

Estudos de Caso e Notas Técnicas

Vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos no município de Piracicaba, através do método GOD

Intrinsic vulnerability of the aquifers in the municipality of Piracicaba, using the GOD method

Claudinei Garcia¹; Fabiano Tomazini da Conceição¹; Anna Sílvia Palcheco Peixoto²✉

¹ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, SP

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru, SP

✉ claudinei.garcia@yahoo.com.br, ftomazini@rc.unesp.br, anna@feb.unesp.br

Resumo

Palavras-chave:

Águas subterrâneas.
Vulnerabilidade Intrínseca.
Contaminação de aquíferos.

Keywords

Groundwater.
Intrinsic vulnerability.
Contamination of aquifers.

Revisado por pares.
Recebido em: 27/04/2018.
Aprovado em: 27/05/2018.

A carência de estudos relacionados aos recursos hídricos subterrâneos em Piracicaba, onde as crescentes demandas evidenciam situação de gargalo até 2035, alinhou a busca da avaliação da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas no município de Piracicaba através do método GOD (Groundwater hydraulic confinement; Overlaying strata; Depth to groundwater table), tendo como base o cadastro de poços profundos outorgados, a caracterização pedológica e litológica, e dados de uso do solo trabalhados em ambiente computacional. Os resultados gerados pela ferramenta determinística, revelam que 86% da área do município possui vulnerabilidade intrínseca com índices entre insignificante e baixa. Os resultados auferidos, embora contextuais, objetivam em síntese identificar os locais onde é pertinente se intensificar recursos e esforços para estudos complementares e conclusivos, e constituem primeiro passo importante para a caracterização e avaliação dos riscos aos recursos hídricos subterrâneos locais.

Abstract

The lack of situational studies on groundwater resources in Piracicaba where the increasing demands show a bottleneck situation until 2035, aligned the search for the assessment of the intrinsic vulnerability of groundwater in the municipality of Piracicaba through the GOD method (Groundwater hydraulic confinement; Overlaying strata; Depth to groundwater table), based on the cadastre of deep wells granted, the pedological and lithological characterization, and soil use data worked in a computational environment. The results generated by the deterministic tool, reveal that 86% of the area of the municipality has intrinsic vulnerability with indices between insignificant and low. The results obtained, although contextual, aim in synthesis to identify the places where it is pertinent to intensify resources and efforts for complementary and conclusive studies, and they constitute important first step for the characterization and evaluation of the risks to the local underground water resources.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i2.29141>

1. INTRODUÇÃO

A demanda por recursos hídricos subterrâneos, em termos gerais, tende a excepcional aumento em função do crescimento populacional e econômico. Tal situação sugere a migração de fontes de abastecimento para as águas subterrâneas, cuja pressão por usos, culminará para estes recursos, a imposição de uma situação de stress (VAUX, 2011). Dentro do contexto que as águas subterrâneas são as matérias-primas mais extraídas no mundo, variáveis ligadas à urbanização, desenvolvimento industrial e expansão agrícola constituem ameaças reais à qualidade e disponibilidade destes recursos (ESHTAWI et al., 2016).

O mapeamento da vulnerabilidade intrínseca, portanto, aparece como ferramenta poderosa para embasar subsídios para a proteção

das águas subterrâneas e gestão dos recursos hídricos (BAALOU-SHA, 2016). A avaliação da vulnerabilidade intrínseca de aquíferos possibilita a identificação de áreas de vulnerabilidade, onde determinadas atividades devem ser evitadas (FOSTER et al., 2006). Segundo Witkowski, Kowalczyk e Vrba (2007), a vulnerabilidade intrínseca está atrelada à conformação natural do meio, onde se considera o clima e os atributos geológicos e hidrogeológicos, e, portanto, parâmetros como a recarga, a característica da zona vadosa, e profundidade do lençol freático, aparecem como atributos chave para a avaliação da vulnerabilidade de águas subterrâneas. Nestes termos, Ruiliang et. al. (2014) consideram sobre os parâmetros de avaliação de vulnerabilidade, que quanto menor as partículas constituintes da zona vadosa, menos poluentes atingirão o aquífero e menor será a vulnerabilidade das águas subterrâneas. De igual modo, quanto maior a profundidade do lençol freático, mais tempo

os poluentes estarão em contato com a zona vadosa, interagindo com rochas, oxigênio e micro-organismos e, portanto, maior a possibilidade de ser absorvido, diluído e degradado antes de terem contato com a água subterrânea.

Diversos métodos desenvolvidos em todo o mundo são utilizados para a determinação da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas. Entre estes se citamos denominados métodos paramétricos, representados pelo DRASTIC, desenvolvido pela Agência Ambiental Americana, o GOD (FOSTER, 1987; FOSTER & HIRATA, 1988), o método AVI (VAN STEMPVOORL et al., 1992), além dos métodos EPIK (DOERFLIGER et al., 1999), SINTACS (CIVITA, 1994) e ISIS (CIVITA; REGIBUS, 1995). O método GOD (FOSTER; HIRATA, 1988), utilizado neste trabalho, é amplamente empregado na América Latina e Caribe e consagra-se pela sua simplicidade e fácil obtenção dos parâmetros necessários à sua utilização (CUTRIM; CAMPOS, 2010). Constitui sistema em que as classificações de vulnerabilidade resultantes, estão ligadas a intervalos fixos para cada parâmetro selecionado. Este método é recomendado em situações onde o mapeamento da vulnerabilidade intrínseca atinge áreas de grande extensão, representadas em pequenas escalas (1:100.000-200.000 - POLEMIO; CASARANO; LIMONI, 2009).

