

**ENGENHARIAS****Mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas do município de Herval/RS*****Mapping of natural vulnerability to groundwater contamination in the municipality of Herval/RS***

Ândria da Silva Pereira¹, Samanta Tolentino Cecconello²,
Luana Nunes Centeno³

RESUMO

As águas subterrâneas são uma alternativa para abastecimento humano quando comparadas às águas superficiais, por apresentar melhor qualidade. O município de Herval/RS apresenta sua economia voltada para as atividades agrícolas e explora as águas subterrâneas para abastecimento da zona rural. O mapeamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas permite identificar as áreas mais suscetíveis à contaminação do lençol freático devido as características intrínsecas do solo. Este estudo tem como objetivo a aplicação do método GOD para o mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas para o município de Herval/RS. O grau de vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas variou de insignificante a médio, onde os resultados com maiores índices representaram uma pequena parcela da área de estudo. O parâmetro grau de confinamento do método GOD, associado aos aspectos litológicos que também são aferidos através da metodologia foram determinantes para a obtenção dos resultados. Os resultados corroboram para o desenvolvimento das atividades agrícolas desenvolvidas no município de Herval/RS e servem como uma alternativa inicial à gestão de recursos hídricos subterrâneos.

Palavras-chave: Fragilidade; águas subterrâneas; GOD, Herval/RS.

ABSTRACT

Groundwater is an alternative to human supply when compared to surface water, as it has better quality. The municipality of Herval / RS presents its economy focused on agricultural activities and explores groundwater to supply urban and rural areas. The mapping of the vulnerability of groundwater allows to identify the areas most susceptible to contamination of the water table due to the intrinsic characteristics of the soil. This study aims to apply the GOD method to map the natural vulnerability to groundwater contamination for the municipality of Herval/RS. The degree of natural vulnerability to groundwater contamination ranged from insignificant to medium, where the results with the highest rates represented a small portion of

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense - IFSul, Câmpus Pelotas/RS - Brasil. E-mail: andriaspereira@yahoo.com.br

² Idem. E-mail: satolentino@pelotas.ifsul.edu.br

³ Doutoranda em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas/RS - Brasil. E-mail: luananunescenteno@gmail.com



the study area. The degree of confinement parameter of the GOD method, associated with the lithological aspects that are also measured through the methodology were decisive for obtaining the results. The results corroborate for the development of agricultural activities developed in the municipality of Herval / RS and serve as an initial alternative to the management of underground water resources.

Keywords: Fragility; groundwater; GOD, Herval/RS.

1. INTRODUÇÃO

O percentual de água do planeta que é considerada apropriada para o consumo humano é de apenas 2,5% e destas, 30% estão contidas nas águas subterrâneas (ANA, 2018). Deste modo, podemos constatar o grande potencial das águas subterrâneas para o abastecimento humano por apresentar geralmente uma qualidade superior quando comparada às águas superficiais, fator este que acaba gerando um custo-benefício maior, pois seu tratamento é menos oneroso em relação a outras fontes de abastecimento. (SARAIVA *et al.*, 2017).

A parcela da população brasileira que utiliza às águas subterrâneas para o abastecimento público chega a 48% segundo a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2018). Em termos gerais podemos salientar que quantidade e qualidade da água são critérios essenciais quando o enfoque é abastecimento humano e que as águas subterrâneas se encaixam nestes parâmetros, principalmente em regiões em que a disponibilidade de recursos hídricos superficiais e a estiagem são fatores limitantes. (BORGES; ATHAYDE; REGINATO, 2017; CARVALHO *et al.*, 2015; SARAIVA *et al.*, 2017).

Pode-se classificar os poços de acordo com a sua profundidade em rasos e profundos, onde os poços rasos são escavados de forma manual e não ultrapassam a profundidade de 20 metros enquanto que os poços profundos necessitam de métodos rotativos hidráulicos para sua perfuração, pois apresentam profundidade superior a 20 metros. (ABAS, 2018).

Dentro deste contexto a cidade de Herval possui captação de água em manancial superficial, para abastecer a população urbana e pela captação subterrânea em poços rasos para abastecer a população rural. (ANA, 2018).

Por se tratar de um município de pequeno porte e cuja economia baseia-se predominantemente das atividades agropecuárias, a qualidade das águas subterrâneas pode apresentar-se imprópria para o consumo humano, tendo em vista que as atividades desenvolvidas na zona rural do município de Herval atreladas às características intrínsecas do solo, podem favorecer a contaminação do aquífero. (CASANOVA; SALAZAR, 2018).

Devido às diversas atividades desenvolvidas na zona rural do município de Herval e que podem favorecer à contaminação das águas subterrâneas, torna-se importante realizar estudos que busquem planejar o território e com ele, identificar áreas de maior potencial para instalação de atividades potencialmente poluidoras no município. (BATISTA *et al.*, 2017).



Sendo assim, o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) estabelecido através do Decreto 4.297/2002 (BRASIL, 2002) é uma ferramenta que auxilia no planejamento territorial e ambiental, permitindo a investigação das potencialidades e fragilidades de cada região, que por fim, possibilitam estabelecer critérios para a implementação de atividades potencialmente poluidoras. Outra ferramenta que vêm ganhando destaque no planejamento territorial e ambiental é o mapeamento das vulnerabilidades naturais à contaminação das águas subterrâneas. (SABADINI *et al.*, 2017).

