



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA

LUIZ RAFAEL PEREIRA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE A CONTAMINAÇÃO
DAS ÁGUAS SUBTERRANÊAS DO MUNICÍPIO DE
JACOBINA-BA

Salvador

2019

LUIZ RAFAEL PEREIRA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE A CONTAMINAÇÃO
DAS ÁGUAS SUBTERRANÊAS DO MUNICÍPIO DE
JACOBINA-BA**

Monografia apresentada ao curso de Geologia,
Instituto de Geociências, Universidade Federal
da Bahia, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Heitor Caires Tinoco
Bisneto Melo

Salvador

2019

TERMO DE APROVAÇÃO
LUIZ RAFAEL PEREIRA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE A CONTAMINAÇÃO
DAS ÁGUAS SUBTERRANÊAS DO MUNICÍPIO DE
JACOBINA-BA**

Trabalho final de graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinada:

1º Examinador – Prof. Dr. Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo
Universidade Federal da Bahia

2º Examinador – Prof (a). Dr (a). Maria da Conceição Rabelo Gomes
Universidade Federal da Bahia

3º Examinador – Geól. João Luiz Mata de Souza.
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Salvador, 8 de novembro de 2019

*Aos meus pais, com muito carinho
por toda a dedicação e apoio*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus pelo dom da vida e a minha família que sempre me apoiou durante toda a minha vida, em especial a meus pais, minha mãe Cristina e meu pai Claudio e minha avó Maria de Lourdes que sempre me incentivaram nos estudos além de toda dedicação, apoio e atenção diante de toda e quaisquer situação.

Agradecer a todos os meus professores, desde os do ensino fundamental até universitário, que contribuíram e continuam a contribuir de alguma forma na minha formação como aluno e pessoa.

Um agradecimento especial ao meu orientador prof. Dr. Danilo Melo por todo apoio e compreensão durante toda a jornada que enfrentamos até a conclusão deste trabalho de graduação, ao prof. Dr. Reinaldo Brito por todos os ensinamos passados, apoio e incentivo durante minha jornada universitária além da confiança demonstrada na minha capacidade em várias situações e aos prof. Dr. Cristovaldo Bispo e prof. Dr. Ângela Leal por todo apoio e atenção demonstrados até agora.

Agradecer a todos os meus amigos e colegas universitários por todas as experiências que vivemos no período da faculdade, por toda convivência e apoio demonstradas em sala de aula e nos vários dias de campo que nos foram proporcionados.

E um agradecimento mais que especial a todos os meus amigos que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e me tornaram o homem que eu sou hoje, todo o apoio e incentivo de vocês foram muito importantes.

RESUMO

O presente estudo é referente à avaliação da vulnerabilidade a contaminação intrínseca das águas subterrâneas do município de Jacobina localizado na região centro-norte do estado da Bahia. A vulnerabilidade à contaminação foi avaliada através do método GOD para o qual foram analisados dados geológicos e hidrogeológicos de 176 poços tubulares obtidos junto ao banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, que permitiu identificar as classes: baixa (2,83%), média (75,73%), alta (18,92%) e extrema (2,52%); e pelo método EPPNA através da análise de dados geológicos da área obtidos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), sendo verificadas as classes: baixa (12,36%), baixa a variável (42,16%), média (20,24%) e alta (25,24%). Os resultados auferidos, embora contextuais, demonstram que os principais aquíferos existentes na região estão associados a rochas fissurais com índices moderados de vulnerabilidade a contaminação seguido por aquíferos em rochas carbonáticas com altos índices. Dessa forma, fica evidente que existem áreas que requerem atenção e necessitam de planejamento estratégico, sobretudo preventivos, no que diz respeito ao manejo e conservação dos recursos hídricos locais principalmente naquelas áreas com os maiores índices de vulnerabilidade a contaminação e com atividades antrópicas que possuem alto potencial contaminante, como as ligadas a indústria, mineração e o saneamento básico e ambiental da população. Em vista disso, este estudo representa um passo importante para a caracterização e avaliação dos riscos e perigos que envolvem os recursos hídricos subterrâneos do município de Jacobina frente às novas imposições de demanda de usos destes recursos naturais, sendo possível utilizar os mapas de vulnerabilidade a contaminação gerados até aqui como ferramenta para o planejamento territorial do município e como base para futuros novos trabalhos.

