

ESTIMATIVA DE RECARGA NATURAL DO AQUIFERO LIVRE E RASO DE UMA SUB-BACIA REPRESENTATIVA DE JUATUBA – MG APLICANDO VARIAÇÃO DOS NÍVEIS D'ÁGUA (VNA).

Rodrigo Hamzi¹, Eber Pinto²

¹²Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627. Belo Horizonte (MG).

¹rodrigo.hamzi@gmail.com. ²eber@ehr.ufmg.br.

Palavras-Chave: Recarga de Aquífero, Escoamento de Base, Variação dos Níveis d'Água (VNA)

INTRODUÇÃO

Estudos hidrogeológicos, em geral, demandam a estimativa de recarga de aquíferos, sendo que não há uma abordagem universal para tal, assim, essa dependerá de cada limitação ou especificação do método aplicado (Cook et al., 2002). As incertezas em cada abordagem sublinham a necessidade de aplicação de múltiplas técnicas para aumentar confiabilidade de suas estimativas. O presente trabalho visa estipular a faixa de recarga para o ano hidrológico de 2012/2013 pela técnica Variação dos Níveis d'Água (VNA) e compreender o comportamento do balanço hídrico subterrâneo no período. A área de estudo é uma sub-bacia da bacia Juatuba, localizada nos municípios de Mateus Leme e Itaúna em Minas Gerais, cujo curso d'água principal é o ribeirão Serra Azul, o qual apresenta aquífero livre e raso. Os resultados indicam que o Grupo Sabará foi a unidade geológica da bacia de maior recarga, que em função da porosidade específica adotada, pode variar de 230 a 590 mm, com valor médio de 490 mm. A recarga de 2012/2103, considerando a porosidade efetiva média de 0,07, para solos argilo-arenosa, foi de 383 mm/ano.

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo apresenta seis estações pluviométricas de influência, quatro piezômetros monitorados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2018), inseridos no sistema Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS), e duas estações fluviométricas, Jardim e Pasto Grande, ambas no rib. Serra Azul, visualizados espacialmente na Figura 1. Os dados hidrológicos foram obtidos no Portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018) e consistidos, quando necessário, por técnicas mencionadas por Tucci (2001). A altura de precipitação do ano hidrológico 2012/2013 foi abaixo da média histórica nas seis estações pluviométricas. A precipitação média espacial sobre a bacia, para o ano hidrológico de 2012/2013, foi estimada pelo método de Thiessen (Tucci, 2001) e obteve-se o valor de 1135 mm/ano para a área de drenagem da estação fluviométrica de Pasto Grande e de 1150 mm/ano para Jardim. A vazão média do ano hidrológico de 2012/2013 no rib. Serra Azul em Pasto Grande foi de 0,580 m³/s e em Jardim de 0,921 m³/s.

Pinto et al. (2010) mencionam dois sistemas hidrogeológicos na região: o aquífero fissural, que apresenta predominância de rochas cristalinas; e o aquífero granular, constituído por sedimentos arenos-argilosos recentes, ao longo das calhas dos principais cursos d'água da região. Além disso, na porção oeste da bacia encontra-se o Complexo Metamórfico Divinópolis, o qual apresenta uma litologia caracterizada por rochas graníticas, granodioríticas e migmatíticas, sugerindo pouca chance de ocorrerem fraturas abertas que facilitarão a infiltração. Já a porção leste, formada pelo Supergrupo Minas, os Grupos Sabará e Piracicaba caracterizados por rochas pelíticas e pefíticas podem apresentar condições medianamente favoráveis para originar reservas hídricas subterrâneas. Estes sistemas podem ser visualizados na Figura 1.

VARIAÇÃO DOS NÍVEIS D'ÁGUA (VNA)

O método VNA ou *Water Table Fluctuation* (WTF), utiliza flutuações de níveis de água subterrânea ao longo do tempo para estimar a recarga em aquíferos livres, baseada no balanço hídrico na zona saturada.

Este método considera que o aumento do nível freático representa a recarga de um evento de precipitação, a partir da premissa de que há um lapso de tempo entre a entrada de água no sistema e a sua redistribuição para os outros componentes, representados entre parênteses na Equação 1 segundo Healy e Cook (2002). Para esta hipótese ser válida, o aquífero deve estar presente em regiões com estação úmida bem definida e níveis freáticos rasos, que apresentem variações significativas em intervalos de tempo curtos.