Através do mapeamento das vulnerabilidades naturais à contaminação das águas subterrâneas é possível identificar as áreas mais vulneráveis naturalmente, impedindo a instalação de atividades potencialmente poluidoras e identificando as áreas que apresentam maior proteção natural e que podem ser indicadas para o desenvolvimento de determinadas atividades. (VILLANUEVA *et al.*, 2015).

O mapeamento das vulnerabilidades das águas subterrâneas, utilizam técnicas para mensurar as características naturais do solo, de modo que quando este for adversamente afetado por uma carga contaminante imposta, possa apresentar uma maior resistência a estas modificações, apresentando deste modo, uma menor vulnerabilidade natural à contaminação. (FOSTER *et al.*, 2006).

Com o intuito de avaliar o grau de vulnerabilidade de aquíferos, alguns métodos foram criados com o objetivo de estabelecer categorias de vulnerabilidade. (FOSTER *et al.*, 2006). Dentre os modelos utilizados para mapear a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, pode-se citar os métodos DRASTIC, GOD, SINTACS, EPIK, dentre outros. (MAIA; CRUZ, 2011).

O estudo da vulnerabilidade de águas subterrâneas contempla a análise de alguns aspectos como a litologia, os tipos de solo, a topografia, a profundidade do lençol freático, o uso e a ocupação do solo. Dependendo do modelo utilizado atribui-se um maior ou menor número de fatores. (PEREIRA, 2006).

De acordo com Borges, Athayde e Reginato (2017) a escolha do método a ser utilizado leva em conta as informações disponibilizadas para cada região, optando-se por trabalhar com métodos mais simplificados quando há poucas informações disponibilizadas. Dentre os métodos mais utilizados para identificar e mapear a vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas citam-se o DRASTIC e o GOD.

O método DRASTIC utiliza sete parâmetros hidrogeológicos: profundidade da água do aquífero, recarga do aquífero, litologia do aquífero, tipo de solo, topografia, textura da zona vadosa e condutividade hidráulica do aquífero. (CUTRIM; CAMPOS, 2010). Já o método GOD é mais simples e utiliza apenas três parâmetros: grau de confinamento da água subterrânea (G); ocorrência de estratos de cobertura (O); e distância até o aquífero freático (D). (BORGES; ATHAYDE; REGINATO, 2017).

Contudo, a utilização do método para estimar a vulnerabilidade das águas subterrâneas, determina a vulnerabilidade nos pontos analisados, sendo necessária a utilização de interpoladores para estimar a vulnerabilidade do aquífero em todo o território do município. O interpolador Inverse Distance Weighted (IDW), estima um valor para um local não amostrado, considerando a média dos valores dos dados dentro de uma vizinhança, desta forma a influência dos pontos vizinhos diminui com o



aumento da distância entre eles. (MIRANDA, 2015). Diante disso, o objetivo deste trabalho foi mapear a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do município de Herval/RS através do uso de geoprocessamento.

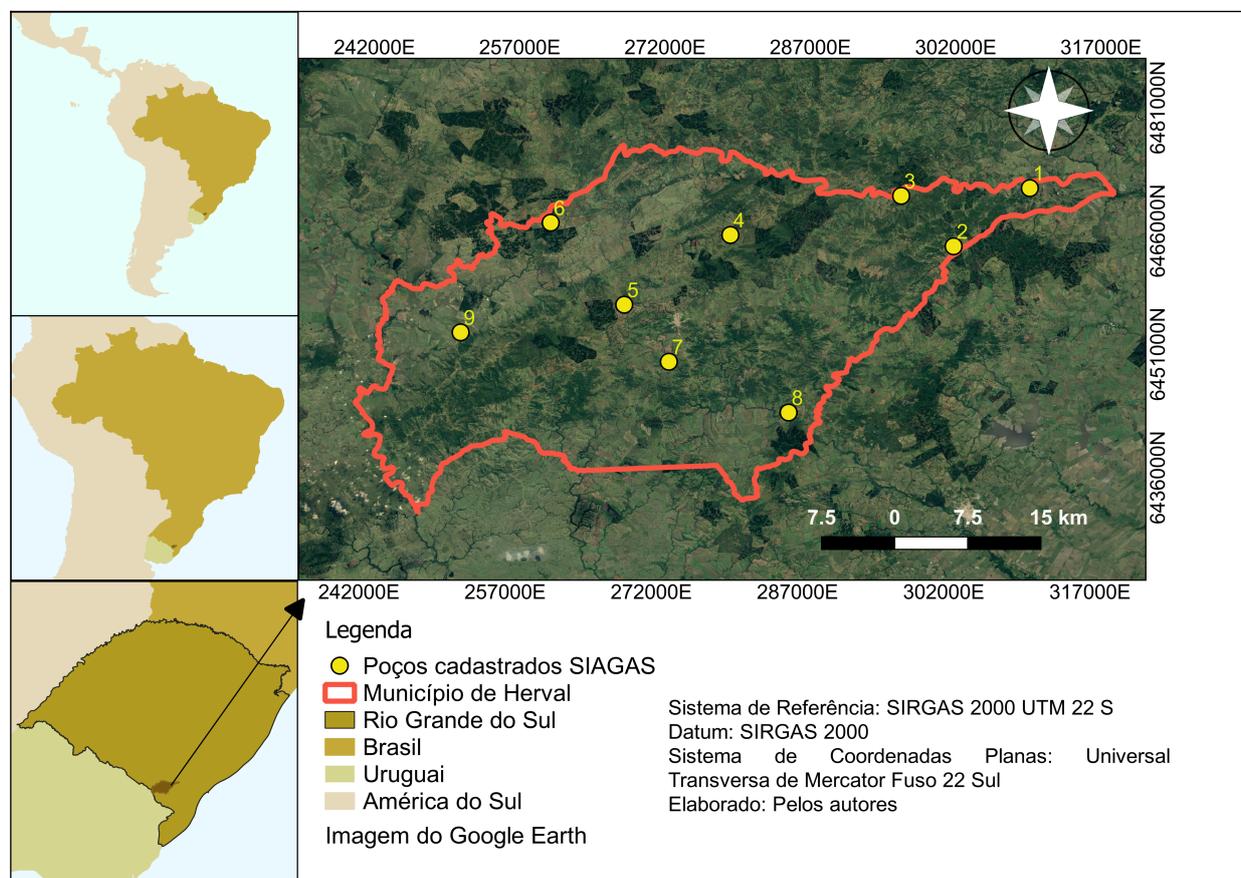
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Herval, objeto de estudo deste trabalho, está localizado na região sul do estado do Rio Grande do Sul e possui uma população estimada para o ano de 2018 de 6.828 habitantes. Este município apresenta uma extensão territorial de 1.757,607 km² e apresenta uma altitude de 287 metros. (IBGE, 2018). Seu território está situado nas bacias hidrográficas dos Rios Jaguarão e Piratini/São Gonçalo e o agronegócio é a principal atividade econômica.

Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018) o abastecimento da cidade de Herval é realizado pelo sistema composto pela Barragem Arroio Passo do Eliseu e pelo Arroio Herval, e na zona rural o abastecimento de água se dá através de poços profundos. (SIAGAS, 2018). A localização do município de Herval pode ser observada na Figura 1, bem como os poços cadastrados pelo SIAGAS. As coordenadas dos pontos estão inseridas na Tabela 1.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Herval/RS.



Fonte: Elaborada pelos autores.



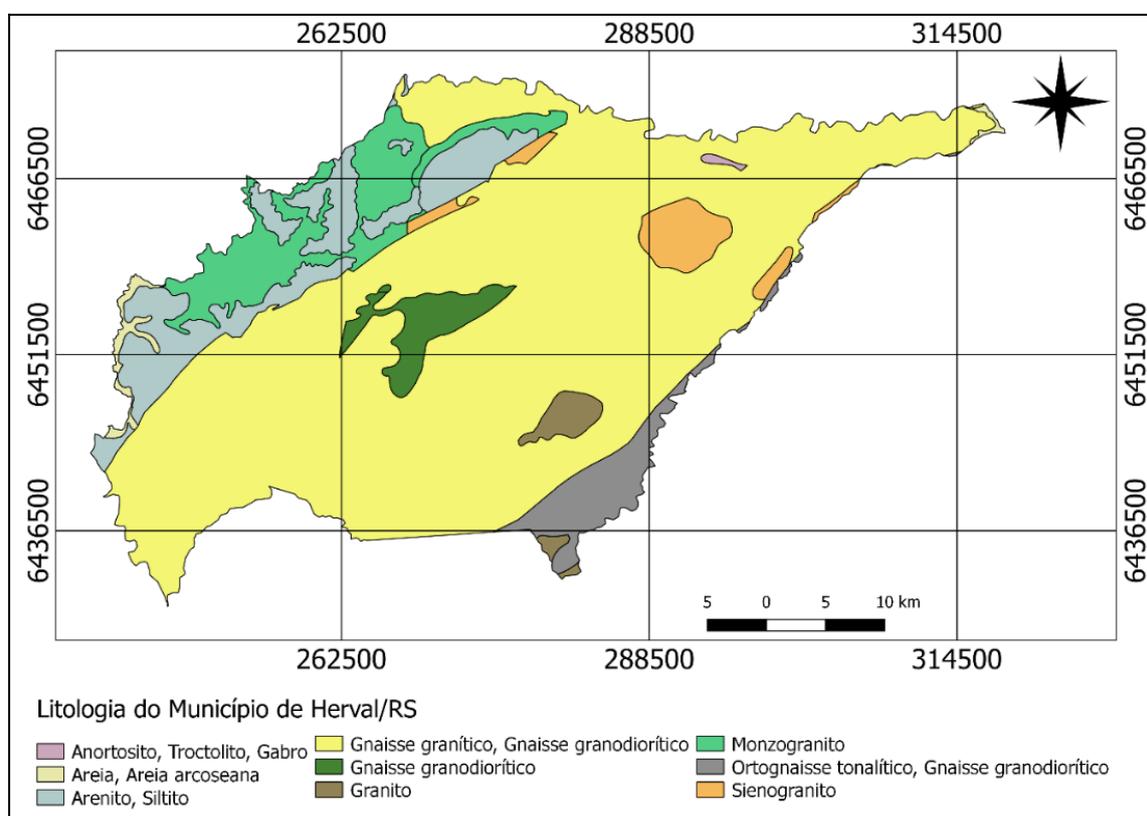
Tabela 1 – Coordenadas dos poços cadastrados pelo SIAGAS para o município de Herval/RS.