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 05), no Estado de São Paulo, é representada pelas bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, e se apresenta como expoente nacional em termos de significância de desenvolvimento, de maneira a ser considerada uma das regiões mais importantes do país, cujo território

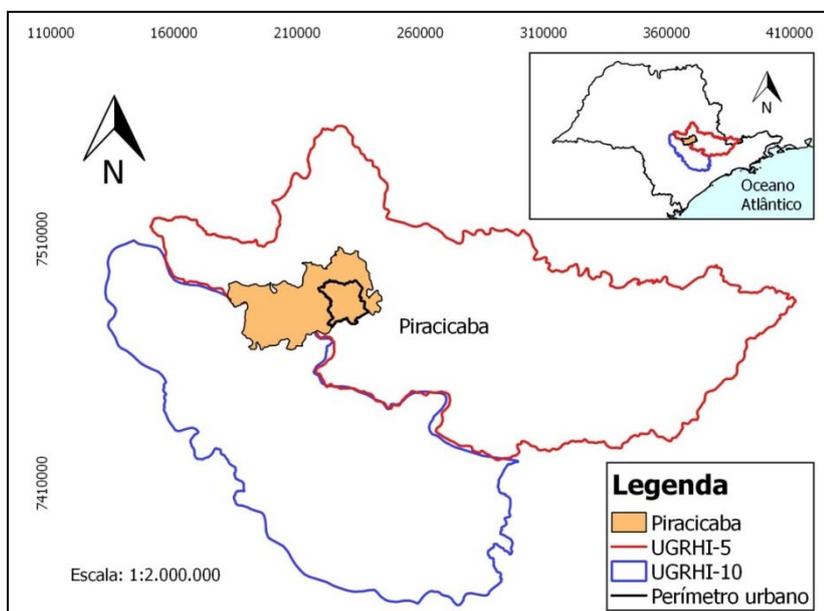
abrange área de 15.303,67 km², com 73 municípios e população estimada em pouco mais de cinco milhões de habitantes. A exploração das águas subterrâneas na UGRHI-5 é feita através de aproximadamente 5.000 poços, nem todos legalizados, com produção estimada de aproximadamente 127 milhões de m³/ano (SIGRH, 2018; AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2008). O município de Piracicaba, localizado na UGRHI-5, ocupa a 165ª posição no ranking do Produto Interno Bruto per capita, em relação ao Brasil, apresentando-se como importante agente de consumo consuntivo destes recursos hídricos, e polo de desenvolvimento econômico e tecnológico regional.

Infelizmente, o município de Piracicaba não possui um estudo relacionado à vulnerabilidade intrínseca de seus aquíferos. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas no município de Piracicaba, através do método GOD, motivado pela ausência de estudos locais e pelo alto comprometimento atual das disponibilidades hídricas, cuja consequência tende a significar a imposição de pressão adicional sobre os recursos hídricos subterrâneos nesta localidade.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudos concentra os limites do município de Piracicaba, cuja sede se insere na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGRHI - 5 (Figura 1), a qual engloba 73 municípios.

Figura 1 - Localização da área de estudo, modificado de Rocha (2005)



Fonte: Elaborado pelo autor

O município possui área total de 1.378,07 km², e população estimada para 2016 de aproximadamente 395.000 habitantes. O relevo local apresenta conformação característica de suave ondulado a ondulado, com presença de pequenas escarpas (VIDAL-TORRADO e LEPSCH, 1999). Sua conformação litológica, possui três domínios geológicos: as rochas sedimentares, as rochas ígneas e as coberturas Cenozóicas (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2008). Para a pedologia local, destaca-se pela importância e representatividade, a classe dos Argissolos, Alissolos e Latossolos, com 45,15%, 27,70% e

17,09% do total da área do município de Piracicaba, respectivamente (IRRIGART 2010, IBGE 2015).

Complementarmente, a caracterização do uso do solo no município, e sua representatividade territorial encontram-se dispostos na Tabela 1. Pode-se observar que a maior parte do município de Piracicaba é composta por coberturas herbáceas (pastagens e culturas agrícolas), seguidas de solo exposto (solo nu), coberturas arbóreas (mata nativa ou reflorestamento), áreas edificadas e cursos d'água.

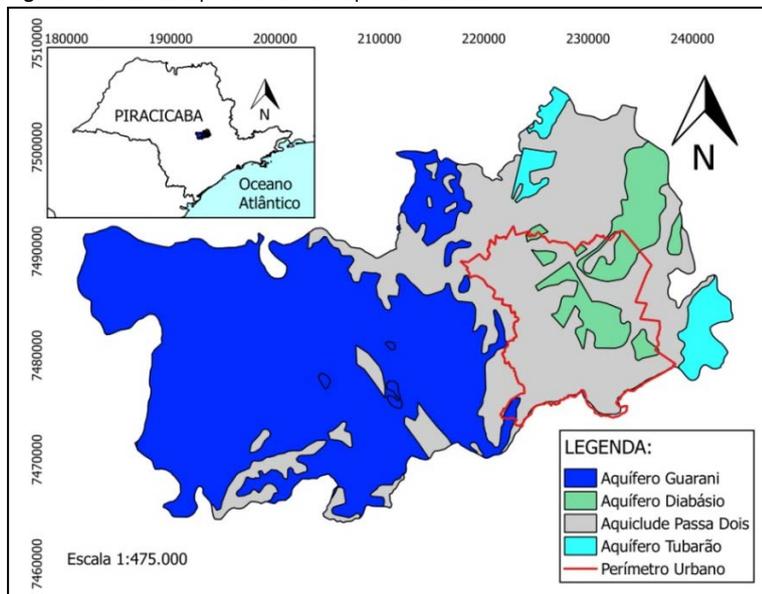
A hidrogeologia aflorante do município de Piracicaba é representada pelos aquíferos Diabásio (89,55 km²), Guarani (733,95 km²), Tubarão (48 km²) e Aquicluda Passa Dois (506 km²), (Figura 2).

Tabela 1 - Principais usos do solo no município de Piracicaba.