Palavras-chave: GOD. EPPNA. Rochas carbonáticas. Rochas fissurais. Planejamento territorial.

ABSTRACT

The present study is concerning the evaluation of the vulnerability to intrinsic groundwater contamination of the municipality of Jacobina located in the north central region of the state of Bahia. The vulnerability to contamination was evaluated using the GOD method, which analyzed geological and hydrogeological data from 176 tubular wells obtained from the Groundwater Information System database, which allowed to identify the classes: low (2.83%), medium (75.73%), high (18.92%) and extreme (2.52%); and by the EPPNA method through the analysis of geological data from the area obtained from the Geological Survey of Brazil (CPRM), being verified the classes: low (12.36%), low to variable (42.16%), medium (20.24%) and high (25.24%). The results achieved, although contextual, show that the main aquifers in the region are associated with fissure rocks with moderate levels of vulnerability to contamination followed by aquifers in carbonate rocks with high levels. In this way, it is evident that there are areas that require attention and need strategic planning, especially preventive, regarding the management and conservation of local water resources mainly in those areas with the highest contamination vulnerability rates and with anthropogenic activities that have high contaminant potential, such as those related to industry, mining and the basic and environmental sanitation of the population. In view of this, this study represents an important step for the characterization and evaluation of the risks and dangers that involve the underground water resources of the municipality of Jacobina in view of the new demands on the use of these natural resources, being possible to use the contamination vulnerability maps generated so far as tool for the territorial planning of the municipality and as a basis for future new works.

Keywords: GOD. EPPNA. Carbonate rocks. Fissure rocks. Territorial planning.

ACRÓNIMOS

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

AVI – Índice de Vulnerabilidade do Aquífero

APP – Área de Proteção Permanente

CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DRASTIC – Método de Avaliação de Vulnerabilidade (*Depth to the water table; Net recharge; Aquifer material; Soil type; Topography; Impact of the unsaturated zone; Hydraulic Conductivity*)

EKv – Método de Avaliação de Vulnerabilidade (Espessura da zona não saturada, Condutividade vertical)

EPIK – Método de Avaliação da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas em Aquíferos cársticos (*Epikarst, Protective cover, Infiltration conditions, Karst network development*)

EPPNA – Método de Avaliação de Vulnerabilidade da Equipe de Projeto do Plano Nacional da Água

ESRI – Environmental Systems Research Institute

GOD – Método de Avaliação de Vulnerabilidade (*Groundwater, Overal, Depth*)

IDW – Método de Interpolação pelo Inverso do Quadrado das Distancias (*Inverse Distance Weighted*)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IS – Índice de Suscetibilidade

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

SINTACS – Metodo de Avaliacao de Vulnerabilidade (*Soggiacenza; Infiltrazione; Non saturo; Tipologia della copertura; Acquifero; Conducibilità; Superfície topográfica*)

VULFRAC – Método de Avaliação da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas em Aquíferos Fraturados