ID	Coordenadas	
	UTM (E)	UTM (N)
1	309946	6470992
2	302225	6463771
3	296700	6469800
4	279200	6464674
5	268453	6455951
6	260650	6465750
7	273207	6449115
8	285650	6443200
9	251691	6452190

Fonte: Elaborada pelos autores.

Segundo dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006) o município de Herval encontra-se em grande parte territorial, inserido no Complexo Granito-Gnaíssico Pinheiro Machado, onde os compartimentos litológicos mais preponderantes são o Gnaíse Granítico e o Gnaíse Granodiorítico, que são estruturas provenientes de rochas ígneas. A representação da litologia do município de Herval/RS pode ser observada através da Figura 2.

Figura 2 – Mapa Litológico do município de Herval/RS.



Fonte: Elaborada pelos autores.

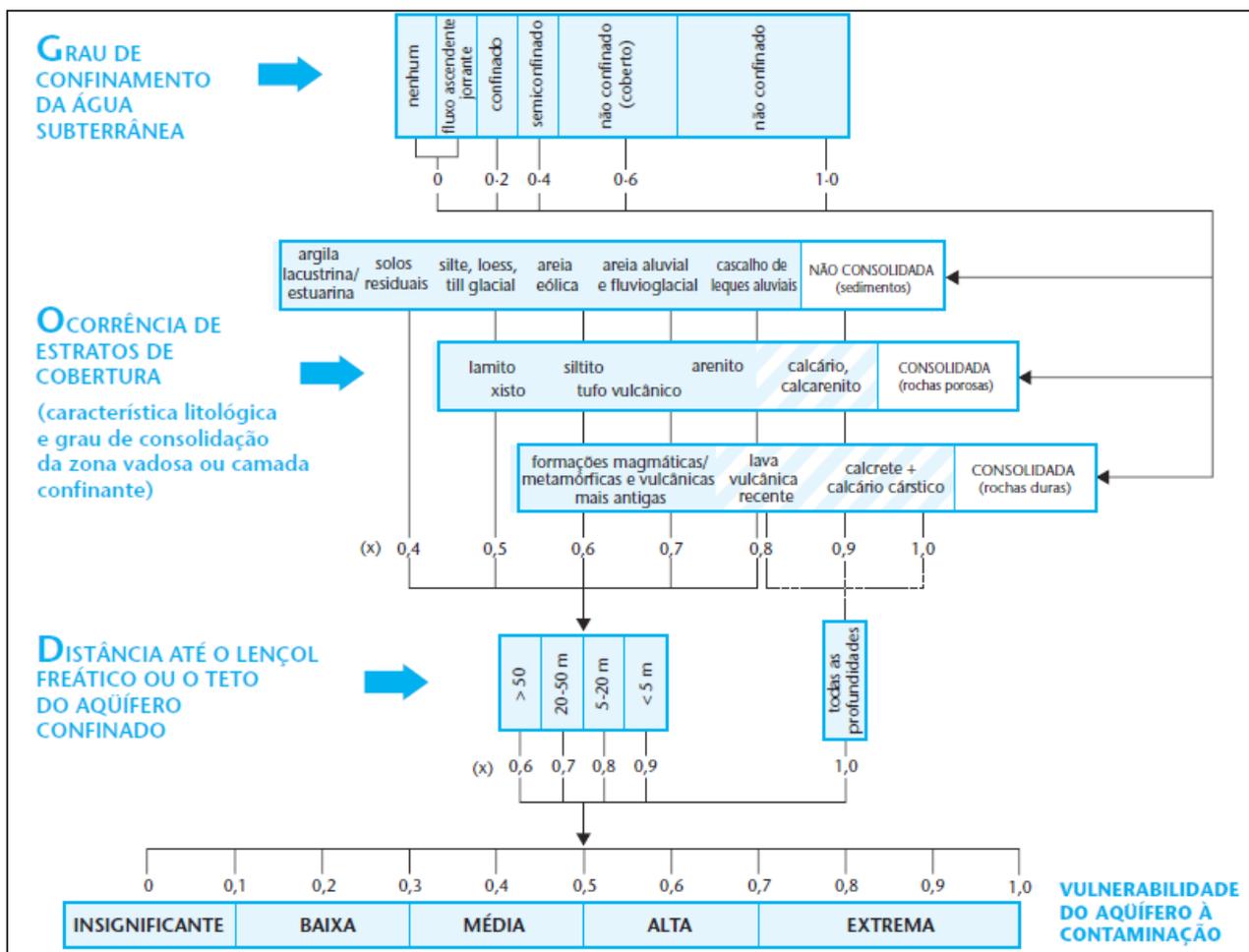


2.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GOD

Inicialmente foram compiladas as informações dos poços cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para o município de Herval. Foram contabilizados 9 poços cadastrados, dos quais foram extraídas informações sobre cada poço cadastrado para o município de Herval, com o objetivo de criar um banco de dados espaciais. Foram obtidas informações sobre as coordenadas geográficas, nível dinâmico, nível estático, cota do terreno, formação geológica, litologia, grau de confinamento e situação atual de operação do poço. A distribuição espacial dos poços utilizados neste estudo pode ser visualizada na Figura 1.

