

VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO NÚCLEO URBANO DO DISTRITO DE MONTE ALTO, ARRAIAL DO CABO, RJ

Lucas de Carvalho Silva¹

Rafael Alexandre Rizzo¹

Glaubert Lucas de Carvalho Cabral¹

RESUMO

A inadequada infraestrutura das cidades construídas em ambientes costeiras coloca em risco um recurso fundamental para o bem-estar humano e aos ecossistemas naturais, a água. Diante disso, a pesquisa teve como finalidade a aplicação do método GOD para determinar o índice de vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do núcleo urbano de Monte Alto, região estuarina que vem crescendo em um ritmo acelerado e por consequência vem sofrendo com a insuficiência da infraestrutura urbana implantada, com ocupações desordenadas do solo e conflitos em áreas de proteção ambiental. Através do Método GOD foi possível constatar que 94,76% da área de estudo apresenta classe de vulnerabilidade alta, enquanto 5,26% apresenta classe vulnerabilidade mediana. A pesquisa também conta com uma avaliação da vulnerabilidade e a influência do meio físico na definição dos graus de risco de contaminação, na perspectiva da geração de subsídios para o planejamento municipal. O resultado permitiu estabelecer uma relação que certifica que o avanço da ocupação urbana sobre as áreas de proteção ambiental pode contribuir com o aumento do risco de contaminação da água subterrânea da região. De posse deste estudo os planejadores locais podem decidir sobre o desenvolvimento de políticas de proteção e monitoramento das águas subterrâneas nesta área.

Palavras-chave: Método GOD; Água Subterrânea; Vulnerabilidade.

ABSTRACT

Vulnerability groundwater pollution in the urban nucleus in the District of Monte Alto, Arraial do Cabo, RJ. The inadequate infrastructure of cities built in coastal environments puts at risk a fundamental resource for human well-being and natural ecosystems, water. Therefore, the research aimed to apply the GOD method to determine the vulnerability index to groundwater pollution in the urban center of Monte Alto, an estuarine region that has been growing at a fast pace and, consequently, has been suffering from insufficient infrastructure urban area, with disorderly land occupations and conflicts in environmental protection areas. Through the GOD Method, it was possible to verify that 94.76% of the study area has a high vulnerability class, while 5.26% has a medium vulnerability class. The research also includes an assessment of vulnerability and the influence of the physical environment in defining the degrees of risk of contamination, from the perspective of generating subsidies for municipal planning. The result made it possible to establish a relationship that certifies that the advance of urban occupation over environmental protection areas can contribute to the increased risk of contamination of underground water in the region. With this study in hand, local planners can decide on the development of policies for the protection and monitoring of groundwater in this area.

Keywords: GOD Method; Groundwater; Vulnerability.

¹ Curso de Especialização em Ciências Ambientais em Áreas Costeiras, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – IFRJ, Arraial do Cabo, RJ, Brasil. E-mail para correspondência: lucas.dcsilva@gmail.com

INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são ambientes complexos essenciais para vida terrestre e marinha, incluindo os seres humanos, configurando um ambiente de grande riqueza natural que compreendem elementos geológicos, ecológicos e biológicos únicos (Tan et al., 2018). A grande potencialidade de exploração de bens e serviços, aliados a uma beleza natural única, fazem com que essas áreas sejam zonas preferenciais para ocupação do homem (Belchior, 2008).

A inadequação da infraestrutura das cidades construídas nas faixas costeiras coloca em risco um recurso fundamental para o bem-estar humano e aos ecossistemas naturais, a água. Devido a exploração excessiva de aquíferos costeiros e ao desequilíbrio do processo de recarga influenciado pelo avanço das áreas impermeabilizadas, as águas subterrâneas, recurso fundamental para abastecimento de água potável e do fluxo de base em áreas úmidas, lagos e rios durante períodos de baixa ou nenhuma precipitação, vem sofrendo esgotamento, degradação e o risco de salinização por diversos processos (Costa, 2000; Aslam et al., 2018).

As águas subterrâneas em regiões costeiras são vulneráveis a poluição salina que ocorrem devido ao desequilíbrio entre água do mar e água doce por alteração hidráulica, devido atividades antropogênicas ou processos naturais (Sobrinho et al., 2015). Dessa forma, a implantação de estratégias de proteção desses recursos passa pelo conhecimento atual tanto da qualidade quanto da quantidade, bem como avaliação da vulnerabilidade do sistema que podem oferecer algum grau de proteção da água subterrânea contra o impacto humano e natural (Hirata et al., 2010).

Segundo Musálem et al. (2015), ao longo de décadas, diversos modelos baseados principalmente em técnicas de índice de sobreposição foram desenvolvidos para estudos em contextos geológicos distintos: DRASTIC, SINTACS, AVI, GALDIT e GOD. Estes métodos são baseados na combinação de mapas com fatores hidrogeológicos do aquíferos e outras variáveis, as quais é concedido um valor numérico para cada atributo proporcionando análises que relacionam um conjunto de indicadores físicos influenciadores na dispersão dos poluentes (Momejian et al., 2019).

Dentre os diversos métodos utilizados para avaliar a vulnerabilidade natural de um aquífero, destaca-se o Método GOD, desenvolvido por Foster em 1987, e posteriormente modificado por Foster et al. (2006), e que é amplamente utilizada na América Latina por ser um método prático e simples para gerar mapas de vulnerabilidade onde se estima o perigo em classes que podem variar de insignificante a extrema. O método é baseado na atribuição de índices entre 0 e 1 a 3 variáveis, cujas iniciais deram o nome ao mesmo e significam: G (*ground water occurrence* – tipo de aquífero), O (*overall aquifer class* – litologia da cobertura), D (*depth* – profundidade da água). A metodologia GOD destina-se ao primeiro passo na avaliação do risco de poluição das águas subterrâneas, e destina-se, também, a priorizar, mas não substituir, ações sistemáticas de monitoramento e inspeção em campo (Foster et al., 2006).

Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o risco de impacto sobre os recursos hídricos subterrâneos no núcleo urbano de Monte Alto, distrito de Arraial do Cabo – RJ, através do método GOD (Foster et al., 2006), com base no mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação de suas águas, além de identificar possíveis risco de contaminação das águas subterrâneas. A conclusão da pesquisa poderá servir como subsídio para o desenvolvimento de políticas de proteção e monitoramento das águas subterrâneas nesta área.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caraterização da Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido no núcleo urbano de Monte Alto, 2º distrito do município de Arraial do Cabo. A área urbana do distrito de Monte Alto possui uma área total de 1,57 km² e uma população que varia bastante durante os períodos do ano quando há migração da população flutuante para a região. O município de Arraial do Cabo possui uma população de 30.349 habitantes (população estimada para 2019 pelo IBGE, 2020). O núcleo urbano do distrito foi se desenvolvendo durante a década de 80 sobre as dunas e faixas de praia, ocasionando irreversíveis danos ao meio ambiente, visto que para viabilizar as construções e aterros, foi suprimida a vegetação fixadora de dunas, além do desmonte/remoção das dunas.

O distrito de Monte Alto vem recebendo obras de ampliação nas redes de abastecimento de água e coleta do esgoto sanitário. Entretanto, uma grande parcela dos imóveis ainda utiliza soluções individuais de abastecimento como poços escavados de pequenas profundidades tanto para fins mais nobres como para utilizações secundárias, tais como lavagem de pátios, regas entre outros, além disso, é utilizado o sistema fossas sépticas para eliminação do esgoto gerado nas residências. Esses poços não são cadastrados pelas autoridades competentes nem recebem qualquer fiscalização e acompanhamento por parte da Prefeitura (PMSB, 2013).

A área de estudo pertence ao domínio tectono-magmático do estado do Rio de Janeiro: domínio região dos lagos, situado na porção mais oriental da província. A região é constituída por ortoganaisses paleoproterozóicos e por supracrustais (complexo Búzios) interpretadas como remanescentes de *back arc*. A geomorfologia da área de estudo se configura como planícies costeiras caracterizadas por superfícies horizontais com microrrelevo ondulado de amplitudes topográficas inferiores a 20 m, geradas por processo de sedimentação marinha e/ou eólicas. São terrenos bem drenados com padrão paralelo, acompanhados das depressões intercordões (CPRM, 2001).

Localizada no sistema interno da área de estudo, a lagoa de Araruama, é a maior lagoa hipersalina do país. Sua salinidade é atribuída ao déficit hídrico aliado às condições climáticas e uma reduzida bacia de drenagem, com aproximadamente 350 km² (Cruz, 2004).

O solo é composto por areias quartzosas, pouco desenvolvido, e que possui como característica a grande permeabilidade, o que promove altas taxas de infiltração, baixa umidade e baixa capacidade de campo. Segundo Bispo (2008), nas areias das dunas a água infiltra facilmente, não sendo capaz de reter o fluxo de chuva no solo.

Conforme o sistema de Koppen, o clima local é classificado como Semi-Árido Quente (BSh), registrando uma temperatura média que varia de 23 e 25°C, oscilando ligeiramente na primavera e no outono. A média das máximas registra 29°C, no verão e 24°C, no inverno, com máxima absoluta de 36,5°C, no verão. A média das mínimas é de 22°C, no verão e 19°C no inverno com mínima absoluta de 12°C. A taxa de evaporação é compreendida entre 894 mm/ano e devido à proximidade do mar e à grande exposição dos ventos úmidos, a umidade relativa do ar é sempre maior que 80% (Aguiar, 2005). A insolação varia entre 200 e 240 h/ mês, com exceção do período entre setembro e novembro, quando varia de 150 a 190 h/ mês (Barbière, 1984).

A distribuição das precipitações está em torno de 800 mm/ano, com menos de 80 mm/mês. A estação chuvosa inicia-se no final da primavera e vai até janeiro; diminui em fevereiro-março (60 mm/mês) e chega a 40 mm/mês de junho a agosto que correspondem à estação seca (Araújo, 1997).

O sistema hidrogeológico presente na área é composto por aquíferos intergranulares, conhecidos como aquíferos costeiros (cordões, restingas e terraços litorâneos). São aquíferos livres, rasos e normalmente salinizados, possuindo aproveitamento restrito. Os sedimentos são compostos por areais razoavelmente selecionados, com matriz sílica a argilosa, granulometria fina e grossa. As captações, normalmente, são feitas por poços rasos, aproveitando os primeiros níveis de água, que podem ser potáveis. As águas destes sistemas são utilizadas normalmente para o abastecimento residencial (Lowsby e Galves, 2000).

Amostragem de Campo e Métodos Analíticos

Foram utilizadas informações de 13 poços tubulares já utilizados pelos moradores do núcleo urbano do distrito de Monte Alto – Arraial do Cabo, RJ. A seleção pelo número de amostras foi estabelecida em função do custo das análises, e a escolha dos pontos ocorreu de forma aleatória, conforme a disponibilidade dos moradores daquela região (Figura 1).

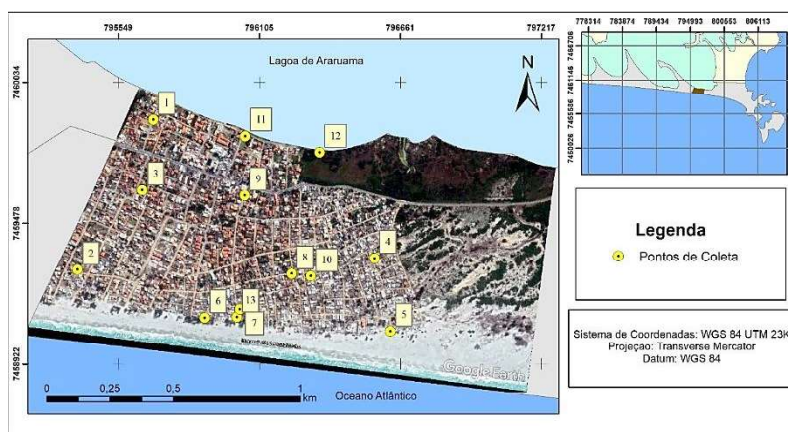


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo e pontos de coleta.

