto Ribeiro Mendonça<sup>4</sup>*

**RESUMO** – Mudanças significativas no uso e ocupação do solo podem gerar degradação do solo e da água. Sendo importante a gestão desses recursos naturais visando minimizar os impactos sobre eles. O objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica da água em superfície e em subsuperfície na Microbacia Hidrográfica do São José – MHSJ. O monitoramento da vazão foi realizado próximo ao exutório em uma seção fixa, controlada por vertedores: triangulares, retangulares e canais livres. O monitoramento de água subterrânea foi realizado diariamente e quinzenalmente em poços localizados na MHSJ. A precipitação média foi obtida pelo método de Thiessen. Dados de vazão possibilitaram classificação das cheias ocorridas na MHSJ e determinação do coeficiente de runoff para eventos do ano de 2012. As cargas hidráulicas possibilitaram análise das variações do nível freático, além de estimar o gradiente hidráulico mostrando que em escala regional o fluxo subterrâneo vai em direção ao rio de maior porte, em escala local tende em direção ao riacho mais próximo. Conclui-se que o maior rebaixamento ocorreu devido a precipitações abaixo da média provocando uma elevação das explorações de água subterrânea na região. Valores baixos coeficiente de *runoff* estão associados às características físicas do solo e à cobertura do mesmo.

**Palavras chave** – Gestão de recursos naturais. Fluxo de água no superficial e subsuperficial.

**ABSTRACT** – Significant changes in the use and occupation of land can generate soil and water degradation. It is important to manage these natural resources to minimize the impact on them. The objective of this study was to evaluate the dynamics of water in surface and subsurface in the Microbacia Hidrográfica do São José - MHSJ. Monitoring the flow in the downstream was conducted in a fixed section, controlled by weirs: triangular, rectangular and channels. The groundwater monitoring was performed daily and fortnightly in wells located in MHSJ. The average rainfall was obtained by the Thiessen method. Flow data allowed classification of floods occurring in MHSJ and runoff coefficient of events for the year 2012. Hydraulic loads allowed analysis of changes in the water level, and estimate the hydraulic gradient showing that at the regional scale groundwater flow goes toward the larger river, on a local scale tends toward the nearest stream. It follows that the largest drawdown was due to below average rainfall causing an elevation of exploitations of groundwater in the region. Low runoff coefficient values are associated with the physical characteristics of the soil and the land occupation.

**Key words** – Natural resources management. Surface and subsurface water flow.

1) Mestrando em Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus Pici, Boco 804, Fortaleza, Ceará, t\_sren@hotmail.com.

## **INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento socioeconômico provoca mudanças significativas no uso e ocupação do solo e quando mal planejado pode gerar degradação do solo e da água. Dessa forma, é importante a aplicação de métodos de manejo e conservação adequados à gestão desses recursos naturais, buscando minimizar os impactos sobre eles (BESKOW *et al.*, 2009). Para isso, exige-se um contínuo trabalho de coleta e interpretação de dados hidrológicos, cuja confiabilidade torna-se maior à medida que as séries históricas ficam mais extensas, envolvendo eventos de cheia e seca.

A precipitação e o escoamento superficial são os principais dados hidrológicos necessários à gestão integrada dos recursos hídricos. O conhecimento de outras variáveis como capacidade de infiltração e nível freático possibilita o entendimento da complexa dinâmica da água em uma bacia hidrográfica (PEREIRA; SILVA NETO; TUCCI, 2003).

