

# APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD PARA AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS PRESENTES NO ESTADO DE SERGIPE

Rafael Oliveira Franca Rocha<sup>1</sup>  
Marcus Aurélio Soares Cruz<sup>2</sup>  
Júlio Roberto de Araújo de Amorim<sup>3</sup>  
Ricardo de Aragão<sup>4</sup>

**RESUMO:** A exploração desregrada dos recursos hídricos e a ocupação desorganizada do solo comprometem a qualidade natural das águas subterrâneas. Este trabalho visa estimar a vulnerabilidade dos aquíferos presentes no Estado de Sergipe por meio da aplicação de geotecnologias, a partir do levantamento e organização de uma base de dados com informações quali-quantitativas de poços localizados na região de estudo, espacialização da informação pontual por meio de técnicas de interpolação e geoestatística e, por fim, a aplicação do método GOD para avaliação da vulnerabilidade de aquíferos associado a geoprocessamento na região de interesse, a fim de produzir cartogramas com diferentes níveis de vulnerabilidade, possibilitando a geração de diretrizes para o planejamento de usos dos solos e contribuir para o processo de gestão dos recursos hídricos. Em geral, as formações superficiais sedimentares, por apresentarem características litológicas de alta permeabilidade, bem como baixo grau de confinamento (não confinado), estão classificadas como áreas de vulnerabilidade intermediária a extrema. Foi realizada uma comparação do mapa de vulnerabilidade com os diferentes usos da terra e foi constatado que mais de 60% das áreas destinadas a atividade agropecuária foram classificadas com moderada a extrema vulnerabilidade.

**Palavras-chave:** SIG, vulnerabilidade, águas subterrâneas

- 1 Graduando, Bolsista PIBIC CNPq, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Avenida Beira Mar 3250, Jardins, Aracaju-SE, CEP 49025-040, raffolliv@gmail.com; (apresentador do trabalho);
- 2 Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Avenida Beira Mar 3250, Jardins, Aracaju-SE, CEP 49025-040, marcus.cruz@embrapa.com.br;
- 3 Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Avenida Beira Mar 3250, Jardins, Aracaju-SE, CEP 49025-040, julio.amorim@embrapa.com
- 4 Universidade Federal de Campina Grande, Campus I - Bairro Universitário Campina Grande, PB CEP-58429-900, ricardoaragao2005@gmail.com



## INTRODUÇÃO

A demanda hídrica global é fortemente influenciada pelo crescimento da população, pela urbanização, pelas políticas de segurança alimentar e energética, e pelos processos macroeconômicos, tais como a globalização do comércio, as mudanças na dieta e o aumento do consumo. Sabe-se que a água é encontrada na natureza em quantidades aleatórias no tempo e no espaço, sendo também extremamente vulnerável à deterioração qualitativa.

Dentre as reservas de disponibilidade hídrica para consumo humano, destacam-se as águas subterrâneas, além da abundância, essa reserva possui vantagens em relação a águas superficiais, tais como: apresenta uma relativa estabilidade físico-química e biológica, não sofre influência climática e sua exploração não necessita de grandes investimentos. Entretanto, a ocupação desordenada, atividades antrópicas, despejos inadequados e os elementos característicos do meio ambiente, especialmente do solo, fazem com que as águas subterrâneas sejam cada vez mais propensas à poluição. Em virtude dessa exploração crescente nas últimas décadas, é de suma importância o estudo da vulnerabilidade das águas subterrâneas, ou seja, a suscetibilidade dos aquíferos de serem afetados por cargas contaminantes de origem antrópica (Feitosa et al., 2008). Tendo em vista que um dos grandes problemas que esse recurso enfrenta é o desconhecimento de sua importância, o que leva à falta de atenção por parte da sociedade, urbanização desordenada, uso intensivo de pesticidas nas lavouras, reflorestamento, salinização e outros; e dos gestores, sendo esse um agravante, pois esse desconhecimento faz com que esse recurso não seja discutido nas grandes tomadas de decisão no planejamento urbano ou mesmo rural.

Para aplicabilidade dos métodos o uso de geotecnologias é de suma importância como ferramentas de apoio para integração, geração e interpretação dos dados, sendo possível efetuar o planejamento e estudar os fatores das áreas mais susceptíveis à contaminação, a partir da através da espacialização dos poços em cartogramas, gerando subsídios para o planejamento do uso e ocupação do solo.

Este trabalho tem como objetivo analisar a vulnerabilidade dos diversos tipos de aquíferos do Estado de Sergipe por meio da aplicação de geotecnologias, buscando contribuir para o processo de gestão territorial do estado.



