



ESTIMATIVA DE RECARGA PELO MÉTODO *WATER TABLE FLUCTUATION (WTF)* NA PORÇÃO NORTE DO AQUIFERO COSTEIRO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Guilherme C. Troian^{1}; Pedro A. R. Reginato²; Eliel M. Senhorinho^{1,3}; Francisco F. N. Marcuzzo^{1,4}; Roberto E. Kirchheim^{1,5} & Isadora A. Kuhn^{1,6}*

Resumo – A quantificação das recargas é fundamental para a implementação de uma política adequada de gestão dos recursos hídricos. O objetivo deste trabalho é apresentar dados de um estudo preliminar da estimativa de recarga subterrânea no aquífero costeiro na região do litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul. Para isso foi aplicado método *WTF* (*water table fluctuation*) por meio da utilização de dados de cinco poços tubulares pertencentes a RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas) do SGB/CPRM (Serviço Geológico do Brasil/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Os poços de monitoramento apresentam dados diários de variação de nível da água, porém neste trabalho foram utilizadas as médias mensais em períodos que variaram de 52 e 62 meses. A recarga mensal foi estimada entre 32mm e 60mm, e as porcentagens de recarga em relação à precipitação variaram entre 21% e 40%, com média de 28%. Estes resultados vão de encontro aos dados observados na literatura que demonstram a intensa recarga que é característica de aquíferos costeiros caracterizados por sedimentos arenosos. Com o aumento das séries históricas das variações naturais dos níveis da água disponíveis através do RIMAS torna-se possível aplicar distintos métodos e compará-los entre si, aumentando a confiabilidade.

Palavras-Chave – Água Subterrânea, Hidrogeologia, RIMAS.

ESTIMATION OF RECHARGE BY THE *WATER TABLE FLUCTUATION (WTF)* METHOD IN THE NORTHERN PORTION OF AQUIFER COASTAL OF THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

Abstract – The quantification of recharge is fundamental for the implementation of adequate water resources management policy. The objective of this work is to present the data of a preliminary study concerning the estimation of groundwater recharge in the coastal aquifer in the northern coast of the State of Rio Grande do Sul. For this, the *WTF* (*water table fluctuation*) method was applied format data sets from 05 tubular wells belonging to the RIMAS (Groundwater Monitoring Network) of the SGB/CPRM (Brazilian Geological Survey/Mineral Resources Research Company). The monitoring wells present daily data of water level variation, however, in this study monthly averages were used in time periods ranging from 52 to 62 months. The monthly recharge was estimated between 32mm and 60mm, and the recharge percentages in relation to precipitation varied between 21% and 40%, with a mean of 28%. These results are in agreement with data observed in the literature and demonstrate the intense recharge that is characteristic of unconsolidated coastal aquifers. As the historical series of groundwater levels available through the RIMAS project is increased, it becomes possible to apply different methods and compare them, thus increasing the reliability of these estimates.

Keywords – Groundwater, Hydrogeology, RIMAS.

1) Serviço Geológico do Brasil/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais(SGB/CPRM). E-mails: *guilherme.troian@cprm.gov.br; eliel.senhorinho@cprm.gov.br; francisco.marcuzzo@cprm.gov.br; roberto.kirchheim@cprm.gov.br; isadora.kuhn@cprm.gov.br.

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). E-mail: pedro.reginato@ufrgs.br.

1. INTRODUÇÃO

A quantificação das recargas é de grande importância para a implementação de políticas adequadas de gestão dos recursos hídricos. Ao mesmo tempo, o dimensionamento das recargas assume um papel de interação entre as técnicas hidrológicas de superfície e as técnicas típicas da hidrogeologia.

2. ÁREA DE ESTUDO

A faixa norte do Aquífero Costeiro no Estado do Rio Grande do Sul abrange a região litorânea com uma extensão de 120km desde o município de Palmares do Sul até Torres na divisa com Santa Catarina. Representa uma ampla área de terrenos planos composto por um grande sistema de lagoas costeiras com uma área aflorante de aproximadamente 6.000km² e com capacidades específicas superiores a 4m³/h/m.

Litologicamente é composto por pacotes de areias de granulometria média, fina e muito fina, intercaladas com camadas de argilas com variadas espessuras. Segundo Tomazelli e Villwock (2005) a planície costeira é formada por depósitos de sedimentos Terciários e Quaternários que estão associados a sistemas de leques aluviais e a quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira. Esses quatro sistemas se desenvolveram, em função das variações do nível do mar (transgressões e regressões), que ocorreram durante o Pleistoceno e Holoceno.