As águas subterrâneas são recursos armazenados em aquíferos que foram acumulados ao longo do tempo. Estas águas, em circunstâncias naturais, não se encontram diretamente expostas às influências climáticas e são governadas por um mecanismo de recarga e descarga em condições de quase equilíbrio, com movimento muito lento, implicando em tempo de trânsito muito longo (FREEZE; CHERRY, 1979). Este mecanismo caracteriza a dinâmica da interação rio-aquífero.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica da água em superfície e em subsuperfície na Microbacia Hidrográfica do São José – MHSJ.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

A bacia sedimentar do Araripe possui uma área de aproximadamente 11.000 km<sup>2</sup> e uma espessura máxima de aproximadamente 1.200 m de sedimentos, que armazenam importantes reservas de águas em suas formações aquíferas. A área de estudo desta pesquisa, a microbacia hidrográfica do São José (MHSJ) está inserida nesta bacia sedimentar. Com cerca de 40 km<sup>2</sup>, a mesma abrange parte dos principais municípios da Região Metropolitana do Cariri (Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha) e está localizada na sub-bacia do Salgado, um dos principais afluentes do rio Jaguaribe, o maior rio do Estado do Ceará, Brasil (Figura 1).

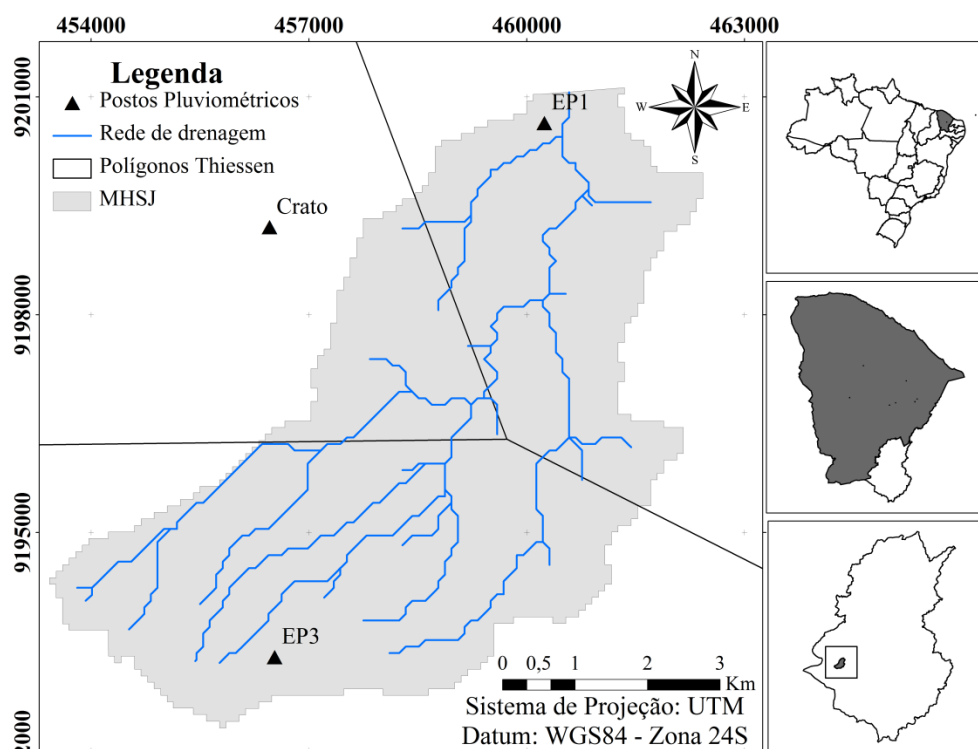


Figura 1 – Localização da microbacia hidrográfica do São José.

### Monitoramento Pluviométrico

Dois postos pluviométricos (EP1 e EP3) instalados no interior da MHSJ (Figura 1) em 2012 foram utilizados. Um posto pluviométrico (Posto Crato) monitorado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, localizado fora da MHSJ (Figura 1) também foi utilizado. A precipitação média na MHSJ foi obtida pelo método dos polígonos de Thiessen.

### Monitoramento Fluviométrico

Uma seção fluviométrica localizada no exutório da MHSJ controlada por três vertedores compostos, que funcionam como vertedores triangulares (Equação 1) para cargas de até 0,25 m, vertedores retangulares para cargas entre 0,25 e 0,50 m (Equação 2) e como canais livres para cargas acima de 0,50 m (Equação 3) foi utilizada.

$$Q = 1,4 h^{5/2} \quad (1)$$

Onde  $h$  é a carga vertente em metros.

