

Utilização de geoprocessamento na avaliação da vulnerabilidade dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul.

Siclério Ahlert
Pedro Antônio Roehe Reginato

Universidade de Caxias do Sul – UCS
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 – 95070-560 – Caxias do Sul – RS, Brasil
sahlert@ucs.br; parregin@ucs.br

Abstract. Water demand increases daily. In many regions of the world, surface waters are polluted and the solution is the exploitation of groundwater. However, groundwater is also subject to contamination, depending on the activities that are developed and the management of potential contaminants. This study examines the Guarani and Serra Geral aquifer vulnerability, located in the Taquari-Antas basin, northeastern region of Rio Grande do Sul. The study was developed using the DRASTIC and GOD methods. For the analysis of aquifers vulnerability are used some parameters such as geology, soil types, depth to static water level, aquifer type, topography and others. To perform the analysis, we used intensively the GIS tools, to generate thematic maps from the parameters that are used in the analysis for each method. To produce the final map of vulnerability, both methods require the integration of all the preliminary parameters, generating a final map of aquifer vulnerability. The results obtained in study area, indicate local variations in the degree of vulnerability, however, the aquifer vulnerability in this region is majority classified as low or intermediate. Through the DRASTIC method, the intermediate vulnerability areas are more expressive in relation to the result obtained by the GOD methodology. DRASTIC method indicated that some areas are classified as high vulnerability. The conclusion is that the use of methodologies for analyzing the vulnerability of aquifers is an important tool for planning the human activities. In regions where intensive exploitation of groundwater for public supply occurs, it is essential understanding the vulnerability of the groundwater aquifer system.

Palavras-chave: água subterrânea; contaminação; Rio Taquari-Antas; hidrogeologia, groundwater, contamination, Taquari-Antas river, hydrogeology

1. Introdução

A demanda crescente por água é uma realidade em quase todo o planeta. Segundo Clarke e King (2005), o consumo mundial de água no ano de 2000 foi o dobro em comparação ao ano de 1960. Entre as diversas causas para essa maior demanda, está o aumento da população, e conseqüente crescimento do consumo doméstico desse recurso, mas principalmente a aumento da demanda no setor industrial e agrícola.

Na região nordeste do Rio Grande do Sul, a demanda de água também é crescente. A captação da água a partir de nascentes (olhos d'água), rios ou de represas artificiais vem sendo uma das principais fontes de abastecimento público e para o desenvolvimento das atividades humanas, fortemente vinculadas ao setor industrial. No entanto, a ocorrência de secas eventuais, assim como o comprometimento da qualidade das águas superficiais, tem implicado na eventual falta d'água em alguns municípios da região. Na busca de soluções, empresas públicas de abastecimento, prefeituras e empresas privadas têm recorrido frequentemente a exploração das águas subterrâneas.

As águas subterrâneas, assim como as águas superficiais, têm limitações em termos da vazão volumétrica de cada poço e estão vulneráveis a contaminação, através da infiltração progressiva de contaminantes decorrentes da aplicação de agrotóxicos, por exemplo. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar a vulnerabilidade dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani na região nordeste do Rio Grande do Sul, utilizando os recursos de geoprocessamento e métodos específicos do campo da hidrogeologia para a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos.

A avaliação do grau de vulnerabilidade consiste na definição do maior ou menor risco de um aquífero sofrer contaminação. A vulnerabilidade depende de diversos fatores como o

acesso hidráulico dos contaminantes, capacidade de atenuação do meio, características do aquífero e do meio físico, modo de disposição dos contaminantes no subsolo e características do contaminante (mobilidade e persistência).

A elaboração de mapas de vulnerabilidade de aquíferos é uma ferramenta de gestão de grande importância, pois com esses mapas se pode avaliar as regiões mais frágeis e evitar a contaminação de aquíferos, em função do uso e ocupação do solo inadequado.