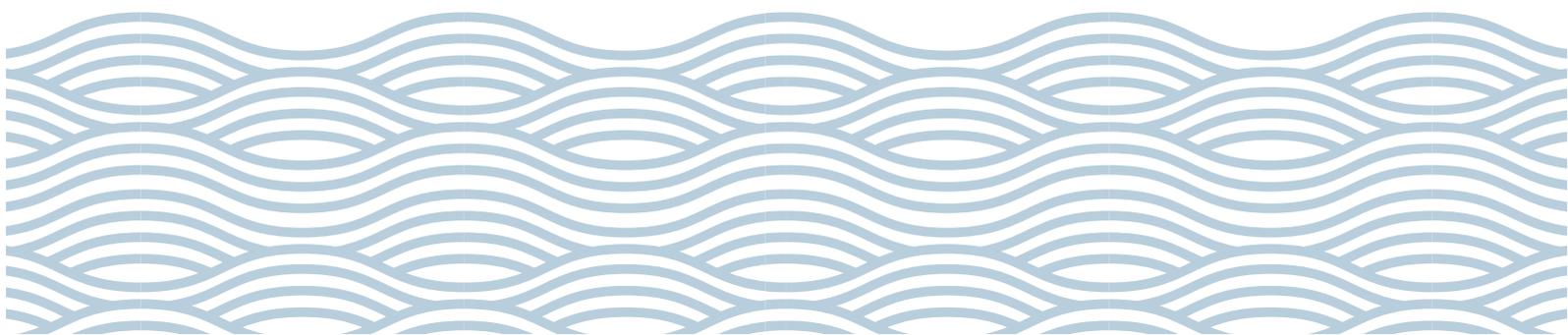
## MATERIAIS E MÉTODO

A região de estudo foi o estado de Sergipe, situado na região Nordeste do Brasil, entre as coordenadas geográficas  $9^{\circ}31'S$ ,  $38^{\circ}14'W$  e  $11^{\circ}33'S$ ,  $36^{\circ}25'W$ , composto por 75 municípios, que abrangem uma área de aproximadamente 22 mil  $km^2$ . Abriga uma população total de 2,3 milhões de habitantes, com grande concentração na região metropolitana de Aracaju (cerca de 1,0 milhão de habitantes). As principais atividades econômicas desenvolvidas são agricultura, com destaque para cana de açúcar, milho, mandioca, frutíferas (coco e laranja), criação de gado e exploração mineral, principalmente petróleo, gás natural e potássio.

Para este trabalho, foram utilizados os dados de poços disponíveis em órgãos públicos das três esferas, como a COHIDRO, SRH e o SIAGAS, vinculado a CPRM, bem como trabalhos anteriores da EMBRAPA. Os arquivos foram baixados em formato "csv". A partir daí foi feita uma seleção, através de um script desenvolvido em linguagem R, de poços que apresentavam data de perfuração posterior a 01/01/2000 e que estivessem ainda em operação. Em seguida, os poços selecionados foram espacializados através do georreferenciamento das informações de coordenadas e armazenados em um banco de dados geoespacial.

Para avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos foi aplicado o Método GOD, Groundwater hydraulic confinement (grau de confinamento hidráulico – Confinado, Semi-Confinado e Livre), Overlaying Strata (ocorrência das características do substrato litológico - grau de consolidação da zona não saturada), e Depth to groundwater table (distância do nível da água ou teto do aquífero - profundidade do nível d'água subterrânea), criado por Foster e Hirata (1988).

A metodologia proposta para estimar a vulnerabilidade do aquífero quanto à contaminação corresponde a identificação do tipo de confinamento do aquífero, e atribuição de valores desses parâmetro na escala de 0,0–1,0; definição dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero relacionado ao grau de consolidação e tipo de litologia correspondendo a uma segunda pontuação, numa escala de 0,4–1,0; e posteriormente a estimativa da profundidade até o lençol freático ou da profundidade do primeiro nível principal de água subterrânea, com posterior classificação na escala de 0,6–1,0.



Para o cálculo do Índice GOD, foram utilizadas as coordenadas geográficas em SIRGAS 2000 para cada poço, além das características fundamentais para execução desse método como grau de confinamento do aquífero, características litológicas e a profundidade do nível estático. Posterior a geração do banco de dados, essas informações foram inseridas no software de geoprocessamento livre QGIS onde foram realizadas atividades de localização e inserção dos poços da área de trabalho, e posterior interpolação espacial onde foram testadas técnicas como IDW e krigagem.

