



## **APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE RECARGA DE ÁGUA EM UMA SUB-BACIA ÀS MARGENS DO RIO MOGI GUAÇU-SP**

Anna Hoffmann Oliveira<sup>1</sup>

Gustavo Klinke Neto<sup>2</sup>

Sueli Yoshinaga Pereira<sup>3</sup>

### **Recursos Hídricos e Qualidade da Água**

#### *Resumo*

A principal responsável pelo abastecimento do lençol de água subterrânea é a água de precipitação pluvial que infiltra em profundidade no subsolo, originando as nascentes e alimentando a maioria dos cursos d'água. O índice de recarga "I" possibilita uma avaliação prática qualitativa da situação hidrológica do lençol e fornece indícios importantes sobre comportamento da recarga das águas subterrâneas. O objetivo deste trabalho é contribuir para o entendimento do processo a partir da análise do índice de recarga (I) em uma sub-bacia às margens do Rio Mogi Guaçu-SP. Este índice associa as variações no nível d'água e as precipitações correspondentes. As informações de precipitação referentes ao período de março de 2016 a março de 2018 foram registradas diariamente na estação pluviométrica instalada dentro da área de estudo. Para o acompanhamento do nível estático do aquífero livre da área foram instalados 7 poços de monitoramento distribuídos de forma a subsidiar o entendimento do comportamento espacial e temporal da variação do nível do lençol freático, considerando classes de solos, topografia e cobertura vegetal. A análise na bacia de estudo indicou uma queda na pluviosidade em relação às médias históricas, o que é um alerta em relação à oferta hídrica futura. O índice confirmou uma queda nos níveis freáticos e abre caminho para uma análise mais profunda para uma quantificação e detalhamento destes valores e seus influenciadores.

**Palavras-chave:** Precipitação Pluvial; Nível Freático, Água Subterrânea.

---

<sup>1</sup>Profª. Drª. Universidade Federal de São Carlos – Campus Araras, Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, [annahoffmann@ufscar.br](mailto:annahoffmann@ufscar.br)

<sup>2</sup>Mestre, Universidade Estadual de Campinas, [gus.klinke@gmail.com](mailto:gus.klinke@gmail.com).

<sup>3</sup>Profª. Drª. Universidade Estadual de Campinas – Departamento de Geologia e Recursos Naturais, [sueliyos@ige.unicamp.br](mailto:sueliyos@ige.unicamp.br).



## INTRODUÇÃO

A água ocupa cerca de 70% da superfície terrestre. Embora de conhecimento geral, é importante destacar que a água salgada, não utilizável pela agricultura, uso industrial ou consumo humano responde por 97,5% deste total. Portanto, os 2,5% restantes são de água doce, onde 1,7% estão imobilizados em geleiras e calotas polares, apenas 0,01% são águas superficiais e 0,75% são águas subterrâneas. A pequena quantidade de água doce em rios, lagos e reservatórios comparada à maior abundância das águas subterrâneas, em lençóis freáticos ou aquíferos, tornam estas reservas as maiores dos continentes.

A determinação da recarga de água subterrânea é complexa em função da sua variabilidade – em função da topografia, vegetação, uso e ocupação do solo, permeabilidade das rochas e solos, associada às distintas metodologias que permitem a medição direta da recarga (Baum et al., 2018). A principal responsável pelo abastecimento do lençol de água subterrânea, contudo, é a água de precipitação pluvial que, guiada pela força gravitacional, infiltra em profundidade seguindo no subsolo. Esta água origina as nascentes e alimenta a maioria dos cursos d'água.

Na Bacia do Rio Mogi Guaçu, o uso cada vez mais intensivo da água é derivado do desenvolvimento de grande variedade de usos da terra e de atividades econômicas, tornando imprescindível a identificação de situações de risco de escassez de água em tempo hábil para orientação dos cidadãos e Poder Público na sua prevenção (Carpi Junior e Perez Filho, 2005). Na ausência de informações detalhadas para descrever o comportamento do lençol freático, a utilização do índice de recarga “I” pode resultar em uma avaliação prática, do tipo qualitativa, para avaliar a situação hidrológica do lençol e fornecer indícios importantes sobre comportamento da recarga das águas subterrâneas. O índice associa as variações no nível d'água e as precipitações correspondentes (Carretero & Kruse, 2012).