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de localização do município de Jacobina. Fonte: modificado, IBGE (2018).	16
Figura 2.1: Mapa de domínios hidrogeológicos do município de Jacobina. Fonte: modificado, CPRM (2018).	23
Figura 1: Mapa de localização do município de Jacobina. Fonte: modificado, IBGE (2018).	29
Figura 2: Mapa geológico do município de Jacobina. Fonte: modificado, Dalton de Souza, CPRM (2003).	31
Figura 3: Mapa hidroestratigráfico do município de Jacobina. Fonte: modificado, CPRM (2018).	37
Figura 4: Sistema GOD de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação. Fonte: modificado, Foster <i>et al.</i> , (2006).	39
Figura 5: Mapa de localização dos poços de captação de águas subterrâneas utilizados para a avaliação da vulnerabilidade a contaminação para o município de Jacobina-BA. Fonte: modificado, IBGE / SIAGAS (2019).	41
Figura 6: Exemplo de perfil construtivo e dados litológicos e construtivos de poço de captação de água no município de Jacobina. Ponto 2900002163 localizado no distrito de Caatinga do Moura na parte noroeste do município de Jacobina. Coordenadas UTM: 307322 mE / 8786124 mN. Fonte: SIAGAS/CPRM (2019).	42
Figura 7: Mapas com os parâmetros do método GOD para o município de Jacobina-BA. Parâmetro G – Grau de confinamento do aquífero; Parâmetro O – Ocorrência de estratos de cobertura; Parâmetro D – Distancia até o lençol freático. Fonte: modificado, CPRM (2018).	45
Figura 8: Mapa GOD de vulnerabilidade a contaminação para o município de Jacobina-BA. Fonte: modificado, CPRM (2018).	46
Figura 9: Mapa EPPNA de vulnerabilidade a contaminação para o município de Jacobina-BA. Fonte: modificado, CPRM (2018).	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de vulnerabilidade segundo critérios litológicos (EPPNA, 1998).....	40
---	----

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1: Rio Itapicuru-mirim com fluxo de águas percorrendo o centro da cidade de Jacobina-BA. Coord UTM: 334374 mE / 8763324 mN.....35

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
CAPÍTULO 2	19
CAPÍTULO 3	24
1 INTRODUÇÃO.....	25
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 GOD.....	38
3.2 EPPNA.....	39
3.3 Coleta de dados	40
3.4 Ambiente SIG.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1 Para o método GOD	43
4.2 Para o método EPPNA.....	47
4.3 Análise comparativa entre os métodos	49
5 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
CAPÍTULO 4	55
ANEXO A	60

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

As águas subterrâneas constituem um recurso essencial para a manutenção e segurança hídrica global, sendo assim extremamente importante para o desenvolvimento de todas as atividades humanas. Possuem cerca de 97% de toda água doce disponível no planeta e basicamente estão concentradas nos poros, falhas e fraturas das rochas e em cavernas subterrâneas. Sua demanda cada vez mais crescente, principalmente nos grandes centros urbanos e polos industriais, em complemento ou até em substituição a utilização das águas superficiais é algo cada vez mais comum devido a, geralmente, possuírem boa qualidade por estarem protegidas naturalmente (ANA, 2010), sua grande disponibilidade, e até mesmo aos custos que envolvem sua exploração, sendo por vezes mais barato explorar os recursos subterrâneos do que realizar o tratamento das águas superficiais. Por isso uma gestão eficaz desses recursos hídricos é importante assim como o monitoramento da presença de determinados elementos químicos. Todos esses elementos acabam refletindo na questão da vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas.

A vulnerabilidade a contaminação pode ser de três tipos: natural, intrínseca e específica. A natural se refere a fatores relacionados ao próprio meio ou ambiente em que o aquífero está contido e podem vir a contaminá-lo como, por exemplo, a alta carga de sais que podem estar presentes no solo. Já a intrínseca é representada pelas características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas do entorno do aquífero que ainda segundo Leitão *et al.*, (2003), neste caso, está associada com a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga

poluente. E por fim a específica que considera um contaminante ou grupo de contaminante particular, juntamente com suas propriedades e as suas relações com os componentes de vulnerabilidade intrínseca.

Para Auge (2004), a vulnerabilidade intrínseca é mais útil no planejamento do uso da terra e água, especialmente em relação à preservação da qualidade dos recursos, o que melhor condiz com o estudo aqui proposto.