Os poços de monitoramento da RIMAS utilizados neste estudo e suas respectivas informações locais e construtivas são observadas na Figura 1 e na Tabela 1. Nota-se que o poço mais meridional e mais distante do litoral, no município de Osório/RS, possui o maior valor de nível estático (4,85m), enquanto o poço de localização mais setentrional e mais próximo ao litoral, localizado no Norte do município de Capão da Canoa, possui o menor nível estático (1,15m) e a menor profundidade média (67m). Demais informações sobre o projeto RIMAS e/ou os poços utilizados neste estudo podem ser obtidos na página do SGB/CPRM no seguinte link: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/>.

Observa-se na Figura 1, conforme o mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo (DINIZ *et al.*, 2014a,b), que apenas o poço Osório (código SIAGAS 4300020530) está na formação granular de produtividade geralmente muito baixa. Já os outros quatro poços se encontram na formação litológica granular de produtividade geralmente moderada. O mapa apresentado na Figura 1, pode ser baixado em alta resolução (apresentado em folha A1 em PDF, com 600dpi) pelo seguinte link: https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgObzVGSIk0VGNrek0/view?usp=sharing.

Tabela 1 – Dados informativos básicos dos poços utilizados neste estudo, em que NE (nível estático), Prof. (profundidade), Lat (latitude) e Long. (longitude).

Poço	Município	NE (m)	Prof. (m)	Lat. Sul	Long. Norte	Ficha Cadastral
Osório	Osório	4,85	88	29°56'44''	50°19'32''	http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=4300020530
Xangrilá	Xangrilá	2,25	86	29°48'25''	50°03'43''	http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=4300020529
Capão da Canoa	Capão da Canoa	3,12	72	29°45'17''	50°02'50''	http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=4300020528
São Jorge	Capão da Canoa	2,15	100	29°45'00''	50°01'38''	http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=4300020527
Curumim	Curumim	1,15	67	29°34'59''	49°57'15''	http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=4300020526