Etapas para Desenvolvimento do Método GOD e Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo

Os métodos de avaliação de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos associado às técnicas de cartografia em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) têm sido amplamente utilizados no estudo de vulnerabilidade de aquíferos, e sua aplicação tem sido bem descrita em vários trabalhos (Zanetti, 2012; Kalaoum, 2016; Kemerich et al., 2020). A opção pela utilização do método GOD para avaliar a vulnerabilidade do aquífero se deu por sua aplicação simples e sistemática, considerando três parâmetros com informações de fácil acesso.

Os dados referentes a perfil litológico, nível estático dos poços e localização georreferenciada, serviram de embasamento para gerar os mapas utilizados na pesquisa. Os dados foram subdivididos em: levantamento bibliográfico, levantamento dos poços pré-existent da área de trabalho, determinação dos parâmetros GOD e uso e ocupação do solo. Foram utilizados arquivos shapefile (.shp) disponíveis pela CPRM, além de dados coletados de forma direta na área de estudo. O software ArcGIS 10.5 (ESRI) foi utilizado como ferramenta SIG para a elaboração dos mapas temáticos.

Posteriormente, gerou-se um banco de dados com as informações obtidas de mapas e dados de campo, atribuindo também peso da metodologia para se produzir os mapas específicos. O método GOD (Foster et al., 2006), é baseado em apenas três parâmetros: grau de confinamento do aquífero (G), ocorrência de estratos de cobertura (O) e nível estático (D). Para cada parâmetro é atribuído um valor que pode variar de 0 a 1 e o mapa de vulnerabilidade é obtido através do produto das variáveis ($GOD = G \times O \times D$), sendo que, todos os parâmetros apresentam o mesmo peso (Figura 2).

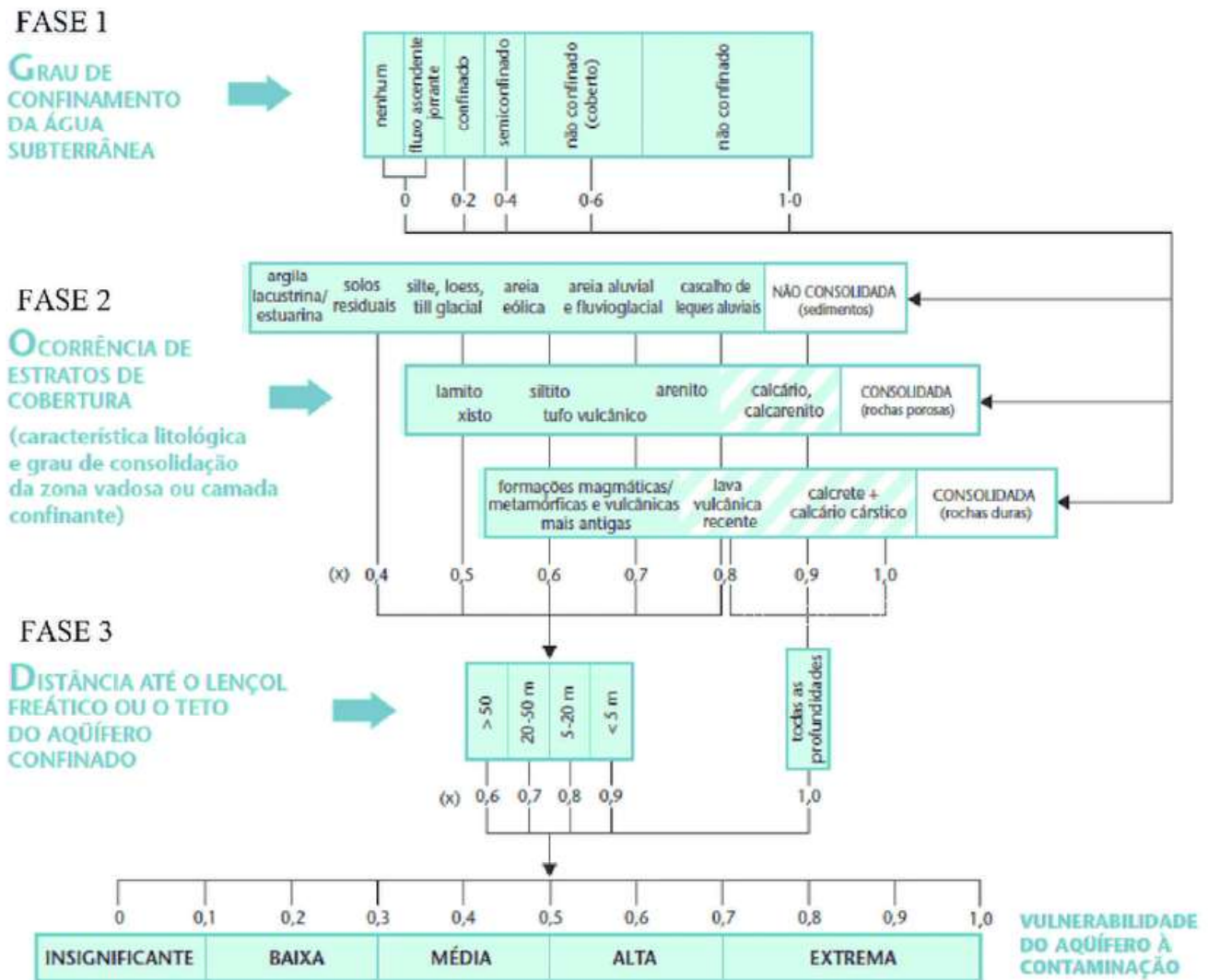


Figura 2. Sistema GOD de avaliação da vulnerabilidade à contaminação do aquífero (adaptado de Foster et al., 2006).