O município de Jacobina nos últimos anos vem apresentando um forte adensamento populacional acompanhado também por um grande aumento da atividade industrial o que acaba trazendo a tona problemas relacionados ao esgotamento sanitário, já que é comum o despejo de esgoto sem tratamento nos rios, o descarte de resíduos sólidos com a ocorrência de vários lixões na região que contaminam o solo e por conseqüente podem atingir os aquíferos e ao manejo das águas, principalmente para o abastecimento da população, já que esta é derivada preponderantemente de fontes subterrâneas e fluviais. Além disso, há registros que em algumas localidades do município, como a Vila de Itaitu, distrito de Jacobina, a captação da água é feita por meio das nascentes localizadas no topo das serras (áreas de proteção permanente – APP) o que é um grande problema, pois pode trazer graves conseqüências ao equilíbrio hídrico da região a longo prazo já que acaba comprometendo o ciclo hidrológico refletindo diretamente no escoamento e armazenamento da água, na evaporação e na recarga dos sistemas aquíferos, por conseguinte aumentando a vulnerabilidade a contaminação na área por agentes internos e externos.

Quanto à localização o município de Jacobina está situado na região leste do Brasil, na porção centro-norte do estado do Bahia, com sede municipal a 330 km de Salvador, a capital do estado (Figura 1.1). Localiza-se na latitude 11°10'50" sul e

longitude 40°31'06" oeste estando inserida nas folhas cartográficas de Mirangaba (SC.24-Y-A-VI), Jacobina (SC.24-Y-C-III), e Caldeirão Grande (SC.24-Y-D-I), além disso, a região possui uma cota altimétrica que varia de 434 metros em seu ponto mais baixo e pode alcançar até 1.300 metros no cume, este último devido à presença da Serra de Jacobina. Possui clima semiárido, média de temperaturas de 25 °C e pluviosidade média anual abaixo de 700 mm, inserindo-se no chamado “Polígono das Secas” (IBGE, 2018).