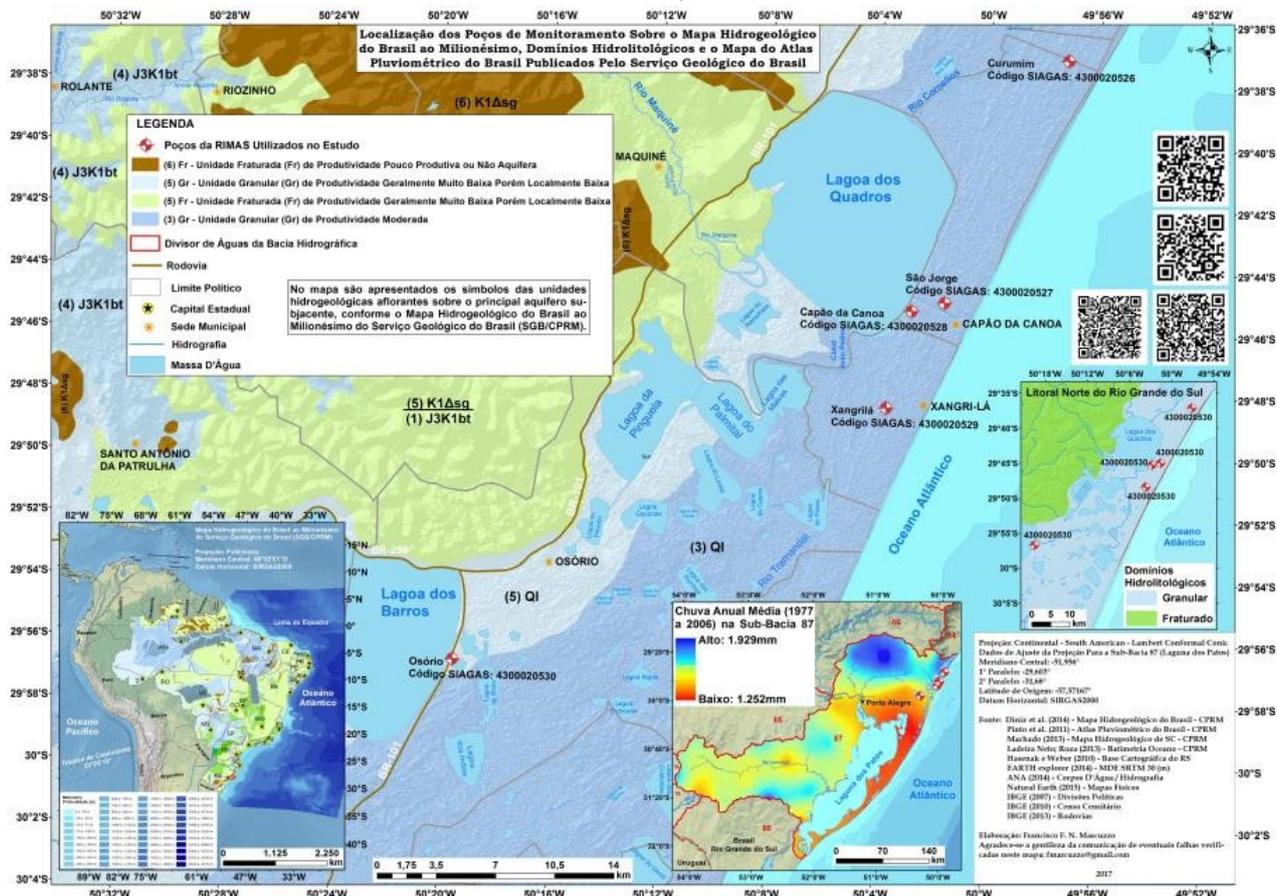


Figura 1 - Localização da área de estudo e dos poços de monitoramento no mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo (SGB/CPRM). O aquífero costeiro está representado pelas simbologias (5) QI e (3) QI.

Segundo classificação de Köppen & Geiger (1928) predomina na região o clima subtropical úmido com verões quentes e invernos bastantes rigorosos. Segundo o Atlas Pluviométrico do Brasil, publicado pelo SGB/CPRM (PINTO *et al.*, 2011), o poço Osório está em uma faixa que chove em média aproximadamente 1.331 a 1.413mm.ano⁻¹, já os poços Xangrilá, Capão da Canoa e São Jorge estão numa faixa que chove em média aproximadamente 1.547 a 1.629mm.ano⁻¹ e, por último, o poço Curumim está em uma faixa que chove em média aproximadamente 1.630 a 1.701 mm.ano⁻¹.

2.1 Uso e ocupação do solo

O litoral norte do Rio Grande do Sul consiste em uma extensa planície com um vasto complexo de lagoas e dunas, sendo composto por 20 municípios que recebem grande fluxo de turistas nos meses de dezembro a março. De acordo com os perfis socioeconômicos os municípios podem ser classificados da seguinte forma: Torres, Capão da Canoa, Osório e Tramandaí são municípios urbanos permanentes; Arroio do Sal, Xangrilá, Imbé, Cidreira e Balneário Pinhal são municípios urbanos de segunda residência; Palmares do Sul é município urbano agroindustrial e Terra de Areia é município tipicamente rural.

O fornecimento de água potável nos municípios é de responsabilidade da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento) que na maioria dos casos utiliza as águas das lagoas através de tratamento simplificado, mas também de alguns poços tubulares de grandes vazões. Porém a água subterrânea é especialmente utilizada fora dos centros urbanos e em zonas onde não

há o serviço por parte da companhia de abastecimento. Nessas residências chamadas de “casa de veraneio” são construídos poços do tipo ponteira, os quais geralmente são perfurados sem controle técnico e sanitário e dividem espaço com fossas sépticas muitas vezes construídas fora das especificações técnicas.

3. METODOLOGIA

O método *WTF* utiliza flutuações de níveis de água subterrânea ao longo do tempo para estimar recarga em aquíferos livres (HEALY, 2010). Este método se baseia na premissa de que as elevações nos níveis de água subterrânea ocorrem devido à recarga aquífera. Healy e Cook (2002). A equação (1) assume que a água que atinge o nível freático entra imediatamente em armazenamento e que todos os outros componentes do balanço hídrico subterrâneo (evapotranspiração na zona saturada, fluxo de base, entrada e saída de fluxo subsuperficial) são nulos durante o período de recarga.

$$R = S_y \cdot \frac{dh}{dt} = S_y \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

Em que:

R = recarga (mm);

S_y = rendimento específico;

Δh = variação da altura do nível d'água (mm);

Δt = período escolhido para estimativa (meses).