A determinação do índice de vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas foi realizada através do método GOD, proposto por Foster *et al.* (2006), que consiste no produto de três parâmetros, gerando um índice de valores compreendidos numa escala de zero a um, onde os valores mais altos apontam maior vulnerabilidade. A Figura 3 demonstra a metodologia GOD proposta por Foster *et al.* (2006).

Figura 3 - Metodologia GOD.



Fonte: Foster *et al.* (2006).



Com o intuito de estimar os pontos não amostrados, afim de contemplar toda área de estudo foi utilizado o interpolador IDW (Inverse Distance Weighted), no software QGIS 2.18. Para aplicação do interpolador foram utilizados os resultados do método GOD obtidos para cada parâmetro que é também o resultado do produto dos três parâmetros, sendo este o valor que expressa o grau de vulnerabilidade. O sistema de referência adotado para este estudo foi o datum SIRGAS 2000 e sistema de projeção UTM Fuso 22 Sul.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na aplicação do método GOD foi atribuído para o parâmetro Grau de Confinamento da água subterrânea (G) o peso 0,2 para aquífero confinado, 0,4 para aquíferos semiconfinados e peso 1 para aquíferos não confinados/livres. Para o parâmetro Ocorrência de estratos de cobertura (O) foi atribuído o peso 0,6 e ou 0,7 para rochas magmáticas/metamórficas e vulcânicas, e peso 0,4 para argilas e solos residuais, de acordo com as definições estabelecidas por Crepani *et al.* (2001) e com a formação geológica da área de estudo. Para delimitação do parâmetro Distância até o aquífero freático (D) foi utilizado o peso 0,9 para profundidades menores que 5 metros, peso 0,8 para profundidades entre 5 e 20 metros, e peso 1 quando não existir informações necessárias para determinação deste parâmetro.

Com base nos pesos estabelecidos para cada parâmetro e realizada a multiplicação entre os três parâmetros, obteve-se um resultado de vulnerabilidade, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da aplicação do método GOD para os poços estudados.

ID POÇO	FORMAÇÃO GEOLÓGICA	LITOLOGIA	NÍVEL ESTÁTICO (m)	G	O	D	IV
1	Complexo granito-gnáissico	Granito	5,00	0,2	0,6	0,8	0,096
2	Complexo granito-gnáissico	Gnaisses	4,88	0,2	0,7	0,9	0,126
6	Complexo granito-gnáissico	Solo/Rocha Cristalina não identificada/Rocha Intemperizada e Decompostas/ Granito	0,63	1,0	0,4	0,9	0,36
4	Complexo granito-gnáissico	Solo areno-argiloso/Solo arenoso/Granito	2,95	0,2	0,4	0,9	0,072
5	Complexo granito-gnáissico	Granito	3,05	0,2	0,6	0,9	0,108
7	Complexo granito-gnáissico	Solo/Rochas Intemperizada e Decompostas	2,00	1,0	0,4	0,9	0,36
8	Complexo granito-gnáissico	Granito	3,10	0,2	0,6	0,9	0,108
3	Complexo granito-gnáissico	Gnaisses	3,02	0,2	0,7	0,9	0,126
9	Complexo granito-gnáissico	Granito	4,11	0,2	0,6	0,9	0,108

Legenda:

G= Grau de confinamento da água subterrânea
D= Distância até o aquífero freático

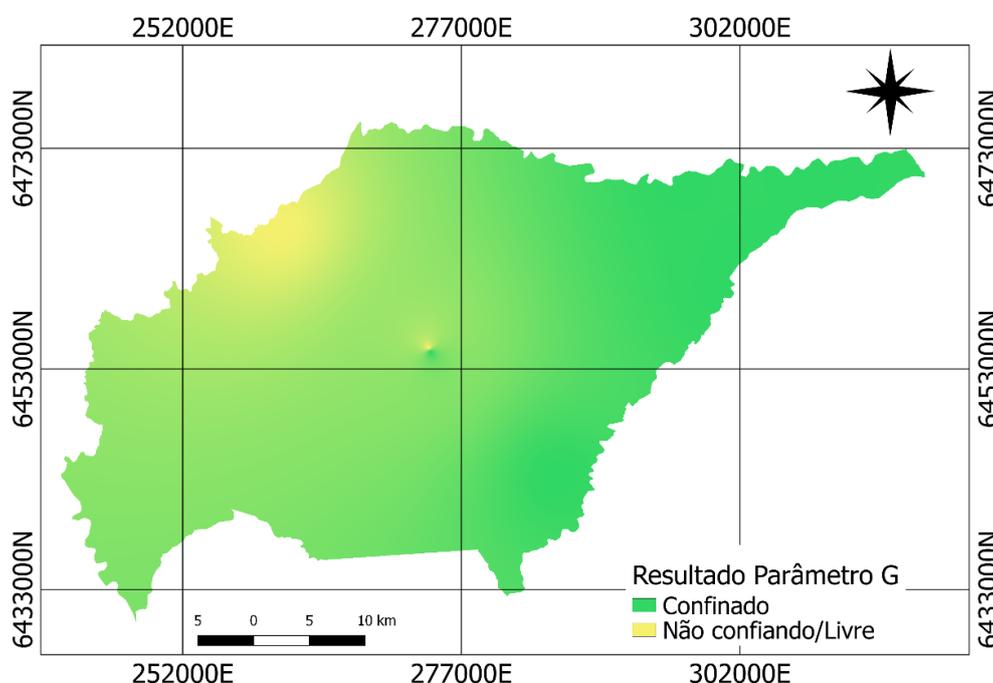
O= Ocorrência de estratos de cobertura
IV= Índice de Vulnerabilidade

Fonte: Elaborada pelos autores.



