



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 7, nº 2 (2021)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n2ID23210>



VULNERABILIDADE INTRÍNSECA À CONTAMINAÇÃO NATURAL DO AQUIFERO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR – ESTADO DA BAHIA, BRASIL

Nathali Lorena de Santana Rego¹; Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo²; Maria da Conceição Rabelo Gomes³

¹Graduanda em Geografia, Instituto de Geociências, UFBA, Salvador/BA, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7567-7484>

Email: nathali.santana@gmail.com

²Doutor em Geologia, Instituto de Geociências, UFBA, Salvador/BA, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2083-6211>

Email: danilo.melo@ufba.br

³Doutora em Geologia, Instituto de Geociências, UFBA, Salvador/BA, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7841-4201>

Email: conceicaoabelo@yahoo.com.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é elaborar um mapa temático da vulnerabilidade intrínseca do aquífero na Região Metropolitana de Salvador (RMS), o qual constitui o primeiro passo para a avaliação do perigo a contaminação e proteção da qualidade da água subterrânea. Para tanto, foi utilizada a metodologia GOD (FOSTER; HIRATA, 1998). Na RMS foi encontrado quatro padrões de vulnerabilidade: desprezível, baixa; moderada e alta. O método GOD mostrou claramente a vulnerabilidade natural à contaminação, porém, o mesmo envolve simplificações nas informações hidrogeológicas, o que requer atenção no momento da reclassificação, tratamento dos dados e interpretação dos resultados.

Palavras-chave: Subterrâneo; Impacto; Susceptibilidade.

INTRINSIC VULNERABILITY TO NATURAL CONTAMINATION OF THE AQUIFER IN THE METROPOLITAN REGION OF SALVADOR – STATE OF BAHIA, BRAZIL

Abstract

The objective of this work is to elaborate a thematic map of the intrinsic vulnerability of the aquifer in the Metropolitan Region of Salvador (RMS), which constitutes the first step for the assessment of the danger to contamination and protection of the groundwater quality. For this, the GOD (FOSTER; HIRATA, 1998) methodology was used. In the RMS, four vulnerability patterns were found: negligible, low; moderate and high. The GOD method clearly showed the natural vulnerability to contamination, however, it involves simplifications in hydrogeological information, which requires attention when reclassifying, processing the data and interpreting the results.

Keywords: Underground; Impact; Susceptibility.

VULNERABILIDAD INTRÍNSECA A LA CONTAMINACIÓN NATURAL DEL ACUÍFERO EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SALVADOR – ESTADO DE BAHÍA, BRASIL

Resumen

El objetivo de este trabajo es elaborar un mapa temático de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero en la Región Metropolitana de Salvador (RMS), que constituye el primer paso para la evaluación del peligro de contaminación y la protección de la calidad del agua subterrânea. Para esto, se utilizó la metodología GOD (FOSTER; HIRATA, 1998). En el RMS, se encontraron cuatro patrones de vulnerabilidad: insignificante, bajo; moderado y alto. El método GOD mostró claramente la vulnerabilidad natural a la contaminación, sin embargo, implica simplificaciones en la información hidrogeológica, lo que requiere atención al reclasificar, procesar datos e interpretar resultados.

Palabras-clave: Bajo tierra; Impacto; Susceptibilidad.

1. INTRODUÇÃO

Os aquíferos estão sofrendo grande ameaça de poluição devido ao desenvolvimento industrial, urbanização e atividades agropecuárias. O crescimento da população urbana é um agravamento para a contaminação dos aquíferos, principalmente através de fossas sépticas, postos de gasolina e destinação final de resíduos (TUCCI, 2003). Não obstante, na indústria, ocorreria o lançamento dos mesmos no solo de uma forma geral e na agricultura, a expansão das fronteiras agrícolas, fomentaria a utilização de produtos químicos ocasionando a contaminação dos recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos.

Neste sentido, existiu a necessidade da implantação de bases teóricas, conceituais e metodológicas que esclarecessem a dinâmica do ambiente, que passaria a ser visto como um sistema, com o intuito de compreender as diversas entidades que o compõem, analisando a sua organização, estrutura espacial, funcionalidade, interação e hierarquização.

A partir desta necessidade, surgiu uma linha de pesquisa relacionada a implantação de atividades socioeconômicas que avalia a probabilidade de ocorrência de um impacto (positivo ou negativo, social ou natural), com alterações e inter-relações espaciais e temporais, denominada de vulnerabilidade (CHRISTOFOLETTI, 2002, DAUPHINE; PROVITOLLO, 2013; EGLER, 1996; ZWAHLEN, 2003).