Assim, considerando a influência determinante da precipitação na recarga de aquíferos livres, o objetivo deste trabalho é contribuir para o entendimento do processo a partir da análise do índice de recarga (I) em uma sub-bacia às margens do Rio Mogi

Guaçu.

## METODOLOGIA

A área de estudo é uma sub-bacia de 1297 ha localizada às margens do Rio Mogi Guaçu no município de Mogi Guaçu (SP). As classes de solo presentes são o Gleissolo Háplico (GX) e Gleissolo Melânico (GM) distróficos (316 ha) e o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), sendo que o LVA cambissólico álico ocupa 553 ha e o LVA álico, 428 ha (Figura 1). O clima definido para a área varia, de acordo com a classificação de Köppen, entre clima Aw (clima tropical com estação seca de inverno e chuvosa no verão) e clima Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente) (Sparovek et al., 2007).

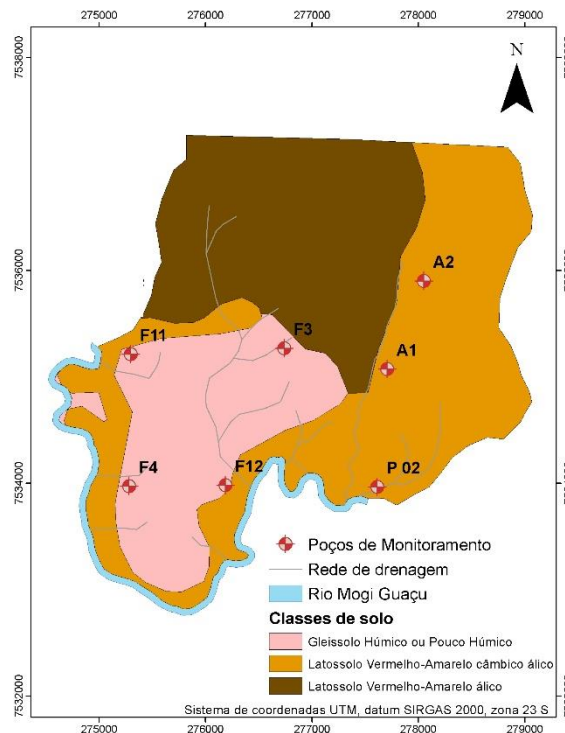


Figura 1 – Mapa de solos e localização dos poços de monitoramento na sub-bacia de estudo.

A área está situada na zona de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, com características bióticas de ambos e pode ser considerada uma área de tensão



ecológica ou um ecótono (UCRBEEc, 2010). A principal formação geológica é a Formação Aquidauana, composta por arenitos vermelhos a róseos de granulação média a grossa com estratificação cruzada acanalada. Ao longo das margens e da planície de inundação do Rio Mogi Guaçu encontram-se Depósitos Aluvionares recentes, formados por aluviões, em geral com areias inconsolidadas de granulação variável, siltes, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e ou terraços.

As informações de precipitação referentes ao período desta pesquisa foram registradas diariamente e são oriundas da estação pluviométrica instalada dentro da área de estudo, propriedade do Instituto Florestal. Para o acompanhamento do nível estático do aquífero livre da área foram instalados 7 poços de monitoramento (A1, A2, F3, F4, F11, F12 e P2) dentro da área de estudo (Figura 1), distribuídos de forma a subsidiar o entendimento do comportamento espacial e temporal da variação do nível do lençol freático, considerando classes de solos, topografia e cobertura vegetal (Tabela 1). A perfuração dos poços foi realizada conforme NBR 15.495-1 e a NBR 15.495-2. O monitoramento da variação do nível da água de hora em hora foi realizado durante dois anos hidrológicos, de março de 2016 até março de 2018, a partir da instalação de medidores automáticos de nível (Levellogger 3001/Solinist). Além disso, foi realizado o acompanhamento mensal com um medidor de nível manual (MP 30 /MicroPurge). A profundidade do nível foi determinada a partir da diferença entre a superfície do poço à posição da água no momento da medição. A profundidade dos poços variou entre 5,60 e 15,50 m, com média de 9,25 m (Tabela 1).

