

APLICAÇÃO DO MÉTODO *WTF* PARA DETERMINAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE RECARGA DE AQUÍFERO: COMPARAÇÃO ENTRE DUAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS

*Cristiane Dambrós*¹ & *José Luiz Silvério da Silva*²

Resumo – As estimativas acuradas de recarga subterrânea são extremamente importantes na gestão dos sistemas de águas subterrâneas. Este trabalho visa estimar a recarga subterrânea, em aquífero livre, poroso intergranular pertencente à Formação Pirambóia constituído por arenitos silto-argilosos, localizada em duas sub-bacias hidrográficas, realizada através da aplicação do método *Water Table Fluctuation - WTF*. As sub-bacias estão localizadas em zona de afloramentos (ZA) do Sistema Aquífero Guarani/SAG, no município de Rosário do Sul, Estado do Rio Grande do Sul sudoeste do Brasil. O monitoramento foi realizado a partir de cinco poços instalados em duas sub-bacias hidrográficas. Analisou-se a flutuação do nível da água subterrânea no período 2009-2011. Estimaram-se valores entre 1,36 a 4,52 m na flutuação do nível da água. A recarga subterrânea no período foi de 170 mm na sub-bacia hidrográfica de campo e enquanto na sub-bacia hidrográfica com floresta de *Eucalyptus* foi de 142 mm. Estudos relativo à recarga de aquíferos são fundamentais para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos em escala local (poço de monitoramento) e/ou regional da bacia hidrográfica.

Palavras-Chave – SAG, monitoramento, método *WTF*.

APPLICATION OF THE WATER TABLE FLUCTUATION METHOD FOR DETERMINING OF ESTIMATES OF AQUIFER RECHARGE: COMPARISONS BETWEEN TWO SUB-WATERSHED

Abstract – Accurate estimation of groundwater recharge is extremely important for proper management of groundwater systems. This paper presents studies using groundwater levels to estimate recharge in unconfined aquifers, intergranular porous belonging to Pirambóia Formation consists of silty-clayey sandstones. Were select two sub- watersheds. It was performed by applying the *Water Table Fluctuation – WTF* method. Were studied two areas located at Outcrop zones (ZA) of the Guarani Aquifer System/GAS, in the municipality of Rosario do Sul, Rio Grande do Sul state, southeast Brazil. This studies was performed in five monitoring wells, installed in two sub-watersheds. Was estimated the water-table fluctuation during 2009-2011. Were estimated values between 1.36 to 4.52 m in the water-table level. The groundwater recharge estimated was 170 mm in the sub-watershed native field while in the sub-watershed with eucalyptus forest was 142mm. Studies on groundwater recharge are key to the sustainable management of water resources at the local level (monitoring well) and/or regional watershed.

Keywords – GAS, monitoring, *WTF* method.

INRODUÇÃO

Este trabalho inscreve-se na investigação que visa diagnosticar e contribuir para a preservação dos recursos hídricos subterrâneos, seu uso sustentável e planejamento de ações de gerenciamento.

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia – IGCE/UNESP – Rio Claro/SP, e-mail: cristianedambros@gmail.com.

² Professor Doutor José Luiz Silvério da Silva lotado no Departamento de Geociências – UFSM – Santa Maria/RS, e-mail: silverioufsm@gmail.com

Destaca-se a necessidade de testar metodologias para estimativas de recarga da água subterrânea em diferentes usos dos solos.

As discussões a cerca da temática, água subterrânea contribuindo para desvendar as potencialidades dos aquíferos e, para a melhoria na eficiência do gerenciamento dos recursos hídricos. O estudo, em seus objetivos e em sua metodologia, procura investigar a flutuação do nível da água subterrânea em sub-bacias e estima a recarga subterrânea, pelo monitoramento do nível estático da zona saturada.

Este trabalho faz parte do Projeto ASUB/UFCG/UFAL/UFMS e somam-se aos demais trabalhos do Laboratório de Hidrogeologia desenvolvidos (PAVÃO, 2004; SILVÉRIO DA SILVA *et al.* 2009; DESCOVI FILHO, 2010; DAMBRÓS, 2011; DAMBRÓS *et al.* 2011; MARTELLI, 2012, SILVÉRIO DA SILVA e DAMBRÓS, 2012).

CARACTERIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS COM FLORESTA DE *EUCALYPTUS* E CAMPO NATIVO

Foram escolhidas duas sub-bacias com diferentes usos dos solos. Uma sub-bacia com florestamento de *eucalyptus* e outra com campo nativo. Ambas estão localizadas no município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul/Brasil, em zona de afloramentos (ZA) do Sistema Aquífero Guarani – SAG (OEA/PSAG/PEA, 2010). Na sub-bacia de campo foi monitorado um poço freático, enquanto na sub-bacia com atividade de silvicultura foram monitorados quatro poços.