Em hidrogeologia, esta linha de pesquisa pauta principalmente sobre a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos, com destaque para as investigações pioneiras de Albinet (1963, 1970), LeGrand (1964), Margat e Albinet (1965), Margat; Monition; Ricour (1967; 1968) e Margat (1968). Estes trabalhos estabelecem os conceitos básicos da avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, considerando-o como uma ferramenta preventiva, que permite determinar, a priori, a capacidade de proteção natural dos aquíferos e distinguir quais áreas necessitam de medidas mitigatórias e/ou reducionistas ao perigo de contaminação diante da intervenção antrópica. Para tanto, estes autores focam os perigos e ameaças de contaminação, contextualizando o meio ambiente.

Um mapa de vulnerabilidade a contaminação de aquíferos é o primeiro passo para a avaliação do perigo em que a água subterrânea estaria submetida e à proteção de sua qualidade, além disso, criaria mecanismos para a gestão e controle dos recursos hídricos (FOSTER *et al.*, 2002), porém, o grau confiabilidade depende da escala de elaboração do trabalho.

Na Região Metropolitana de Salvador (RMS), há ocorrência de aquíferos fraturados e porosos provenientes de rochas cristalinas e sedimentares derivadas das unidades estratigráficas do Complexo Salvador-Esplanada, Complexo Rio Real, Grupo Barreiras, Grupo São Sebastião, Grupo Ilhas, Grupo Brotas, Grupo Almada e Depósitos litorâneos. Estes aquíferos são condicionados por diferentes estruturas tectônicas (fraturas e falhas), dimensões porosas distintas, comportamento hidroquímico e hidrodinâmico específicos (NASCIMENTO; BARBOSA, 2020).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é elaborar o mapa temático de vulnerabilidade intrínseca do aquífero na Região Metropolitana de Salvador (RMS) através do método GOD. O método GOD possui simplicidade conceitual e também demanda parâmetros que são, até certo ponto, acessíveis. Com isto,

pretende-se que o mesmo permita conhecer a susceptibilidade a contaminação do aquífero na medida em que demonstra os diferentes graus de vulnerabilidade, levando, portanto, a uma sugestão de padrões.

1.1. Caracterização da área de estudo

A Região Metropolitana de Salvador (RMS) é composta por treze municípios: Camaçari, Candeias, Dias D'Ávila, Itaparica, Lauro de Freitas, Madre de Deus, Mata de São João, Pojuca, São Francisco do Conde, São Sebastião do Passé, Salvador (capital do Estado da Bahia), Simões Filho e Vera Cruz (Figura 1). Segundo dados estimados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2018, a RMS possuía uma população total de 3.899.533 habitantes distribuídos numa área de 4.339.109 km².

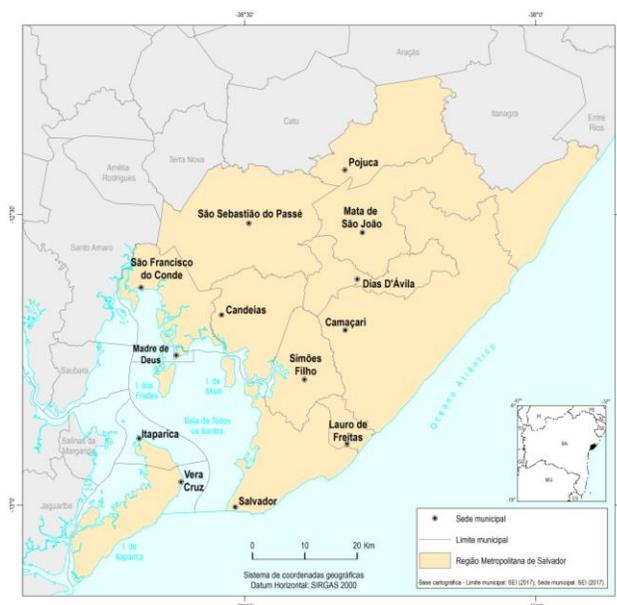


Figura 1 - Localização da Região Metropolitana de Salvador. A maioria dos municípios desta região ocupam áreas litorâneas com exceção de Pojuca, São Sebastião do Passé e a porção oeste de Mata de São João. Fonte: Autores (2019).

A Região Metropolitana de Salvador encontra-se sobre a província estrutural Cráton do São Francisco. A porção oriental da RMS é formada pela unidade de paisagem Salvador Esplanada - Rio Real (serr), composta por rochas cristalinas. Nesta unidade, encontram-se formas de relevo mamelonares, decorrentes de dissecação heterogênea. Tratando-se da pedologia, os solos da unidade Salvador Esplanada - Rio Real tendem a ter uma textura média argilosa ao sul e, ao norte, possui algum nível de areia. Esta característica está relacionada com a distribuição pluviométrica no espaço geográfico. A área sul da unidade chove em média 1.900 a 2.000 mm/ano, já a que se localiza ao norte, chove 1.500 a 1.700 mm/ano, de acordo com a Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais (SEI, 2003).

