

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO BAIRRO TRIÂNGULO EM JUAZEIRO DO NORTE-CE

Emanuel Santos de Oliveira ¹
Michel Monteiro Ferreira ²
Tawana de Melo Pereira ³

RESUMO

A água é um recurso finito, sem ela não é possível a existência de vida. Por meio do ciclo hidrológico que o planeta realiza, é possível o acesso à água em todos os estados físicos, que possibilitam a garantia das reservas superficiais e subterrâneas existentes. Nesse sentido, o objetivo da pesquisa em curso é avaliar a vulnerabilidade natural e antrópica das águas subterrâneas, mediante a análise de dados dos poços presentes em uma área inserida no limítrofe do bairro triângulo no município de Juazeiro do Norte-CE. A escolha desse recorte está atrelada a três fatores, o primeiro que o município de Juazeiro do Norte possui cerca de 96% da sua população na zona urbana, ocasionando uma alta pressão e demanda por água, segundo pela localidade possuir maior concentração de edificações verticais do município e por fim, a localidade apresenta uma alta quantidade de poços perfurados, identificados por meio da plataforma do Serviço Geológico do Brasil (SGB) em seu Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). A metodologia adotada baseou-se em dois enfoques específicos, a vulnerabilidade natural de aquíferos e a exposição ao risco por contaminação antrópica das águas subterrâneas. Nesta perspectiva, notou-se com o auxílio dos métodos GOD e POSH, assim como por técnicas de mapeamento e interpolação, observar que a área analisada apresenta um índice de vulnerabilidade natural à contaminação baixa e três graus de risco à poluição (reduzido, moderado e elevado) por fontes pontuais.

Palavras-chave: Águas Subterrâneas, Vulnerabilidade, Risco, Contaminação.

ABSTRACT

Water is a finite resource, without which life cannot exist. Through the planet's hydrological cycle, it is possible to access water in all physical states, which makes it possible to guarantee existing surface and underground reserves. The aim of this research is to assess the natural and man-made vulnerability of groundwater by analyzing data from wells in an area bordering the triangle district in the municipality of Juazeiro do Norte-CE. The choice of this area is linked to three factors: firstly, the fact that the municipality of Juazeiro do Norte has around 96% of its population in the urban area, resulting in high pressure and demand for water; secondly, the fact that the area has the highest concentration of vertical buildings in the municipality; and finally, the fact that the area has a high number of drilled wells, identified through the platform of the Geological Survey of Brazil (SGB) in its Groundwater Information System (SIAGAS). The methodology adopted was based on two specific approaches: the natural vulnerability of aquifers and exposure to risk from anthropogenic contamination of groundwater. With the help of the GOD and POSH methods, as well as mapping and interpolation techniques, it was

¹ Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, emanuel.santos.10@hotmail.com;

² Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, michelferr@gmail.com;

³ Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, tawana.pereira@academico.ufpb.br;

observed that the area analyzed has a low natural vulnerability index to contamination and three degrees of risk to pollution (low, moderate and high) from point sources.

Keywords: Groundwater, Vulnerability, Risk, Contamination.

INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes, e não seria possível a existência de vida sem a mesma, no entanto há uma limitação quanto ao seu aproveitamento, ou seja, a água se enquadra como um recurso finito. Por meio do ciclo hidrológico que o planeta realiza, é concebível o acesso à água em todos os estados físicos, possibilitando assim a garantia das reservas superficiais e subterrâneas. Neste contexto, o Brasil possui em seu território 12% das reservas hídricas do planeta e 53% da América do Sul (ONUBR, 2018). Desta forma, é necessário enfatizar que com o crescimento da população e consequentemente da urbanização, aumenta a demanda por acesso a água, sobretudo para suprir as necessidades humanas voltadas à indústria, irrigação, obras de engenharia, dentre outras necessidades que acabam comprometendo a qualidade dessas reservas (De Brito, *et al.*, 2022).