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L h^{3/2} \quad (2)$$

Onde  $L$  é a largura do vertedor em metros e  $C_d$  é o coeficiente de descarga (adimensional).

$$Q = \frac{1}{n} A^{5/3} P^{-2/3} S^{1/2} \quad (3)$$

Onde  $A$  é a área molhada em  $m^2$ ,  $P$  é o perímetro molhado em metros,  $S$  é a declividade do canal (adimensional) e  $n$  é a rugosidade da parede do canal (adimensional).

## Determinação do coeficiente de runoff e classificação das cheias

O coeficiente de *runoff* 'C' caracteriza-se pela simplicidade de sua determinação, onde todos os processos hidrológicos que transformam a precipitação em vazão são englobados em apenas um coeficiente (GAROTTI; BARBASSA, 2010). Para seu cálculo (Equação 4) utilizou-se os eventos mais expressivos do período monitorado.

$$C = \frac{V_p}{V_e} \quad (4)$$

Onde  $V_p$  é o volume precipitado em  $m^3$  e  $V_e$  é o volume escoado em  $m^3$ .

O cálculo do volume precipitado para cada evento foi determinado a partir da precipitação determinada pelo método de Thiessen. O volume escoado foi calculado a partir da área do hidrograma de cada evento. A partir desses dados também foi realizada a classificação de cheias, utilizando-se a tipologia definida por Horton e disponibilizada em Villela e Mattos (1975):

- **Tipo 0:** a água infiltrada não excede a capacidade de infiltração do solo e não possibilita a geração do escoamento.
- **Tipo 1:** a água infiltrada não excede a capacidade de infiltração do solo e não possibilita a geração do escoamento superficial, porém há um aumento no fluxo de água no subsolo.
- **Tipo 2:** precipitação excede a capacidade de infiltração do solo gerando aumento no fluxo de escoamento superficial.
- **Tipo 3:** precipitação excede a capacidade de infiltração do solo gerando escoamento superficial e aumento no fluxo de água no subsolo.

Essa classificação é importante ao entendimento de fenômenos relacionados a precipitação, a infiltração, ao escoamento superficial e a recarga subterrânea (VILLELA; MATTOS, 1975).

## Água subterrânea

O monitoramento do nível estático de quatro poços localizados na MHSJ (Figura 1) foi realizado utilizando-se um medidor de nível manual. Os poços W02, W04 e W05 foram monitorados quinzenalmente e diariamente apenas o W06. Para estimar as cargas hidráulicas diárias dos poços W02, W04 e W05 obteve-se correlações entre as cargas hidráulicas nesses poços e as monitoradas no poço W06. A partir das cargas hidráulicas definidas, estimou-se os gradientes hidráulicos (Equação 5) entre os poços. Estes gradientes foram utilizados para definir as direções preferenciais do fluxo de água subterrânea.

$$g = \frac{\Delta h}{L} \quad (5)$$

Onde  $\Delta h$  é a variação de carga hidráulica (m) e  $L$  é a distância entre poços, em metros.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Precipitação e Escoamento superficial

A Figura 2 apresenta o hidrograma das vazões associado às precipitações diárias ocorridas na MHSJ. Observa-se que a formação dos picos de vazão coincide com períodos de maiores precipitações, seguidos de curva de recessão a partir do momento em que as precipitações cessam ou reduzem. As falhas observadas nos dados de vazão ocorreram devido a falhas no equipamento de medição.