O parâmetro grau de confinamento foi determinado através da análise da condição na qual o poço encontrava-se através das feições apresentadas no perfil construtivo associado com as informações da formação geológica. Com base nos dados compilados, dos 9 poços estudados apenas dois poços foram classificados como não confinado/livre, onde receberam peso 1 para o parâmetro “G”. Outro fator que influenciou na caracterização dos 2 poços serem classificados como não confinado/livre foi o fato de ambos apresentarem um nível estático baixo com uma camada de material permeável antes do teto do aquífero. Os demais poços apresentaram características que levaram a classificação de confinado, atribuindo-se um peso de 0,2 para o parâmetro que analisa as características litológicas. A Figura 4 apresenta o resultado deste parâmetro, que foi obtido através do interpolador IDW.

Figura 4 - Mapa do parâmetro G -
Indicativo do grau de confinamento da água subterrânea.

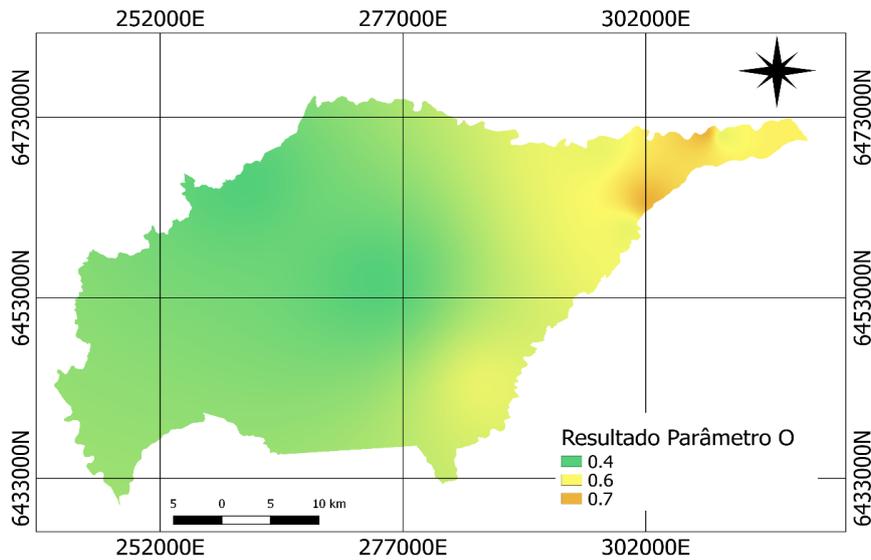


Fonte: Elaborada pelos autores.

Para obtenção do parâmetro “O” foram consideradas as características do solo como zona vadosa juntamente com a análise da litologia e formação geológica de cada um dos poços, onde foram atribuídos três diferentes pesos para este parâmetro. Quatro poços apresentaram o granito como característica litológica preponderante, inclusive na camada mais superficial que constitui a zona vadosa, o que lhes conferiu peso 0,6 para este parâmetro. Três poços receberam peso 0,4 por apresentarem antes da sua formação litológica proveniente de granito, uma camada na zona vadosa com materiais que variavam entre solo, argila e rochas decompostas por processo de intemperismo. Por fim, dois poços receberam peso 0,7 por conterem na camada da zona vadosa solo e sua formação litológica ser constituída por gnaiss, que é um compartimento litológico proveniente do granito. Na Figura 5 é possível observar os resultados deste parâmetro obtidos através do interpolador IDW.



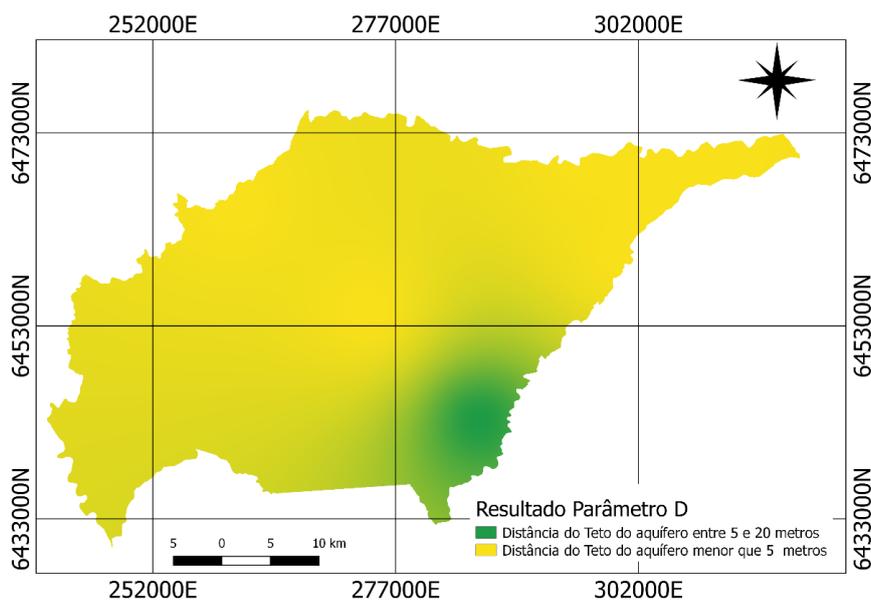
Figura 5 – Mapa do parâmetro O – formado pelos estratos de cobertura do aquífero.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para determinação do parâmetro “D”, foi utilizado os dados relativos ao nível estático, dos quais 7 poços apresentaram nível estático menor que 5 metros e foi atribuído peso 0,9 aos mesmos. Dois poços não tinham informações sobre este dado, onde lhes foi atribuído também o peso 0,9 pela grande incidência de níveis estáticos menores que 5 metros. Um único poço apresentou nível estático igual a 5 metros e recebeu peso 0,8, pois este peso engloba esta distância. O resultado deste parâmetro foi obtido através do interpolador IDW e pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Mapa do parâmetro D – Calculado em função do nível estático do aquífero.