Este cenário expõe as fontes hídricas a possíveis contaminações. Para Ursulino (2014), apesar das águas superficiais estarem mais vulneráveis à contaminação pelas atividades humanas que as subterrâneas, em virtude da sua exposição, o processo de recuperação das águas em subsuperfície se torna uma tarefa bem mais complexa, difícil e onerosa, havendo a possibilidade de casos irreversíveis.

Dessa maneira, a ciência da “vulnerabilidade” inclui os conceitos que estão enraizados na sua essência, são eles: o de risco (as circunstâncias que expõem pessoas e localidades em situação de perigo) e a adaptação (a capacidade da população, a partir da sua infraestrutura e dos sistemas físicos se recuperarem das ameaças ambientais) (Cutter, 2011).

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa é avaliar a vulnerabilidade à contaminação natural e antrópica das águas subterrâneas, mediante a análise de dados de poços e de atividades que podem comprometer a qualidade das fontes hídricas em subsuperfície, presentes em uma área inserida no limítrofe do bairro triângulo no município de Juazeiro do Norte-CE.

A escolha dessa área está atrelada a três fatores: (1) o município de Juazeiro do Norte possui cerca de 96% da sua população na zona urbana, ocasionando uma alta pressão e demanda por água; (2) a referida localidade possui a maior concentração de edificações verticais do município; (3) e esta área apresenta uma quantidade considerável de poços perfurados.

O município de Juazeiro do Norte está localizado à sul do estado do Ceará, na região do Cariri, limita-se à norte com o município de Caririáçu, à leste com o Crato, à oeste com o município de Missão Velha e à sul com Barbalha. Possui uma extensão territorial de 258,788 Km², e em termos de número de habitantes é a terceira maior cidade do Ceará, com uma população, em 2022, de 280.120 habitantes (Brasil, 2022).

A metodologia utilizada, neste estudo, baseou-se no método GOD (*Groundwater occurrence, Overall aquifer class, Depth to groundwater table*)⁴, que tem como principal função determinar a suscetibilidade natural do aquífero à contaminação, e no método POSH (*pollutant origin, surcharge hydraulically*)⁵, com o intuito de classificar as atividades que podem contaminar as fontes hídricas subsuperficiais.

Logo, notou-se, com o auxílio dos métodos citados aliados a técnicas de mapeamento e interpolação, que a área analisada possui pontos de captação de água subterrânea próximos a atividades que podem comprometer a qualidade de suas águas. Além disso, percebe-se que apesar do índice de vulnerabilidade natural apresentar uma classificação baixa, é preciso haver uma gestão que esteja atenta a possíveis poluições para esta área relevante do município.

METODOLOGIA

Nesta pesquisa, a metodologia adotada fundamentou-se em dois enfoques específicos, a vulnerabilidade natural de aquíferos e a exposição ao risco de contaminação antrópica das águas subterrâneas. Ambos, relacionam-se à exploração e utilização inadequada dos recursos hídricos subterrâneos.

Coleta e estruturação dos dados

Os dados do estudo foram obtidos a partir de informações previamente cadastradas no banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) vinculado ao Serviço Geológico do Brasil (SGB). Para este procedimento, realizou-se a coleta dos dados de poços da área da pesquisa.

Para caracterizar o risco, foi necessário identificar as atividades que apresentam potencial de contaminar as águas subterrâneas, para tanto utilizou-se o software Google Earth. Após a aquisição dos dados pertinentes ao estudo, foi realizada a estruturação destas

⁴ “Grau de confinamento da água subterrânea, Ocorrência de estratos de cobertura, Profundidade até o lençol freático” (Foster *et al.*, 2006).

⁵ “Origem do Poluente, Sobrecarga Hidráulica” (Foster *et al.*, 2006).