A utilização do método *WTF* neste estudo se justifica pelo fato de o aquífero costeiro satisfazer plenamente as condições de aplicação citadas por Healy & Cook (2002): (i) aquífero livre e raso; (ii) região com altas taxas de precipitação e (iii) relevo com baixas declividades. Contudo o método apresenta subjetividades que devem ser levadas em conta na hora de se interpretar os resultados, principalmente no que se refere à determinação do rendimento específico (*S_y*) e das variações da altura dos níveis de água (*Δh*).

Os dados de variação dos níveis da água foram obtidos de cinco poços de monitoramento pertencentes a RIMAS (CPRM, 2017) e com períodos de dados entre 52 a 62 meses. Dados diários foram obtidos a partir da mediana dos dados horários, os quais são registrados e armazenados por meio de transdutores de pressão providos de *datalogger*. Como os dados diários não apresentaram uma variação percentual significativa decidiu-se adotar a média mensal para avaliar a recarga para uma série mais longa. Portanto, para cada um dos meses de monitoramento foi calculada a média aritmética, descartando-se meses que não apresentassem no mínimo 15 dias consecutivos de dados diários.

Para os poços Curumim, Xangrilá e Osório os dados de pluviometria utilizados foram coletados através de pluviômetros automáticos instalados juntos aos mesmos. Já para os poços São Jorge e Capão da Canoa se utilizou dados extraídos da Estação Pluviométrica Terra de Areia operada pelo SGB/CPRM.

Para a obtenção do *Δh* as médias mensais de nível foram plotados em gráfico e a obtenção da reta de ajuste foi realizada através da extrapolação com ajuste linear para cada curva recessiva da hidrógrafa (Figuras 2 e 6). Já o rendimento específico (*S_y*) 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). Para este estudo se buscou valores de referencia em perfis geofísicos realizados em poços próximo pertencentes CORSAN nos quais

indicam um valor médio 30% para a porosidade específica para as camadas superficiais do aquífero (até cinco metros).

A soma de todas as variações do nível d'água, multiplicadas individualmente pelo Sy escolhido, resultou no total de recarga para cada poço de monitoramento durante o período considerado para análise. Dividindo-se este valor de recarga (mm) pela precipitação (mm) no mesmo período, obteve-se o percentual de precipitação que pode ser considerada recarga para cada um dos poços.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações do nível d'água no período considerado para cada poço de monitoramento são apresentadas nas Figuras de 2 a 6. A linha pontilhada vermelha representa a extrapolação linear da curva recessiva e a linha verde representa o Δh calculado. No eixo secundário estão representadas as precipitações mensais acumuladas.

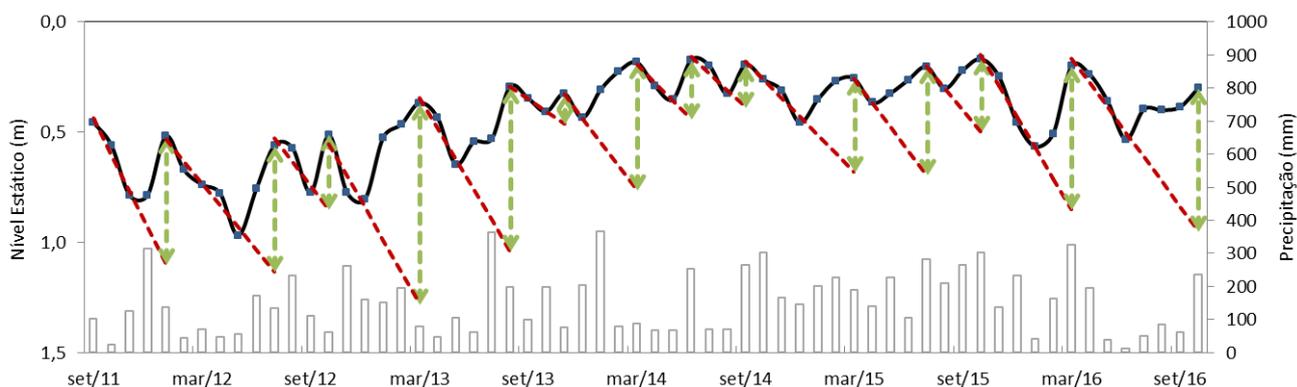


Figura 2 - Nível Estático e Curvas de Recessão Antecedente do Poço Curumim (Código SIAGAS: 4300020526). Período: 09/09/2011 a 15/10/2016.