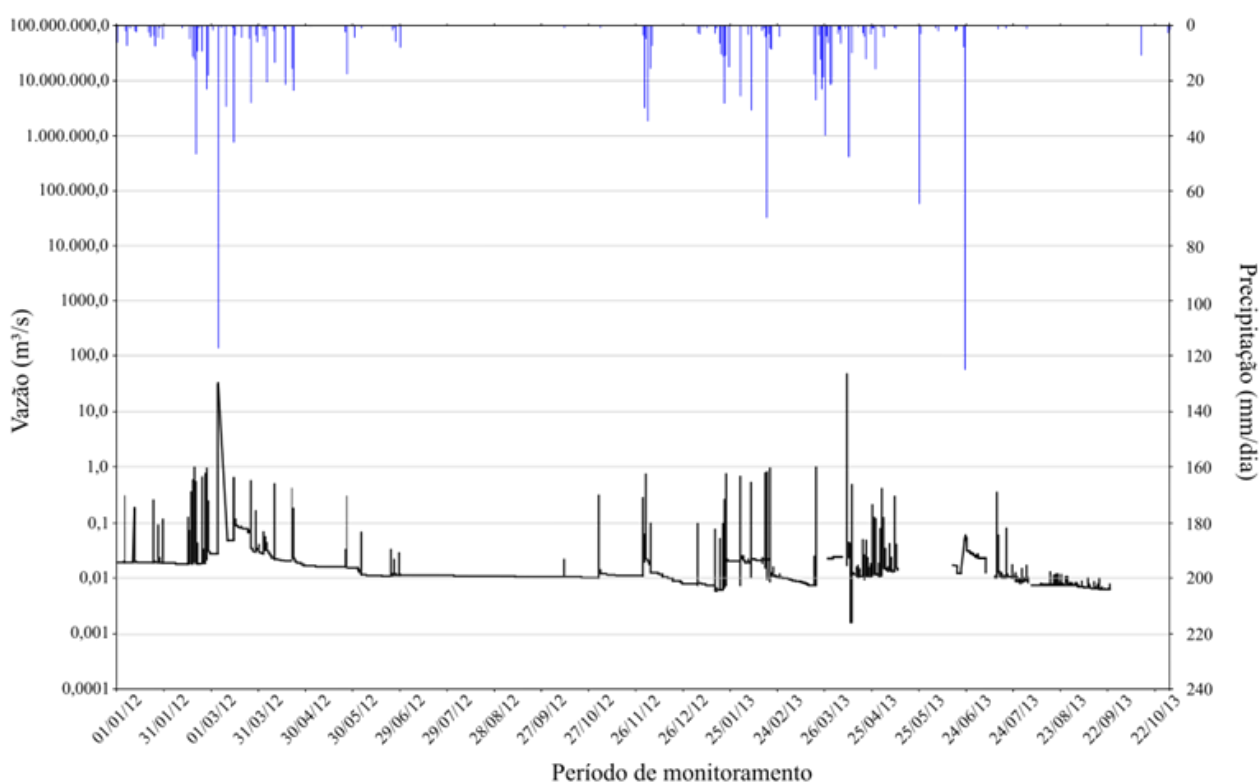


Figura 2 – Hidrograma do riacho São José

### Água subterrânea

As cargas hidráulicas dos poços monitorados (Figura 3, 4,) mostram uma variação máxima na amplitude das cargas hidráulicas dos poços W02, W04, W05 e W06 de 1,81; 1,98; 1,98 e 1,00 metros respectivamente. Romão (2013) avaliou os mesmos poços no período de setembro/2011 a setembro/2012, porém os valores encontrados por ele foram de 1,68, 1,09, 0,95 e 0,53 m para os poços W02, W04, W05, W06, respectivamente. O maior rebaixamento no nível freático entre 2012 e 2013 pode ser explicado pelas precipitações abaixo da média nesse período, o que pode ter acarretado em contínuas explorações.