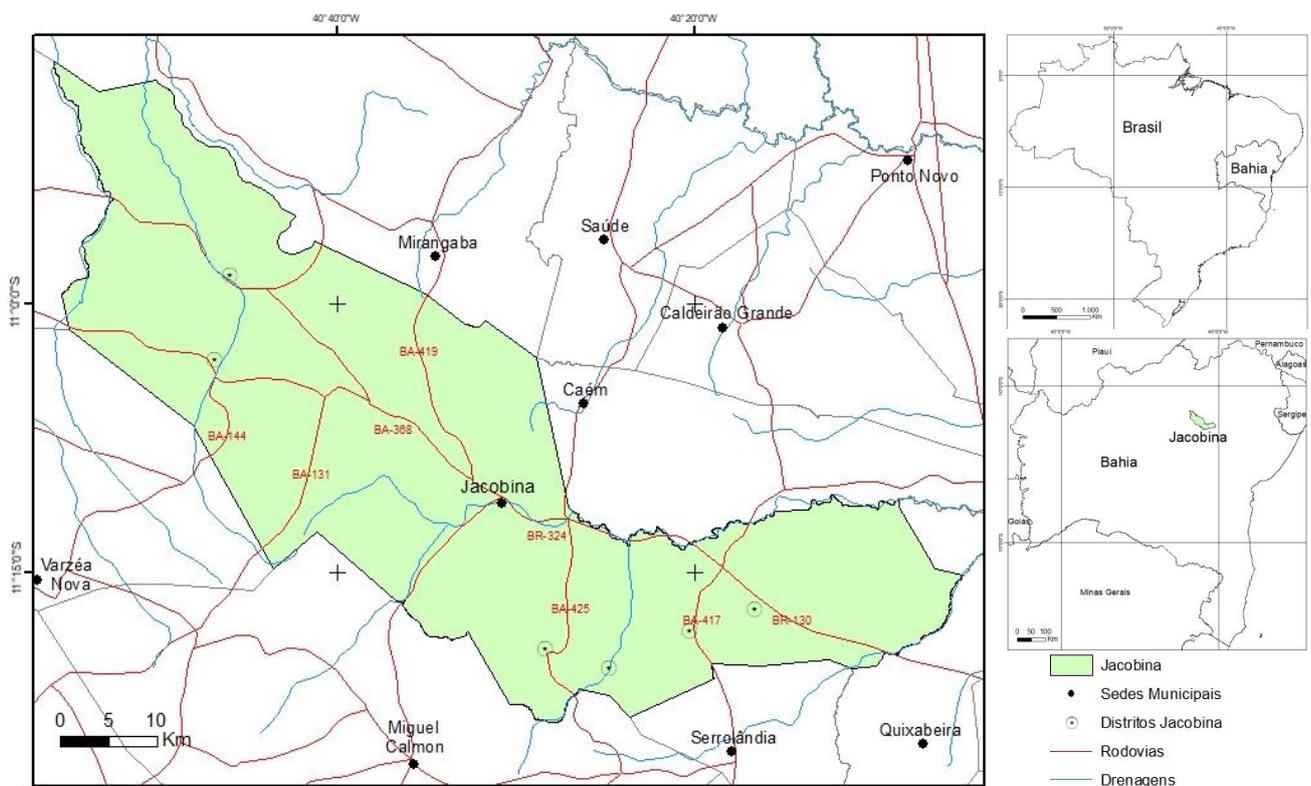


Figura 1.1: Mapa de localização do município de Jacobina. Fonte: modificado, IBGE (2018).

A população do município é estimada em 80.394 habitantes (IBGE, 2018) para uma área total de 2.192,903 km² (IBGE, 2018), com densidade populacional de 36,72 hab./ km². Os seus municípios limítrofes são Capim Grosso a leste, Caém, Saúde e Mirangaba a norte, Orolândia e Várzea Nova a oeste e Miguel Calmon, Serrolândia e Quixabeira a sul.

O acesso à área é feito através de vias rodoviárias federais e estaduais integrando as diversas localidades existentes na região, partindo de Salvador o acesso se dá a partir da BR-324 até a cidade de Feira de Santana, posteriormente adota-se a BR116 por 20 km e então novamente a BR 324 até o município de Jacobina.

O objetivo deste trabalho é analisar a vulnerabilidade a contaminação intrínseca das águas subterrâneas do município de Jacobina/BA, que estão essencialmente sob a forma de aquíferos, por meio de uma análise qualitativa e comparativa utilizando os métodos GOD e EPPNA para avaliação. Com isso é possível analisar a frequência de variações das taxas de vulnerabilidade e identificar as áreas mais suscetíveis a contaminação, apontar áreas que já estejam contaminadas atrelada a outros dados presentes, definir abordagens e desenvolver projetos para o correto manejo das águas e fazer um comparativo e associação dos resultados de vulnerabilidade obtidos nessa área com outras localidades.

O município de Jacobina faz parte da Bacia do Rio Itapicuru, uma área com considerável extensão geográfica e diversidades fisiográficas, com alta relevância no cenário econômico da região. Por isso este estudo se torna necessário para elucidar as necessidades da área no que se refere a gestão dos recursos hídricos, conciliando e auxiliando na correta exploração desses recursos por meio da empresa que é responsável pelo sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário da população (Embasa) e também devido à crescente demanda do setor industrial na área, com destaque para a mineração (exploração de ouro) que utiliza quantidades significativas de água para sua viabilidade, desde a concepção do projeto até o desenvolvimento das atividades minerárias, perpassando por todos os processos de operação, tratamento e beneficiamento do minério, bem como as

etapas de fechamento e recuperação da zona afetada pela exploração. Outro ponto de importância se refere a questão ambiental, por esta se tratar de uma área que possui muitas nascentes e rios, e que apresenta um grande apelo ao ecoturismo pela presença de muitas paisagens exuberantes que incluem muitas serras e cachoeiras.

Por fim, o meio científico escolhido para publicação desse artigo foi a revista *Águas Subterrâneas* que é uma publicação da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) para divulgação de artigos científicos sobre temas relacionados a hidrogeologia e outros assuntos pertinentes.

CAPÍTULO 2

ESTADO DA ARTE

Abordagens diversas no meio científico já foram apresentadas para a análise da vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas com base nos mais variados métodos criados recentemente ou já existentes. A escolha e utilização de cada método é feita principalmente a partir das características específicas de cada área e os parâmetros disponíveis para sua aplicação.

