

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE RECARGA AQUIFERA APLICADOS À BACIA DO RIO IBICUÍ/RS

Camila Dalla Porta Mattiuzi^{1}; Flora Würth Simon²; Roberto Kirchheim³; Walter Collischonn⁴; Pedro Antonio Roehé Reginato⁵; Fernando Mainardi Fan⁶*

Resumo - A estimativa de recargas aquíferas é um fator determinante para a gestão sustentável das águas subterrâneas, uma vez que permite a manutenção da quantidade e qualidade da água dos aquíferos. Para a estimativa de recargas aquíferas existem diversos métodos que podem ser empregados e que variam de acordo com as características da área estudada e as escalas a serem trabalhadas. No presente estudo foram avaliadas as estimativas de recarga na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí utilizando os métodos de Separação de Escoamento de Base e Variação dos Níveis d'Água. Levando em consideração as limitações de escala, os resultados da estimativa de recarga aquífera pelos dois métodos convergiram.

Palavras-Chave – Recarga Aquífera, Escoamento de Base, Nível d'Água

COMPARISON OF METHODS OF AQUIFER RECHARGE ESTIMATIVE APPLIED TO THE IBICUI RIVER BASIN/RS

Abstract - The estimate of aquifer recharge is a determining factor for the sustainable management of groundwater, since it allows the maintenance of the quantity and quality of water from the aquifers. There are several methods of estimating aquifer recharge that can be employed and they vary according to the characteristic of the studied area and scales of work. In the present study the recharge rates were evaluated in the Ibicuí River Basin using Baseflow Separation and Water Table Fluctuations. Taking in consideration the scale limitation, the results of the aquifer recharge estimation by both methods converged.

Keywords – Aquifer Recharge, Baseflow, Water Table

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos representam fator fundamental para o desenvolvimento ambiental, social e econômico, e por esta razão, é imprescindível a compreensão do seu comportamento e dinâmica. O conhecimento detalhado sobre as disponibilidades e demandas hídricas, bem como o estudo de suas interações, é essencial para um planejamento e gestão adequados, condição fundamental para o seu uso sustentável. As águas subterrâneas desempenham papel vital, suprindo as mais variadas necessidades de hídricas, e também sendo fundamentais para a manutenção dos corpos d'água superficiais a partir de descargas aquíferas.

¹ Pesquisadora em Geociências na Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – CPRM e Mestranda no Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental no Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH; camila.mattiuzi@cprm.gov.br

² Engenheira Ambiental; florawsimon@gmail.com

³ Pesquisador em Geociências na Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – CPRM; roberto.kirchheim@cprm.gov.br

⁴ Professor no Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; collischonn@uol.com.br

⁵ Professor no Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; pedro.reginato@ufrgs.br

⁶ Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; fernando.fan@ufrgs.br

Um dos maiores desafios do estudo das águas subterrâneas envolve a quantificação das disponibilidades hídricas subterrâneas, ou seja, estimar a magnitude de suas reservas permanentes e renováveis. Sendo assim, neste estudo foram aplicados dois métodos de estimativa de recarga aquífera na Bacia do Rio Ibicuí, com o objetivo de estimar a taxa de recarga e realizar uma comparação entre os métodos.

METODOLOGIA

Existem diversos métodos para estimativa de recarga, e a escolha do melhor método deve se basear não apenas nos dados disponíveis e nas características da área, mas também nas escalas temporais e espaciais. A seguir serão descritos os métodos utilizados neste trabalho: Separação de Escoamento de Base e a Variação do Nível d'Água.

Separação do Escoamento de Base

Métodos baseados na separação do escoamento de base utilizam dados de séries históricas de vazão para determinar as parcelas direta e indireta do escoamento, a partir da análise do hidrograma e da aplicação de filtros numéricos. Neste trabalho foi utilizado o Filtro de Eckhardt (2005), um algoritmo que obtém o fluxo de base em cursos d'água através da separação da vazão do rio em duas componentes: escoamento superficial (direto) e escoamento de base (indireto), conforme a Equação 1. Este método está sujeito à premissa que o escoamento de base é menor ou igual ao escoamento total do rio.

$$y_i = f_i + b_i \quad (1)$$

Em que y é a vazão do rio; f é o escoamento superficial; b é o escoamento de base.