Para a análise da recarga, utilizou-se o índice de recarga “I”, o qual permite uma avaliação prática para descrever o comportamento do lençol freático, do tipo qualitativa, de forma a apresentar a situação hidrológica do lençol e fornecer indícios importantes sobre comportamento da recarga das águas subterrâneas. Este índice associa as variações no nível d’água ( $\Delta NA$ ) e as precipitações correspondentes (P) (Carretero & Kruse, 2012):

$$I = \Delta NA / P$$

Onde,  $\Delta NA$  é a variação do nível da água (mm) e P é a precipitação mensal (mm).

Tabela 1 – Caracterização de solo, relevo e vegetação nos poços de monitoramento instalados na sub-bacia de estudo.

Poço	Solo	Relevo	Vegetação	Profundidade (m)
A1	LVA álico	Suave ondulado	Pastagem	6,95
A2	LVA cambissólico álico	Suave ondulado	Reflorestamento nativa/Pinus	15,50
F3	Gleissolo	Plano	Pinus	5,90
F4	Gleissolo	Plano	Várzea	9,00
F11	Gleissolo	Plano	Floresta Estacional Semi- Decidual Aluvial (FESDA)	5,60
F12	Gleissolo	Plano	Várzea	7,80
P02	LVA cambissólico álico	Suave ondulado	Floresta Estacional Semi- Decidual Aluvial (FESDA)	14,00

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação do biênio estudado (de março/2016 a março/2018), obtida através da estação pluviométrica, para o período do monitoramento foi de 1969 mm. De acordo com o histórico da área avaliado através de revisão de literatura, a pluviometria acompanhou a sazonalidade das estações, apresentando chuvas concentradas nas estações primavera e verão (de setembro a fevereiro), conforme observado na Figura 2. Considerando a média histórica de 30 anos de dados (1970 a 1999) (ANA, 2015), observa-se uma redução de 33% do índice pluviométrico médio anual. Na comparação mensal entre o biênio monitorado e a média histórica, os meses de fevereiro, março, abril, julho, setembro, outubro e dezembro ficaram abaixo ou bem abaixo do padrão.





Os resultados observados corroboram o verificado por Chierice (2013), a qual analisou a distribuição das chuvas na Bacia do Rio Mogi Guaçu em uma série histórica de 25 anos. A autora relatou a ocorrência de cerca de 70% a 80% do total das precipitações anuais durante o período chuvoso (primavera-verão), e o restante no período seco (outono-inverno), com precipitações máximas de dezembro a fevereiro e mínimas de junho a agosto.