A unidade de paisagem Ilhas - São Sebastião (iss) constituem rochas sedimentares de origem lacustre e marinha, através do surgimento da bacia *rifte* na Bahia de Todos os Santos e está

localizada na costa oeste e na porção central da RMS. As rochas desta unidade de paisagem foram depositadas em idades geológicas semelhantes, mas, na porção sul, foram submetidas a uma maior meteorização se comparadas a porção norte. Isto decorreu da oscilação e do alcance do nível do mar ao longo do tempo. Esta dinâmica promoveu para o relevo, pediplanos retocados inumados ao norte, provenientes de aplanamento e, tabuleiros costeiros na porção centro leste decorrentes de dissecação homogênea. No entanto, as formas predominantes na unidade em questão são morros convexos. A textura dos solos que compõe a unidade de paisagem Ilhas - São Sebastião é em grande parte argilosa, relacionada mais ao material de origem do que ao índice pluviométrico que abrange esta área, 1.300 a 1.700 mm/ano (SEI, 2003).

A unidade de paisagem Brotas - Almada (ba) consiste em depósitos litorâneos e lagunares, mais precisamente nas bordas. Ela é formada por rochas sedimentares e areias quartzosas com algum nível de argila. É possível encontrar relevos com convexidades, principalmente na porção central da unidade, fruto de dissecação heterogênea. Já nas bordas, encontram-se planícies, subseqüente a processos de acumulação. Os solos oriundos da unidade Brotas - Almada possuem textura argilosa, enquanto que os solos dos depósitos tendem a serem mais arenosos. Embora chova 1.900 a 2.000 mm/ano (SEI, 2003) na área em questão, os solos com textura arenosa possuem uma incipiente relação com o clima e uma estreita ligação ao material de origem e a posição na paisagem.

A unidade de paisagem Barreiras (b) é composta por sedimentos de origem fluvial e marinha, pouco consolidados ou não consolidados. As formas correspondentes a esta unidade são os tabuleiros costeiros, frutos da dissecação homogênea ou diferencial e os pediplanos retocados inumados. A textura dos solos varia entre argilosa e arenosa. Nas áreas onde há presença da unidade Barreiras e índice pluviométrico em torno de 1.900 a 2.000 mm/ano (SEI, 2003), os solos tendem a serem mais argilosos, enquanto que nas áreas onde esse índice diminui para 1.200 a 1.500 mm/ano (SEI, 2003), os solos possuem uma textura média argilosa.

Ainda, na porção mais oriental da costa da RMS, verifica-se a unidade de paisagem Depósitos litorâneos (dl) constituída de areias quartzosas com alguns níveis de argila. As dunas, planícies e terraços compõem a geomorfologia destes depósitos e os solos são predominante arenosos, possuindo maior relação com o material de origem. O índice pluviométrico varia em torno de 1.900 a 2.000 mm/ano ao sul e 1.500 a 1.700 mm/ano ao norte (SEI, 2003). Estas descrições estão especializadas na Figura 2.

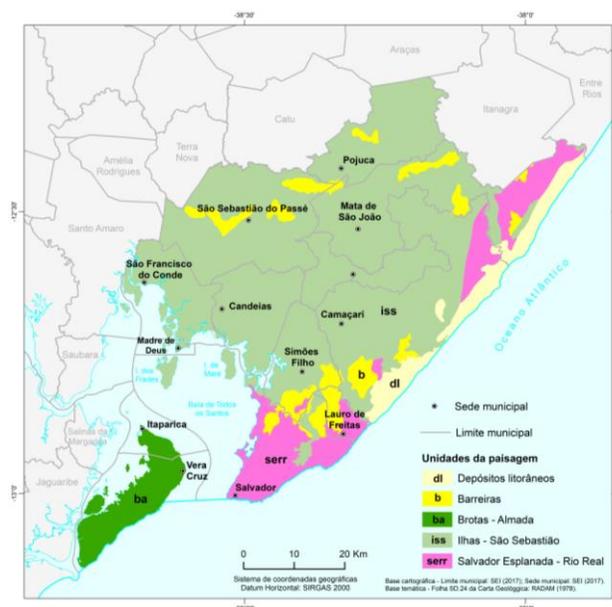


Figura 2 - Unidades de Paisagem da RMS. Toda a RMS se encontra sobre o embasamento cristalino e sobre este existem rochas sedimentares e alguns depósitos litorâneos. Fonte: Autores (2019).