Para a obtenção da vazão de base são necessários outros parâmetros, como a Constante de Recessão a e o Índice de Escoamento de Base BFI (Base Flow Index).

A constante de recessão - a - está relacionada com a descarga em um intervalo de tempo definido em períodos de recessão, pois neste período, como não existe entrada por precipitação, o escoamento superficial direto é nulo, havendo uma descarga natural do aquífero. Para o cálculo deste parâmetro deve-se analisar o hidrograma do posto fluviométrico em busca de períodos característicos de recessão (Equação 2). É interessante que se faça uma avaliação da periodicidade das recessões, analisando se o parâmetro a mantém um valor constante ao longo do tempo; se não, deve-se avaliar o que está influenciando as recessões, para que se obtenha um valor de a representativo.

$$a = e^{\frac{-\Delta t}{k}} \quad (2)$$

Em que a é a constante de recessão; Δt é o intervalo de tempo de recessão; k é a constante do período característico de recessão.

O Índice de Escoamento de Base é a razão, a longo prazo, entre o fluxo de base e a vazão total; para o uso do filtro de Eckhardt se utiliza um valor máximo deste índice, o BFI_{max}, o qual restringe o valor máximo do algoritmo. Eckhardt (2005) propõe valores predefinidos para o parâmetro BFI_{max}, que são definidos a partir da natureza do curso d'água (perene ou efêmero) e da característica hidrogeológica do aquífero (poroso ou confinado). Estes valores foram determinados a partir da comparação de resultados de separação de escoamento de base por diversos métodos em diversos locais. Posteriormente Eckhardt (2008) sugeriu que estes valores predefinidos poderiam causar

aproximações tendenciosas no cálculo do BFI, limitado o valor máximo do parâmetro. Collischonn e Fan (2012) propuseram outra forma para estimar o parâmetro BFI_{max}, baseada na relação das vazões Q₉₀/Q₅₀ (Equação 3). Esta razão foi utilizada para calcular o BFI_{max} em 15 estações localizadas na região sul do Brasil, sendo obtidos resultados adequados. A partir disso foi realizada uma correlação e então obtida uma Equação (3) que relaciona o BFI_{max} com a razão Q₉₀/Q₅₀; sujeito a BFI_{max}<1.

$$BFI_{max} = 0.8344 \frac{Q_{90}}{Q_{50}} + 0.2146 \quad (3)$$

Esta equação está ajustada para as regiões sul e central do Brasil; como a nossa área de estudo está localizada na região sul, este método foi utilizado na estimativa do parâmetro BFI_{max} no presente estudo.

Mais informações acerca da metodologia utilizada neste trabalho podem ser encontradas em Mattiuzi (2013), Collischonn & Fan (2012) e Eckhardt (2005, 2008).

Variação do Nível d'Água

O método da variação do nível de água (VNA) ou, em inglês, water-table-fluctuation (WTF), utiliza flutuações de níveis de água subterrânea ao longo do tempo para estimar recarga em aquíferos livres (Healy, 2010). Este método é baseado na premissa que as elevações nos níveis de água subterrânea em aquíferos livres ocorrem devido a recarga aquífera que chega na superfície piezométrica. Healy e Cook (2002) apresentam a Equação (4):

$$R = S_y \cdot \frac{dh}{dt} = S_y \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (4)$$

Em que R = recarga; S_y = rendimento específico; h = altura do nível d'água; t = tempo.

A Equação 4 assume que a água que atinge o nível freático entra imediatamente em armazenamento e que todos os outros componentes do balanço hídrico subterrâneo (evapotranspiração subterrânea, fluxo de base, entrada e saída de fluxo sub-superficial) são nulos durante o período de recarga.

Conforme Healy (2010), com a aplicação da Equação 4 teremos que para cada elevação individual de nível será gerada uma estimativa de recarga. Para determinar a recarga total, Δh é considerado igual à diferença entre o pico de subida e ponto mais baixo da curva de recessão antecedente extrapolada até o instante do pico (Figura 2). A curva de recessão antecedente é o traço que o hidrograma do poço teria seguido na ausência de elevação do nível d'água (Healy, 2002; 2010).