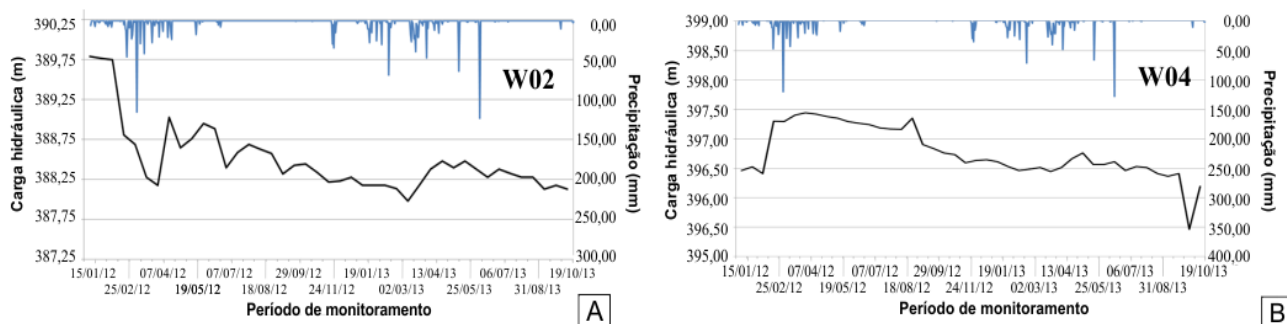


Figura 3 – Cargas Hidráulicas do poço W02 (A) e W04 (B).

De acordo com a Figura 3A, o poço W02 apresenta maior variação no período de janeiro a abril de 2012. No mês de abril ocorre uma elevação do nível freático de 0,85 m em resposta aos maiores volumes precipitados nesse período, principalmente devido a precipitação atípica de 117 mm, dia 05/03/12. Para o mesmo período de 2013 a elevação foi de apenas 0,50 m.

De acordo com a Figura 3B, o poço W04 apresenta variação distribuída ao longo de todo o período de monitoramento, com elevação do nível freático de 0,99 m e 0,32 m para os períodos de março a abril em 2012 e 2013 respectivamente. Esta elevação ocorreu devido aos volumes precipitados nesse período referente a quadra chuvosa.

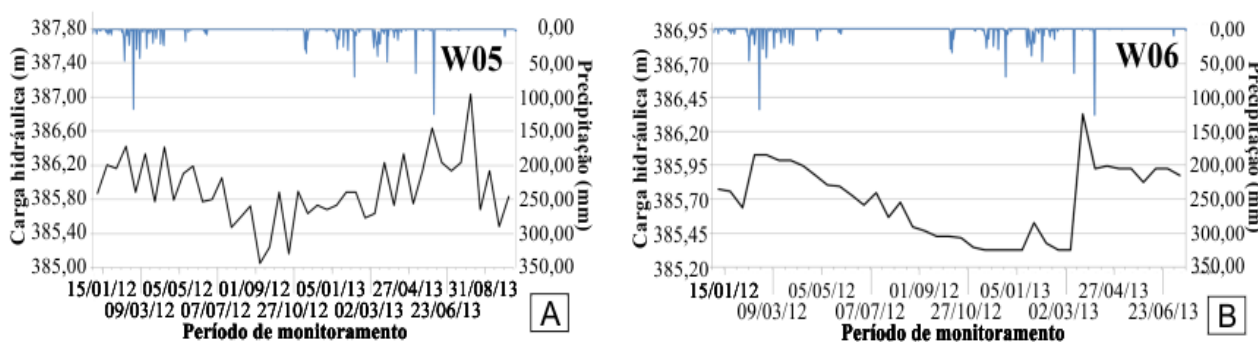


Figura 4 – Cargas Hidráulicas do poço W05 (A) e W06 (B)

Os poços W05 (Figura 4A) e W06 (Figura 4B) apresentam as menores amplitudes nas cargas hidráulicas, com maior oscilação no poço W05. Este fato pode ocorrer devido ao bombeamento do mesmo para abastecimento doméstico.

O poço W06 apresentou elevação no nível freático de 0,39 m entre os meses de fevereiro e março de 2012. Para o mesmo período em 2013 a elevação foi de 1,0 m. Essa elevação brusca do nível freático pode estar associada à proximidade desse poço com o leito do rio, o qual funciona como meio de interação entre rio e aquífero.

Os poços apresentam recarga no período de fevereiro a maio, em resposta ao maior volume precipitado ocorrido neste período. Com o encerramento das precipitações os níveis freáticos tendem a rebaixar devido ao bombeamento e a drenagem do aquífero pelo rio principal da MHSJ.