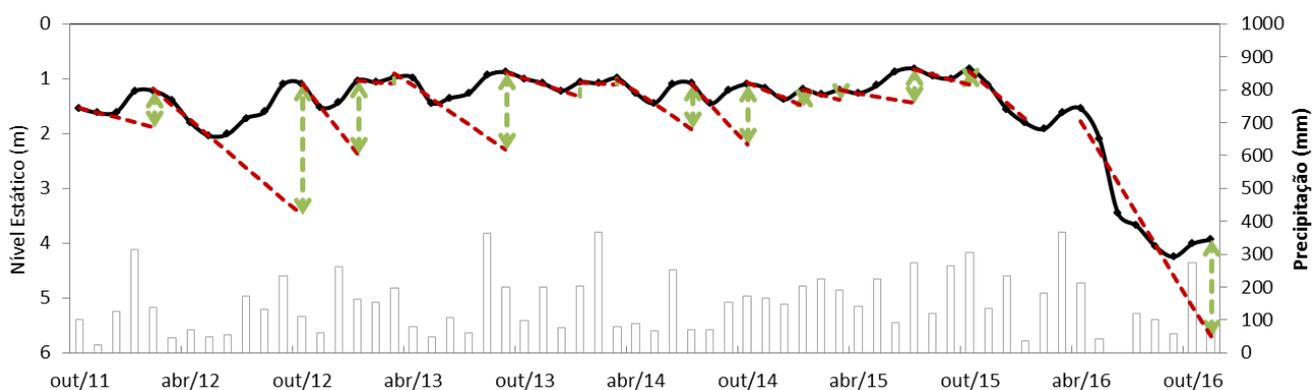


Figura 3 - Nível Estático e Curvas de Recessão Antecedente do Poço São Jorge (Código SIAGAS: 4300020527). Período: 01/10/2011 a 08/12/2016.

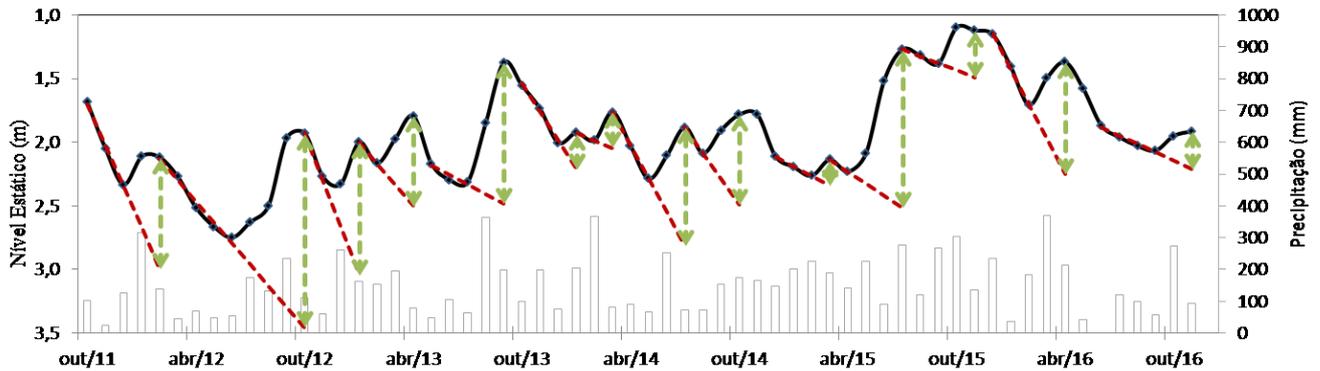


Figura 4 - Nível Estático e Curvas de Recessão Antecedente do Poço Capão da Canoa (Código SIAGAS: 4300020528). Coordenadas: 29°45'17"Sul e 50°02'50"Oeste - Profundidade: 72m - Período: 01/10/2011 a 10/12/2016