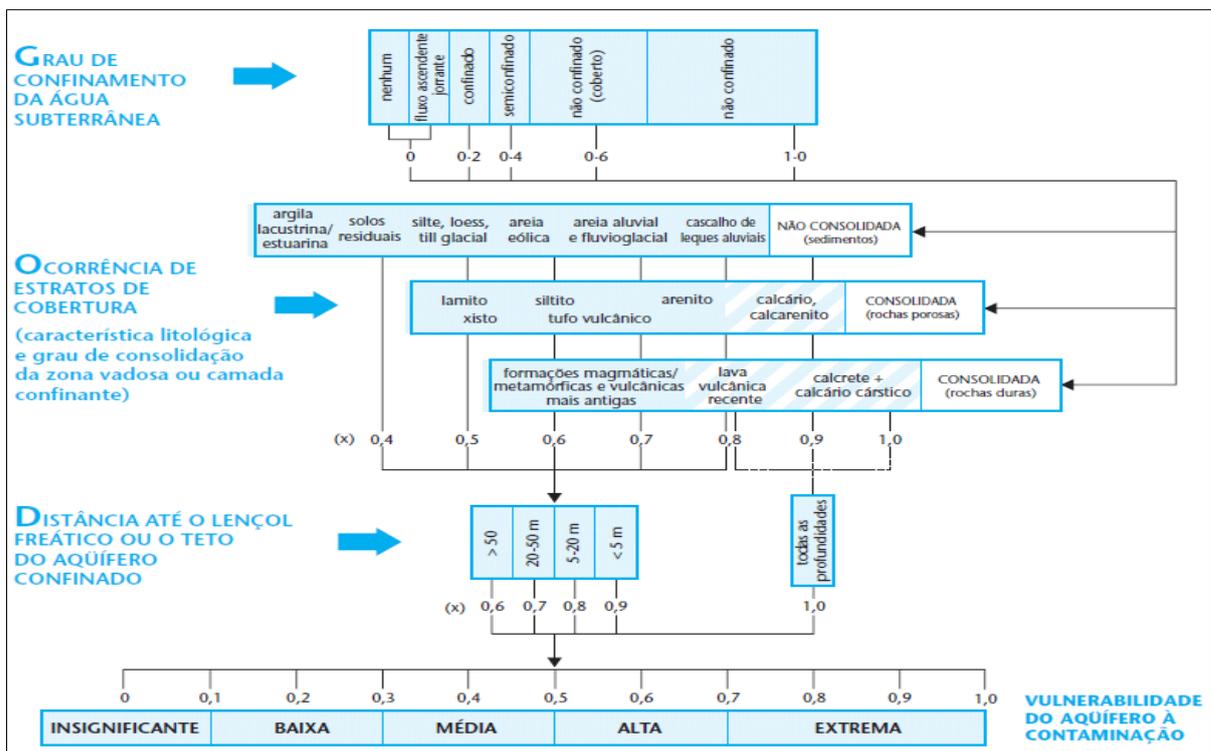
informações em uma planilha no programa excel. Assim, constatou-se as características dos poços e a identificação dos locais de maneira mais detalhada e adequada para posterior manipulação.

Métodos GOD e POSH para Vulnerabilidade de Águas Subterrâneas

Considera-se vulnerabilidade natural, conhecida também como vulnerabilidade intrínseca, como aquela que está atrelada aos aspectos físicos dos aquíferos e na sua suscetibilidade em ser contaminado (Zaporozec, 1994).

Desta forma, a proposta metodológica foi embasada no método GOD (Fig. 1), desenvolvido por Foster e Hirata (1988), que avalia a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação. Esse método é executado conforme três fases de análise de alguns aspectos físicos em locais de pontos de captação de água subterrânea, seguida de atribuição de um índice numérico para cada parâmetro: (G) refere-se ao grau de confinamento do aquífero, que em seguida será adicionado a um parâmetro quantitativo de 0,0 – 1,0; (O) relaciona-se aos estratos de cobertura acima da zona saturada do aquífero, obedecendo a uma classificação de 0,4 – 1,0; e (D) diz respeito à profundidade do lençol freático, levando a uma pontuação de 0,6 – 1,0 (Foster *et al.*, 2006). Posteriormente, o produto dessas três etapas será multiplicado (G x O x D), para assim gerar o índice de vulnerabilidade do aquífero.