Existem diversos tipos de metodologias que envolvem a análise de diferentes tipos de dados, sendo os principais relacionados às características do meio físico da região (rocha, solo, relevo) e dos aquíferos (tipo, profundidade do nível d'água, condutividade). Uma descrição dos diferentes métodos utilizados pode ser encontrada em Feitosa *et. al.* (2008).

Como são utilizados diversos dados, geralmente, representados nas formas de mapas temáticos, as técnicas de geoprocessamento são muito importantes para a avaliação e integração dos dados e para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade.

2. Localização

A área de estudo está localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, e abrange uma área de 2410 km² do setor central da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, envolvendo parcialmente ou integralmente o território de vinte municípios, conforme ilustra o mapa da figura 1.

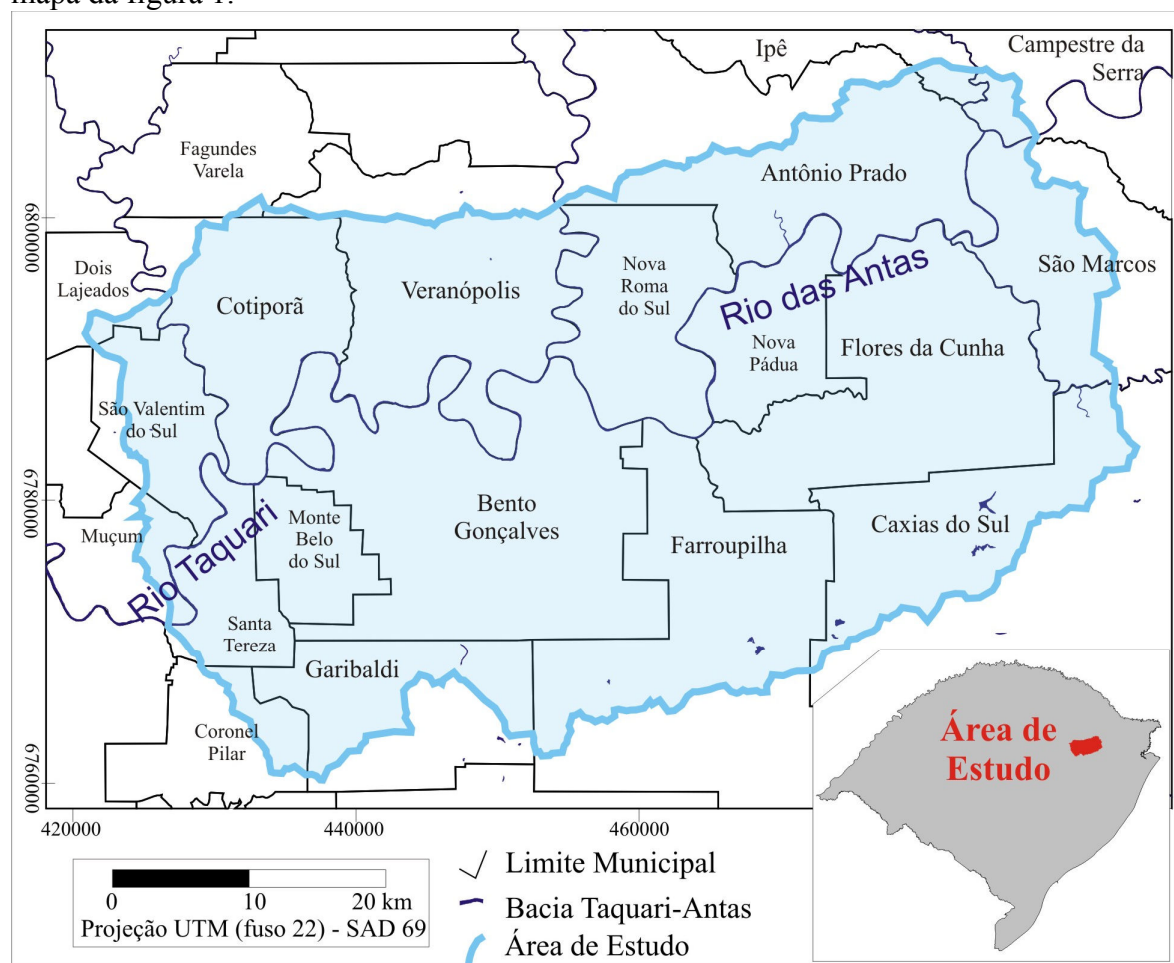


Figura 1: Localização da área de estudo no estado do RS e no contexto regional.