2. METODOLOGIA

O método de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos baseia-se no risco de contaminação, que pode ser definido como a probabilidade dos aquíferos de serem contaminados por ações antrópicas, em concentrações acima dos valores permitidos para a qualidade da água e dos padrões de potabilidade (ZAPOROZEC, 2002). Desta forma, o risco de sua contaminação corresponde a interação da:

- a) Carga de contaminantes advindas de atividades antrópicas e;
- b) Vulnerabilidade à contaminação do aquífero, resultado das características naturais intrínsecas do meio natural.

O método paramétrico GOD foi desenvolvido por Foster (1987) e aprimorado para atender as condições dos países Latino Americanos por Foster e Hirata (1988). Consiste na hierarquização de índices relativos à extrema ou baixa vulnerabilidade intrínseca do aquífero, com base nos mecanismos de recarga da água subterrânea e na capacidade natural de atenuação de contaminantes, variando conforme as condições geológicas. Como os autores enfatizam os mecanismos de recarga, deve-se ter uma atenção para a contabilização de fraturas e outras heterogeneidades de rocha, pois podem favorecer o fluxo preferencial, sendo um fator crucial para o aumento da vulnerabilidade segundo Bartolomeu (2012).

Este método baseia-se na análise das três variáveis que o compõem, sendo atribuídos valores de 0,0 a 1,0 para cada parâmetro analisado. Quanto mais próximo de 0, menos vulnerável se encontra, e quanto mais próximo de 1 maior a sua chance de contaminação. As variáveis são:

a) O confinamento hidráulico (*Groundwater occurrence*): identificação do tipo de confinamento do aquífero, refletindo o seu nível de contato com a superfície terrestre, sendo classificados como livre, livre (coberto), confinado, semi – confinado ou jorrante, com indexação num intervalo de 0,0 a 1,0. Foram extraídas informações sobre confinamento hidráulico dos dados geoespaciais de poços, fornecidos pelo SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). A partir daí, interpolaram-se os mesmos utilizando o algoritmo IDW (*Inverse Distance Weighting*) a fim de buscar uma realidade aproximada em relação a representatividade do confinamento. A justificativa para a utilização do IDW é que o mesmo “implementa explicitamente o pressuposto de que as coisas mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes” (JAKOB e YOUNG, 2006);

b) Características do estrato de cobertura (*Overall aquifer class*): indexação dos estratos de cobertura, situado acima da zona de saturação do aquífero, incide sobre o grau de consolidação e do tipo de litologia, com valores entre 0,4 a 1,0. Este estrato condiciona o tempo de deslocamento dos contaminantes e os vários processos de sua atenuação. Para tanto, foram utilizados dados de geologia fornecidos pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) para fazer uma reclassificação

dos estratos de cobertura a partir do algoritmo *reclassify*;

c) Profundidade do aquífero (*Depth to groundwater*): estimativa da profundidade do lençol freático, com valores entre 0,4 a 1,0. Este parâmetro corresponde à distância que o contaminante terá de percorrer para atingir a zona saturada do aquífero. Importante destacar que para as rochas carbonáticas seu valor é constante e igual a 1,0. Os dados de profundidade também foram adquiridos junto ao SIAGAS e para a representatividade dela foi utilizado o algoritmo IDW.

A Figura 3 representa o diagrama para quantificar cada uma das variáveis, com algumas modificações em relação à versão original, como reflexo dos resultados obtidos com experiências de aplicações deste método (FOSTER *et al.*, 2002.).

O índice final integral da vulnerabilidade à contaminação do aquífero é o produto da multiplicação dos três índices, dada pela equação: $G * O * D$.

Para executar o cálculo do índice de vulnerabilidade pelo sistema GOD num Sistema de Informação Geográfica (SIG), primeiramente necessita coletar os dados, inserir e transformá-los. Para tanto, adota-se como Datum horizontal o SIRGAS 2000.