Figura 1. Esquema metodológico para execução do método GOD



Fonte: Foster *et al.* (2006)

Ainda, empregou-se o método POSH (Fig. 2) para classificar as potenciais fontes pontuais de contaminação antrópica. Para tanto, estas fontes foram classificadas de acordo com o nível (reduzido, moderado e elevado) de risco ou ameaça que podem representar à qualidade das águas subterrâneas.

Figura 2. Classificação das fontes pontuais de contaminação conforme o método POSH

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				mineração e exploração de petróleo
	deposição de resíduos sólidos	áreas Industriais*	lagoas de águas residuais	outras (urbanas)	
Elevado	resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos	todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área >5 ha		operações em campos de petróleo, mineração de metais
Moderado	chuva >500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1, ou todos os demais casos	indústria tipo 2	esgoto residencial se a área >5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	postos de gasolina, vias de transporte com tráfego regular de produtos químicos perigosos	algumas atividades de mineração/ extração de materiais inertes
Reduzido	chuva <500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1	indústria tipo 1	águas residuais residenciais, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração de não metálicos	cemitérios	
<p>* solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria</p> <p>Indústrias Tipo 1: madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos</p> <p>Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão</p> <p>Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal</p>					

Fonte: Foster *et al.* (2006)

A proposta metodológica do método POSH permitiu diferenciar os diferentes tipos de atividades conforme sua característica, considerando neste estudo as áreas reconhecidas como industriais e urbanas.

Mapeamento e Interpolação

O mapeamento da vulnerabilidade natural e do risco de poluição antrópica das águas do subsolo, consistem numa ferramenta essencial para a gestão dos recursos hídricos.

Nesse sentido, foi empregado o método de interpolação IDW (Inverso Ponderado da Distância), mediante o uso do software Quantum GIS versão 3.26.3. Com este procedimento, foi possível constatar as áreas mais suscetíveis à contaminação natural das águas em subsuperfície, do perímetro da área da pesquisa.

Ainda, com a utilização do QGIS e do software Google Earth, foi confeccionado o mapa contendo os espaços e as atividades exercidas, que expõem o aquífero ao risco de poluição, classificados (as) de acordo com a possibilidade de contaminação de origem antrópica.

REFERENCIAL TEÓRICO

Vulnerabilidade e Risco à Contaminação de Águas Subterrâneas

A vulnerabilidade à contaminação de um aquífero pode ser definida como a capacidade deste em ser adversamente afetado por um volume de poluentes que tem origem a partir da atividade humana. Ainda, o conceito de risco à contaminação de águas subterrâneas está relacionado à interação entre vulnerabilidade natural e a carga poluente empregada no solo ou em subsuperfície, que resulta em um evento contaminador (Foster e Hirata, 1988).

Conforme Freezy e Cherry (2017), as principais fontes antrópicas de poluição de aquíferos são: descarte de resíduos sólidos, disposição de esgoto em superfície, atividades agrícolas, vazamentos e derramamentos de petróleo, disposição de resíduos radioativos, descarte de resíduos líquidos em poços profundos, além de outras fontes.

Para classificar as fontes potenciais de carga contaminante é necessário fundamentar-se em duas possibilidades: (1) a hipótese da presença de poluentes que são resistentes e móveis no subsolo; e (2) a existência de uma carga hidráulica associada com a capacidade de promover o transporte advectivo dos contaminantes para as águas subterrâneas. Contudo, é importante utilizar suposições mais simplistas, dado a falta de informações, ou melhor, deve-se considerar: (1) vincular a probabilidade da presença de substância poluente ao tipo de atividade humana; e (2) realizar uma estimativa no tocante à possibilidade de sobrecarga hidráulica de acordo com a utilização da água pela atividade exercida (Foster *et al.*, 2006).