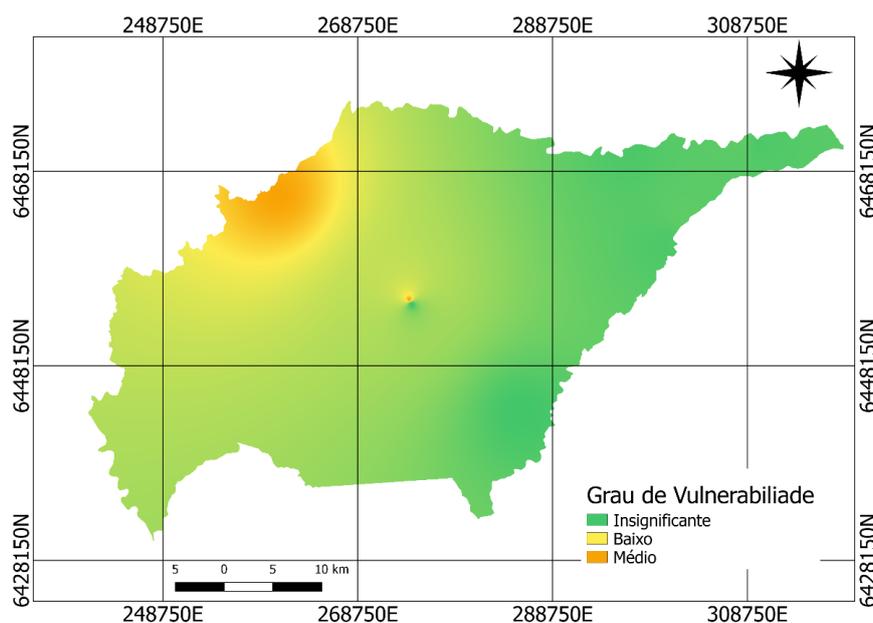


Fonte: Elaborada pelos autores.



Para geração do mapa de vulnerabilidade natural a contaminação das águas subterrâneas do município de Herval/RS foi utilizado o resultado do produto entre os três parâmetros do método GOD para cada poço e para que o índice de vulnerabilidade abrangesse toda área de estudo foi aplicado o interpolador IDW nestes resultados. Na Figura 7 é possível observar o grau de vulnerabilidade para o município de Herval/RS.

Figura 7 – Mapa de Vulnerabilidade natural a contaminação das águas subterrâneas do município de Herval/RS.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Através do mapa de vulnerabilidade representado pela Figura 7 foi possível observar que o município de Herval/RS apresentou uma pequena área com grau de vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas variando de insignificante (0,072) a médio (0,36). Realizando uma análise comparativa do mapa de vulnerabilidade (Figura 7) com o mapa do parâmetro “G” (Figura 4) é possível observar que o grau de confinamento obteve influência direta nos resultados da determinação do grau de vulnerabilidade natural, pois as áreas que possuem aquíferos não confinados/livres apresentaram os maiores índices de vulnerabilidade natural à contaminação. Outro fator que colaborou com o resultado da vulnerabilidade natural estar concentrado numa maior área foi a influência do parâmetro “D”, pois grande parte da área estudada apresentou níveis estáticos menores que 5 metros.

Ao avaliarmos a influência do parâmetro “D” no resultado do grau de vulnerabilidade natural dos aquíferos, Pereira Júnior *et al.* (2015) descreve em seu estudo que o nível estático foi determinante para obtenção de resultados elevados para suscetibilidade a contaminação, pois sua área de estudo localizada no município de Rio Verde/GO é caracterizada pela grande maioria dos poços serem pouco profundos, o que eleva o grau de risco contaminação.

Outro aspecto observado dentro dos resultados do parâmetro “O” é que a área que apresentou vulnerabilidade de grau médio está inserida dentro de um compartimento



litológico oriundo de materiais sedimentares provenientes de arenitos e siltitos, cuja capacidade de contaminação através da infiltração é potencializada devido as características granulométricas destes materiais.