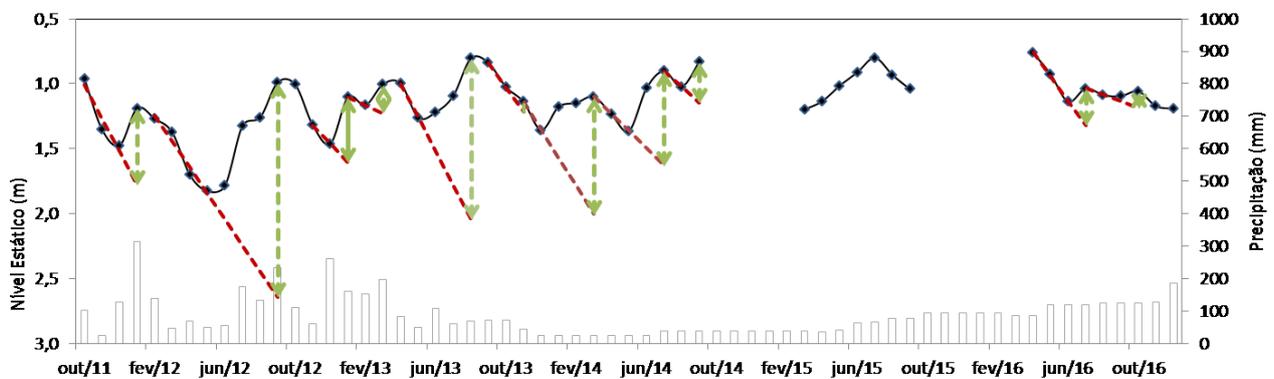


Figura 5 - Nível Estático e Curvas de Recessão Antecedente do Poço Xangrilá (Código SIAGAS: 4300020529). Período: 01/10/2011 a 08/12/2016.

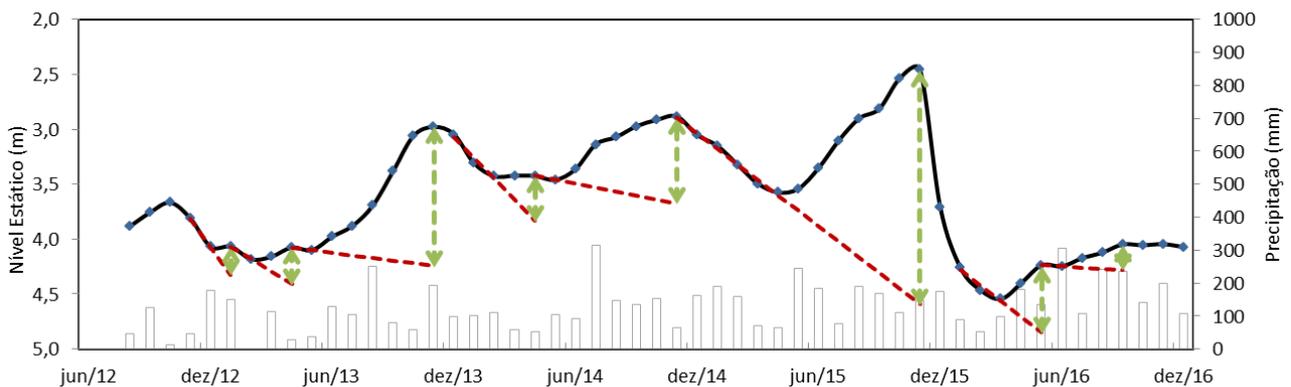


Figura 6 - Nível Estático e Curvas de Recessão Antecedente do Poço Osório (Código SIAGAS: 4300020530). Período: 15/09/2011 a 08/12/2016.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de recarga mensais encontrados e as respectivas porcentagens de recarga em relação à precipitação.

Nas Figuras 2 a 6 se pode observar claramente a variação sazonal do nível da água em todos os poços, refletindo as variações das precipitações anuais. O poço Osório (Figura 6) é o que apresenta menor período de dados e eventos de recarga mais espaçados e menos significativos refletindo a menor taxa de precipitação, além de se encontrar em uma região onde ocorrem

pequenos horizontes superficiais de sedimentos argilosos de origem lagunar, dificultando a percolação da água.

Tabela 2 - Valores de recarga encontrados para cada poço de monitoramento.

Poço de monitoramento	Período (meses)	Precipitação (mm)	Recarga (mm.mês ⁻¹)	Recarga/Precipitação (%)
Curumim	62	9262	33	22
São Jorge	62	9382	60	40
Capão da Canoa	62	9382	51	33
Xangrilá	52	9342	32	21
Osório	53	8040	34	23

Os altos valores de recarga encontrados (média 28%) são coerentes com as altas taxas de precipitações na região (acima de 1.000mm.ano⁻¹) e com as características do aquífero costeiro que apresenta elevados índices de porosidade e condutividade hidráulica. Na Tabela 3 é apresentada uma análise de sensibilidade levando em consideração diferentes valores de Sy. Tal comparação é válida, pois a determinação dos valores rendimento específico pode ser considerada a maior sensibilidade do método aplicado. Pode-se observar que variações da ordem de +20% nos valores de recarga estimados com a variação a ordem de 10% nos valores de Sy.