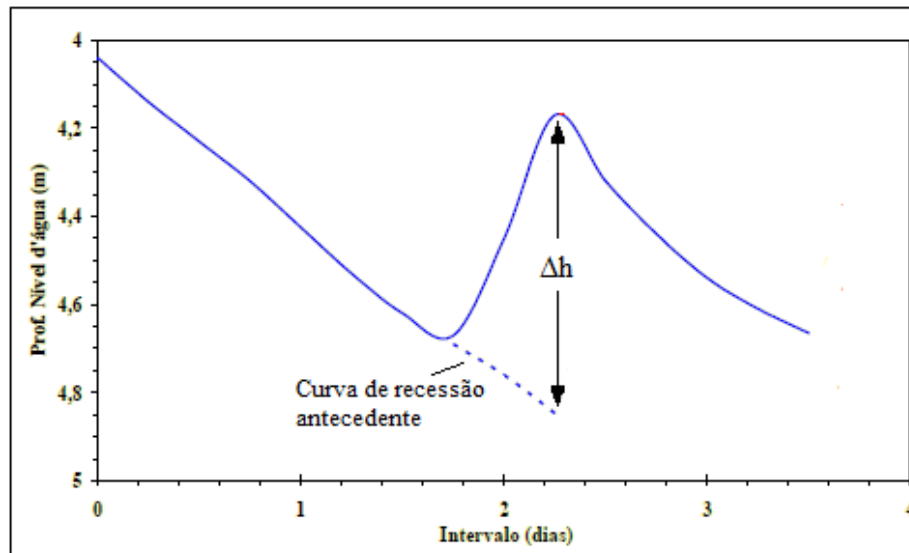


Figura 2. Elevação hipotética no nível d'água do poço em resposta à precipitação

Fonte: Adaptado de Maziero e Wendland (2005)

Um parâmetro necessário para a estimativa de recarga através do método VNA e que deve ser estimado é o rendimento específico - S_y . O rendimento específico de um solo (ou rocha) pode ser definido como a proporção do volume d'água que, depois de saturado, é drenado por gravidade com relação ao seu próprio volume (Maziero; Wendland, 2005). Healy e Cook (2002, 2010), assim como outros autores, apresentam a seguinte Equação 5.

$$S_y = n - S_r \quad (5)$$

Em que S_y = rendimento específico; n = porosidade total; S_r = retenção específica.

O Glossário de Termos Hidrológicos (ANA) considera sinônimos os termos porosidade efetiva (n_e) e rendimento específico (S_y). Neste trabalho será utilizado o termo rendimento específico (S_y), pois este já é usualmente associado a métodos de estimativa de recarga, conforme descrito em Simon (2014).

Maiores informações sobre esta metodologia, determinação do rendimento específico e aplicação do método por outros autores podem ser encontradas em Simon (2014), Healy (2010), e Healy e Cook (2002).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde à bacia do rio Ibicuí no RS. A bacia do Ibicuí trata-se de uma região de grande importância hidrogeológica para o RS, pois alberga expressiva disponibilidade hídrica subterrânea devido à existência de SAG aflorante, semi-confinado e confinado. As motivações desta escolha também dizem respeito à disponibilidade de dados de níveis de água subterrânea registrados a partir de poços de monitoramento pertencentes ao Projeto RIMAS (CPRM) e dados de postos fluviométricos da ANA.

A Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, localizada na porção oeste do Estado do Rio Grande do Sul, está inserida na Região Hidrográfica do Rio Uruguai; possui uma área de 47.320km², contendo 29 municípios, totalizado 921mil habitantes; a precipitação

média na bacia é 1540 mm/ano (MMA, 2006). Uma descrição mais aprofundada da área de estudo pode ser encontrada em Mattiuzi (2013) e Simon (2014).