As sub-bacias hidrográficas representativas estão localizadas na Depressão Periférica do Rio Grande do Sul e abrangem as unidades litológicas da Bacia Sedimentar do Paraná constituídas pelos arenitos da Formação Pirambóia/SAG (BRASIL/CRPM/2008). Estes formam aquíferos livres.

Estimou-se a partir das cotas altimétricas dos poços de monitoramento até o vertedouro, uma declividade média do terreno de 8,7%, compondo um relevo suave ondulado a ondulado (De BIASI 1992).

Salienta-se que a sub-bacia hidrográfica de campo abrange uma área de 21 hectares. Na Figura 1, pode-se observar a paisagem de campo nativo, com vegetação de gramíneas, bem como a condição do poço (P1). Na sub-bacia hidrográfica florestada com *eucalyptus* estimou-se uma área de 84 hectares. Nesta foram perfurados quatro poços para monitoramento do nível da água subterrânea, com profundidades variando entre 10 a 18m. Sendo dois poços localizados na área florestada, um na interface e um na Área de Preservação Permanente – APP, representados, respectivamente, nas Figuras 2, 3 e 4.



Figura 1: Poço (P1) (Profundidade 20m), e sua condição de paisagem campo nativo e seu entorno.

Os poços (P2) e (P5) foram perfurados nas profundidades de 18 e 15m, se localizam no interior da floresta implantada, em condição altimétrica mais elevada do que os demais. Suas cotas altimétricas são de 155 m e 136 m, acima do nível médio do mar, Porto de Imbituba/Santa Catarina, respectivamente (Figura 2).



Figura 2: Condição de paisagem no entorno dos poços de monitoramento localizados dentro da floresta de eucaliptos.

O poço de monitoramento (P3) foi perfurado na profundidade de 12m, está localizado na interface da área florestada e da área de (Área de Proteção Permanente) APP, mantendo as características da paisagem, ou seja, campo *sujo*, contendo diferentes espécies de gramíneas (Figura 3).

Existem vários métodos para se realizar estimativas de recarga subterrânea, cada um deles assumindo premissas e incertezas. Estudos, no Brasil, relacionados à flutuação do nível da água subterrânea e uso do método *WTF*, intensificaram-se a partir da década de 2000 (BARRETO, 2006; WENDLAND *et al.* 2007) em (ZA) do SAG em São Carlos estado de São Paulo .



Figura 3: Poço (P3) localizado na interface floresta e campo *sujo* na Planície Aluvial.

Na APP da sub-bacia hidrográfica florestada, apresenta-se vegetação de campo sujo, nele situa-se poço de monitoramento (P4) na profundidade de 10m (Figura 4).



Figura 4: Poço (P4) localizada na área de APP (campo sujo), próxima de um curso de águas.

Healy e Cook (2002) afirmam que as estimativas de recarga são extremamente importantes para a gestão do sistema de águas subterrâneas e destacam a fácil aplicabilidade do método *WTF*. Este método é uma simplificação *grosseira* de um fenômeno complexo, ou seja, do movimento da água subterrânea e do lençol freático.

O método *WTF* pode ser usado de dois modos: para estimativas de eventos (dias, semana, mês) ou em períodos mais extensos (anos), sendo também possível a estimativa em escala local e regional, este método foi considerado o mais sensível entre três métodos comparados (WAHNFRIED e HIRATA, 2005).

Observa-se que o método *WTF*, além de ser sensível à estimativa de recarga, supre algumas deficiências que os outros métodos apresentam. Esse está baseado na premissa de que os aumentos dos níveis das águas subterrâneas em aquíferos livres são devido à água de recarga do lençol

freático pela precipitação pluviométrica direta (HEALY e COOK, 2002). A Equação 1 apresenta seu cálculo.

$$R = S_y * dh / dt = S_y * \Delta h / \Delta t \quad (1)$$

sendo:

(S_y) - rendimento específico;

(Δh) - flutuação nível freático;

(Δt) - período monitorado.

Para a determinação do (Δh), deve-se somar cada diferença entre, os picos de ascensão e os pontos mais baixos da curva extrapolada antecedente à recessão, na hora do pico (HEALY e COOK, 2002; DAMBRÓS, 2011).

Considera-se subjetiva a extrapolação da curva de recessão, pois não há padronização da equação gráfica, apenas tenta-se melhor ajustar a curva entre o processo de defasagem e o início da variação do nível.

METODOLOGIA

A abordagem sistêmica contribuiu para o entendimento organizacional do objeto de estudo, seu funcionamento e o grau de complexidade de suas relações.