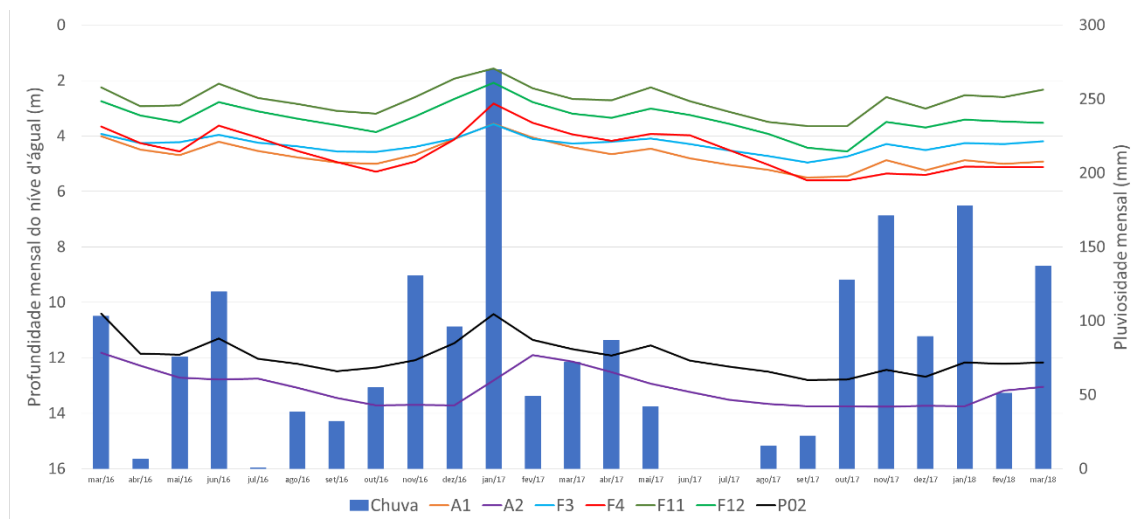
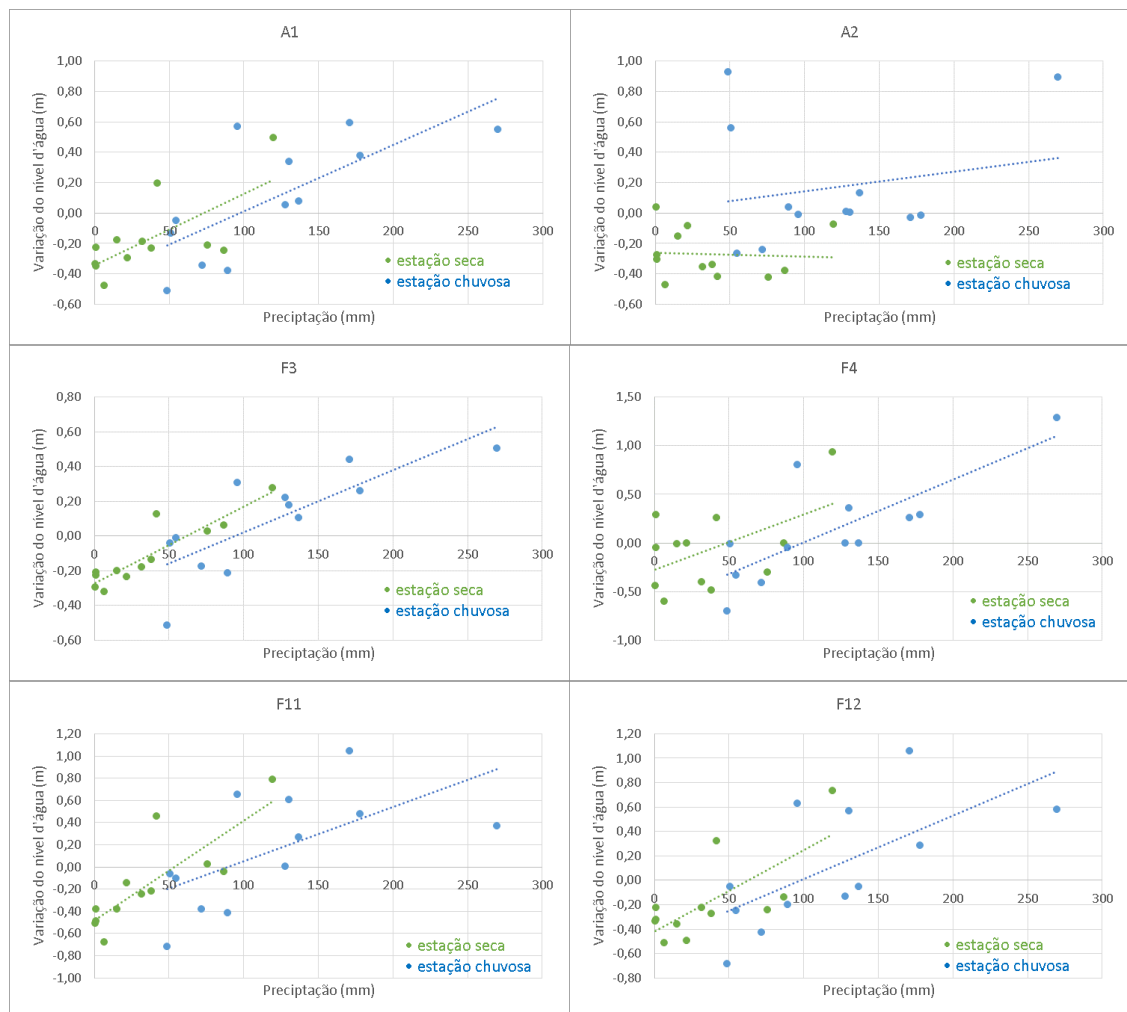


Figura 2 – Precipitação e profundidade dos níveis d’água mensais nos poços monitorados no período de março de 2016 a março de 2018.