As classes de vulnerabilidade de aquífero variam de insignificante à extrema, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos valores para cada faixa dos parâmetros do método GOD (conforme Foster et al., 2006).

GOD	Classes de Vulnerabilidade	Definição
0,0 – 0,1	Insignificante / desprezível	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea
0,1 – 0,3	Baixa	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados
0,3 – 0,5	Média / moderada	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados
0,5 – 0,7	Alta	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente absorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação
0,7 – 1,0	Extrema	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação

A partir das informações disponíveis para cada poço, foi utilizado um método interpolativo do SIG ArcGIS 10.5 (ESRI) para determinar as áreas de influência dos poços, determinada *Interpolate to Raster* do módulo *Spatial Analyst*, onde a opção *Inverse Distance Weighted (IDW)* foi selecionada conforme descrito por Santos (2010). O método IDW corresponde à interpolação entre cada ponto como uma influência local, diminuindo à medida que a distância entre os pontos aumenta.

A delimitação das potenciais fontes de contaminação foi realizada por meio do processamento utilizando imagem do Google Earth, datada de 2018, no *software* Quantum GIS (QGIS), plug-in *Gimp Selection Feature* desenvolvido pelo IBAMA. Por meio do plug-in foi possível vetorizar as regiões de interesse da imagem georreferenciada. Após a vetorização dos polígonos, o mapa vetorial foi exportado para o *software* ARCGIS 10.5, e neste mesmo *software* foram realizados os procedimentos de classificação, cálculo de área, além de todas as tarefas de edição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aquífero da área de estudo foi definido em aquífero intergranular, conhecido como Aquífero Costeiro (Cordões, Restingas e Terraços Litorâneos) tendo como característica ser do tipo não-confinado (aquífero livre). Para o índice G do método GOD foi atribuído o valor máximo igual a 1, para o grau de confinamento de toda área de estudo.

A região em sua totalidade é constituída por areias eólicas, assim, para a determinação do índice O, que representa os estratos de cobertura e sua capacidade de atenuação de contaminantes, foi atribuído um peso 0,6 conforme definido no método GOD para as areias eólicas.

Os poços da área de estudo possuem níveis estáticos variando de 1 a 6 m de profundidade, como verificado no mapa de distribuição no nível do lençol freático (Figura 3).

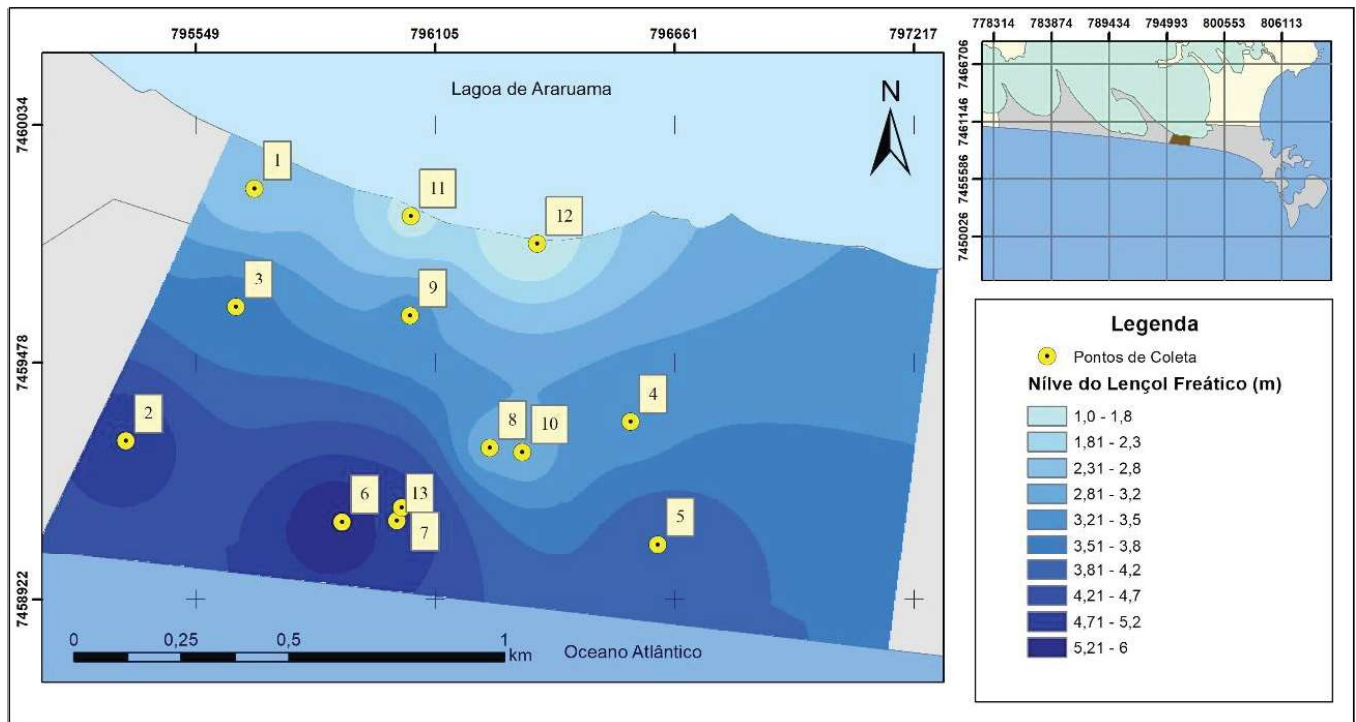


Figura 3. Mapa de distribuição do nível do lençol freático.