Idealizado por Foster e Hirata (1988), o método GOD além de ser confiável possui uma fácil aplicabilidade, por ter plena sintonia com os dados disponíveis, e ainda segundo Foster *et al.*, (2006) é um sistema de avaliação adaptado as condições brasileiras e caribenhas, bastando minimamente o conhecimento de três parâmetros referentes ao aquífero. Cutrim e Campos (2010) ainda destacam que além do bom desempenho e da maior facilidade de obtenção das informações, o GOD possui menor custo para ser aplicado.

Uma abordagem diferente é apresentada por Aller *et al.*, (1987), com o sistema DRASTIC de avaliação da vulnerabilidade a contaminação, método desenvolvido baseado em sete parâmetros, o que traz uma grande confiabilidade aos índices finais de vulnerabilidade alcançados, sendo por isso amplamente aplicado no meio acadêmico por autores e cientistas. Aller *et al.*, (1987) também cita que justamente por causa do elevado número de parâmetros, por vezes o DRASTIC não é recomendável a ser utilizado em determinadas áreas devido à falta ou dificuldade de obter informações essenciais para aplicação do método, o que pode acabar gerando um dado de vulnerabilidade não condizente com a realidade.

Já o EPPNA é uma metodologia de análise a vulnerabilidade a poluição desenvolvida pela Equipe de Projeto do Plano Nacional da Água (1998) para a elaboração do documento “Informação Cartográfica dos Planos de Bacia. Sistematização das Figuras e Cartas a Imprimir em Papel”. Seu principal critério de análise é a litologia dos aquíferos ou das formas hidrogeológicas e apresenta como vantagem a possibilidade de integrar e incorporar o conhecimento de inúmeras variáveis hidrogeológicas e do comportamento das principais formações, para produzir classes de vulnerabilidade correspondentes a um determinado nível de risco (Ribeiro, 2001).

Existe vários outros métodos como o AVI (Van Stempvoort *et al.*, 1993), SINTACS (Civita, 1990), IS (Francés *et al.*, 2001), EKv (Auge, 2004), EPIK (Doerfliger e Zwahlen, 1997), VULFRAC (Fernandes, 2003), Poluição dos Lençóis Aquíferos (Taltasse, 1972), Groundwater Vulnerability Map for Nitrate (Carter, 1987), Landfill Site Ranking (Le Grand, 1983) além de muitos outros e até mesmo variantes do GOD e DRASTIC. Devido cada um apresentar parâmetros específicos e sendo que somente em alguns casos esses parâmetros são coincidentes, se torna muito difícil fazer uma comparação entre os métodos, por isso é preciso uma avaliação das necessidades e dos dados disponíveis em cada área para aplicação do método que melhor esteja de acordo com o que é proposto.

Porém, estudos bibliográficos mostram que, de maneira geral, devido sua simplicidade de conceitos e implementação atrelada aos bons resultados, utilizando por vezes somente dados básicos de estudos hidrogeológicos, o método GOD desenvolvido por Foster e Hirata (1988) por muitas vezes se torna a melhor opção para os estudos de vulnerabilidade e por isso é amplamente utilizado. Em termos comparativos, o DRASTIC, por exemplo, que também é um método bastante

utilizado e que tem a capacidade de gerar resultados até mais detalhados está sujeito a apresentar mais limitações quanto a falta da disponibilidade e dificuldade de obtenção de dados, o que compromete sua aplicação.

No que se refere a área específica de estudo, o município de Jacobina, muitos dos trabalhos existentes tem enfoque no contexto geológico da região, em quando e como ocorreu a formação das suas principais feições geológicas, estruturais e estratigráficas, assim como a geoquímica. Almeida (1977) descreve o Cráton do São Francisco e o Ciclo Brasileiro e Barbosa e Sabaté (2003) o embasamento da porção Norte do Cráton, na qual a área está inserida, ressaltando sua estruturação, idades e composições.