3. Metodologia

A determinação do grau de vulnerabilidade dos dois sistemas aquíferos foi realizada com base na metodologia DRASTIC (Aller *et. al.* 1987) e GOD (Foster e Hirata, 1993).

Os parâmetros analisados na metodologia DRASTIC são: a profundidade do nível estático da água (D), recarga (R), litologia do aquífero (A), tipos de solo (S), topografia do local (T), natureza da zona não saturada (I) e condutividade hidráulica (C). Já para o método GOD são analisados os dados referentes ao tipo de aquífero (G), grau de consolidação e natureza litológica (O) e a profundidade da água subterrânea (D). Cada parâmetro recebeu um peso pré-determinado que foi utilizado para cálculo do grau de vulnerabilidade, conforme definido nas metodologias. As metodologias para análise da vulnerabilidade DRASTIC e GOD não serão detalhadas neste artigo, recomendando-se a consulta direta aos autores acima citados. Outra referência importante usada é a obra de Cabral *et al.*, (2004).

Para cada parâmetro a ser utilizado na análise da vulnerabilidade é necessária a geração preliminar de mapas temáticos, que serão integrados para a geração do mapa de vulnerabilidade. Para esse procedimento, foram empregadas diversas técnicas de geoprocessamento e análise espacial, como a interpolação de dados, a seleção de classes e o cruzamento de informações. Foram utilizados para edição dos dados, visualização e análise, os programas Microsoft Excel 2007, GVSig 1.9 e Idrisi 32. A arte final dos mapas foi realizada usando o programa CorelDraw 13

A tabela 1 apresenta os dados utilizados e os procedimentos realizados para a geração do mapa temático de cada parâmetro necessário para a avaliação de vulnerabilidade pela metodologia DRASTIC.

Tabela 1: Dados e procedimentos realizados para avaliação dos parâmetros da metodologia DRASTIC.

Par.	Dados utilizados	Procedimento
D	Dados do programa SIAGAS (Sistema de Informação de Água Subterrânea da CPRM), das prefeituras, empresas de perfuração e usuários.	Os dados de profundidade até o nível estático da água de 429 poços foram interpolados e classificados conforme a metodologia de Aller <i>et al.</i> , (1987).
R	Dados de precipitação, temperatura de estações meteorológicas da área de estudo.	Cálculo da recarga, através da modelagem de parâmetros meteorológicos em função da altitude.
A	Mapeamento Geológico do Rio Grande do Sul.	Zoneamento da área em função do grupo litológico.
S	Mapeamento semidetalhado de solos na escala 1:50.000. (Flores <i>et. al.</i> , 2007)	Agrupamento e ponderação das classes de solo em função da granulometria característica.
T	Base Cartográfica Digital da Serra Gaúcha 1:50.000 (Hasenack <i>et. al.</i> , 2007)	Interpolação das curvas de nível, derivação e classificação da declividade.
I	Mapeamento semidetalhado de solos na escala 1:50.000. (Flores <i>et. al.</i> , 2007)	Agrupamento e ponderação das classes de solo em função da granulometria característica.
C	Tipo de aquífero e litologia	Toda a área de estudo foi considerada como aquífero fraturado e a condutividade estimada.

Os dados e procedimentos que foram implementados para a avaliação de vulnerabilidade pela metodologia GOD são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Dados e procedimentos realizados para avaliação pela metodologia GOD.

Par.	Dados utilizados	Procedimento
G	Tipo de aquífero e litologia	Toda a área foi considerada homogênea.
O	Mapeamento Geológico do Rio Grande do Sul.	Zoneamento da área em função do grupo litológico.
D	Dados do programa SIAGAS (Sistema de Informação de Água Subterrânea da CPRM), das prefeituras, empresas de perfuração e usuários.	Os dados de profundidade até o nível estático da água de 429 poços foram interpolados e classificados conforme a metodologia de Foster e Hirata (1993).