Gestão das Águas Subterrâneas

A carência de conhecimento sobre os mananciais subterrâneos, da sua função e das ações fundamentais para sua proteção, expõe os aquíferos ao risco de contaminação ou ao mau uso, que pode promover a sua superexploração. No Brasil, o número real de poços é desconhecido, apesar da obrigação por lei do registro ou autorização (outorga) para explorar água subterrânea. Percebe-se ainda, que o número de captações legalizadas, em poços tubulares, representa pouco mais de 1%. Assim, o volume de água extraída ou o seu valor são, de certa forma, camuflados pela clandestinidade, ou seja, qualquer estudo que tenha por objetivo

identificar o papel deste recurso hídrico, terá de conviver com a falta de dados oficiais (Hirata *et al.*, 2019).

A extração de água subterrânea deve considerar a proteção dos aquíferos, visto que mesmo que estejam menos propensos à contaminação do que as águas superficiais, a construção ou operação, que não se ampara nos critérios técnicos, de um poço, pode comprometer sua estrutura, podendo causar danos ao próprio aquífero. Desta forma, quando há perfuração de um poço tubular, a política de proteção deve ser respeitada, levando em conta as possíveis fontes de poluição que estão em seu entorno (Giampá e Gonçalves, 2015).

Para tal proteção, é preciso recorrer a instrumentos e ferramentas capazes de identificar e prevenir os usuários e órgãos gestores quanto ao perigo que determinadas atividades podem oferecer aos aquíferos.

Neste sentido, o mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à poluição, normalmente, é a primeira fase para avaliar o perigo de contaminação das fontes hídricas subterrâneas e consequentemente da proteção de sua qualidade, podendo auxiliar tanto em escala estadual quanto municipal (Foster *et al.*, 2006).

É necessário salientar que os mapas de vulnerabilidade, neste caso, oferecerem uma estrutura geral para que as políticas de proteção possam se fundamentar. Assim, os profissionais de regulação, planejamento e desenvolvimento territorial e ambiental poderão estar embasados para avaliar propostas que tenham por objetivo controlar a contaminação e monitorar a qualidade da água subterrânea (Foster *et al.*, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados descritos, adiante, apontam para a necessidade de inserção de ferramentas que contribuam com a proteção dos aquíferos, neste caso específico para uma área relevante do município de Juazeiro do Norte, localizada no bairro Triângulo.

É importante ressaltar que foram identificados 34 poços para esse estudo, contudo, em virtude da disponibilidade de dados e adequação ao método que estima a vulnerabilidade natural de aquíferos, só foi possível analisar seis poços que continham as informações necessárias para a aplicação do mesmo.

Vulnerabilidade Natural das Águas Subterrâneas do Bairro Triângulo

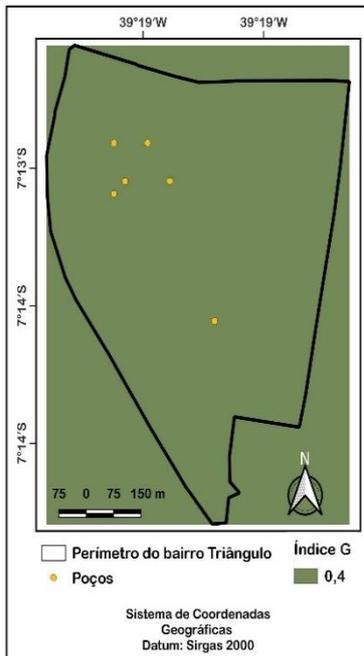
A estimativa da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do perímetro urbano de Triângulo/Juazeiro do Norte – CE, de acordo com o método GOD, considerou as três fases

estabelecidas para integração e resultado do índice de vulnerabilidade aplicado para análise dos seis poços. Na primeira fase foi possível identificar o grau de confinamento (parâmetro G), estabelecendo assim o valor de 0,4 por se tratar de um aquífero semiconfinado (Fig. 3).