As diferenças nas respostas na variação da profundidade do nível d’água em cada poço de monitoramento podem ser avaliadas através da relação direta entre a pluviosidade e a variação do nível. As análises da relação entre variações e precipitações para cada poço (Figura 3) indicam um comportamento muito similar neste aspecto. Em todos os poços, para uma resposta positiva no nível do lençol, a precipitação mínima variou positivamente da estação seca (meses de abril a setembro) para a estação chuvosa (meses de outubro a março). A precipitação mínima na estação seca necessária para um efeito positivo sobre o lençol freático varia entre 55 e 75 mm/mês, enquanto na estação chuvosa a faixa mínima necessária para um efeito positivo no lençol varia entre 95 a 105 mm/mês. O monitoramento conjunto da pluviometria com os níveis da água permitiu um melhor entendimento do comportamento dos níveis do lençol em vista das chuvas ocorridas na área. Pode-se observar através da figura 2 a relação direta existente entre os eventos

pluviométricos e o aumento do nível da água (ou diminuição da profundidade da água) nos poços de monitoramento. Ainda neste sentido, há um bom nível de explicação entre o evento pluviométrico e o comportamento do lençol nos poços de forma geral na área de estudo. Destaca-se que a velocidade de resposta do poço A2 mais lenta em comparação aos demais deve-se à sua localização, em maior altitude e relevo mais movimentado (Tabela 1).



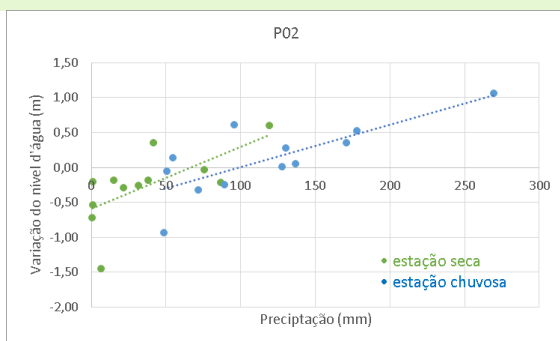


Figura 3 – Precipitação e variação do nível d’água nas estações seca e chuvosa nos poços monitorados no período de março de 2016 a março de 2018.

A maior elevação do lençol freático e sua consequente recarga tende a ocorrer na estação chuvosa, devido à influência da pluviosidade (Figura 2). O índice “I”, embora não quantifique os diferentes fatores que influenciam o comportamento da água subterrânea, torna possível observar a sua disponibilidade relativa. Os valores abaixo de 0 representam uma diminuição nas reservas de água doce e, por consequência, desencadeiam um alerta para os gestores dos recursos hídricos. Os valores entre 0 e 1 indicam uma situação hidrológica com uma ligeira recuperação no nível da água, enquanto os índices entre 1 e 3 expressam uma recuperação média das reservas de água. Uma recuperação significativa das reservas é indicada pelos valores acima de 3 (Carretero & Kruse, 2012), podendo também ser interpretado como uma advertência em relação ao risco de inundações, principalmente nas regiões mais baixas situadas na planície aluvionar da área. Os resultados encontrados para o índice “I” para cada poço monitorado apresentado mês a mês segue na Tabela 2.

A análise do índice de recarga forneceu dados preocupantes para grande parte do ano hidrológico analisado e confirmam a influência da redução pluviométrica ocorrida no período em decorrência da influência do fenômeno oceânico-atmosférico La Niña no país (CPTEC/INPE, 2017). De forma geral, detectou-se recuperação significativa das reservas de água subterrânea ( $I > 3$ ) em todos os poços de monitoramento nos meses de junho, novembro e dezembro de 2016 e janeiro/2017, enquanto nos oito meses restantes a maioria dos poços sofreu redução nas reservas de água ( $I < 0$ ). Tal diminuição está estritamente associada à menor precipitação observada no período (Figura 2), quando



comparada às médias mensais históricas.

Tabela 2: Índice de recarga para cada poço durante o período monitorado.