4. Resultados e Discussões

Os resultados de cada parâmetro, já classificado e multiplicado por um peso específico individual, conforme propõem os autores dos métodos DRASTIC e GOD são apresentados nos mapas da figura 2 e 3.

No método DRASTIC, o parâmetro D é uma estimativa decorrente da interpolação da profundidade até o topo do aquífero e se constitui num fator complexo de estimar em aquíferos fraturados, pois o comportamento do nível estático está geralmente associado a zonas de fraturas e pode não ter relação direta com o entorno (vizinhança). Na figura acima (parâmetro D), percebemos que algumas áreas, o aquífero está próximo da superfície, mas predominam as áreas onde o nível estático está a mais de 15,2 metros de profundidade. E, quanto mais profundo está o nível estático, menor é a sua vulnerabilidade.

A recarga (parâmetro R) foi determinada por estimativa do balanço hídrico derivada de parâmetros meteorológicos de média anual, como temperatura e precipitação. Esse parâmetro guarda forte relação com o contexto da altitude, em decorrência da variação térmica ocasionado pelo fator altitude. A litologia (parâmetro A) tem pouca variabilidade, sendo constituída de rochas vulcânicas da formação Serra Geral, de constituição básica em altitudes menores e ácidas e eventualmente vítreas nas altitudes mais elevadas. Os arenitos da formação Botucatu não afloram na área de estudo.

Os solos da área são bastante diversificados, sendo que as classes foram definidas em função da granulometria típica (relação silte/argila/areia) de cada classe. As classes de solos predominantes na área são associações entre cambissolos, neossolos, chernossolos, argissolos e nitossolos e foram utilizadas para a obtenção dos parâmetros S e I. Em função do potencial de percolação decorrente da granulometria predominante de cada tipo de solo, esse parâmetro apresenta grande variabilidade na região e influencia substancialmente na vulnerabilidade dos aquíferos.

A topografia (declividade) é o parâmetro de maior variabilidade espacial na área, decorrente da geomorfologia de vale muito encaixado. A altitude na área de estudo varia de cotas de 60 até 750 metros, aproximadamente, com várias áreas apresentando declividades acima de 100 %, além da frequente presença de escarpas. O parâmetro C, de condutividade hidráulica, foi considerado homogêneo para a área em decorrência da litologia e do tipo de aquífero serem os mesmos para toda a área.

Já na metodologia GOD, além da menor quantidade de parâmetros, o índice ou peso de cada parâmetro varia de valores de 0 até 1. O parâmetro G está associado ao tipo de aquífero, sendo usado o índice de 0,5 para toda a área (corresponde a um classe de aquífero semi-confinado coberto). Para o parâmetro O foi feita uma diferenciação de índices em função da litologia. Para o parâmetro D, os índices foram definidos em função da profundidade até o nível estático, derivado da interpolação de dados de 429 poços da região.

Após a obtenção do mapa de cada parâmetro, as informações foram cruzadas e integradas conforme a metodologia, obtendo-se assim, o mapa de vulnerabilidade do aquífero.