Obtenção dos dados

- *Postos Fluviométricos*: para o presente trabalho foram selecionados 5 postos fluviométricos da Agência Nacional de Águas localizados na bacia do rio Ibicuí, que possuíam uma longa série de dados de medição de vazão e estavam inseridos no SAG, abrangendo os poços de monitoramento do RIMAS (ANA, 2013). Estes dados foram utilizados para a delimitação das bacias hidrográficas e para a aplicação do filtro de separação de escoamento de base. Os postos escolhidos foram: 76650000 – Passo da Cachoeira, 76310000 – Rosário do Sul, 76742000 – Passo do Osório, 76800000 – Passo Mariano Pinto, 76300000 – Ponte Ibicuí da Armada.
- *Poços de Monitoramento*: Inicialmente, fez-se o levantamento de poços tubulares no estado do RS consultando o SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas), operado e mantido pela CPRM. Dentre os poços levantados, foram identificados aqueles pertencentes à rede RIMAS, ou seja, aqueles poços que são utilizados de forma dedicada e exclusiva ao monitoramento da flutuação do nível de água. Entre estes poços da RIMAS buscou-se os que fossem localizados dentro da bacia do Ibicuí, pertencentes a aquíferos livres, e que tivessem no mínimo um ano de dados de monitoramento. Os poços de monitoramento escolhidos foram: Puitã, ETA Centro, São Carlos, Escola Agrícola, Santa Rita, Torrão.
- *Precipitação*: Utilizou-se como base para esta caracterização os dados em shapefile de Isoietas Médias Anuais do projeto Atlas Pluviométrico (CPRM), para então gerar-se um mapa com a distribuição da precipitação na bacia do Ibicuí.

Na Figura 3 está apresentado o mapa de localização da bacia do Ibicuí, bem como os postos fluviométricos e poços de monitoramento utilizados neste estudo.