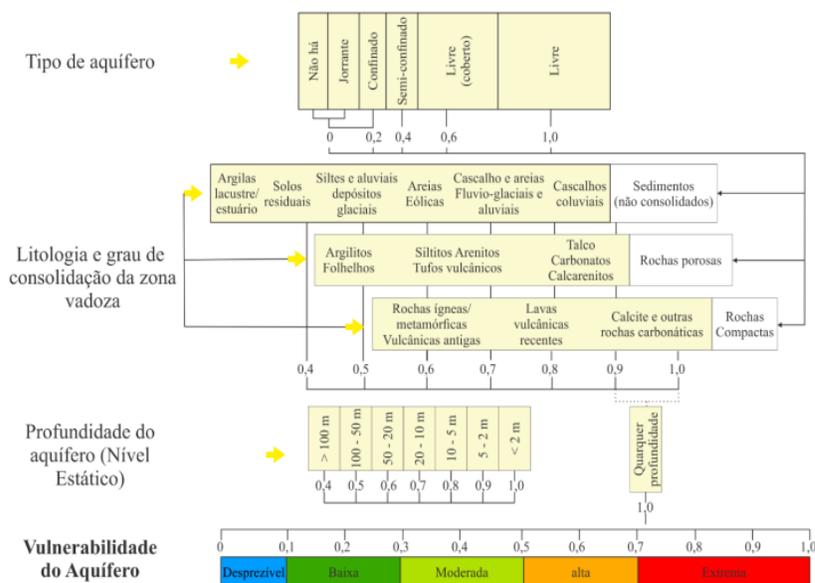


Figura 3 - Diagrama do método GOD. Com os três dados adquiridos, se faz uma reclassificação sobre eles através dos parâmetros estabelecidos no diagrama. Fonte: Adaptada de Foster *et al.*, (2002).

Em ambiente SIG, após reclassificá-los, são transformados em arquivos *raster*, sendo assim, formados por *pixels*. Cada *pixel* ou o conjunto deles correspondem à reclassificação proveniente do diagrama (figura 2.1). Portanto, no *raster* de confinamento, um

pixel tem índice 0,2, já no *raster* de litologia existe um *pixel* com índice 0,5 e por último, no *raster* de profundidade do aquífero há um *pixel* com índice 0,4. A multiplicação destes *pixels*, na ferramenta *raster calculator*, chama-se álgebra de mapas (Figura

4) e teria como resultado final o índice 0,0, o qual corresponde a uma vulnerabilidade desprezível (figura 2.1) à contaminação do aquífero.

Confinamento		Litologia		Profundidade		Vulnerabilidade	
0,2	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,0	0,1
0,6	1,0	0,7	0,7	0,6	0,9	0,3	0,6
0,0	0,2	0,4	0,5	0,0	0,4	0,0	0,0

Figura 4 - Álgebra de mapas. A multiplicação dos índices gera um novo raster, neste caso, a vulnerabilidade à contaminação do aquífero. Fonte: Autores (2019).

Foster *et al.* (2002), denomina o produto final deste método de mapa integrado da vulnerabilidade, uma vez que cada categoria de vulnerabilidade analisada está definida com clareza e consistência, possibilitando estabelecer algumas definições práticas para auxiliar na gestão e planejamento territorial, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Definição prática das classes de vulnerabilidade. Fonte: Foster *et al.* (2002).

Classes	Índice	Definição Prática
Extrema	0,7 – 1,0	Vulnerável a muitos poluentes, impactando rapidamente em diversos cenários de contaminação
Alta	0,5 – 0,7	Vulnerável a muitos poluentes, com exceção dos com pouca mobilidade ou persistência
Moderada	0,3 – 0,5	Vulnerável a alguns poluentes e somente quando continuamente lançados à fonte
Baixa	0,1 – 0,3	Vulnerável somente à contaminantes de longo prazo de conservação e quando lançados continuamente
Desprezível	0,0 – 0,1	Camadas confinadas em fluxo vertical descendente não significante

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com a pressão das águas nas camadas limítrofes e também em função da capacidade de transmissão de água destes (FEITOSA; FILHO; CARNEIRO; DEMETRIO, 2008).

Na RMS, conforme mostrado na Figura 5, é possível encontrar aquífero livre na porção extrema ao leste. Já no litoral, verifica-se aquífero livre (coberto) e semiconfinado. Na zona mais continental, encontra-se aquífero confinado, no entanto, nota-se também a ocorrência de aquífero livre (coberto). Feitosa,

Filho, Carneiro e Demetrio (2008) entendem que as áreas de recarga dos aquíferos confinados correspondem a aquíferos livres, onde o excesso de água da chuva consegue penetrar por infiltração.

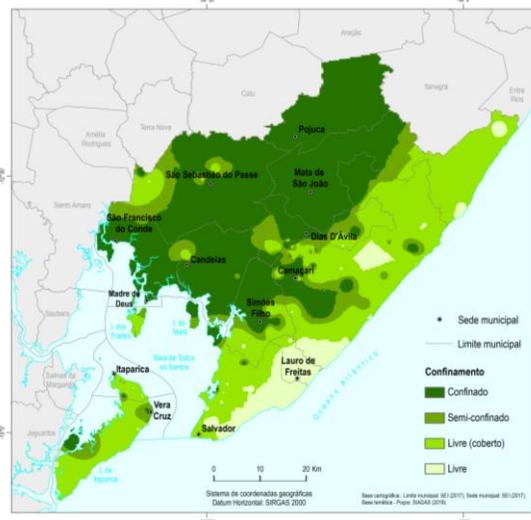


Figura 5 - Grau de confinamento. A medida em que adentra-se para o continente, o aquífero torna-se confinado, diferentemente das zonas litorâneas e costeiras. Fonte: Autores (2019).