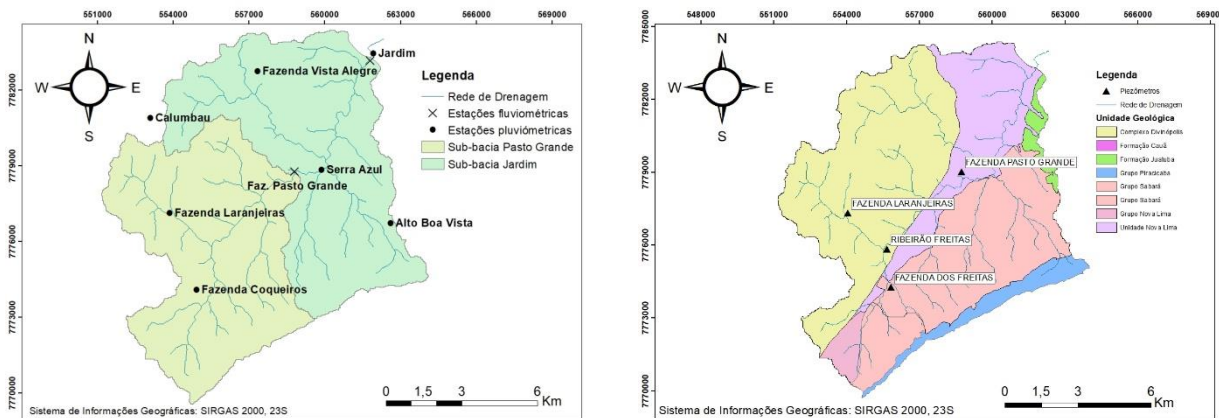


Figura 1. Mapa da área de estudo.

Segundo Healy e Cook (2002), considerando o balanço hídrico subterrâneo em uma bacia pode-se escrever:

$$R = \Delta S^{gw} + (Q_{br} + ET^{gw} + Q_{off}^{gw} - Q_{on}^{gw}) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde, R é a recarga; ΔS^{gw} é a alteração do armazenamento subterrâneo, ET^{gw} é a evapotranspiração das águas subterrâneas, Q_{br} é o escoamento de base e $(Q_{off}^{gw} - Q_{on}^{gw})$ é o escoamento líquido na área em estudo (inclui o bombeamento).

A recarga, Healy e Cook (2002), é calculada conforme Equação 2.

$$R = Sy * \Delta h / \Delta t \quad (\text{Equação 2})$$

Onde, Sy é a porosidade específica ou rendimento específico, Δh é a variação altura do nível d'água e Δt é o intervalo de tempo. A Sy é a razão entre o volume de água liberada dos vazios pelas forças gravitacionais e o volume total da rocha ou solo. A derivação da Equação 2 assume que a água, ao alcançar a zona saturada do aquífero livre, será imediatamente armazenada e que os outros componentes da Equação 1 serão iguais a zero durante o período de recarga. Segundo Healy e Cook (2002), para o método VNA produzir um valor que estime a recarga total ou bruta, é necessária a aplicação da Equação 2 para cada episódio de elevação do nível d'água. Neste trabalho foi estimada a recarga bruta.

As incertezas nas estimativas geradas pela VNA referem-se à precisão com o qual o Sy pode ser determinado e às condições em que as suposições inerentes ao método são válidas. O Sy pode ser determinado em laboratório, em campo por teste de bombeamento e *Slug* teste ou correlações do balanço hídrico na zona saturada (Healy e Cook, 2002) (Fitts, 2015). Johnson (1967) apresentou Sy em função de diferentes texturas, mencionando as amplitudes e variâncias de 17 estudos. Na análise do perfil dos piezômetros no RIMAS, observou-se que a textura do aquífero seria argilo-arenosa, sendo coerente com Pinto et al (2010). Healy e Cook (2002), na página 96, informam que o coeficiente de variação dos estudos compilados por Johnson (1967), para Sy da textura argilo-arenosa é de 44%. Neste trabalho adotou-se o valor mínimo de Sy igual 0,04 e o máximo de 0,10, que correspondem ao valor médio de Sy subtraído e acrescido do valor de um desvio padrão (0,03).