De acordo com a figura 3, é possível observar que o lençol freático é mais raso na região próxima à Lagoa de Araruama, sendo possível encontrar valores iguais a 1 m de profundidade. Segundo Cruz e Silva Jr. (2006), o aquífero da área de estudo torna-se bem mais raso à medida que se aproxima das lagoas.

As áreas mais próximas do oceano possuem um sistema de dunas que corresponde aos locais de topografia mais elevado. Os poços escavados sobre esses campos de dunas são naturalmente mais profundos. O valor encontrado no ponto 6, ponto que se encontra mais próximo do oceano (72 m), é de 6 m de profundidade; já o ponto 7 dista a 98 m do oceano e possui profundidade de 5,2 m. A interação entre os três mapas temáticos (G x O x D) gerou índice variando de 0,48 a 0,54, cuja variação pode ser observada na tabela 2, e figuras 4 e 5.

Tabela 2. Índice de vulnerabilidade GOD para a área de estudo.

Parâmetros			Índice GOD	Área (Ha)	Área (%)	Intervalo de Classe
G	O	D				
1	0,6	0,9	0,54	8,30	5,26	Alto
1	0,6	0,8	0,48	149,44	94,76	Média

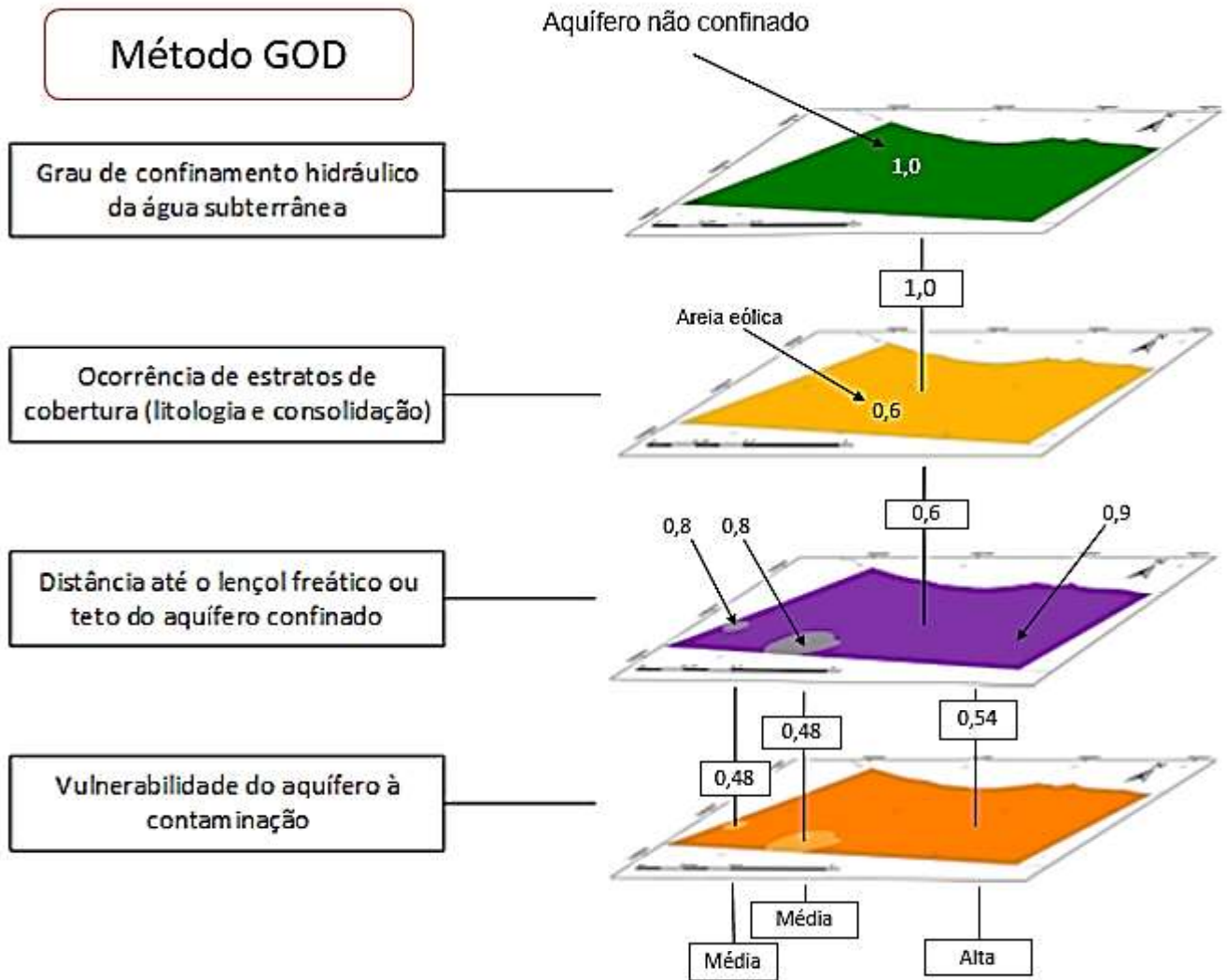


Figura 4. Atributos/índices/parâmetros utilizados para a determinação da Vulnerabilidade utilizando o método GOD.