A zona vadosa é também chamada de zona não saturada ou de aeração (MANFRON; THOMÉ, 2012) é a parte do solo preenchida parcialmente de água e onde ocorre o fenômeno de filtração da mesma. Para tanto, tal fenômeno está relacionado a litologia que trata da composição mineral, distribuição de tamanho dos grãos e do grau de compactação dos sedimentos ou rochas (FEITOSA; FILHO; CARNEIRO; DEMETRIO, 2008). Sendo assim, as zonas de aeração impermeável ou pouco permeável é uma barreira à penetração de poluentes no aquífero e, nas zonas permeáveis ocorre a recarga do mesmo, contudo, esta característica permite a rápida difusão de poluentes ou contaminantes (MANFRON; THOMÉ, 2012).

Nas áreas costeiras da RMS, existem materiais pouquíssimo consolidados e com grande quantidade de macroporos, que, correspondem aos depósitos litorâneos. Nestas áreas, é possível encontrar também depósitos de pântanos e mangues, que, são pouco consolidados, mas, possuem grande quantidade de microporos. Nas zonas mais interioranas, ocorrem materiais sedimentares com textura argilosa, porém, mais consolidados. Nas áreas litorâneas existem rochas cristalinas, que fazem jus a um material com alto grau de consolidação (Figura 6).

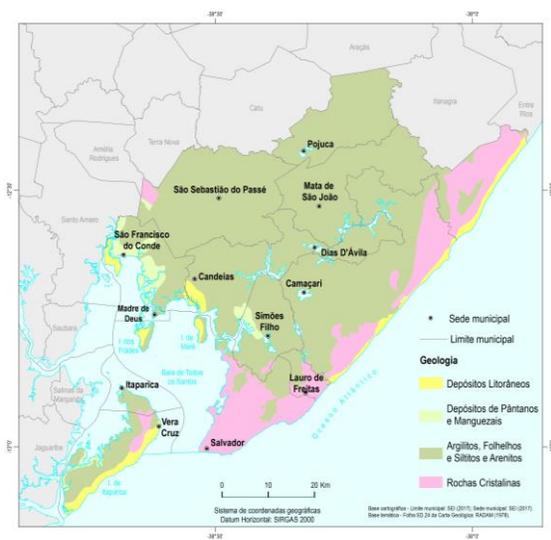


Figura 6 - Grau de consolidação da zona vadosa. Os materiais menos consolidados estão nos depósitos litorâneos, manguezais e rochas sedimentares. As rochas cristalinas têm maior grau de consolidação. Fonte: Autores (2019).

Nível estático é a profundidade do nível da água em relação a boca do poço (CPRM, 1998). Este nível pode variar numa escala temporal e está condicionado a quantidade de chuvas e ao grau de consolidação da zona vadosa. Nas zonas costeiras e litorâneas, o nível estático varia entre 2 e 10 metros de profundidade. Já nas áreas continentais da RMS, o nível estático encontra-se entre 10 e 50 metros de profundidade (Figura 7).

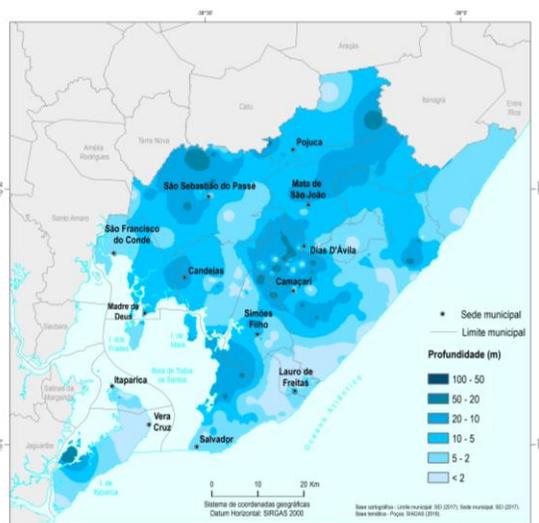


Figura 7 - Profundidade do nível estático. Nas zonas costeiras e litorâneas, onde o índice pluviométrico é maior, ocorrem níveis estáticos menos profundos. Do contrário, ocorre nas áreas continentais. Fonte: Autores (2019).

A vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero foi encontrada a partir da multiplicação dos parâmetros que

compõem o método GOD e obteve como resultado quatro padrões: vulnerabilidade desprezível, baixa, moderada e alta.