A pesquisa foi desenvolvida a campo com coletas de amostras de solo e/ou rocha, deformadas e não deformadas e no laboratório na determinação do (S_y). Quinzenalmente foi determinada a profundidade do nível da água de cada poço com Freatímetro sonoro TLC Solinst, para verificação e comparação de possíveis erros nos transdutores de pressão (medidor automático *barologger* e *levelogger* da Solinst®). Usou-se posicionamento por *Global Position System/ GPS* dos poços.

As perfurações dos poços ocorreram no primeiro semestre de 2009, seguindo as Normas técnicas da ABNT/ NBR 15495-1. O período em análise nesta pesquisa foi de setecentos e sessenta e seis (766) dias na sub-bacia de campo, iniciando no dia 26/05/2009 até o 30/06/2011. Já na sub-bacia florestada foram setecentos e vinte e um (721) dias, iniciando em 10/07/2009 até 30/06/2011.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O monitoramento dos poços e trabalhos de campo permitiu uma aproximação da realidade das águas subterrâneas das duas áreas em estudo caracterizada por serem de distintos usos do solo. Os principais resultados estão relacionados à estimativa de recarga através da aplicação do método *WTF*.

Pelos medidores automáticos, foi possível obter dados do nível da água subterrânea em intervalos de 60 minutos durante 766 dias, na sub-bacia de campo nativo enquanto na sub-bacia florestada foi durante 721 dias. Devido ao grande volume de dados, os mesmos foram

sistematizados em valores médios em intervalos de tempo de 24 horas, facilitando as leituras e as interpretações dos mesmos.

Todos os poços de monitoramento apresentaram visível relação entre a variação do nível com os eventos de precipitação. Esta variação destacou-se, entre os dias 160 a 270, correspondentes aos meses de Nov. e Dez./2009 e, Jan. e Fev./2010, ocorreram eventos extremos de precipitação pluviométrica, sendo que no dia 162, precipitaram 269 mm.

O poço (P1) figura 1, apresentou uma variação total de 2,61m na flutuação do nível da água subterrânea. O Poço (P4), localizado na APP figura 4, apresentou uma faixa de flutuação de nível de 1,80 m.

Diferentemente dos demais poços, o (P3) figura 3, apresentou uma faixa de flutuação de 1,36 m, enquanto nos poços (P5) e (P2, figura 2) foi de 2,5 m e 4,52 m respectivamente.

A Figura 5 ilustra a correlação determinada pela regressão linear obtida entre o nível da água subterrânea e a precipitação pluviométrica. Verificou-se que há alta correlação linear entre estas duas variáveis no período. Assim, elegeu-se um evento, para tal verificação, entre os dias 187 a 191. Utilizando-se os dados referentes ao poço (P1). Testou-se a correlação em outros eventos que também apresentaram muita semelhança.

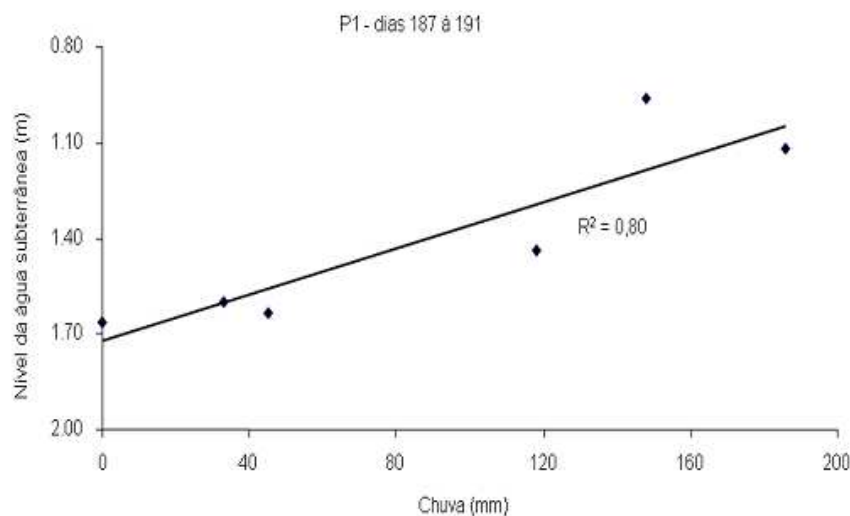


Figura 5: Comportamento da regressão linear entre o nível da água subterrânea e a precipitação entre os dias de 187 a 191 no poço (P1) e determinação de sua correlação (R^2).

As variáveis para aplicação do método *WTF*, foram consideradas na seguinte forma: (Δt) período de tempo em que se realizou o monitoramento, totalizando 721 dias; (Δh) diferença entre os picos de elevação do nível e o ponto baixo da curva de recessão extrapolada antecedente na hora do pico e; o (S_y) determinado a partir dos dados de porosidade total, sendo os valores de 16,87% na sub-bacia hidrográfica de campo nativo e de 13,75% sub-bacia hidrográfica florestada (DAMBRÓS, 2011). A Tabela 1 apresenta os valores de recarga dos poços.