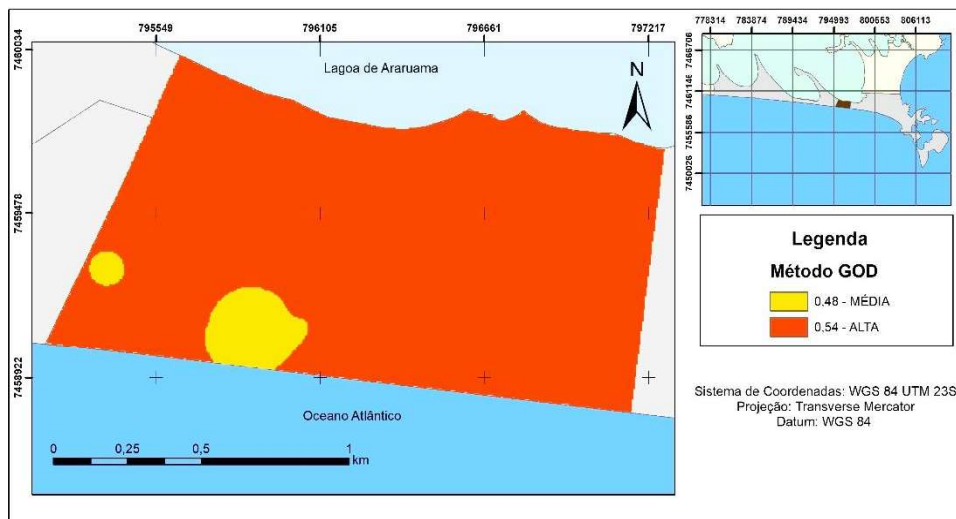


Figura 5. Mapa de Vulnerabilidade do aquífero pelo Método GOD.

Os resultados obtidos com o método GOD apontam que 149,44 ha da área de estudo apresenta classe de vulnerabilidade alta, o que corresponde 94,76% da área de estudo. Enquanto 8,30 ha apresenta classe vulnerabilidade mediana, correspondendo a 5,26%. A vulnerabilidade é justificada pela natureza

livre do aquífero com constituição basicamente arenosa. As diferentes profundidades do nível estático do aquífero contribuem para a variação entre média e alta, pois quanto mais próximo do nível d'água, mais vulnerável será o aquífero. Esse resultado evidencia a necessidade de desenvolvimento de políticas de proteção e monitoramento das águas subterrâneas.

De acordo com Foster et al. (2006), definir que um aquífero apresenta vulnerabilidade alta, corresponde afirmar que o aquífero é vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação. Já aquíferos com vulnerabilidade moderada (média) são vulneráveis a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados. Ainda segundo Foster et al. (2006), quando é identificado que o aquífero possui vulnerabilidade moderada ou classe superior, é sugerido incluir medidas no planejamento de uso e ocupação das terras.

Araújo (2014), utilizando metodologia GOD aplicada ao aquífero Dunas, na região de Porto das Dunas – Aquiraz/CE, obteve um mapa de vulnerabilidade onde os índices variaram de média a alta em função da profundidade do nível estático (parâmetro variável), apresentando vulnerabilidade média em grande parte da área de pesquisa (76%) e vulnerabilidade alta na porção leste, próximo a linha da costa, devido à presença de um nível estático mais raso.

De acordo com Feitosa e Manoel Filho (1997), os aquíferos livres são muito comuns e explorados pela população já que apresentam baixa profundidade, viabilizando a sua exploração. Porém, essa mesma condição confere-lhes uma maior vulnerabilidade intrínseca, ou seja, esses aquíferos são, naturalmente, mais desprotegidos já que possuem maior acessibilidade à penetração de contaminantes em comparação com aquíferos confinados.

Para efeito de se verificar a influência do meio físico na definição dos graus de risco de contaminação e assim priorizar medidas mitigadoras, foi realizada a delimitação das potenciais fontes de contaminação. A área urbana demonstrou maior relevância, correspondendo a uma parcela de 52,12% (83,76 ha) do total, e que consiste em uso restrito à moradia e comércio em geral, além de apresentar certo nível de degradação ambiental com menores possibilidades de preservação (Figura 6). Essa área é caracterizada por apresentar fossas sépticas rudimentares e esgoto a céu aberto.

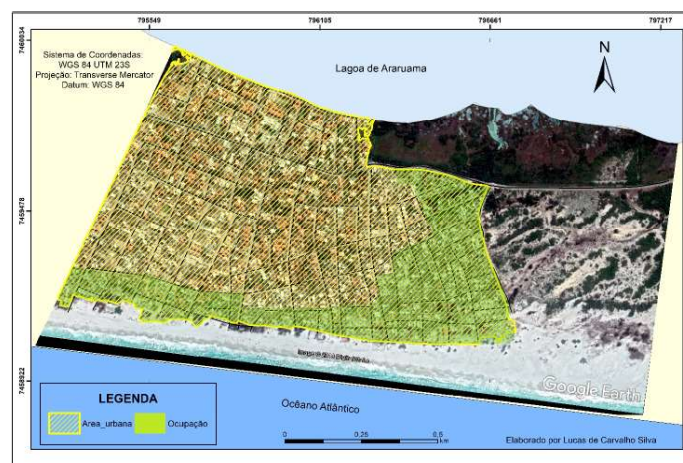


Figura 6. Mapa da área urbana do distrito de Monte Alto.

A insuficiente infraestrutura de saneamento básico transforma a área urbana em um potencial contaminador, já que o esgoto é aplicado constantemente ao solo através de fossas rudimentares ou sumidouros após tanques sépticos. A destinação de esgotos sanitários, de forma inadequada, provoca concentrações de compostos químico e biológicos em desacordo com as legislações ambientais.

Araújo et al. (2017) citam que devido à ausência de saneamento básico, a fossa é a alternativa utilizada pela população para descarga do esgoto domiciliar no solo. Por meio da análise da distribuição da densidade de fossas na área, associada aos índices de vulnerabilidade do sistema aquífero Dunas, podem ser identificadas as áreas com maior perigo de contaminação e, conseqüentemente, definida a área de alto risco à saúde da população. Além disso, devido à grande pressão imobiliária, nos últimos anos essa localidade vem sofrendo com a expansão das ocupações sobre as áreas de proteção ambiental. Nas áreas de ocupação, o abastecimento de água é feito de forma clandestina e pelo uso complementar de águas subterrâneas extraídas dos poços. As construções ali instaladas apresentam condições de saneamento básico precárias e ligações ilegais de energia elétrica.