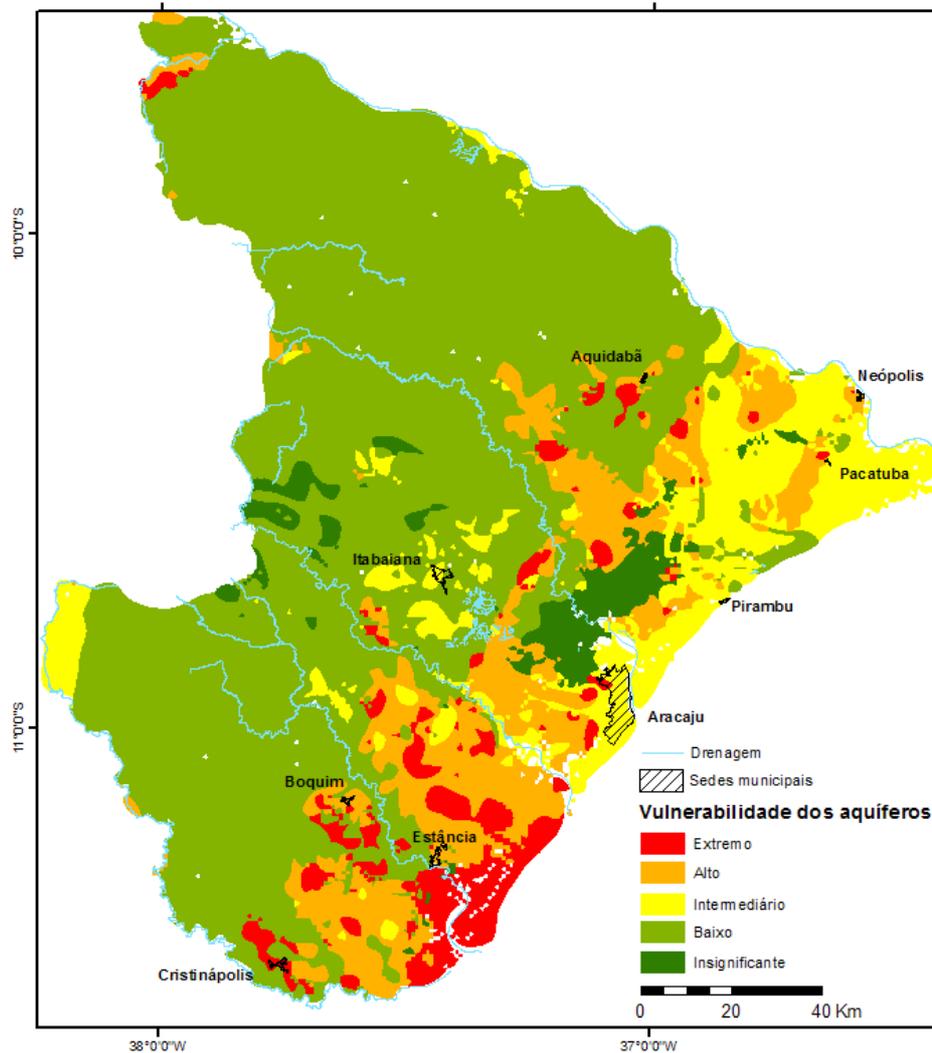
A multiplicação dos mapas resultantes do método GOD foi realizada a partir da ferramenta Álgebra de mapa cuja finalidade é a construção de expressões usando álgebra de mapas no formato rasters, sendo possível atribuir os pesos do método. Assim, ao final, foram elaborados mapas e gráficos das variáveis quali-quantitativas levantadas, por meio de planilhas eletrônicas e do QGIS, bem como a classificação das diferentes regiões do estado quanto à vulnerabilidade dos aquíferos na forma de mapas síntese indexados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa (Figura 1), obtido por meio de modelagem em ambiente SIG, permitiu a visualização do território estadual segundo a classificação de índice de vulnerabilidade. Pode-se perceber que as áreas mais suscetíveis à contaminação estão localizadas na região leste do Estado. Isso porque na álgebra de mapas, os critérios relacionados ao grau de confinamento e ocorrência litológica tiveram maior influência no cálculo dos índices.