DATA	ÍNDICE "I"						
	A1	A2	F3	F4	F11	F12	P02
ABR/16	-73,4	-105,0	-26,1	-141,7	-159,9	-175,3	-445,3
MAI/16	-2,8	-90,0	2,1	-71,0	5,3	-84,7	-10,3
JUN/16	4,1	-17,8	21,6	236,1	216,7	347,2	214,3
JUL/16	-672,0	8,6	-23,1	-103,2	-124,7	-126,9	-234,8
AGO/16	-6,0	-71,7	-10,3	-110,3	-48,2	-97,1	-56,8
SET/16	-5,9	-71,4	-13,4	-87,5	-50,3	-73,7	-72,3
OUT/16	-0,9	-53,3	-0,9	-73,5	-19,9	-77,9	34,2
NOV/16	2,6	1,3	12,9	81,9	122,5	218,6	82,0
DEZ/16	5,9	-2,9	22,3	196,6	158,8	323,2	226,4
JAN/17	2,0	251,5	39,3	358,2	131,2	369,3	506,5
FEV/17	-10,5	228,0	-43,4	-170,4	-203,7	-300,3	-339,8
MAR/17	-4,8	-54,4	-14,3	-95,4	-95,9	-160,9	-102,2
ABR/17	-2,8	-81,2	4,8	-53,4	-10,1	-52,1	-67,3
MAI/17	4,6	-93,5	9,7	60,9	116,4	143,9	117,3
JUN/17	-351,0	-63,6	-15,9	-14,0	-122,9	-81,0	-166,7
JUL/17	-228,0	-54,8	-16,7	-116,7	-84,6	-102,8	-59,8
AGO/17	-11,6	-29,3	-14,7	-113,7	-75,0	-102,9	-47,4
SET/17	-13,4	-15,2	-17,0	-114,3	-26,2	-136,6	-67,2
OUT/17	0,4	1,6	16,2	0,0	0,5	-37,0	2,0
NOV/17	3,5	-6,2	31,8	60,0	195,6	406,6	99,5
DEZ/17	-4,3	7,4	-15,5	-10,6	-76,7	-66,8	-67,3
JAN/18	2,1	-3,1	19,0	67,7	92,7	111,2	152,8
FEV/18	-2,6	111,6	-3,2	-2,8	-12,9	-20,7	-16,4
MAR/18	0,6	26,8	8,0	-0,7	52,7	-21,9	13,6

Nos meses de julho/2016 e fevereiro/2017, apenas o poço A2 não apresentou redução. Na área de estudo, o poço A2 está localizado em rochas sedimentares paleozóicas pertencentes ao Subgrupo Itararé. A composição de arenitos de granulação média a grossa da Formação Aquidauana, principal formação geológica no local, tende a apresentar boa potencialidade aquífera. Os maiores índices foram observados em Latossolo, 509,3, no poço P2, seguido dos Gleissolos com 360,8 e 354,8 nos poços F12 e F4, respectivamente, todos em janeiro/2017, mês de maior precipitação no período.



Os índices mais baixos de recarga ocorreram nos Latossolos, -684,0 no poço A1 para o mês de julho/2016, e no poço P2 com -440,8 e -348,0 para os meses de abril/2016 e fevereiro/2017, respectivamente. Os meses de julho e abril de 2016 apresentaram as menores precipitações do período, respectivamente. Neste caso, deve-se considerar a influência da lagoa nas imediações do poço A1, a qual sofreu brusco rebaixamento no mês mais seco do período em decorrência da captação de água e afetou a variação do nível no local.

A ocorrência de recarga acompanhada da precipitação, especialmente em períodos chuvosos, é ressaltada nos estudos de Contin Neto (1987). O autor observou uma forte correlação (99%) entre a precipitação e a recarga no período chuvoso (100 dias) na Bacia do Ribeirão da Onça (SP). Este resultado foi atribuído ao aumento da umidade na região não-saturada (solo), favorecendo a conexão entre a água precipitada que infiltra e a superfície do aquífero, que responde mais rapidamente à precipitação.