As correlações lineares geradas para estimar os dados diários de carga hidráulica nos poços monitorados quinzenalmente foram obtidas (Figura 5). Porém, apenas os poços W02 (Figura 5A) e W05 (Figura 5B) obtiveram bons coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Dessa forma apenas os poços W02 e W05 receberam estimativas de cargas hidráulicas diárias.

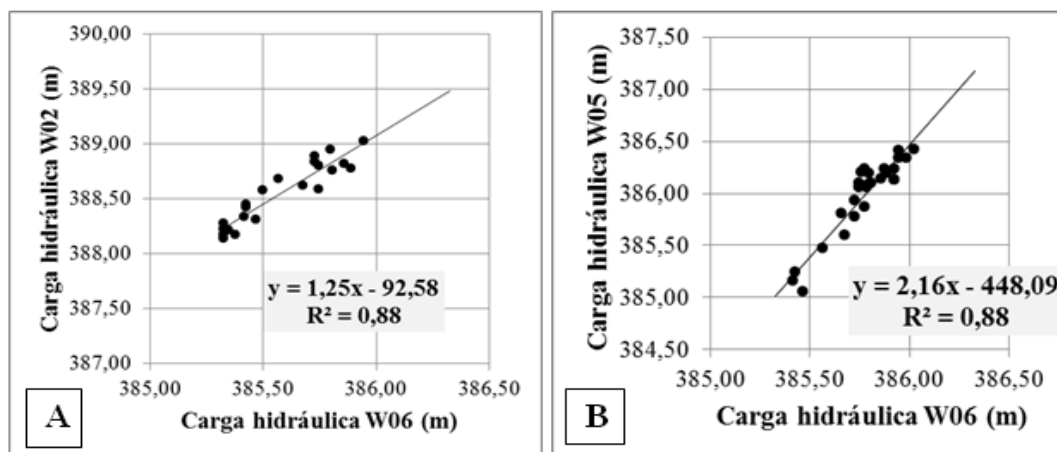


Figura 5 – Correlação das cargas hidráulicas entre os poços W02 e W06 (A) e W02 e W05 (B).

As correlações mostram um coeficiente de determinação satisfatório de 0,88, mostrando que a estimativa das cargas hidráulicas para os poços monitorados quinzenalmente (W02 e W05) podem ser utilizadas. A correlação para estimar as cargas hidráulicas diárias do poço W04 não se mostrou satisfatória ( $R^2 = 0,08$ ). Esse resultado pode ter ocorrido devido à distância entre os poços W04 e W06, de aproximadamente 1.240 metros.

Com relação à estimativa dos gradientes hidráulicos, pode-se observar que em escala regional o fluxo subterrâneo vai em direção ao rio de maior porte (rio Batateiras). Em escala local, a direção do fluxo tende ao rio mais próximo, o rio principal da MHSJ, o rio São José (Figura 6).