O risco da exploração intensiva das águas subterrâneas pode trazer impactos negativos como rebaixamento acentuado da superfície potenciométrica e, conseqüentemente, elevando o risco de degradação da qualidade da água causando a salinização do aquífero. Além da falta de infraestrutura, a região sofre com o avanço indiscriminado da degradação sobre as áreas de preservação, provocando a supressão da vegetação fixadora e até mesmo da remoção das dunas.

As áreas de dunas e faixas de praia presentes na área de estudo, servem como proteção contra a ação de tempestade, contra o avanço do nível do mar, e são responsáveis pela manutenção do ecossistema, além de contribuir para a recarga e o aumento das reservas renováveis e permanentes dos aquíferos. As áreas de restinga também possuem papel fundamental na conservação dos aquíferos costeiros na região, uma vez que quanto maior a densidade florestal, maior será o volume de infiltração (Nunes, 2017)

Segundo Carmo (2013), Guimarães e Nicolodi (2018), o adensamento populacional e as profundas transformações no uso do solo, proporcionam o aumento do estresse e apropriação dos recursos e elementos naturais, causando desequilíbrios ambientais significativos ao longo das extensões das linhas de costas. A influência antrópica, somada às alterações causadas pelo aumento de eventos extremos devido às alterações climáticas (tempestades, ondas de calor, aumento do nível do mar) de caráter global, fazem com que essas áreas se tornem extremamente sensíveis aos riscos de perda de sustentabilidade e de qualidade ambiental.

Tendo em vista a pressão sobre as áreas de alta e média vulnerabilidade à contaminação, a predominância desse comportamento de fluxo é preocupante devido às características hidrogeológicas da região. Segundo Carvalho et al. (2017), a hidrodinâmica marinha é diretamente orientada pela configuração de linhas de costas, que se distingue pela dinamicidade e influenciadas por fatores como balanço sedimentar, variação do nível relativo do mar, dispersão de sedimentos, tempestades, entre outros. A interferência na natureza coloca em risco a população, já que algumas construções foram feitas em áreas de invasão do mar, fenômeno denominado “barriga d’água”, que são ressacas marinhas esporádicas, porém, violentas, razão pela qual essas áreas são caracterizadas como áreas de risco (Terra, 2012).

Além de todos os riscos que a água subterrânea está exposta, sua preservação deve ser assegurada para sua utilização como alternativa em período de escassez, já que a concessionária Prolagos, responsável pelo

abastecimento de água no município de Arraial do Cabo, depende em sua maior parte da captação de água no reservatório na barragem de Juturnaíba e de acordo com Rocha et al. (2020), o rompimento da barragem de Juturnaíba implicaria no desabastecimento imediato da população de Arraial do Cabo como um todo, neste caso, a solução viável para mitigar este dano em curto espaço de tempo seria a utilização de poços artesianos.

CONCLUSÕES

A metodologia GOD se mostrou uma boa ferramenta para auxiliar na alocação de recursos e na priorização das diversas atividades de monitoramento ambiental. Os resultados obtidos apontam que 149,44 ha da área de estudo apresenta classe de vulnerabilidade alta, o que corresponde 94,76% do total. Enquanto 8,30 ha apresenta classe vulnerabilidade mediana, correspondendo a 5,26%. Como citado anteriormente, a vulnerabilidade é justificada pela natureza livre do aquífero com constituição basicamente arenosa. As diferentes profundidades do nível estático do aquífero foi o fator preponderante para a variação entre média e alta.

A área de alta vulnerabilidade a contaminação está sobreposta a grande adensamento populacional com baixa infraestrutura e sem serviço de saneamento básico, potencializando o risco de contaminação do aquífero. Essas características evidenciam a necessidade de investimento em rede de abastecimento de água e esgoto em toda a área. A expansão do adensamento urbano contribui para agravar o risco da exploração das águas subterrâneas, podendo trazer impactos negativos como rebaixamento acentuado da superfície potenciométrica e, conseqüentemente, elevando o risco de degradação da qualidade da água causada pela salinização do aquífero. Além disso, a ausência de tratamento de água e esgoto pelo município expõe a população a risco de contrair doenças de vinculação hídrica e aumento os custos públicos com tratamento de doenças que podem ser evitadas. O poder público municipal deveria criar um programa de monitoramento da água subterrânea no distrito.

O resultado desta pesquisa pode ser utilizado como subsídio para gestão do uso e ocupação da terra no distrito estudado, já que as profundas transformações no uso do solo, proporcionam o aumento do estresse e apropriação dos recursos e elementos naturais, causando desequilíbrios ambientais significativos ao longo das extensões das linhas de costas. Sob grande pressão da especulação imobiliária, as áreas de dunas e faixas de praia, tornam-se áreas necessariamente protegidas. Sua importância se deve a sua capacidade de barrar fenômenos naturais tais como erosão, inundações, alagamentos e etc., podendo comprometer as construções ali instaladas, além de ser uma área de influência direta para preservação da qualidade das águas subterrâneas da região, já que são áreas de recarga do aquífero.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, D. B. D. 2005. **Análise socioambiental do uso e ocupação do solo no morro do Forno – Arraial do Cabo, RJ**. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental), Universidade Federal Fluminense – UFF, 123p.
- ARAÚJO, D. S. D.; 1997. **Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation**. Cabo Frio Region. In: S. D. Davis et al. (Eds). v. 3. Oxford: WWF/IUCN, p. 373-375.
- ARAÚJO, K. V. 2014. **Risco e impactos de poluição nas águas subterrâneas pelo uso e ocupação do solo no Porto das Dunas - Aquiraz/CE**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, 105p.