Os solos da área, na camada de 0 a 20 cm, possuem textura média a arenosa (Klinke Neto et al., 2017), o que confere com o material de origem referente às rochas areníticas do Grupo Itararé, unidade litoestratigráfica pertencente a Bacia Sedimentar do Paraná, ressaltando as condições favoráveis ao fluxo de água ao longo do perfil do solo. As áreas de Gleissolos, formadas por sedimentos do Cenozóico representados pelos arenitos avermelhados finos a grossos pouco consolidados, tendem a apresentar baixa potencialidade hídrica em função, principalmente, de suas pequenas espessuras (Chang et al., 2003).

Deve-se destacar a complexidade do processo de recarga através da precipitação em aquíferos livres, apesar de a precipitação ser, em geral, a principal responsável por sua ocorrência. O processo envolve o fluxo na zona não-saturada, que está sujeito à evapotranspiração e aos fluxos subsuperficiais, e a taxa de infiltração, que depende de muitos parâmetros que são bastante variáveis no tempo e espaço. Gouvêa e Wendland (2011), ao avaliarem a influência das características do solo na variação do nível de água em zonas de recarga do Aquífero Guarani, determinaram coeficientes de correlação mais elevados entre as variações diárias do nível d'água de poços localizados em área de mesma cultura, ou seja, o coeficiente de evapotranspiração foi o fator fundamental para a

variação do nível d'água subterrânea. Desta maneira, apesar da forte correlação, os fenômenos de precipitação por si só não explicam as dinâmicas de recarga necessitando, portanto, a execução de estudos hidrológicos específicos para a precisa determinação da recarga no sistema aquífero.

## CONCLUSÕES

A análise do índice de recarga e sua interpretação são uma ferramenta prática e útil para se começar a entender o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica e também para gestores e órgãos responsáveis se inteirarem da real situação de cada região.

A análise na bacia de estudo indicou uma queda na pluviosidade em relação às médias históricas, o que é um alerta em relação à oferta hídrica futura. O índice confirmou uma queda nos níveis freáticos e abre caminho para uma análise mais profunda para uma quantificação e detalhamento destes valores e seus influenciadores.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudo aos autores deste trabalho; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto (N° 2013/22729-2); e ao Instituto Estadual de Florestas (IEF-SP) pelo apoio logístico para condução do estudo.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional das Águas. ANA. **Sistema de Informações Hidrológicas HidroWeb.**

Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 02 dez. 2015.

BAUM, C.A.; MANCUSO, M.A.; FRITZEN, R.R. Aplicação do método WTF no estudo da variabilidade da recarga em aquífero urbano. **Revista Geociências - UNESP**, v. 37, n. 1, p. 85 - 98, 2018.



CARRETERO, S.; KRUSE, E.E. Relationship between precipitation and water-table fluctuation in a coastal dune aquifer: northeastern coast of the Buenos Aires province, Argentina. **Hydrogeology Journal**, v.20, n.8, pp.1613-1621, 2012.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto de Pesquisas Espaciais.

**Condições de neutralidade no pacífico equatorial.** 2016. Disponível em:

<<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 10 abril 2016.

CHANG, H. K.; et al. Aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos das regiões dos municípios de Mogi Mirim, Mogi Guaçu e Itapira no Estado de São Paulo. **Revista Geociências - UNESP**, v. 22, n. Especial, p. 63-73, 2003.

CHIERICE, R.A.F. **Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu.** 2013. 117 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/102946>>. Acesso em: 20 julho 2021.

CONTIN NETO, D. (1987) **Balanco hídrico em bacia hidrográfica situada em região de recarga do Aquífero Botucatu.** Tese de Doutorado. São Carlos, EESC-USP-SHS.

GOUVÊA, T.H.; WENDLAND, E.C. Influência de Características do Solo na Variação do Nível d'água em Região de Recarga do Aquífero Guarani. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.16, n.1, p.55-65, 2011.

KLINKE NETO, G.; OLIVEIRA, A.H.; PEREIRA, S.Y. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em planície aluvionar do Rio Mogi Guaçu (SP). **Revista Geociências - UNESP**, v. 36, p. 381-394, 2017.

SPAROVEK, G. et al. Computer assisted Koeppen climate classification: a case study for Brazil. **International Journal of climatology**, v.27, n.2, pp. 257-266, 2007.

UCRBEEc. **Plano de Manejo Integrado das Unidades de Conservação Reserva Biológica e Estação Ecológica Mogi Guaçu – SP.** Piracicaba, 2010. 482p.