Cursos d'água	Cobertura arbórea	Cobertura herbácea	Solo exposto	Áreas edificadas
20,53 km ²	172,37 km ²	916,08 km ²	196,48 km ²	72,62 km ²
1,49%	12,51%	66,48%	14,26%	5,27%

Fonte: Elaborado pelo autor. Base de dados vetoriais: (IRRIGART, 2010)

Figura 2 - Unidades aquíferas no município de Piracicaba



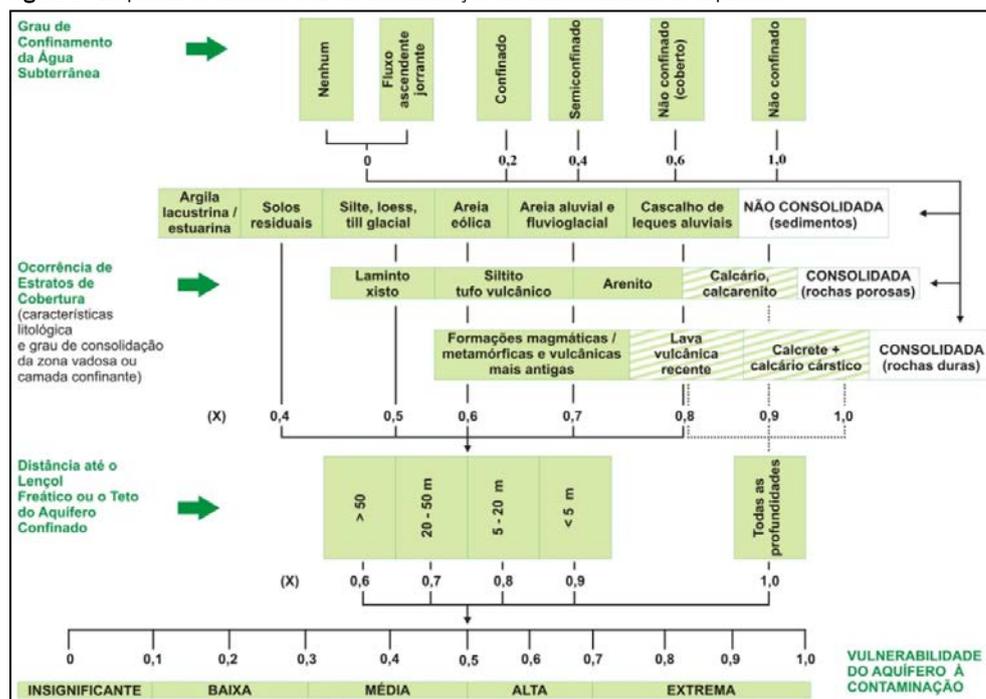
Fonte: Elaborado pelo autor. Base: Rocha (2005)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O método GOD se baseia na interação sucessiva de três fases, com sistema de pontuação para a determinação do índice de vulnerabilidade dos aquíferos. A obtenção dos valores de vulnerabilidade intrínseca para o local em proposição compreendeu, portanto, a utili-

zação da ferramenta proposta pelo método GOD (FOSTER; HIRATA, 1988) caracterizado na Figura 3, alimentado com dados de 192 poços profundos representativos da base de dados do DAEE, e dados situacionais da geologia e pedologia local.

Figura 3 - Esquema do método GOD de determinação da vulnerabilidade de aquíferos



Fonte: Adaptado de Foster et. al. (2006)

Dada a não identificação de poços representativos em aquíferos confinados na base estudada, a pontuação atribuída para o grau de confinamento (G) para as unidades hidrogeológicas locais, baseou-se na proposta de Borba, Descovi Filho e Kemerich (2014), e recebeu pontuação entre 0,60 e 1,00, variando de acordo com a profundidade do nível estático (Tabela 2).

Tabela 2 - Pontuações atribuídas ao parâmetro (G) - método GOD para a área de estudo

Profundidade do nível estático	Pontuação
Até 5,00 m	1,00
Entre 5,01 e 10,00 m	0,95
Entre 10,01 e 20,00 m	0,90
Entre 20,01 e 40,00 m	0,80
Entre 40,01 e 50,00 m	0,70
Acima de 50 m	0,60

Fonte: Elaborado pelo autor. Base de dados DAAE (2016)

O valor atribuído ao parâmetro O do método GOD, segue, a proposta de Cutrim e Campos (2010), e considera a pontuação como o produto do peso atribuído ao solo, pelo peso da litologia predominante local, atrelado à representatividade de suas ocorrências. A caracterização pedológica no município baseou-se nas prerrogativas de Oliveira (1999). Para a determinação da pontuação do parâmetro da profundidade (D), utilizou-se das diretrizes elencadas pelo método GOD, que atribui os valores ao parâmetro atrelados a amplitudes de

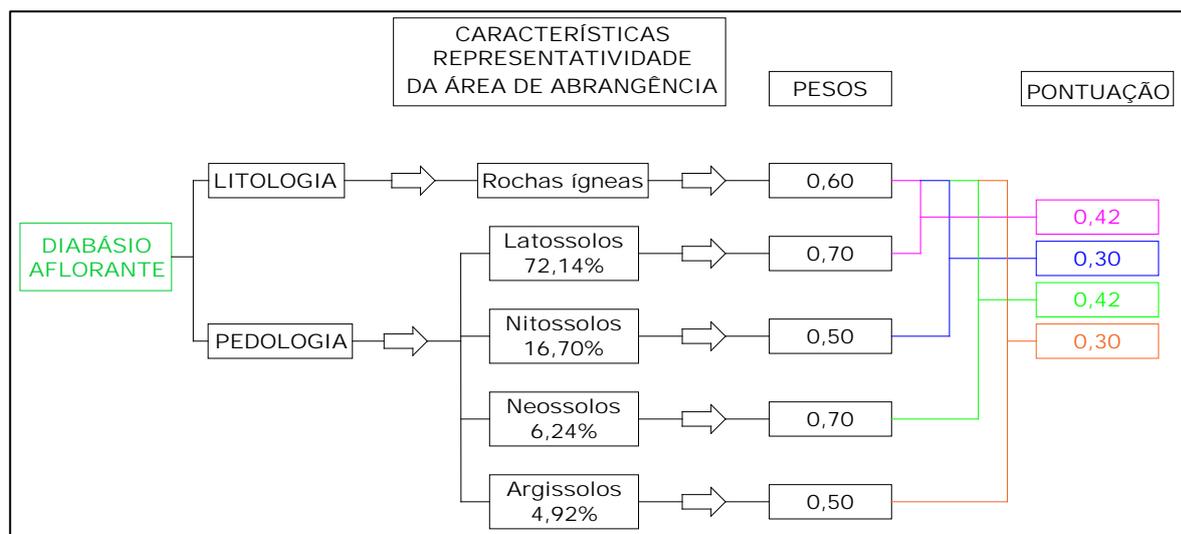
profundidade, sem que fossem necessárias adaptações.