Ainda no contexto geológico, abrangendo também a parte hidrogeológica e pedológica, está acessível no ambiente acadêmico uma série de dados disponibilizados principalmente pela CPRM, CBPM referentes a área por meio de mapas e arquivos abertos. Outra fonte de informação se dá a partir de dissertações e estudos científicos de graduandos, pós-graduandos e doutorandos que integram o corpo discente e docente dos institutos e departamentos de geociências de universidades principalmente da Bahia, Minas Gerais e São Paulo.

Já para o tema proposto, vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas do município de Jacobina, a quantidade de informações no âmbito acadêmico é escassa. A única fonte material com alguma informação relevante foi encontrada no Projeto de Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea para o município de Jacobina desenvolvido pela CPRM em Outubro de 2005.

Este trabalho faz um panorama geral sobre a área, abrangendo também a questão das águas subterrâneas, demonstrando a ocorrência dos domínios hidrogeológicos do município de Jacobina, assim como a quantidade e os tipos de poços que ocorrem na área, estes dois últimos aspectos mesmo que desatualizados (outubro de 2005) são importantes para a compreensão do que ocorre na área como um todo e da evolução da quantidade de novos poços explorados ao longo do tempo.

Além disso, também há uma análise referente aos aspectos qualitativos e diagnósticos dos poços cadastrados, que demonstram resultados sobre o tipo e a qualidade da água (doce, salobra, salgada), sua distribuição ao longo de toda área, a situação dos poços (abandonado, paralisado, não instalado e em operação) e o uso da água, para qual a mesma é destinado.

A seguir mapa de hidrogeologia (figura 2.1) demonstrando os principais domínios presentes no município de Jacobina que dão um panorama geral sobre as características hidrogeológicas da área e serão úteis para classificar sua vulnerabilidade a contaminação.