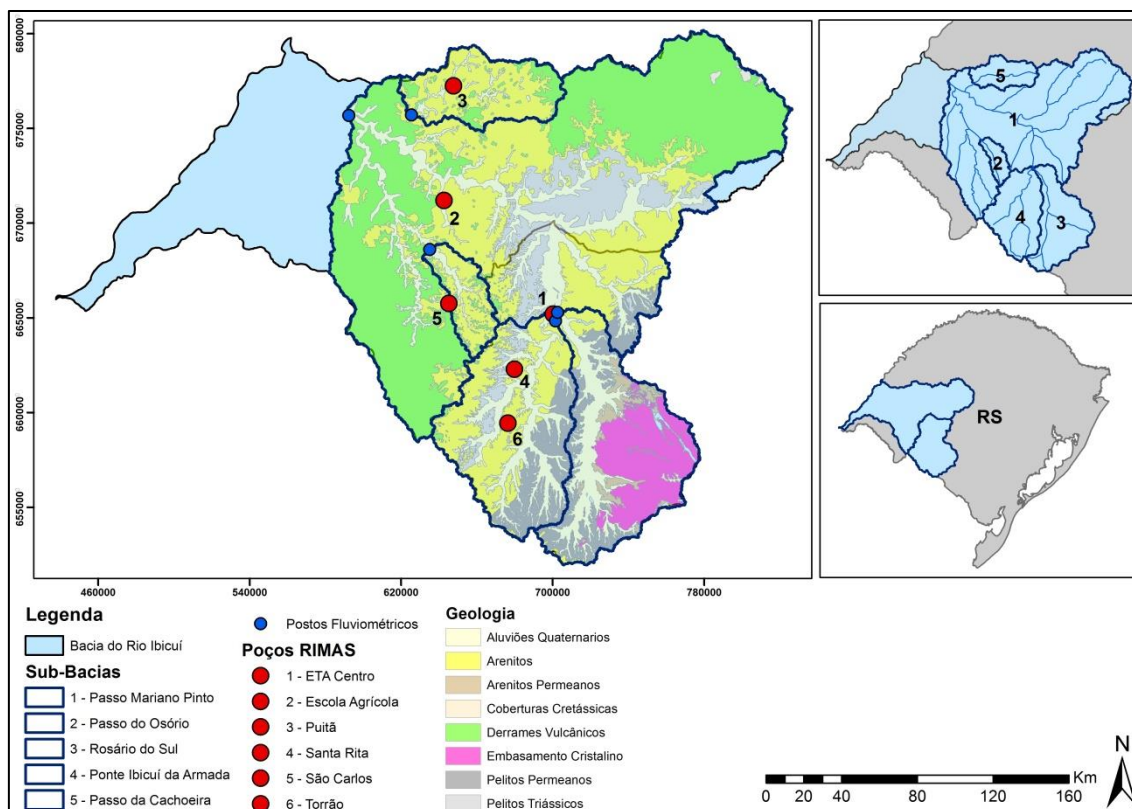


Figura 3. Mapa de Localização da Bacia do Rio Ibicuí

RESULTADOS

As recargas aquíferas obtidas pela separação de escoamento de base e pela variação do nível d'água foram comparadas com a precipitação do local, e então foi obtida a porcentagem de precipitação que efetivamente se torna recarga aquífera. Na Tabela 1 estão apresentados os resultados obtidos pelos dois métodos.

Tabela 1: Comparação de dois métodos de estimativa de recarga

| VNA ¹ | | Escoamento de Base ² | | |
|------------------|------------|---------------------------------|----------------------------------|------------|
| PM | Rec/pp (%) | Sub-bacia | Área drenagem (km ²) | Rec/pp (%) |
| Puitã | 15,5 | Passo da Cachoeira | 2564 | 21,0 |
| ETA Centro | 30,2 | Rosário do Sul | 12092 | 11,0 |
| São Carlos | 13,2 | Passo do Osório | 1165 | 13,0 |
| Escola Agrícola | 17,3 | Passo Mariano Pinto | 42108 | 12,0 |
| Santa Rita | 11,5 | Ponte Ibicuí da Armada | 6004 | 11,0 |
| Torrão | 11,7 | Ponte Ibicuí da Armada | 6004 | 11,0 |

1 - Valores encontrados em Simon (2014)

2 - Valores encontrados em Mattiuzi (2013)

Com relação às convergências, é visível a similaridade das magnitudes nos valores encontrados para o poço São Carlos, Santa Rita e Torrão, com os valores de recarga média encontrados nas sub-bacias representativas de Passo do Osório e Ponte Ibicuí da Armada. Este fato pode significar que a maior parte do arcabouço hidrogeológico destas áreas de drenagem corresponde ao material geológico aflorante no local destes PM's. A sub-bacia Passo do Osório, 66% de sua área tem predominância

de arenitos aflorantes, enquanto que para a sub-bacia Ponte Ibicuí da Armada, este valor cai para 43%, mas ainda é a unidade geológica predominante (Mattiuzi, 2013).

O valor mais elevado encontrado na sub-bacia Passo da Cachoeira também é plausível, uma vez que a recarga média congrega toda a área de drenagem a montante da estação avaliada. Já o valor de recarga estimado para a sub-bacia Rosário do Sul, vem a indicar que a recarga encontrada no PM ETA Centro provavelmente representa um valor superestimado, possivelmente devido a interferências do tipo rio-aquífero, como já mostrado no decorrer deste trabalho. O valor mais elevado no PM Escola Agrícola pode indicar que nesta região próxima ao mesmo a recarga também é mais elevada, enquanto que a média da bacia, que possui grande área de drenagem, tem valor menor. Assim, muito provavelmente as condições de recarga pontual nas imediações do PM são distintas e não se reproduzem ao longo da respectiva sub-bacia definida por Mattiuzi (2013).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da realização deste trabalho foi possível verificar que o método de separação de escoamento de base utilizando o Filtro de Eckhardt (2005) com o cálculo do parâmetro BFI_{max} através da metodologia proposta por Collischonn e Fan (2012) é uma metodologia eficaz e rápida para o dimensionamento das taxas de recarga aquíferas. Este método necessita de informações que estão disponíveis, o que facilita a sua utilização. Deve-se levar em consideração as incertezas nos dados utilizados (vazão e precipitação), e a subjetividade na escolha do período de recessão, que interfere no parâmetro a . Além disso, existe a dificuldade na determinação do BFI_{max}, que é dependente da área de estudo, requerendo um esforço específico no sentido de definir os parâmetros da equação.