O método adotado foi usado para avaliação individual de cada uma das quatro unidades hidrogeológicas no município de Piracicaba, como estratégia de investigação pormenorizada, que envolvesse o estudo dos parâmetros propostos pelo método GOD, atrelado às características próprias destas unidades. O produto final se apresenta como mapa de vulnerabilidade que abrange o município como um todo. Finalmente, utilizou-se para a geração dos mapas, o software livre *Quantum GIS*, versão estável 2.14.5 que constitui ferramenta de geoprocessamento que possibilita as interpolações e sobreposições necessárias ao contexto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o aquífero Diabásio foram analisados 74 poços com dados representativos, cadastrados nesta unidade, cuja pontuação do parâmetro (G) considerou as profundidades encontradas nos poços que variam entre 4m e 188m. Os Latossolos recobrem a maior parte da faixa aflorante deste aquífero, seguido em ordem de representatividade pelos Nitossolos, Neossolos e Argissolos. O valor característico atribuído ao parâmetro O, para os pontos representativos para o aquífero Diabásio em Piracicaba, são apresentadas na Figura 4.O parâmetro da profundidade (D) apresentou os valores descritos na Tabela 3.

Figura 4 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O - Aquífero Diabásio



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquífero Diabásio

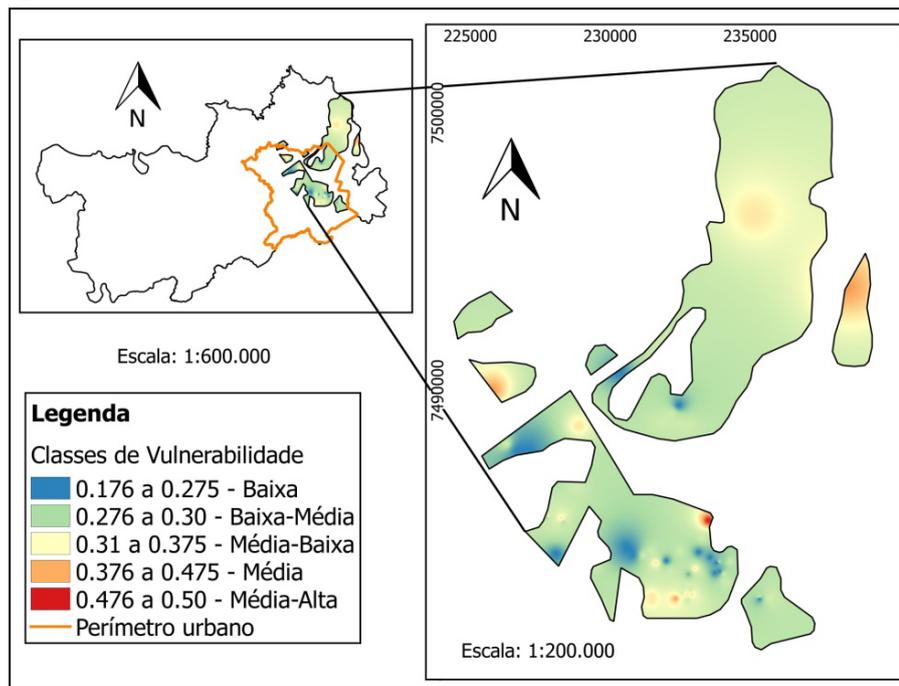
Profundidade	Ocorrências	Pontuação	% representativo
0-5 m	1	0,9	1,35%
6-20 m	6	0,8	8,11%
21-50 m	13	0,7	17,57%
< 50 m	54	0,6	72,97%
Total	74	—	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor. Base de dados DAA (2016)

A Figura 5, ilustra os índices de vulnerabilidade intrínseca para o aquífero Diabásio em Piracicaba, com pontuação que vai de 0,20 (baixa vulnerabilidade) a 0,49 (média vulnerabilidade). Os resulta-

dos refletem a predominância de profundidades do nível de água com mais de 50 m, atrelada à conformação litológica e pedológica local, que, em tese, confere boa proteção natural ao aquífero.

Figura 5 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquífero Diabásio - Método GOD