Batista *et al.* (2017), estudaram a vulnerabilidade natural de aquíferos com a aplicação do método GOD na bacia hidrográfica do Córrego Guariroba, localizada no município de Campo Grande/MS, e como resultado da pesquisa, obtiveram índices de vulnerabilidade oscilando nas faixas de média a alta em virtude de grande parte da área de estudo estar localizada em areias aluviais, material este que atenua a capacidade de infiltração de contaminantes, reforçando a influência do parâmetro “O” nos resultados da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos através do método GOD.

Uma característica observada na aplicação do método GOD por diversos autores é que os parâmetros que recebem maiores pesos influenciam diretamente no resultado da vulnerabilidade natural dos aquíferos, devido ao método GOD avaliar poucos parâmetros. Esta característica não inferioriza o método, pois para uma tomada de decisão inicial visando a gestão das águas subterrâneas, o método é conclusivo, pois consegue determinar as áreas mais suscetíveis naturalmente à contaminação.

O mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas serve como uma excelente ferramenta para ações voltadas ao Zoneamento Ecológico Econômico, pois através da análise e delimitação das áreas que apresentam maior fragilidade é possível explorar as potencialidades da região com o intuito de promover o desenvolvimento econômico em consonância com as questões ambientais legais, principalmente quando a economia da área a ser estudada é voltada para atividades agrícolas, que são atividades de cunho antrópico caracterizadas pelo grande potencial de modificações das características originais da cobertura da terra. (LOPES, 2018).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do presente trabalho foi possível concluir que o método GOD constatou um grau de vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas do município de Herval/RS variando de insignificante a médio, demonstrando que este método representa uma alternativa para regiões carentes de estudos relacionados a temática da vulnerabilidade de aquíferos, que é o caso do município de Herval/RS. As áreas que apresentaram maiores índices de vulnerabilidade representaram uma pequena parcela do município, o que beneficia a base da economia local que é caracterizada pelo desenvolvimento de atividades de cunho agrícola. Enfatiza-se que para uma tomada de decisão inicial voltada para a gestão e manejo de águas subterrâneas, estes resultados se fazem de grande valia.

5. REFERÊNCIAS

ANA. **Atlas abastecimento urbano de águas**. Agência Nacional de Águas: 2018. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=3>. Acesso em: 10 set. 2018.



ABAS. **Poços para captação de água**. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas: 2018. Disponível em: http://www.abas.org/educacao_pocos.php. Acesso em: 16 set. 2018.

BATISTA, C. S. P. *et al.* Aplicação do método GOD para avaliação de vulnerabilidade de aquífero livre em bacia hidrográfica. **Águas Subterrâneas**, suplemento, p.1-14, 2017.

BORGES, B. M.; ATHAYDE, G. B.; REGINATO, P. A. R. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná - Brasil. **Águas Subterrâneas**, v.31, n.4, p.327-337, 2017.

BRASIL. **Decreto nº 4.297 de 10 de julho de 2002**. Regulamenta o art. 9, inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Brasília, DF, jul. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm. Acesso em: 10 set. 2018.

CARVALHO, F. I. M. *et al.* Assessment of groundwater quality from the Belém based on physicochemical parameters and levels of trace elements using multivariate analysis. **Revista Virtual de Química**, v.7, n.6, p.2221-2241, 2015.

CASANOVA, A. V.; SALAZAR, R. F. S. Avaliação da vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas do município de Ibirubá-RS. **Ciência e Tecnologia**, v.2, n.1, p.75-88, ago. 2018.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do estado do Rio Grande do Sul**. Programa Geologia do Brasil. Mapa, Escala: 1:750.000, 2006.

CUTRIM, A. O. CAMPOS, J. E. G. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH. **Geociências**, v.29, n.3, p.401- 4011, 2010.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (IMPE), Ministério da Ciência e Tecnologia, 2001.

FOSTER, S. *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.

IBGE. **Censo Demográfico/2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: 2010. Disponível em: <http://www.ibge.com.br/>. Acesso em: 10 set. 2018.

LOPES, E. R. N. **Zoneamento ecológico-econômico**: diretrizes, parâmetros e técnicas para a gestão ambiental bacias hidrográficas. 2018. 178 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2018.

MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M. Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. **Brazilian Journal Of Aquatic Science And Technology**, v.2, n.15, p.29-40, fev. 2011.



MIRANDA, J. I. Fundamentos de sistemas de informações geográficas. Brasília: Embrapa, 2015.

PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do Reservatório Batatã - São Luís (MA)**. Tese (Programa de Pós-graduação em Geociências) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

PEREIRA JÚNIOR, L. C. *et al.* Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero Bauru no município de Rio Verde - GO. **Águas Subterrâneas**, v.29, n.2, p.129-145, 2015.

SABADINI, S. C. *et al.* Potencial de vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais e sua relação com a atividade minerária de ouro. **Caderno de Geografia**, v.27, n.49, 2017.

SARAIVA, C. R. P. *et al.* Avaliação das águas subterrâneas do município de Paraipaba, costa oeste do estado do Ceará. **Revista de Geologia**, v.30, n.2, p.211-226, 2017.

VILLANUEVA, T. Aplicação do método COP para avaliação da vulnerabilidade intrínseca à contaminação do aquífero cárstico salitre, Irecê-BA, Brasil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v.1, n.19, p.55-65, 2015.

Submetido em: **17/12/2018**

Aceito em: **27/08/2020**