MÉTODO ESCOAMENTO DE BASE

O método escoamento de base é um elemento chave para compreender as proporções do balanço hídrico na zona saturada, conforme Equação 1. Todavia existem vários métodos de estimativa do escoamento de base. Dentre os métodos de separação, optou-se em utilizar 5 modelos de filtragem (Modelos intervalo fixo, intervalo móvel, mínimo local, filtro de Eckhardt e filtro Lyne e Hollick) que usam o registro das séries temporais de vazões para desassociar o escoamento de base (Brodie e Hostetler, 2005). Os modelos intervalo

fixo, intervalo móvel e mínimo local, descritos por Crouse e Sloto (1996) e Brodie e Hostetler(2005), tiveram o parâmetro 2N igual a 3 e 5 dias para Pasto Grande e Jardim, respectivamente, conforme área de drenagem de cada estação. Já o filtro de Eckhardt, descrito por Eckhardt (2005), apresentou parâmetros BFImax e α de 0,8 e 0,9957, respectivamente, em ambas as estações. O filtro Lyne e Hollick também foi utilizado, descrito por Brodie e Hostetler (2005), porém seu parâmetro é constante, 0,925. Estes filtros foram aplicados as séries de vazões das duas estações fluviométricas, Pasto Grande e Jardim, presentes na Figura 1.

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados do escoamento de base, Q_{bf} , da Equação 1 considerando os métodos de separação mencionados no item anterior. O deflúvio total do ano hidrológico 2012/2013 em Jardim é de 257 mm e em Pasto Grande de 329 mm.

Tabela 1. Escoamento de base, Q_{bf} , (mm)

	Métodos de Separação do Escoamento					Estatísticas			
	Filtro Eckhardt	Filtro Line e Holick	Intervalo Fixo	Intervalo Móvel	Mínimo Local	Máximo	Média	Mínimo	Amplitude
Jardim (A=113 km ²)	190	190	204	209	216	216	202	190	26
Pasto Grande (A=55,6 km ²)	250	291	282	290	280	291	277	243	48

A = área de drenagem da estação fluviométrica.

Já a Tabela 2, apresenta a estimativa de recarga bruta pelo método VNA para cada piezômetro da Figura 1 aplicando a Equação 2 aos dados diários de variação do nível d'água. A recarga foi estimada para os valores mínimo, médio e máximo de S_y . Na tabela 2 também está mencionada a unidade geológica na qual está inserido o piezômetro.

Tabela 2. Estimativa de recarga pelo método VNA para o ano hidrológico de 2012/2013.

Código do Ponto (RIMAS)	Piezômetros	Unidade Geológica	Recarga (mm) S_y min. (0,04)	Recarga (mm) Symédio (0,07)	Recarga (mm) Symax. (0,10)
3100017230	Faz. Pasto Grande	Unidade Nova Lima	227	406	585
3100017235	Faz. Freitas	Grupo Sabará	230	410	590
3100017234	Faz. Laranjeiras	Complexo Divinópolis	171	305	439
3100017233	Faz. Ribeirão Freitas		231	412	593
Média do Complexo Divinópolis			201	358,5	516

Pinto et al. (2010) mapeia o sistema aquífero da área em estudo como um sistema aquífero fissural. Assim, optou-se por adotar a recarga das áreas de drenagem equivalente a média estimada com os valores dos piezômetros. A média dos quatro piezômetros, com S_y mínimo, médio e máximo, é igual a 215, 383 e 552 mm/ano. A relação com o precipitado em porcentagem, na bacia de drenagem de Pasto Grande, é 18,9; 33,8 e 48,6%, respectivamente. Já em Jardim é igual a 18,7; 33,3 e 48%.