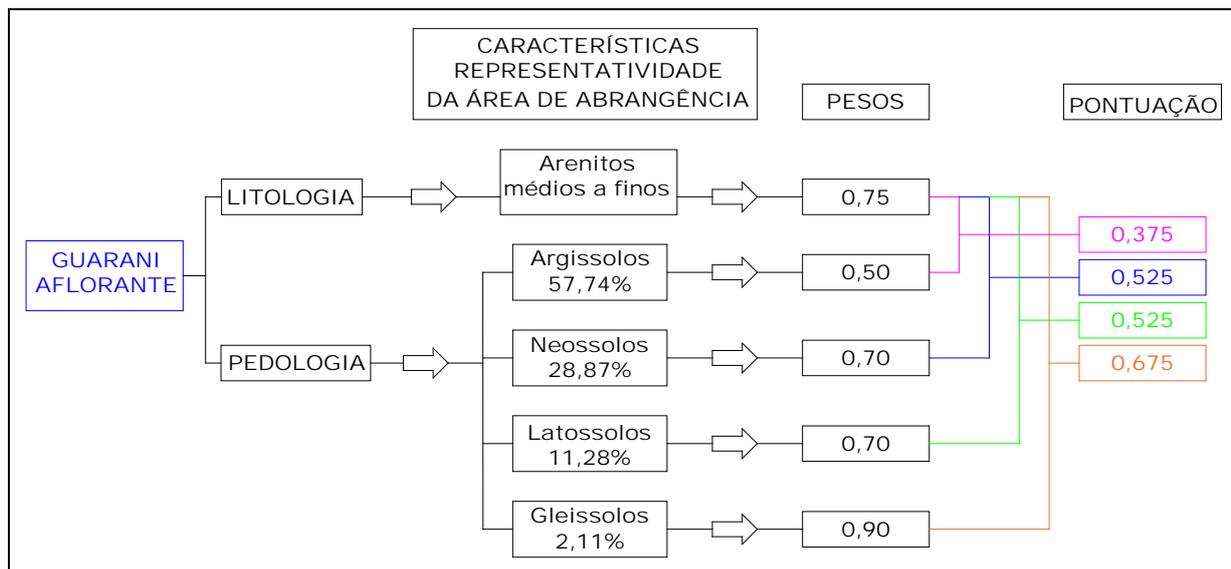


Fonte: Elaborado pelo autor. Base: Rocha (2005)

Para o aquífero Guarani, identificaram-se 18 poços, com dados passíveis de análise, cujas alturas de nível estático apresentam amplitudes de 3m a 116m. O grau de confinamento local para esta unidade é representado pela capa de cobertura do solo e pela camada litológica subjacente ao nível de água.

De igual modo ao aquífero Diabásio, identificaram-se quatro classes representativas de solos, que atrelados à litologia representam as pontuações atribuídas ao parâmetro O para o aquífero Guarani no município de Piracicaba, conforme se ilustra na Figura 6. Os valores do parâmetro D para o aquífero Guarani encontram-se na Tabela 4.

Figura 6 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O - Aquífero Guarani



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquífero Guarani

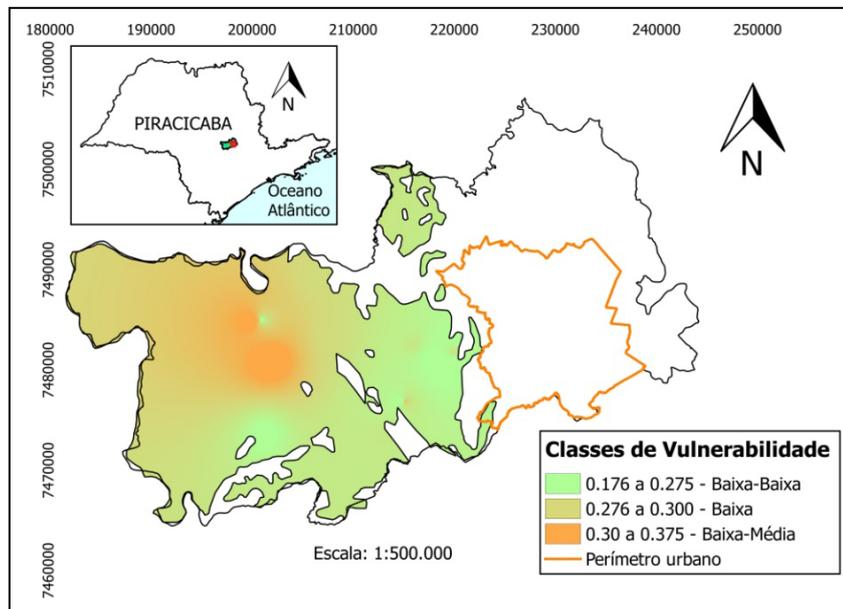
Profundidade	Ocorrências	Pontuação	% representativo
0-5 m	1	0,9	5,56%
6-20 m	5	0,8	27,78%
21-50 m	10	0,7	55,56%
< 50 m	2	0,6	11,11%
Total	18	--	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor. Base de dados DAAE (2016)

Os índices de vulnerabilidade encontrados para o aquífero Guarani são apresentados na Figura 7, com pontuação variando de 0,19 (baixa vulnerabilidade) a 0,38 (baixa-média vulnerabilidade). Na área de estudo pode-se observar a presença essencialmente de

classes de vulnerabilidade baixas (aproximadamente 67% da área do aquífero Guarani), com apenas duas ocorrências de pontuação maiores que 0,30 (vulnerabilidade Média-Baixa).

Figura 7 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquífero Guarani - Método GOD



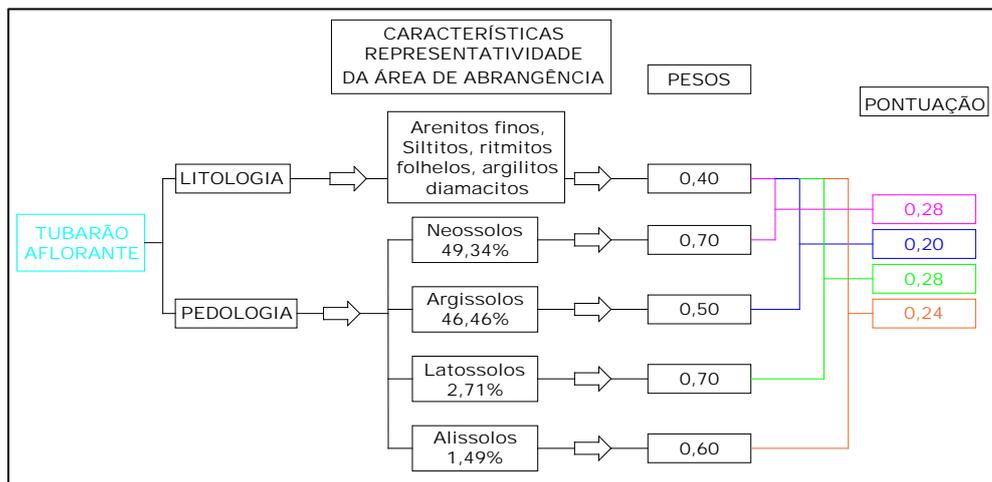
Fonte: Elaborado pelo autor. Base: Rocha (2005)

No aquífero Tubarão foram considerados 14 poços para o estudo de sua vulnerabilidade intrínseca, com profundidades que vão até 76,55m. Também para esta unidade, o grau de confinamento local é representado pela litologia atrelada à cobertura do solo sobrejacente. A Figura 8 representa a caracterização litológica e pedológica

e a consequente pontuação do parâmetro (O) para o aquífero Tubarão.