- ARAÚJO, K. V. et al. 2017. Vulnerabilidade natural e perigo de contaminação do sistema aquífero Dunas na região norte do município de Aquiraz, Ceará. **Revista do Instituto Geológico**, 38(2):37-48.
- ASLAM, R. A.; SHRESTHA, S.; PANDEY, V. P. 2018. Groundwater vulnerability to climate change: a review of the assessment methodology. **Science of The Total Environment**, 612:853-875.
- BARBIÈRE, E. B. 1984. Cabo Frio e Iguaba Grande, dois microclimas distintos a um curto intervalo espacial. In: Lacerda, L. D.; Araújo, D. S. D.; Cerqueira, R. & Turcq, B. (orgs.) **Restingas: origem, estrutura, processos**. Niterói: CEUFF, p. 3-12.
- BELCHIOR, C. C. 2008. **Gestão costeira integrada: estudo de caso do projeto ECOMANAGE na região estuarina de Santos - São Vicente, SP, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, 121p.
- BISPO, S. C. 2008. **Análise da variação morfológica das dunas costeiras ativas da reserva biológica de Santa Izabel (se) no período de 1955-2005**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal da Bahia, 92p.
- CARMO, J. S. A. D. 2013. Experiência de recuperação de um sistema dunar e proposta de instrumentos complementares de proteção, atração e valorização ambiental. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, 13(3):317-328.
- CARVALHO, K. K. A. et al. 2017. Dinâmica evolutiva da linha de costa na praia de Candeias – PE: processos geradores de sustentabilidade. **Revista de Ciências Ambientais**, 11(2):13-24.
- COSTA, W. D. 2000. Riscos potenciais e reais de correntes da superexploração de águas subterrâneas no Recife – PE. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. FORTALEZA, CE, 2000, ABAS/AHLSUD/IAH, CDROM. 11p
- CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2001. **Serviço Geológico do Brasil. Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil. Geologia do estado do Rio de Janeiro**. Orgs. Silva, L.C. & Cunha, H.C.S. Brasília.
- CRUZ, A. 2004. **Estudo hidrogeoquímico e análise da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos costeiros entre os municípios de Niterói e Rio das Ostras - RJ**. Estágio de Campo IV – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 50p.
- FEITOSA, A. C. F.; MANUEL FILHO, J. 1997. **Hidrologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, Gráfica LCR, 812p.
- FOSTER, S. et al. 2006. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/ Banco Mundial: SERVMAR, 104p.
- GUIMARÃES, K. J. R.; NICOLODI, J. L. 2018. Avaliação do zoneamento ecológico-econômico costeiro (ZEEC) como ferramenta de subsídio ao licenciamento ambiental da atividade de extração mineral de areia no litoral norte do Rio Grande do Sul. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, 49:130-149.
- HIRATA, R.; FERNANDES, A. J. 2008. Vulnerabilidade à poluição de aquífero. In: F. A. C. Feitosa et al. (Orgs.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, p. 405-424.
- KALAOUM, J. 2016. **Vulnerabilidade de contaminação do sistema de aquíferos do município de Queimados - RJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 72p.
- KEMERICH, P. D. da C. et al. 2020. Análise da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea: comparativo entre a metodologia GOD e Drastic. **Revista de Geociências do Nordeste**, 6(2):45-53.
- LOWSBY, M.; GALVES M. G. 2000. Characterization of coastal aquifers of the oceanic area of Niterói - RJ, Brazil. In: 32º CONGRESSO INTERNACIONAL DE GEOLOGIA, 2000, Rio de Janeiro, v. 31, p. 1-19.
- MOMEJIAN, N. et al. 2019. Can groundwater vulnerability models assess seawater intrusion? **Environmental Impact Assessment Review**, 75:13-26.
- MUSÁLEM, K. et al. 2015. Groundwater vulnerability mapping in two watersheds affected by yacyreta dam in Paraguay. **Tecnología y Ciencias del Agua**, 6(6):49-61.

- NUNES, M. D. X. 2016. **Estudo da capacidade de infiltração em sistemas de recarga artificial de aquíferos contaminados no Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, 84p.
- RIO DE JANEIRO. 2013. Plano municipal de saneamento básico de Arraial do Cabo – RJ. Disponível em: <https://pmsblsj.files.wordpress.com/2012/12/apresentac3a7c3a3o-1c2ba-semin-local_arraial_0413_r2.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2020.
- ROCHA, M. A. G. H. et al. 2020. Barragens órfãs: estudo de caso da barragem de Juturnaíba, localizada no estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, 43(1):311-319.
- SANTOS, P. R. P. 2010. **Estudo da Vulnerabilidade à poluição do aquífero Marizal na região de influência do polo industrial de Camaçari (PIC) - Bahia**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo.), Universidade Federal da Bahia, 101p.
- SOBRINHO, A. F. C. et al. 2015. Uso do índice GALDIT para avaliação da vulnerabilidade à salinização do aquífero boa viagem–região metropolitana do Recife. **Águas Subterrâneas**, 29(1):116-128.
- TAN, W. J., et al. 2018. Integrated coastal-zone management for sustainable tourism using a decision support system based on system dynamics: a case study of Cijin, Kaohsiung, Taiwan. **Ocean & Coastal Management**, 153:131-139.
- TERRA, A. D. G. 2012. Uma janela para o mar: ocupação irregular na localidade de Monte Alto, na restinga de Massambaba, em Arraial do Cabo. In: XXI CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI/UFF, 2012, Rio de Janeiro, p. 10437-10467
- ZANETTI, N.; BRAGA, A. C. O.; SANTOS, F. A. M. 2013. Estimativa da vulnerabilidade natural do aquífero livre no município de Rio Claro/SP. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, 3(1):9-20.

Submetido em: 19.10.2020

Aceito em: 08.06.2021