Com relação ao método VNA, sua maior vantagem encontra-se na sua simplicidade. Não é necessário levar em conta os mecanismos de transporte que regem a passagem de água na zona não saturada, o que permite desconsiderar, por exemplo, a existência de caminhos preferenciais de fluxo (Healy e Cook, 2002 *apud* Pinto et al., 2010). Este método apresenta uma estimativa de recarga mais pontual, só podendo ser utilizado na estimativa de recarga em aquíferos livres, nos quais ocorram flutuações nos níveis de água subterrânea ao longo do tempo. A estimativa do rendimento específico, o tamanho da série histórica e a aproximação escolhida para determinação da curva de recessão são alguns fatores que podem influenciar nos resultados alcançados pelo método, conforme descrito em Simon (2014).

Apesar das diferenças entre os métodos, foram encontrados valores similares de recarga aquífera. Pelo método VNA, as estimativas de recarga em cada um dos PM's representam condições locais, cujos valores não necessariamente podem ser extrapolados para uma região maior (como a bacia ou a área de exposição ou afloramento do aquífero). Já pelo método de separação de escoamento de base obtém-se um valor de recarga média para toda uma sub-bacia, que pode apresentar diferentes tipologias de geologias e solos, ou seja, deve-se ter um profundo conhecimento da área de estudo para que se possa concluir de que unidade geológica é proveniente a contribuição do fluxo de base.

Apesar de algumas diferenças encontradas, foi possível perceber que a comparação entre os métodos permitiu uma definição mais segura da recarga na região da Bacia do Rio Ibicuí, uma vez que a recarga foi determinada de maneira pontual (método VNA) e em seu valor médio (método do escoamento de base). Também foram avaliadas algumas vantagens e desvantagens dos métodos utilizados, ficando evidente a importância da utilização de várias metodologias para a estimativa de recarga aquífera.

AGRADECIMENTOS

À CPRM pela disponibilização dos dados do RIMAS e do SIAGAS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. (2013) Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br>>. Acesso em: setembro, 2013.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. (2012) Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Flow Filter. *Hydrological Processes*, v. 27, p. 2614-1622.

ECKHARDT, K. (2005) How to construct recursive digital filters for base flow separation. *Hydrological Process*, v. 19, p. 507-515.

ECKHARDT, K. (2008) A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *Journal of Hydrology*, v. 352, p. 168–173.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. (2002) Using groundwater levels to estimate recharge. In:

Hydrogeology Journal. v.10(1). Springer-Verlag, Berlin. p 91-109. Disponível em:

<http://www.hydrosys.net/myplus/bbs/table/hydrosys_doc/upload/Using%20groundwater%20levels%20to%20estimate%20recharge.pdf>. Acesso em 20 mai. 2014.

HEALY, R.W. (2010) *Estimating groundwater recharge*. Cambridge.

MATTIUZI, C. D. P. (2013) Estimativa de recarga a partir da separação de escoamento de base na bacia hidrográfica do rio Ibicuí/RS. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MAZIERO, T. A.; WENDLAND, E. (2005) Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP. In: XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Disponível em:

<<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23197>> Acesso em 5 abr. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. (2006) *Caderno da Região Hidrográfica do Rio Uruguai*. Brasília/DF, 132p.

PINTO, E. J. de A.; LIMA, J. do. E. S.; DAVIS, E. G.; SILVA, A. J. da.; DANTAS, C. D. de. O.; CANDIDO, M. de. O.; PALMIER, L. R.; MONTE-MOR, R. C. de. A. (2010) Estimativa da recarga natural do aquífero livre de uma sub-bacia da bacia representativa de Juatuba (MG) aplicado o método da variação dos níveis d'água (VNA). In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luís – MA, 2010. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/evento_PAP004229.pdf>. Acesso em 19 mar.

2014.

SIMON, F. W. (2014) Estimativa de recarga do Aquífero Guarani na bacia do rio Ibicuí (RS), com base na aplicação do método de variação dos níveis de água. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.