As áreas do aquífero que indicam vulnerabilidade desprezível localizam-se em maior parte ao norte da RMS. Nesta área, três principais fatores relacionam-se entre si: a geologia, que, proporciona pouca permeabilidade de líquidos contaminantes na zona de areação, gerando um obstáculo à penetração de poluentes ou contaminantes no aquífero; a presença de aquífero confinado, o qual pode apresentar uma ou duas camadas limitrofes impermeáveis e, a profundidade do nível estático, que permitirá um maior tempo para o deslocamento dos poluentes possibilitando a oxidação dos mesmos.

O conjunto de características que dizem respeito a vulnerabilidade desprezível do aquífero, também caracterizam as áreas onde ocorre vulnerabilidade baixa. Contudo, nesta situação, é possível verificar alguns aspectos que podem prover uma maior vulnerabilidade a contaminação: a presença de aquífero semi-confinado e livre (coberto) e; menor profundidade no nível estático.

Áreas de vulnerabilidade moderada ocorrem em grande parte nas zonas litorâneas. Estas possuem aquífero livre (coberto), baixa profundidade do nível estático e geologia que produz maior permeabilidade.

A vulnerabilidade alta é verificada nas zonas costeiras e nelas há a presença de áreas onde o aquífero é livre, ou seja, onde a camada imediatamente superior ao aquífero é formada por uma zona de aeração com textura predominantemente arenosa, que possui como objetivo armazenar água temporariamente, porém, infiltram poluentes com maior velocidade. Nestes aquíferos também ocorrem níveis estáticos que não ultrapassam cinco metros de profundidade.

Por fim, o resultado proveniente da metodologia GOD que mostra a vulnerabilidade à contaminação natural dos aquíferos, pode ser analisado na Figura 8.

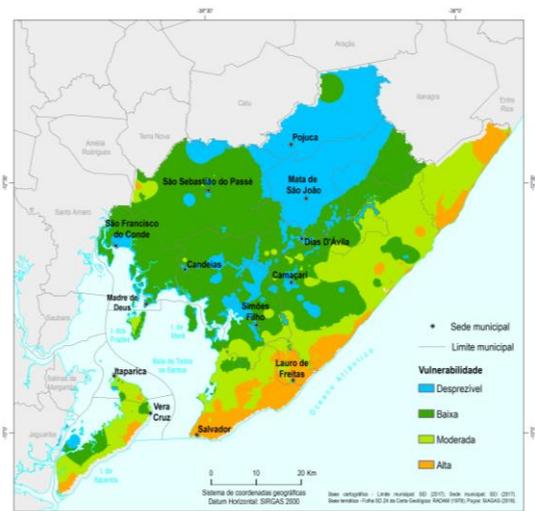


Figura 8 - Vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos na RMS. As áreas com maior vulnerabilidade à contaminação são as áreas costeiras, cujo material é predominantemente arenoso, a quantidade de chuva é maior, o nível estático é menor e o aquífero é livre. Fonte: Autores (2019).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método GOD mostrou claramente a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero na RMS, cuja mesma, está intrinsecamente associada à litologia, as dimensões porosas distintas dos substratos que o compõe e a profundidade do nível estático, consequentemente diferenciando o comportamento hidrodinâmico do aquífero.

Como este método envolve simplificações nas informações hidrogeológicas e geológicas é necessário ter atenção no momento da reclassificação, no tratamento e na interpretação dos resultados. Ademais, dados de profundidade da água foram utilizados para a elaboração do mapa e como estes variam no tempo e no espaço, é necessário a atualização destas informações assim como também do mapa de vulnerabilidade.

A escolha de uma determinada metodologia depende da quantidade de informações disponíveis e esta técnica utiliza-se de dados relativamente fáceis de adquirir, sendo assim, a mesma pode ser utilizada para prognósticos iniciais como um apoio à gestão ambiental e é voltada para estudos regionais, pois, não considera as atividades antrópicas e contaminantes como um fator que pode vir a potencializar a vulnerabilidade.