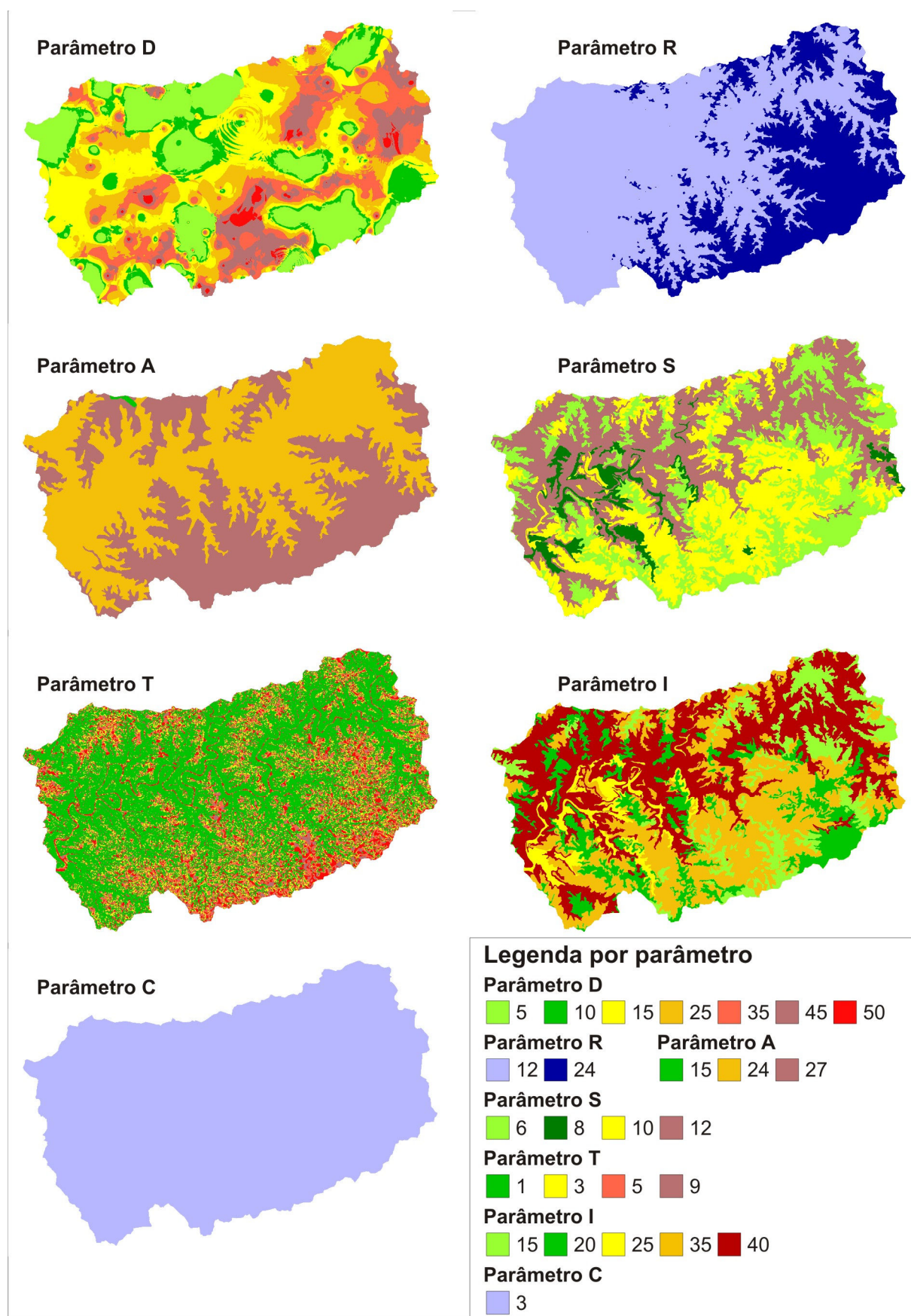


Figura 2: Espacialização dos parâmetros DRASTIC para a área de estudo. O número da legenda representa o resultado final de cada parâmetro, resultante da multiplicação da categoria (índice) atribuída a cada classe com o peso específico de cada parâmetro.