A alteração do armazenamento subterrâneo, ΔS^{gw} , no ano hidrológico 2012/2013 foi -6,7; -12 e -17,7 mm conforme o S_y mínimo, médio e máximo. Ao considerar Q_{on}^{gw} e Q_{off}^{gw} da Equação 1 iguais a zero, em escala anual, é possível estimar a ET^{gw} para o ano hidrológico de 2012/2013 por meio da Equação 1, ou seja, $ET^{gw} = R - \Delta S^{gw} - Q_{bf}$. Para tanto, foram utilizadas a recarga média dos piezômetros e a média do Q_{bf} de cada estação fluviométrica. A estação Jardim apresentou ET^{gw} , com S_y mínimo, médio e máximo, igual a 19,5; 193,3 e 367,5 em mm/ano. Já Pasto Grande apresentou 0; 118,3 e 292,5 em mm/ano, respectivamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método VNA deve ser aplicado com cautela, principalmente, na estimativa da porosidade específica (S_y), pois qualquer variação deste parâmetro influencia significativamente o resultado. O emprego de diferentes métodos de estimativa de recarga, incluindo a separação de escoamentos, pode auxiliar na interpretação dos resultados proporcionando maior confiabilidade. Dos dados de Q_{bf} , o Filtro Eckhardt apresentou maior distorção dos demais, sendo o elemento de maior peso na amplitude na Tabela 1. Constatou-se a diminuição do armazenamento subterrâneo no início e no fim do período analisado. Considerando S_y máximo, a ΔS^{sw} foi negativa e inferior a 2% da precipitação em ambas as áreas de drenagem. Em relação ao método VNA, o mínimo para ET^{sw} foi igual a zero para estação Pasto Grande, condição inválida, pois consideraria que não houve ET^{sw} durante todo o ano hidrológico 2012/2013. Portanto, considerando este fato e os valores de escoamento de base calculados, é coerente inferir que a recarga para o ano hidrológico 2012/2013, na bacia, está entre o valor próximo ao médio estimado, 383 mm/ano, e o máximo, 552 mm/ano, e que o S_y é superior ao valor mínimo adotado neste estudo.

Observa-se que o piezômetro de Faz. Laranjeiras apresentou menor recarga para o ano, variando entre 171 e 439 mm. Isto pode ser reflexo da região em que se encontra o piezômetro, sendo a oeste da bacia, no qual está inserido o Complexo Metamórfico Divinópolis, conforme Figura 1, onde a litologia sugere pouca chance de ocorrerem fraturas abertas que facilitariam à infiltração. O Grupo Sabará é a unidade geológica de maior recarga.

Do exposto, o artigo apresentou a estimativa de recarga através de uma análise múltipla a fim de definir a faixa de recarga para o período estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - Agência Nacional das Águas. Portal Hidroweb. Disponível em <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acessado em: 02/02/2018.
- Brodie, R.S.; Hostetler, S.A *review of techniques for analysing baseflow from stream hydrographs. Managing Connected Water Resources Project, Bureau of Rural Sciences, the Australian National University.* 2005.
- Cook, P. G.; H., Richard W.; Scanlon, B. R. *Choosing appropriate techniques groundwater recharge.* Hydrogeology Journal, v 10, n. 1, p. 18-39, 2002.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. RIMA e SIAGAS. Disponível em <<https://www.cprm.gov.br/publique/Sistemas-Geocientificos/SIAGAS-e-RIMAS-3550.html>>. Acessado em: 04/02/2018.
- Crouse, M.; Sloto, R. *Hysep: a computer program for streamflow hydrograph separation and analysis.* USGS - U.S. Geological Survey. Lemoyne, Pennsylvania. 1996.
- Eckhardt, K. *How to construct recursive digital filters for baseflow separation.* Hydrol. Process. v 19, p.507–515. 2005.
- Fitts, C. R. *Águas Subterrâneas.* Editora Campus. 2ª ed. 2015.
- Healy, R. W; Cook, P. G. *Using groundwater levels to estimate recharge.* Hydrogeology Journal. 2002. v 19. p.101. 2002.
- Lyne, V; Hollick, M. *Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. Institute of Engineers Australia National Conference.* Publ. 79/10, p.89-93.1979.
- Johnson, A. *Specific yield – compilation of specific yields for various materials. US GeolSurv Water-Supply Paper 1662-D, 74 pp.* 1967.
- Pinto, E. J.; Lima, J. E; Davis, E. G.; Silva, A. J.; Dantas, C. E.; Candido, M. O.; Palmier, L. P.; Monte-mor, R. C. A. *Estimativa da recarga natural do aquífero livre de uma sub-bacia da bacia representativa de Juatuba (MG) aplicando o método da Variação dos Níveis d'Água (VNA).* XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 2010.
- Tucci, C. *Hidrologia: ciência e aplicação.* 2ed. Porto Alegre. UFRGS: ABRH. 2001.