A pontuação para o parâmetro D é apresentada na Tabela 5.

Figura 8 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O - Aquífero Tubarão



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 5 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquífero Tubarão

Profundidade	Ocorrências	Pontuação	% representativo
0-5 m	1	0,9	7,14%
6-20 m	2	0,8	14,29%
21-50 m	7	0,7	50,00%
< 50 m	4	0,6	28,57%
Total	14	--	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor. Base de dados DAAE (2016)

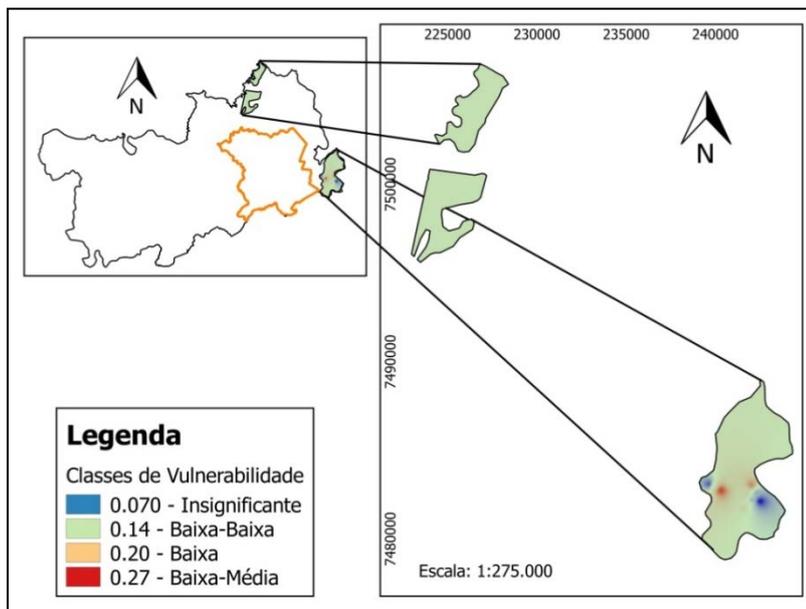
Obteve-se como resultado do produto dos parâmetros preconizados pelo método GOD, para o aquífero Tubarão, pontuações em intervalo de 0,07 (vulnerabilidade insignificante) a 0,25 (baixa vulnerabilidade) (Figura 9).

Para o aquífero Passa Dois, 86 poços foram utilizados para a avaliação de sua vulnerabilidade intrínseca, em profundidades de 2,9m

a 140,0m. Esta unidade apresenta variada composição de solos sobrejacentes ao nível estático, cuja integração dos tipos similares, culminou em nove classes de solo (Figura 10).

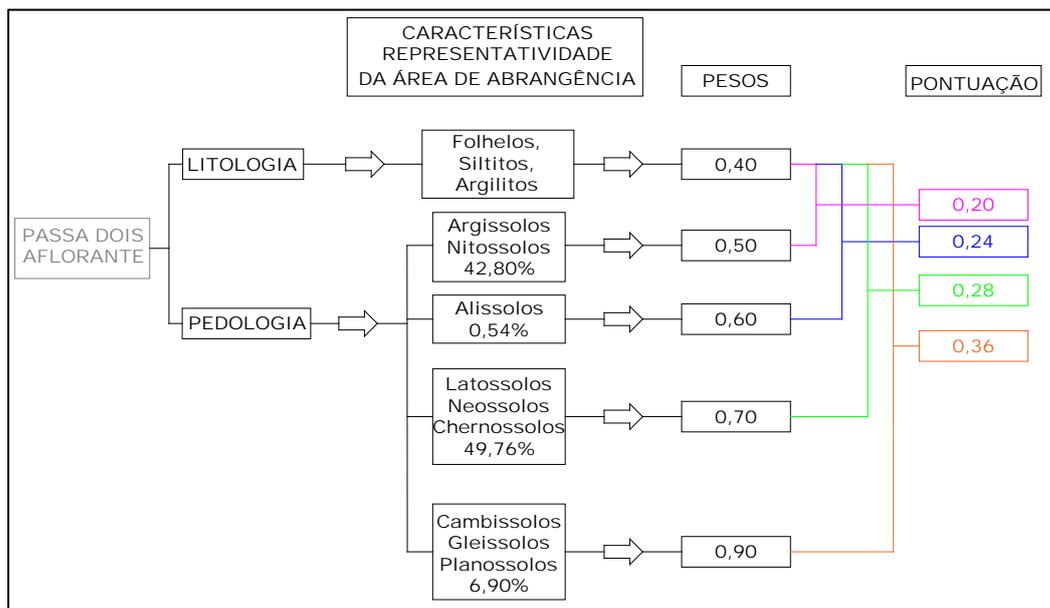
Os valores atribuídos ao parâmetro D para o aquífero Passa Dois, encontram-se na Tabela 6.