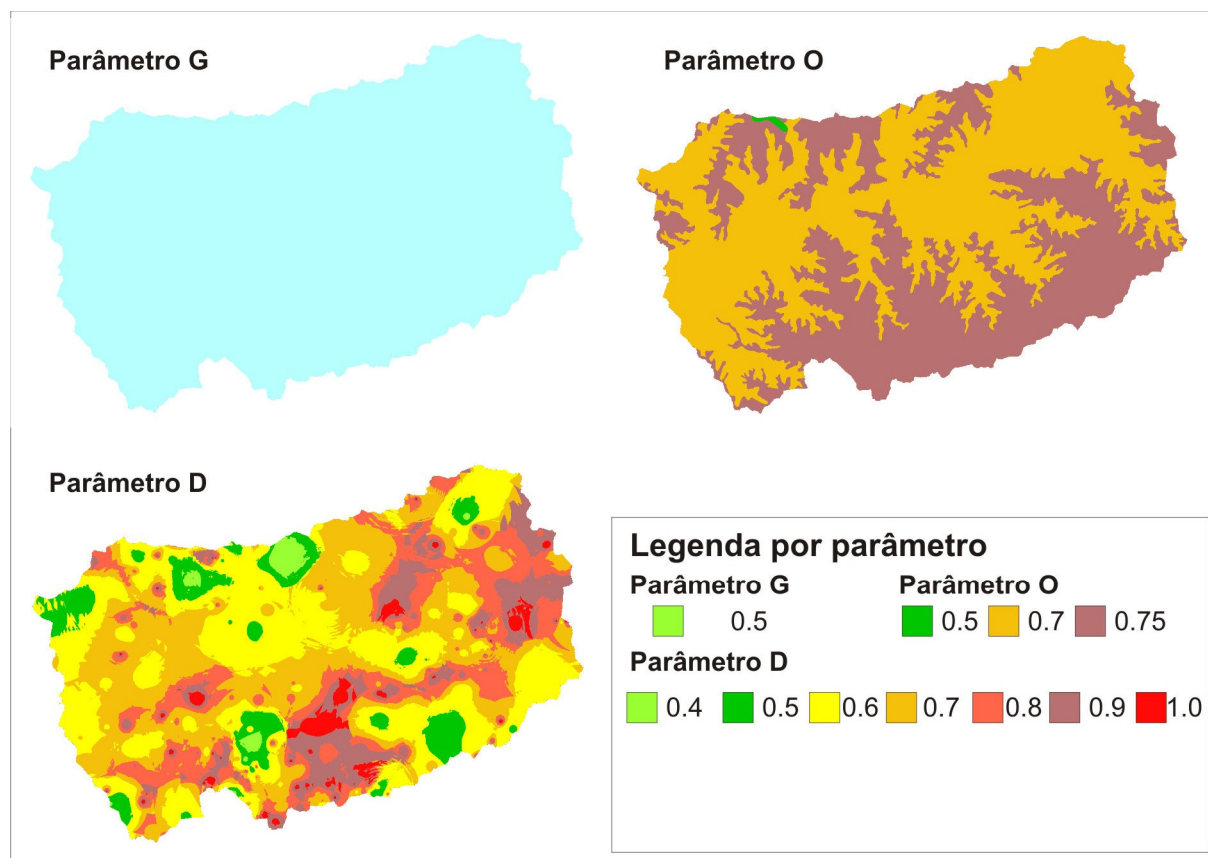


Figura 3: Espacialização dos parâmetros GOD para a área de estudo. O valor da legenda representa o índice atribuído às classes de cada parâmetro. Adaptado de Foster e Hirata (1993).

O método DRASTIC, por utilizar uma quantidade de parâmetros maior que o GOD, apresentou um mapa com maior variabilidade espacial, com alternâncias de classe de vulnerabilidade em áreas pequenas ou próximas (vizinhas). O método GOD, por utilizar parâmetros que na área de estudo são bastante contíguos, apresenta um mapa também mais contíguo com a ocorrência da mesma classe de vulnerabilidade em áreas expressivas.

Os mapas de vulnerabilidade gerados por ambos os métodos indicam que na região predominam as classes de baixa ou moderada (intermediária) vulnerabilidade. De modo geral, as áreas classificadas como risco moderado pelo método GOD, também foram classificadas como risco intermediário pelo método DRASTIC. Contudo, várias das áreas que no método GOD aparecem com vulnerabilidade baixa, são classificadas como vulnerabilidade intermediária no método DRASTIC, conforme pode ser visto na comparação dos mapas da figura 4. Pelo método DRASTIC, temos a ocorrência de áreas com vulnerabilidade alta, classe que não é registrada na avaliação feita pelo método GOD.