Na segunda fase, na litologia acima da zona saturada do aquífero (parâmetro O), observou-se o predomínio de argilas e arenitos, que correspondem aos intervalos 0,4 e 0,6 (Fig. 4). Segundo Carvalho *et al.* (2020), os estratos de cobertura exercem a função de facilitar ou conter o fluxo de fluidos nocivos à qualidade das águas subterrâneas.

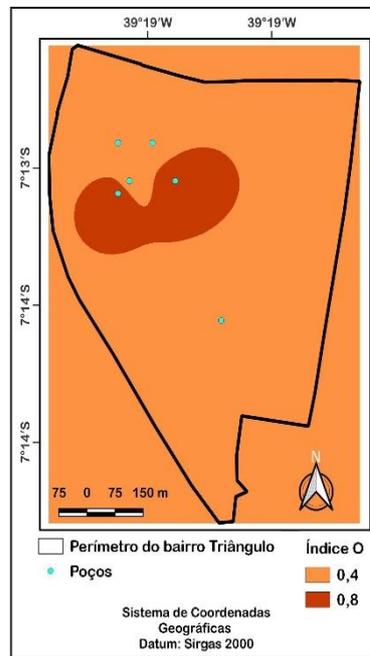
Já na terceira etapa, o nível estático (parâmetro D) dos poços variaram de 26,5 à 71,23 metros de profundidade, atribuindo-se assim os valores 0,6 e 0,7 (Fig. 5). Este parâmetro indica uma proteção consistente das águas subterrâneas, pois foi constatado que há profundidades consideráveis nos poços analisados, dificultando assim o transporte de contaminantes ao alcance destes mananciais hídricos.

Figura 3. Índice G



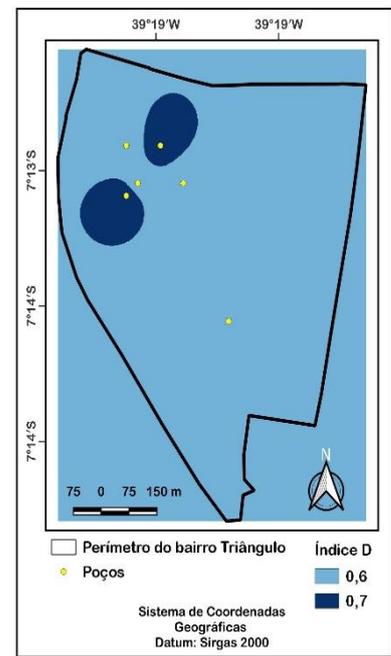
Fonte: Elaborado por Oliveira (2023)

Figura 4. Índice O



Fonte: Elaborado por Oliveira (2023)

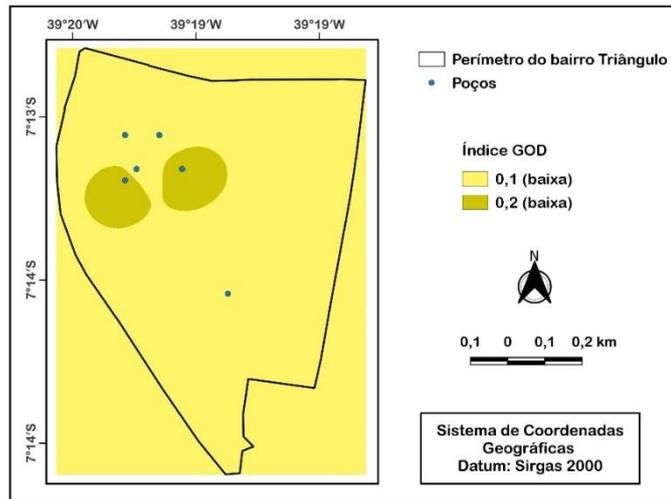
Figura 5. Índice D



Fonte: Elaborado por Oliveira (2023)

A aplicação do método GOD para a área de pesquisa apresentou um índice de vulnerabilidade natural à contaminação baixa, havendo uma variação de 0,1 em quase sua totalidade à 0,2 em pequenas faixas.