Figura 9 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquífero Tubarão - Método GOD



Fonte: Elaborado pelo autor. Base: Rocha (2005)

Figura 10 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O



Fonte: Elaborado pelo autor. Base: Rocha (2005)

Tabela 6 - Valores representativos das profundidades para o aquífudo Passa Dois

Profundidade	Ocorrências	Pontuação	% representativo
0-5 m	3	0,9	3,49%
6-20 m	18	0,8	20,93%
21-50 m	33	0,7	38,37%
< 50 m	32	0,6	37,21%
Total	86	3	100,00%

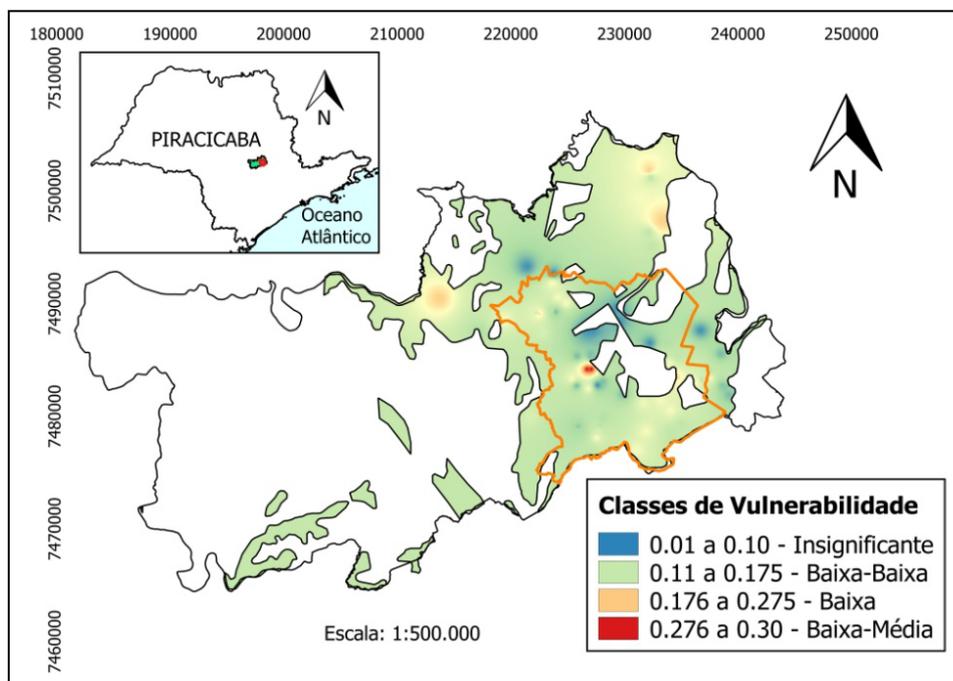
Fonte: Elaborado pelo autor. Base de dados DAAE (2016)

O produto da pontuação característica de cada parâmetro culminou em resultados em intervalo de 0,07 (insignificante) a 0,27 (baixa vulnerabilidade) (Figura 11).

Como ação final, foi gerado um único mapa de vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos no município de Piracicaba, cujos valores se situam entre 0,07 (insignificante) e 0,49 (média-alta) (Figura 12), com áreas de vulnerabilidade intrínseca insignificante e baixa em aproximadamente 86% da área do município de Piracicaba.

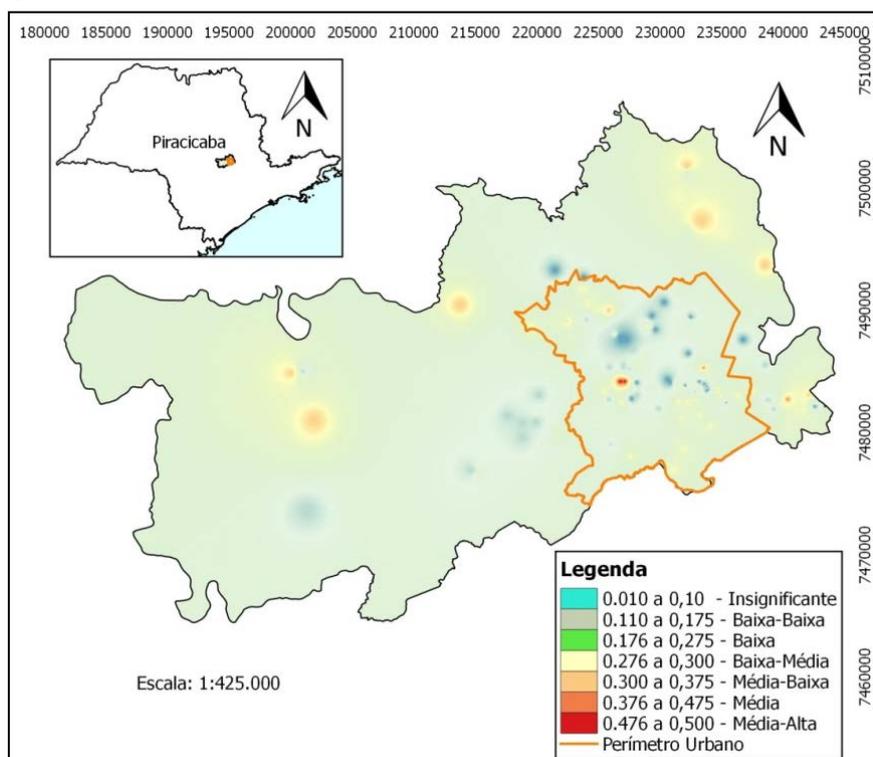
Esses resultados estão intimamente relacionados às profundidades dos níveis estáticos e da atuação do parâmetro (O) do método GOD. Neste contexto, auferiu-se que 80,73% das profundidades dos poços estudados são maiores que 21m. Estas profundidades, portanto, em conjunto com as pontuações auferidas ao parâmetro O, ajudaram a manter os valores representativos de baixa vulnerabilidade para o município, dentro das diretrizes preconizadas no método GOD.