Na avaliação de vulnerabilidade pelo método DRASTIC, 45,6% da área foi classificada com classe de vulnerabilidade baixa; 54,1% de vulnerabilidade intermediária e, 0,4% como vulnerabilidade alta. No método GOD, 79,1% da área consta com vulnerabilidade baixa e 20,9% estão enquadrados como sendo de vulnerabilidade moderada.

A localização das áreas de vulnerabilidade moderada do método GOD, corresponde às áreas de maior altitude, próximos as áreas das nascentes dos rios ou de topografia mais plana, afastada do sistema hídrico principal. No método DRASTIC, o maior percentual de áreas de vulnerabilidade intermediária, engloba as áreas de altitude menor e mais próxima aos rios principais. As áreas de alta vulnerabilidade ocorrem em regiões de altitude maior ou em áreas de topografia mais plana.

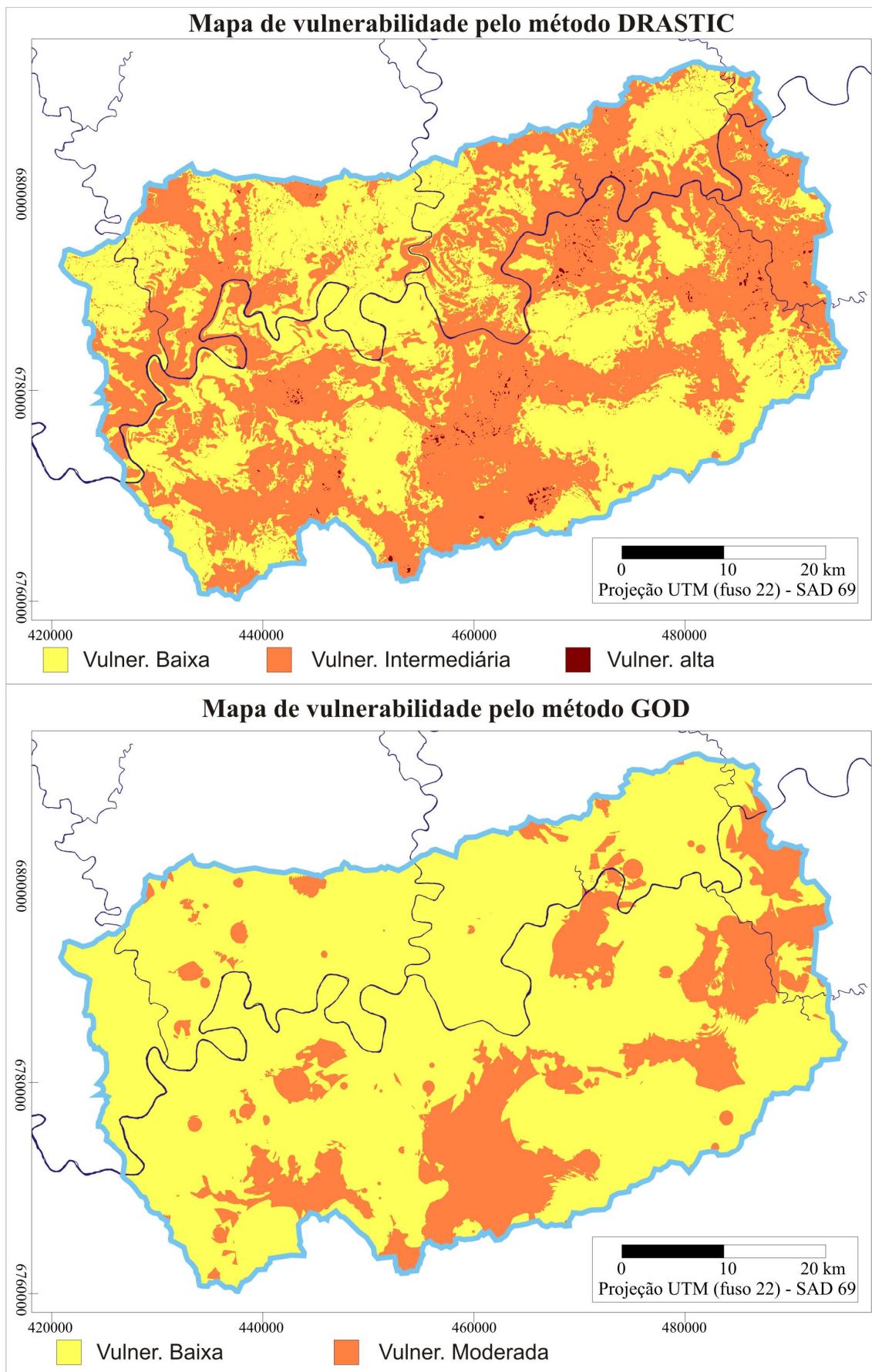


Figura 4: Mapas de vulnerabilidade dos aquíferos na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, analisado pelos métodos DRASTIC e GOD.

5. Conclusões

A análise de vulnerabilidade do aquífero Guarani e Serra Geral na região nordeste do Rio Grande do Sul, realizadas pelos métodos DRASTIC e GOD, indicou que a região apresenta majoritariamente uma vulnerabilidade baixa ou moderada. No método DRASTIC, as áreas de vulnerabilidade intermediária são mais expressivas, apresentando algumas áreas de vulnerabilidade alta. Pelo método GOD, a maior parte da região está enquadrada na classe de vulnerabilidade baixa.

Para o desenvolvimento e compreensão das características de aquíferos, incluindo sua vulnerabilidade e, para áreas extensas como a região estudada, é essencial o uso das ferramentas de geoprocessamento, permitindo analisar e integrar diferentes dados e parâmetros, para a obtenção de resultados de síntese, como os mapas de vulnerabilidade.