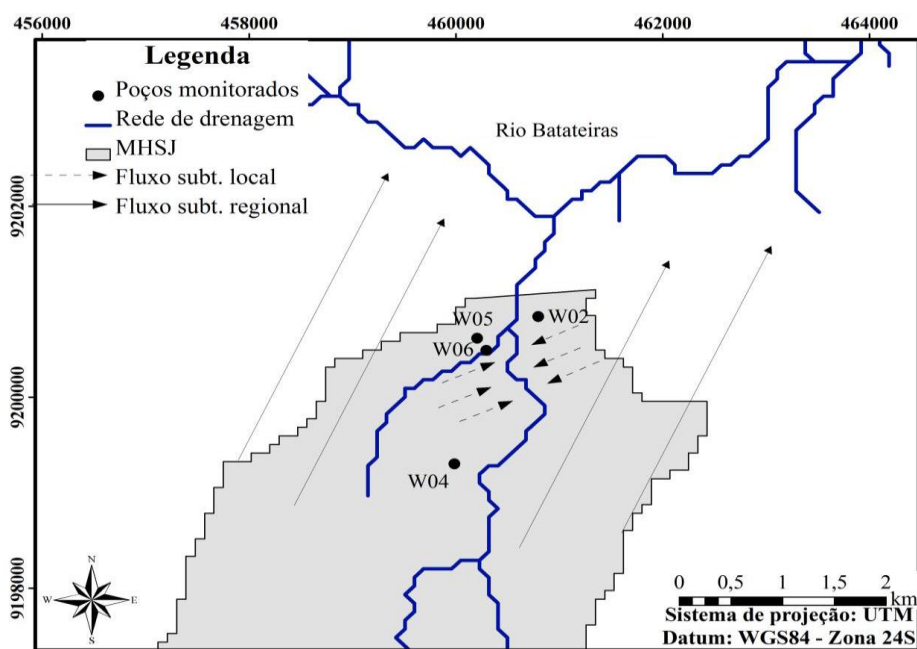


Figura 6 – Direção do fluxo subterrâneo na MHSJ.

### Coefficiente de runoff e classificação das cheias

Calculou-se o coeficiente de *runoff* para 17 eventos monitorados na MHSJ, obtendo valor mínimo de 0,001 e máximo de 0,084 (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores de coeficiente de *runoff* e classificação de cheias para a MHSJ.

Data do evento	Precipitação (m <sup>3</sup> )	Volume escoado (m <sup>3</sup> )	Coefficiente <i>runoff</i>	Tipo de cheias	Varição do nível freático (m)*
06/01/2012	84420,00	-	-	1	-
09/01/2012	38592,00	-	-	1	-
12/01/2012	76380,00	373,34	0,011	1	-
24/01/2012	150750,00	1531,35	0,008	2	-
27/01/2012	176880,00	92,04	0,001	2	-
30/01/2012	321600,00	672,73	0,003	2	-
11/02/2012	36984,00	-	-	2	-
13/02/2012	7638,00	-	-	0	-
16/02/2012	194970,00	269,33	0,002	2	-
19/02/2012	494460,00	21482,43	0,028	3	-
24/02/2012	375870,00	14717,68	0,084	2	-
27/02/2012	930630,00	24754,49	0,032	3	-
02/03/2012	68742,00	-	-	1	-
14/03/2012	26532,00	-	-	0	-
15/03/2012	1704480,00	16290,13	0,017	3	0,60
26/03/2012	1131630,00	6339,72	0,011	3	0,01
29/03/2012	143112,00	3811,10	0,015	2	-0,05
09/04/2012	83214,00	-	-	1	-
10/04/2012	542700,00	2757,55	0,009	2	-
21/04/2012	629130,00	2533,8	0,003	2	-
25/05/2012	94872,00	-	-	1	-
26/05/2012	707520,00	1185,2	0,003	3	0,02
30/11/2012	140700,00	313	0,006	2	-
01/12/2012	1206000,00	792,1	0,001	2	-
02/12/2012	196980,00	580,4	0,010	2	-

\* - A variação do nível freático foi observada no poço W06 e considera o delta máximo em três dias: o dia do evento, o dia anterior e o posterior.



Segundo Collischonn e Tassi (2008), o coeficiente de *runoff* tem, teoricamente, valores entre 0 e 1. Mas, na prática, os valores vão de 0,05 a 0,5 para a maioria das bacias. Alencar, Silva e Oliveira (2006) calcularam o coeficiente de *runoff* para 187 eventos em uma microbacia de 9,62 km<sup>2</sup> na região Centro Oeste do Brasil e obtiveram valor mínimo de 0,049 e máximo de 0,318. Esses valores associados às características físicas e de cobertura do solo indicam boas condições de infiltração. Para a MHSJ, os baixos valores do coeficiente de *runoff* também estão associados às características físicas e de cobertura do solo. Os solos da MHSJ são profundos e predominantemente arenosos, indicando alta taxa de infiltração.