Tabela 1 - Dados de recarga dos poços de monitoramento para as sub-bacias de campo e florestada (DAMBRÓS, 2011).

Sub-bacia	Poços	WTF - recarga (mm/período)
campo	P1	170
	P2	150
	P3	60
Florestada	P4	220
	P5	140

Pelo fato da sub-bacia hidrográfica de campo nativo apresentar apenas um poço de monitoramento, foi possível apenas obter uma informação em escala pontual sobre a recarga do aquífero livre presente. Já, na sub-bacia florestada avaliada em quatro poços de monitoramento, amplia-se a possibilidade de entendimento da dinâmica da sub-bacia hidrográfica. Em 2012 mais quatro poços foram perfurados e estão sendo estudados na tese de doutorado de Baumhardt *et al.* (2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento do nível da água subterrânea nos poços monitorados estimou-se que, a flutuação do nível da água subterrânea ocorreu em ambas sub-bacias. Esta flutuação variou de 1,36 m até 4,52 m no período de estudado (2009/2011) nos cinco poços monitorados.

O uso do método *WTF* para as estimativas de recarga da água subterrânea em aquífero poroso, intergranular livre, pertencente à Zona de Afloramentos do SAG demonstrou ser de fácil aplicabilidade e alcançou resultados satisfatórios.

Em comparação com resultados obtidos em pesquisas de estimativas de recarga subterrâneas já realizadas em zona de afloramentos pertencentes ao SAG, considerou-se que, os resultados obtidos nesta pesquisa foram satisfatórios.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a FINEP e ao CNPq/Brasil pelo apoio financeiro, possibilitando a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15495-1 Norma brasileira (2007). Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 1: Projeto e construção. P.23.

BARRETO, C.E.A.G. (2006). Balanço hídrico em zona de afloramento do SAG a partir do monitoramento hidrogeológico em bacia representativa. Dissertação de Mestrado. São Carlos, EESC-UPS-SHS.

BAUMHARDT, E.; PAULA, S. C.; MAZIERO, E.; CRUZ, J.C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. (2012). O uso do *Water Table Fluctuation-WTF* como estimativa de recarga direta em microbacias sob diferentes usos do solo. In: *Anais do XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*. ABRH, v. 1., p. 1-17.

BRASIL/CPRM, 2008. Disponível em:< <http://www.cprm.gov.br>>. Acesso: 10 maio 2010.

DAMBRÓS, C. (2011). Recarga e flutuação do nível da água subterrânea em sub-bacias com floresta e campo nativo. Dissertação de Mestrado, PPGEC, UFSM.

DAMBRÓS, C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Comportamento do nível da água subterrânea em sub-bacia representativa em área de afloramento do SAG. In: *Anais do XIV World Water CONGRESS*, 2011.

DESCOVI FILHO, L. L.V. (2010). Subsídios para gestão das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria/RS [CD]. Dissertação de Mestrado, PPGEC, UFSM.

MARTELLI, G. V. (2012). Monitoramento da flutuação e recarga dos níveis da água subterrânea em áreas com exploração das águas superficiais e subterrâneas. Dissertação Mestrado, PPGEC, UFSM.

PAVÃO, A. D. M. (2004). Avaliação do índice de vulnerabilidade na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria-RS. Dissertação de Mestrado PPGEC. UFSM.

WENDLAND *et al.* (2007). Balanço hídrico em ZA do SAG a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa. PSAG.p.139-155.

DE BIASI, M. (1992). A carta clinográfica: Os Métodos de representação e sua confecção. *Revista de Geografia, USP*, v.6. São Paulo, p. 45-60.

HEALY, R.W.; COOK, P.G. (2002). Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*. 10, 91–109 p.

MOON, S.; WOO, N. C.; LEE, K. S. (2004). Statistical analysis of hydrographs and water table fluctuation to estimate groundwater recharge. *Journal of Hydrology*. Volume 292, 198-209 p.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; BAUMHARDT, E; DESCOVI FILHO, L. L.V.; CRUZ, J. C.; DA SILVA, A. S.; MAZIERO, E. Avaliação preliminar da flutuação do nível freático em microbacias representativas. In: *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Campo Grande, MS, 2009, 15p.

SILVÉRIO DA SILVA, J.L.; DAMBRÓS,C. (2012). Recarga y fluctuación do nível de aguas subterrâneas en subcuencas con Floresta eucaliptos y nativa. In: *Anais do XI Congreso Latinoamericano de Hidrogeología*, Cartagena de Índias. Colombia, XI. v. 1., p. 1-5.

WAHNFRIED, I; HIRATA, R. (2005). Comparação de métodos de estimativa de recarga de aquíferos em uma planície aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo). *Revista Bras. de Recursos Hídricos*. V. 10. N. 2, abr/Jun., p 15 - 25.