Figura 11 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquífudo Passa Dois



Fonte: Elaborado pelo autor. Base: Rocha (2005)

Figura 12 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o município de Piracicaba



Fonte: Elaborado pelo autor. Base: Rocha (2005)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De um modo abrangente, os resultados apresentados pelo Método GOD, demonstram que o município de Piracicaba apresenta predominantemente índices de baixa vulnerabilidade intrínseca, com variação de insignificante a média-alta vulnerabilidade intrínseca. Os poucos pontos onde os índices gerados pelo Método GOD acusam média-alta vulnerabilidade intrínseca ocorrem especificamente devido à ocorrência de baixa profundidade do nível estático, como é caso de ocorrências isoladas nos aquíferos Diabásio e Guarani. Os índices de vulnerabilidade gerados para o aquífero Guarani, que aflora na maior parte da zona rural do município, também se apresentam predominantemente baixos. Este resultado pode estar atrelado à preponderante ocorrência de Argissolos com profundidades do nível estático em grande parte, maiores que 20 m.

Infelizmente, a base de dados representativos, oriundas dos poços cadastrados e outorgados para o município, apresenta-se limitada e muitas vezes com informações incompletas para uso neste tipo de trabalho. Esta particularidade acaba por limitar a quantidade de pontos de exploração com dados úteis às determinações da vulnerabilidade intrínseca, apoiadas apenas nestes dados indiretos.

A inexistência de estudos detalhados para o município, conforme já explanado, elimina a possibilidade de dados representativos de comparação aos resultados aqui auferidos. Desta forma, estudos complementares com dados oriundos de coletas em campo, relativo aos dados aqui utilizados, se fazem solução para acrescentar material de análise de forma a enriquecer a precisão dos resultados, bem como complementar lacunas em locais onde a representatividade de poços cadastrados no sistema do DAEE é inexistente ou possuem cadastro ineficiente a esta necessidade.

Não obstante as observações elencadas, os resultados aqui apresentados, constituem um primeiro passo importante para a caracterização e avaliação dos riscos aos recursos hídricos subterrâneos

locais, frente às novas imposições de demanda de usos destes recursos, oriundos do crescimento econômico e populacional, atrelados ao esgotamento qualitativo e quantitativo das fontes de água superficiais existentes.

REFERÊNCIAS

- BAALOUSHA, Husam Musa. Groundwater vulnerability mapping of Qatar aquifers. *Journal of African earth sciences*, Qatar, v. 124, n. 1464-343X, p. 75-93, dez. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jafrearsci.2016.09.017>>. Acesso em: 15 out. 2016.
- BORBA, Willian Fernando de; DESCOVI FILHO, Leônidas Luiz Volcato; KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha. Vulnerabilidade do aquífero à contaminação no município de Seberi-RS. *Revista Monografias Ambientais*, Santa Maria RS, v. 14, n. 1, p. 2960-2966, fev. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/278410899_vulnerabilidade_do_aquifero_a_contaminacao_no_municipio_de_seberi-rs>. Acesso em: 12 ago. 2017.
- CUTRIM, A.O.; CAMPOS, J.E. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH. *Rev. Geociências*, v. 29, n.3, p.401-411, 2010.
- DAEE. *Relatório de Usos de Recursos Hídricos Cadastrados ou Outorgados no DAEE: Pesquisa de Dados dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo*. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>>. Acesso em: 05 set. 2016.
- ESHTAWI, Tamer et al. Integrated hydrologic modeling as a key for sustainable urban water resources planning. *Water research*, [S.l.], v. 101, n. 0043-1354, p. 411-428, maio. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.watres.2016.05.06>>. Acesso em: 05 jul. 2016.
- FOSTER, S. S. D., HIRATA, R. C. A. *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru, 1988.81p.
- FOSTER, Stephen et al. *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. São Paulo: SERVIMAR, 2006. 104 p. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/336486>>

1175813625542/GroundwaterQualityProtectionGuide_Portugese.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2018.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. (UGRHI-5). *Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020*. 1. ed. Piracicaba: [s.n.], 2008. 815 p. v. único.

IBGE. *Manual Técnico de Pedologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. 430 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

IRRIGART - RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE. *Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos de Piracicaba*. 2010. 301 p. Relatório de Engenharia (Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos de Piracicaba)- SEMAE - Piracicaba, 2010. único.

OLIVEIRA, João Bertoldo de. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. *Boletim Científico*, 45. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999. 112 p.

POLEMIO, M.; CASARANO, D.; LIMONI, P. P.. Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, southern Italy). *Natural Hazards And Earth System Science*, [s.l.], v. 9, n. 4, p.1461-1470, 19 ago. 2009. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-9-1461-2009>. Disponível em: <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/1461/2009/nhess-9-1461-2009.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

RUILIANG, J. et al. *A Vulnerability Evaluation of the Phreatic Water in the Plain Area of the Junggar Basin, Xinjiang Based on the VDEAL Model*. Sustainabi-

lity, [S.L], jun. 2014. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/sustainability>. Acesso em: 02 set. 2016.

ROCHA G. Coordenador. *Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo*: escala 1:1.000.000: nota explicativa: DAEE – IG - IPT - CPRM. 1ª. ed. São Paulo: [s.n.], 2005. 119 p. v. único.

SIGRH. *UGRHI-5 Piracicaba, Capivari, Jundiá: Águas Subterrâneas*. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6962/ugrhi_05.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2018.

VAUX, Henry. Groundwater under stress: the importance of management. *Environmental Earth Sciences*, [S.l.], v. 62, n. 1, p. 19-23, jan. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12665-010-0490-x> DO - 10.1007/s12665-010-0490-x ID - Vaux2011 ER>. Acesso em: 08 out. 2016.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.. Relações material de origem / solo e pedogênese em uma sequencia de solos predominantemente argilosos e Latossólicos sobre psamitos na depressão periférica Paulista: Paulo State Peripheral Depression, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 23, n. 2, p.357-369, jun. 1999. FapUNIFESP (SCIELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06831999000200019>. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n2/19.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

WITKOWSKI, Andrzej J.; KOWALCZYK, Andrzej; VRBA, Jaroslav. *Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping*. London: Taylor & Francis/Balkema, 2007. 280 p.