Em regiões onde ocorre a exploração de águas subterrâneas para o abastecimento público, é necessário o desenvolvimento de estudos de vulnerabilidade dos aquíferos, para o planejamento correto das atividades humanas, garantindo através da gestão de resíduos perigosos e dos contaminantes potenciais, a preservação da qualidade da água subterrânea. Para atender essa exigência, ambos os métodos aqui usados se mostram eficientes, ainda que apresentem variações entre eles.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pelo financiamento do projeto e a Universidade de Caxias do Sul (UCS), pela disponibilização de laboratórios para o desenvolvimento do presente trabalho.

Referências Bibliográficas

Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J.H.; Petty, R.; Hackett, G. **DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings**. US E.P.A. – EPA/600/2-87/035, 1987. E.U.A.

Cabral, J.S.P.; Lobo Ferreira, J.P.C.; Montenegro, S.M.G.L.; Costa, W.D. **Água Subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento**. *Tópicos Especiais em Recursos Hídricos*. Vol. 4. Editora da Universidade Federal de Pernambuco. 2004. 447p.

Clark, R.; King, J. **O Atlas da Água. O mapeamento completo do recurso mais precioso do Planeta**. São Paulo. Publifolha, 2005. 128 p.

Feitosa, F.A.C.; Manoel Filho, J. (eds). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, LABHID-UFPE. 2000. 812 p.

Flores, C.A.F.; Pötter, R.O.; Fasolo, P.J.; Hasenack, H.; Weber, E. **Levantamento semidetalhado de Solos: Região da Serra Gaúcha – Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, UFRGS, 2007 (Mapa).

Foster, S.; Hirata, R. **Determinação de Riscos de Contaminação das Águas Subterrâneas: uma metodologia embasada em dados existentes**. Instituto Geológico. São Paulo. Boletim nº 10. 1993.

Hasenack, H.; Weber, E. (Org.). **Base Cartográfica Digital da região da Serra Gaúcha**. Escala 1:50.000. Porto Alegre. UFRGS-Centro de Ecologia, Série Geoprocessamento 2. 2007. (CD-rom).

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acessado em 16 de agosto de 2010.