Tabela 3 - Valores de recarga para diferentes rendimentos específicos (Sy).

Poços de Monitoramento	Plu (mm)	R (mm.mês ⁻¹)			% de recarga		
		Sy(30%)	Sy (25%)	Sy (20%)	Sy (30%)	Sy (25%)	Sy (20%)
Curumim	9262	33	28	22	22	19	15
São Jorge	9382	60	50	40	40	33	26
Capão da Canoa	9382	51	42	34	33	28	22
Xangrilá	9342	32	27	21	21	18	17
Osório	8040	34	29	25	23	19	15

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Conforme já apresentado por Simon *et al.* (2017) se pode observar através deste estudo que é viável a utilização de hidrógrafas que representem os dados médios mensais da variação dos níveis da água nos poços para a aplicação do método *WTF*. Ressalta-se a importância de contar com longas séries de dados, justamente para dar conta do comportamento freático frente diferentes períodos climáticos.

Contudo as interpretações dos dados aqui apresentados devem levar em consideração as limitações e incertezas do método. Os resultados encontrados dão ideia da ordem de grandeza dos valores e são representativos apenas da região estudada, não devendo ser extrapolados para toda área do aquífero. Uma determinação mais criteriosa dos valores de Sy é importante, pois pequenas variações podem representar diferenças significativas dos valores de recarga.

Uma melhor compreensão do comportamento da recarga neste aquífero é de extrema importância para o conhecimento de sua reserva reguladora auxiliando assim na gestão da água subterrânea do estado do Rio Grande do Sul. À medida que se vai aumentando as séries históricas de níveis freáticos disponíveis através do Projeto RIMAS torna-se possível aplicar distintos métodos e compará-los entre si, aumentando assim a confiabilidade destas estimativas.



REFERÊNCIAS

- CPRM- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas RIMAS**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>>. Acesso em: 26 abr. 2017.
- DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B.; SILVA, R. de C. da; PAULA, T. L. F. de. **Manual de cartografia hidrogeológica**. Recife: CPRM, 2014b. 120 p. Programa de Cartografia Hidrogeológica. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=756&sid=9>>. Acesso em: 15 mai. 2017.
- DINIZ, J. A. O.; BOMFIM, L. F. C.; FREITAS, M. A. de (Coord.). **Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: Sistema de Informações Geográficas - SIG**. Recife: CPRM, 2014a. Escala 1:1.000.000. Programa de Cartografia Hidrogeológica. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=756&sid=9>>. Acesso em: 15 mai. 2017.
- HEALY, R. W.; COOK, P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. In: *Hydrogeology Journal*. v. 10 (1). February 2002. Springer-Verlag, Berlin. P. 91-109.
- HEALY, R. W. Estimating groundwater recharge. Cambridge, 2010.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- MAZIERO, T. A.; WENDLAND, E. 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 2005. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23197>>. Acesso em: 07 jun. 2017.
- Normais Climatológicas do Brasil 1960-1990 (INMET, 2009). Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 07 jun. 2017.
- PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. Equipe Executora: Da Costa, Margarida Regueira; Dantas, Carlos Eduardo de Oliveira; Melo, De Azambuja, Andressa Macêdo Silva; De Rezende, Denise C.; Do Nascimento, Jean Ricardo da Silva; Dos Santos, André Luis M. Real; Farias, José Alexandre Moreira; Machado, Érica C.; Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha; Medeiros, Vanesca Sartorelli; Rodrigues, Paulo de Tarso R.; Weschenfelder, Adriana Burin; SIG - versão 2.0 - atualizada em 11/2011; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>>. Acesso em: 07 jun. 2017.
- SIMON, F. W. Estimativa de Recarga do Sistema Aquífero Guarani por Meio da Aplicação do Método da Variação da Superfície Livre na Bacia do Rio Ibicuí-RS. Disponível em <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/28631/18695>>. Acesso em: 07 jun. 2017.
- TOMAZELLI, L. J. & VILLWOCK, J. A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: Holz, M. & De Ros, L. F. eds. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p. 375-406.
- TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. 2005. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: O Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*. Porto Alegre. Novembro 2005. n°3. 109-115.