Figura 6. Índice de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação



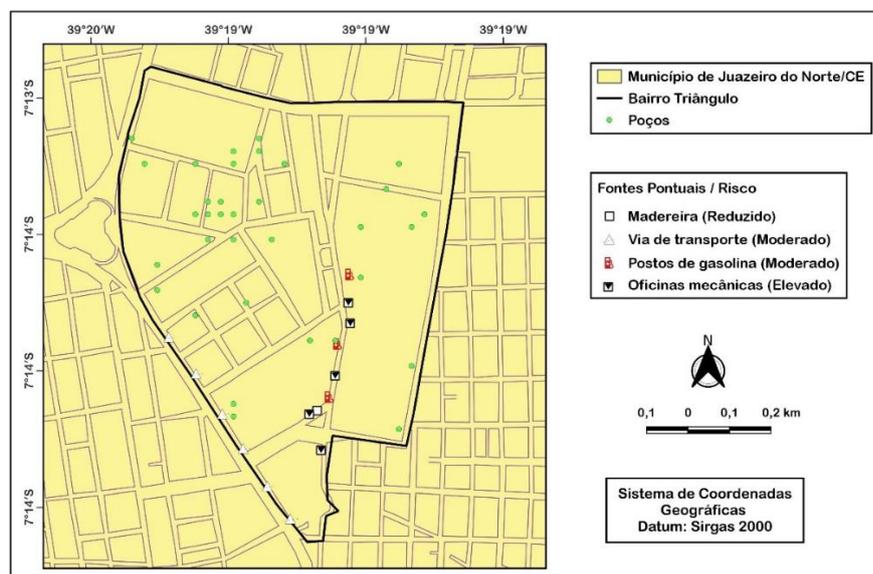
Fonte: Elaborado por Oliveira (2023)

De acordo com Foster *et al.* (2006), esta classe (baixa) apresenta vulnerabilidade, tão somente, a poluentes conservadores, por um longo período, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados.

Risco de Contaminação por Fontes Pontuais no Bairro Triângulo

Em relação às fontes pontuais de risco à contaminação das águas no subsolo, identificou-se, com a execução do método POSH, postos de gasolina e uma unidade de abastecimento de combustível para ônibus, vias de transporte com presença constante de veículos que transportam produtos químicos perigosos, madeiras e oficinas mecânicas (Fig. 7).

Figura 7. Mapa do risco de contaminação por fontes pontuais



Fonte: Elaborado por Oliveira (2023)

O mapa acima, além de destacar os tipos de atividades que representam risco à contaminação, apresenta a localização dos 34 poços inseridos no perímetro da pesquisa. Essa verificação possibilitou considerar os poços que estão ameaçados em relação às atividades exercidas no seu entorno. Assim, foi possível observar que os postos de gasolina são a maior ameaça, tendo em vista as suas distâncias em relação a algumas fontes de captação de água em subsuperfície.

Segundo Foster *et al.* (2006, p. 73) a “[...] simples presença de postos de gasolina ou de instalações para armazenagem com tanques subterrâneos deve ser classificada como uma fonte moderada de carga contaminante no subsolo”. Ainda, os autores enfatizam que existe grande probabilidade de que tanques que operam a mais de 20 anos possam estar com suas estruturas corroídas e com tendência a vazamentos, a não ser que recebam manutenções regulares.

As oficinas que realizam diversos serviços com o manuseio de produtos químicos nocivos à saúde humana, situadas na área de estudo, representam 33%, sendo classificadas como risco elevado.