5. REFERÊNCIAS

- ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. *Águas subterrâneas*. Disponível em: http://www.abas.org.br/index.php?PG=aguas_subterraneas&SPG=aguas_subterraneas_as. Acesso em: 26/11/2018.
- ALBINET, M. La pollution des eaux souterraines. *Bureau de recherches géologiques et minières*, Orléans, DS 63 A 127, oct. 1963. 127 p.
- _____. Les cartes de vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution. *Bureau de recherches géologiques et minières*, Orléans, 70 SGN 325 HYD, aug. 1970. 31 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- DAUPHINÉ, A.; PROVITOLLO, D. *Risques et catastrophes: observer, spatialiser, comprendre, gérer*. 2ª ed. Paris: Armand Colin, 2013.
- EGLER, C. A. G. Risco ambiental como critério de gestão do território: uma aplicação à zona costeira brasileira. *Revista Território*. Rio de Janeiro, v. 1, n.1. p.31 - 41, jul./dez., 1996.
- 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.; BARTOLOMEU, D. *Análise da vulnerabilidade dos recursos hídricos na região urbana de São Carlos (SP) por vazamentos em postos de combustíveis, utilizando o método GOD e avaliação dos condicionantes geotécnicos*. Dissertação (Mestrado – pós-graduação em geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 2012.
- _____, S. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: DUIJVENBOODEN, W.; WAEGENINGH, H. G. (Eds.). *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants: proceedings and information n° 38 of the International Conference held in the Netherlands*. Amsterdam: TNO Committee on Hydrological Research, 1987. p. 69-86.
- _____, S.; HIRATA, R. *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. Peru: WHO/PAHO/EHP, 1988.
- _____, S.; HIRATA, R.; GOMES, D, DELIA, M.; PARIS, M. *Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies*. Washington: The World Bank, 2002.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Cidades*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/salvador/panorama>. Acesso em: 30/05/2018.
- JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. *O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas*. Disponível em: <http://www.nepo.unicamp.br/vulnerabilidade/admin/uploads/producoes/M%C3%A9todosInterpola%C3%A7%C3%A3o.PDF>. Acesso em: 06 de Dezembro de 2018.
- LEGRAND, H. E. System for evaluation of contamination potential of some waste disposal sites. *Journal American Water Works Association*, Denver, v. 56, n. 8, p. 959-974, aug. 1964.
- MANFRON, S.; THOMÉ, A. *Métodos para avaliar a qualidade das águas subterrâneas*. Passo Fundo: Poá Comunicação, 2012. 80 p.
- MARGAT, J.; ALBINET, M. La pollution des eaux souterraines par les eaux de surface. *Bureau de recherches géologiques et minières*, Orléans, DS 65 A 96, nov. 1965. 21 p.
- _____, J.; MONITION, L.; RICOUR, J. Eaux souterraines et pollutions radio-actives. *Bureau de recherches géologiques et minières*, Orléans, DS 67 A 132, oct. 1967. 7 p.
- _____, J. Emploi des eaux souterraines en cas de protection radioactive superficielle. *Bureau de recherches géologiques et minières*, Orléans, 68 SGL 153 HYD, oct. 1968. 13 p.
- _____, J. Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution: bases de la cartographie. *Bureau de recherches géologiques et minières*, Orléans, 68 SGL 198 HYD, nov. 1968. 12 p.
- NASCIMENTO, S. A. M; BARBOSA, J. S. F. *Aspectos Hidrológicos do Alto Cristalino de Salvador Bahia*. Disponível em: <http://www.nehma.ufba.br/wp->

<content/uploads/2016/03/Revista-Plurais.pdf>. Acesso em: 31/10/2017.

PROJETO RADAMBRASIL. *Folha SD. 24 Salvador: geologia (escala 1: 1.000.000)*. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

SEI – SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. *Pluviometria (escala 1: 2.000.000)*. Salvador: SEI, 2003.

____. *Divisão Político-Administrativa do Estado da Bahia (escala 1:100.000)*. Salvador: SEI, 2017.

SIAGAS - SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. *Poços (escala 1: 150.000)*. Salvador: CPRM, 2019.

TUCCI, C. E. M. *Qualidade da água subterrânea*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

VRBA, J.; ZAPOROZEC, A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *International Association of Hydrogeologist*, Hanover, v 16, 131 p. 1994.

ZAPOROZEC, A. (Coord.) *Groundwater contamination inventory: a methodological guide*. Paris: UNESCO, 2002. (IHP-VI, SERIES ON GROUNDWATER Nº 2).

ZWAHLEN, F. (Ed.) *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (Karst) aquifers: scope, goals results*. Luxembourg: Europeancommission, 2003.

6. AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Professor Danilo, meu orientador, por ter confiado em mim e ter me concedido esta oportunidade, por sempre me incentivar na pesquisa, além de sua infinita paciência. Agradeço também a Professora Conceição por ter me orientado com os mapas, pois os mesmos constituem uma mistura de arte, ciência e técnica. Segundamente ao CNPq (Conselho Nacional de Conhecimento Científico e Tecnológico) e ao PIBIC (Programa de Bolsas de Iniciação Científica) por serem meus financiadores e fomentar ainda mais a minha vontade de analisar, entender e correlacionar os aspectos fisiográficos da paisagem e dar um retorno para a sociedade. E por último e não menos importante, ao NEHMA (Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente) por conceder a mim toda a infraestrutura necessária para a execução desta pesquisa.

Recebido em: 30/10/2020

Aceito para publicação em: 23/05/2021