Para os eventos analisados, 48% são classificados como cheias tipo 2, quando a precipitação excede a capacidade de infiltração e gera escoamento superficial; 24% como cheias tipo 1, quando os eventos contribuem apenas com o aumento do fluxo subterrâneo; 20% como tipo 3, quando os eventos geram escoamento e aumento do nível freático e; apenas 8% como tipo 0, quando os eventos não excederam a capacidade de infiltração, não gerando escoamento superficial.

Observando a variação do nível freático percebe-se que houve aumento do nível freático nos mesmos dias em que ocorreram cheias tipo 3, sendo a maior variação de 0,60 metros para o dia 15/03/2012 dia que ocorreu a maior precipitação (42,40 mm).

Resultado semelhante foi obtido para o coeficiente de *runoff*, mostrando que para a maioria dos eventos avaliados houve escoamento superficial. Apenas o evento do dia 19/02/2012 apresentou cheia tipo 3, com precipitação menor que 15,65 mm, esse fato aconteceu devido a umidade antecedente do solo, em virtude de uma cheia tipo 2 ocorrida no dia 16/02/12.

## CONCLUSÃO

As cargas hidráulicas dos poços monitorados possibilitaram avaliar variações no nível freático, permitindo concluir-se que o maior rebaixamento ocorreu devido a precipitações abaixo da média provocando uma elevação das explorações de água subterrânea na região. Além disso, as cargas monitoradas permitiram estimar o gradiente hidráulico do fluxo subterrâneo, possibilitando observar o fluxo em escala regional e em escala local.

Valores baixos do coeficiente de *runoff* estão associados às características físicas do solo e à cobertura do mesmo, indicando alta taxa de infiltração nos solos da MHSJ. A classificação de cheias é um importante parâmetro para o entendimento de fenômenos relacionados com precipitação, escoamento superficial e infiltração.

## BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO NETO, J. R. de., PALÁCIO, H. A. Q., ANDRADE, E. M., SANTOS, J. C. N., PINHEIRO, E. A. R., “*Otimização do número de curva (cn-scs) para diferentes manejos na região semiárida, Ceará, Brasil*”. Irriga, edição especial, p. 264 - 279, 2012.
- BESKOW, S., MELLO, C. R. de; COELHO, G., SILVA, A. M. da; VIOLA, M. R.; “*Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída*”. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 33:169-178, 2009.
- COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; *Introduzindo hidrologia*, IPH UFRGS, 2008.
- PEREIRA, R. da S., SILVA NETO, A. da., E. M., TUCCI, C. *Princípios da hidrometria* capítulo 13, Porto Alegre, 2003.
- FONTENELE, S.de B. Modelagem matemática da dinâmica de fluxo riacho-aquífero na microbacia hidrográfica do riacho São José, região do Cariri cearense, Fortaleza, Ceará. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- GAROTTI; L. M.; BARBASSA, A. P. “*Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial*”. Eng Sanit Ambient. v.15, n.1, p.19-28 2010.
- FREEZE, R. A; CHERRY, J. A. *Groundwater*. New Jersey: Prentice Hall, 1979. 603 p.
- MUÑOZ-ROBLES, C.; REID, N.; TIGHE, M.; BRIGGS, S. V.; WILSON, B. “*Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semiarid Australia*”. Geoderma, v. 160, p. 524–534, 2011.
- ROMÃO, M. R. de O.; “*Uso do modflow no entendimento da interação rio-aquífero na microbacia hidrográfica do são José no cariri cearense*”. Monografia (Graduando em Engenharia Civil) Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, Ceará. 2013.
- TUCCI, C. E. M., “*Hidrologia ciência e aplicação*”. 4ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. 943p.
- VILLELA, S.M., MATTOS, A. “*Hidrologia aplicada*”. São Paulo: McGraaw Hill do Brasil, 1975. 245p.
- WILKEN, P. S. *Engenharia de Drenagem Superficial*. São Paulo: CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978. 478p.