Identificou-se, também, uma importante via de acesso onde há um tráfego regular de veículos que transportam produtos químicos perigosos, correspondendo a 40% dos dados identificados. Conforme Foster *et al.* (2006, p. 76) “acidentes envolvendo o transporte de substâncias perigosas ocorrem de tempos em tempos, e o manejo e disposição dessas substâncias após o acidente pode gerar uma significativa carga contaminante no subsolo e ameaçar a qualidade da água subterrânea em alguns aquíferos”.

Constatou-se que na área à S (Sul) do perímetro da pesquisa há uma pequena concentração de atividades potencialmente poluentes (madeireira, posto de gasolina e oficinas mecânicas), no entanto não há registros oficiais de poços próximos a este espaço. Contudo, é importante avaliar a viabilidade de possíveis extrações de águas subterrâneas, tendo em vista as prováveis contaminações que possam ocorrer.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em número de habitantes o município de Juazeiro do Norte-CE é o terceiro maior do Estado, ficando atrás apenas das cidades de Fortaleza e Caucaia. Assim, a relevância em perceber a vulnerabilidade natural dos aquíferos e a exposição ao risco de contaminação por ação antrópica da área estudada, ajudou a identificar as possibilidades de impacto ambiental que podem ser causados neste território.

Com base no mapeamento e na técnica de interpolação da área de estudo, pode-se inferir que o bairro triângulo apresenta um avanço urbano e comercial que expõe os mananciais hídricos subterrâneos ao risco de contaminação, tanto natural quanto antrópica.

Logo, a partir do levantamento das informações contidas nos poços cadastrados nesse perímetro, percebe-se que a constante exploração (não reconhecendo nesta pesquisa os poços clandestinos) das fontes hídricas subterrâneas pode comprometer o aquífero no tocante ao abastecimento futuro para as diversas atividades dependentes das águas subterrâneas. Esta afirmação está relacionada a uma grande quantidade de poços presentes na área, ou seja, deve-se pensar em um monitoramento destas fontes para uma gestão sustentável dos recursos hídricos, evitando assim uma possível sobrecarga no aquífero.

REFERÊNCIAS

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama>. Acesso em: 10 set. 2023.

CARVALHO, A. C. L.; VINAGRE, M. V. A.; MENDES, R. L. R.; DAVID FRANCO LOPES; LOPES, M. S. B. **Estudo da vulnerabilidade da água subterrânea no distrito industrial de Icoaraci (Belém-PA) (Estudo de caso)**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 2, 2020.

CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista crítica de ciência sociais**. Coimbra, n. 93, p. 59-69, jun. 2011.

DE BRITO, H. C.; DE BRITO, Y. M. A.; RUFINO, I. A. A. **O índice de segurança hídrica do Brasil e o semiárido brasileiro: desafios e riscos futuros**. Rev. Bras. Cartogr, v. 74, n. 1, 2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/download/60928/33291>. Acesso em 31 de abri. 2023.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. Lima: WHO-PAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual, 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Servmar: Washington, D.C., 2006.

FREEZE, A. R. e CHERRY, J. A. **Águas Subterrâneas**. Tradução de Everton de Oliveira. São Paulo, 2017.

GIAMPÁ, C. E. Q. e GONÇALES, V. G. **Orientações para a Utilização de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Governo do Estado de São Paulo Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. São Paulo, 2015.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. Instituto Trata Brasil. São Paulo, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL [ONUBR], **Documentos temáticos: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 6 – 7 – 11 – 12 – 15**. Brasília: Organização das Nações Unidas no Brasil. 2018. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/publications/documentos-tem%C3%A1ticos-ods-6-ods-7-ods-11-ods-12-e-ods-15>. Acesso em: 10 de fev. 2023.

URSULINO, B. e S. **Avaliação da Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas do Município de Juazeiro Do Norte – Ce**. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) de Juazeiro do Norte. Ceará, p. 70. 2014.

ZAPOROZEC, A. 1994. **Concept of groundwater vulnerability**. In: ____ J. Vrba & A. Zaporozec (ed.) *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. IAH, Hannover, *International Contributions to Hydrogeology*.