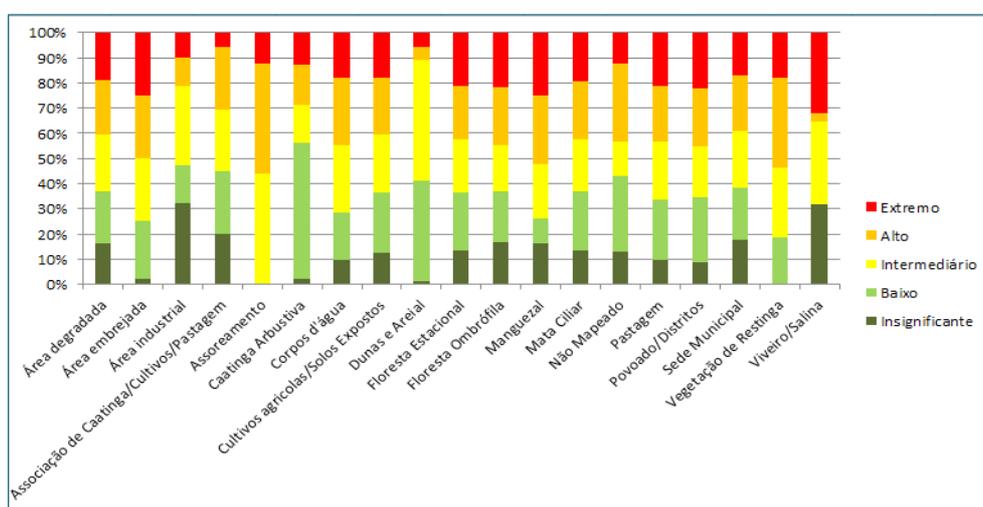
Figura 1. Mapa de vulnerabilidade



Grande parte das Formações superficiais sedimentares, com exceção da Bacia Sergipe, foram classificados com vulnerabilidade intermediária e alta. A maior concentração de áreas com vulnerabilidade extrema está localizada em torno da jusante do Rio Piauí, nos municípios de Estância, Indiaroba e Santa Luzia do Itanhy. Outros municípios como Boquim, Cristinápolis, Aquidabã e Pacatuba também apresentaram grandes concentrações de áreas com vulnerabilidades altas e extremas. As regiões com embasamento cristalino, os domos de Itabaiana e Simão Dias e a faixa de dobramentos sergipana, por apresentarem características litológicas de baixa permeabilidade e aquíferos do tipo semi-confinado e confinado, foram consideradas

áreas com vulnerabilidade baixa e insignificante. Ao relacionar o mapa de vulnerabilidade com o mapa de uso e ocupação da terra (SEMARH/ANA, 2012) foi possível sintetizar o percentual da área de cada atividade inserida nas diferentes classes de índices de suscetibilidade à contaminação. Ao observar a Tabela 1, percebe-se que, grande parte das regiões com cobertura vegetal apresentam, em geral, vulnerabilidade baixa a insignificante, ao contrário das localidades com a ocorrência de solo exposto, onde mais de 60% das áreas foram classificadas com vulnerabilidade intermediária a extrema, somado com a existência de atividades agropecuárias e de exploração mineral, aumentam-se as chances de contaminação por conta do elevado potencial dessas atividades de gerar cargas poluidoras.

**Figura 2. Usos da terra X vulnerabilidade**



## CONCLUSÕES

- 1- O método GOD apresenta potencial na análise da vulnerabilidade à contaminação de aquíferos;
- 2- Formações sedimentares com aquíferos não confinados são os que apresentam maior suscetibilidade à contaminação;
- 3- Estabelecer planos de gestão dos recursos hídricos de modo a assegurar a qualidade das águas subterrâneas, como um programa de monitoramento

que fiscalize os aquíferos conhecidos e, caso seja constatada a contaminação, identifique a fonte poluidora;

4- Recomendação de ações, nas áreas classificadas com vulnerabilidade intermediária, alta e extrema, que evitem a infiltração de contaminantes relacionados ao uso da terra.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa PIBIC que está dando suporte ao desenvolvimento do estudo e a Embrapa Tabuleiros Costeiros pelo apoio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.A. 2008.

(orgs.). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3ª ed. ver. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, p. 179-207

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

IBGE. Censo Demográfico 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010.

PEREIRA, V.H.C.; CESTARO, L.A. A unidade geoambiental Tabuleiro Costeiro e o planejamento municipal: o caso de Senador Gorgino Avelino/RN. Revista Geonorte, Edição Especial, V.3, N.4, p. 390-401, 2012.

RESENDE, R.S; AMORIM, J.R.A; CRUZ, M.A.S. Atlas de qualidade da água subterrânea no Estado de Sergipe com fins de irrigação. – Aracaju/SE. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009.

SEMARH. Atlas Digital de Recursos Hídricos. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos

Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos. Governo de Sergipe. 2012. 1 DVD.