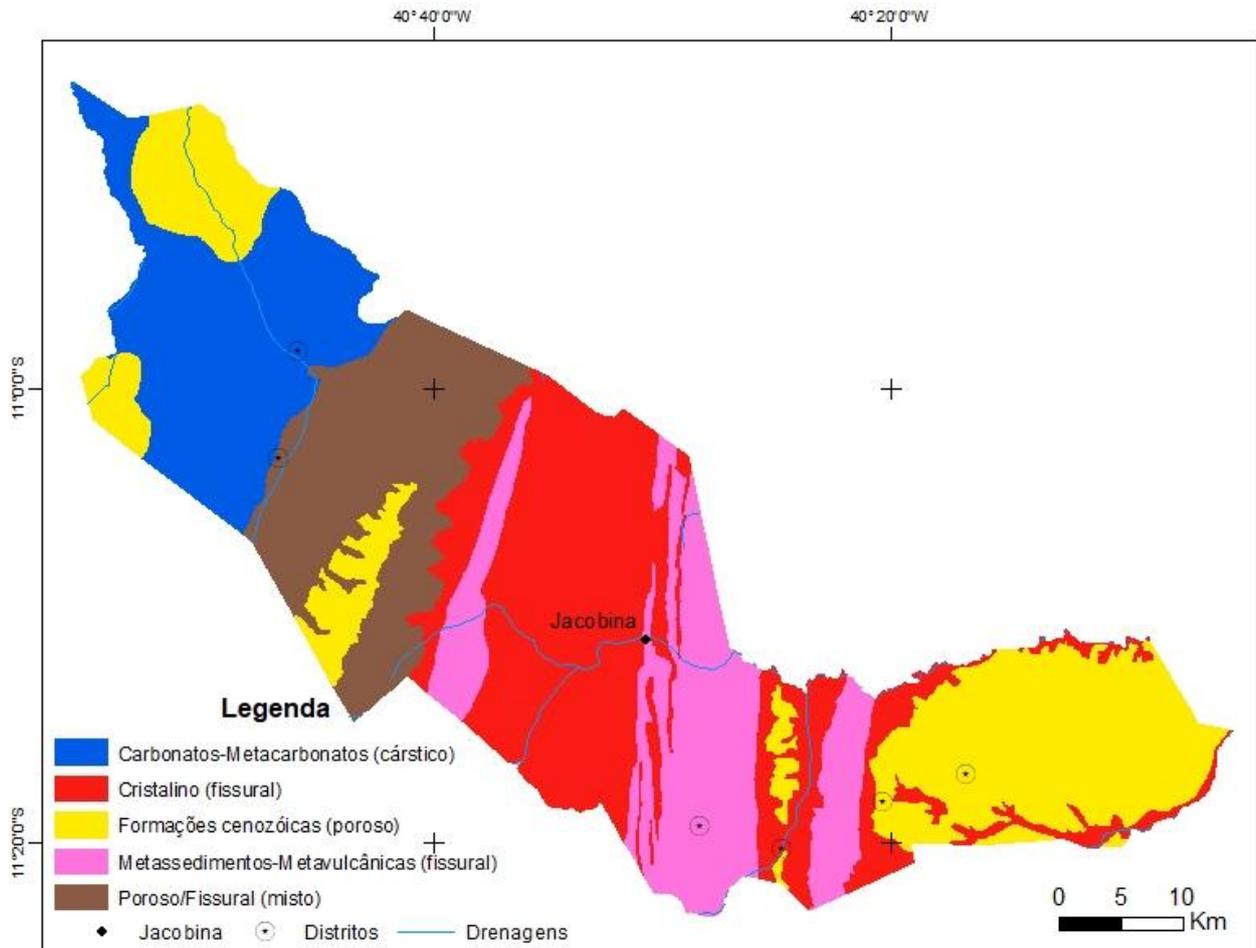


Figura 2.1: Mapa de domínios hidrogeológicos do município de Jacobina. Fonte: modificado, CPRM (2018).

CAPÍTULO 3

ARTIGO

Avaliação da vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas do município de Jacobina-BA

Evaluation of the vulnerability to groundwater contamination of the municipality of Jacobina-BA

Resumo

O presente estudo é referente à avaliação da vulnerabilidade a contaminação intrínseca das águas subterrâneas do município de Jacobina localizado na região centro-norte do estado da Bahia. A vulnerabilidade à contaminação foi avaliada através do método GOD para o qual foram analisados dados geológicos e hidrogeológicos de 176 poços tubulares obtidos junto ao banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, que permitiu identificar as classes: baixa (2,83%), média (75,73%), alta (18,92%) e extrema (2,52%); e pelo método EPPNA através da análise de dados geológicos da área obtidos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), sendo verificadas as classes: baixa (12,36%), baixa a variável (42,16%), média (20,24%) e alta (25,24%). Os resultados auferidos, embora contextuais, demonstram que os principais aquíferos existentes na região estão associados a rochas fissurais com índices moderados de vulnerabilidade a contaminação seguido por aquíferos em rochas carbonáticas com altos índices. Dessa forma, fica evidente que existem áreas que requerem atenção e necessitam de planejamento estratégico, sobretudo preventivos, no que diz respeito ao manejo e conservação dos recursos hídricos locais principalmente naquelas áreas com os maiores índices de vulnerabilidade a contaminação e com atividades antrópicas que possuem alto potencial contaminante, como as ligadas a indústria, mineração e o saneamento básico e ambiental da população. Em vista disso, este estudo representa um passo importante para a caracterização e avaliação dos riscos e perigos que envolvem os recursos hídricos subterrâneos do município de Jacobina frente às novas imposições de demanda de usos destes recursos naturais, sendo possível utilizar os mapas de vulnerabilidade a contaminação gerados até aqui como ferramenta para o planejamento territorial do município e como base para futuros novos trabalhos.

Palavras-chave: GOD. EPPNA. Rochas carbonáticas. Rochas fissurais. Planejamento territorial.

Abstract

The present study is concerning the evaluation of the vulnerability to intrinsic groundwater contamination of the municipality of Jacobina located in the north central region of the state of Bahia. The vulnerability to contamination was evaluated using the GOD method, which analyzed geological and hydrogeological data from 176 tubular wells obtained from the Groundwater Information System database, which allowed to identify the classes: low (2.83%), medium (75.73%), high (18.92%) and extreme (2.52%); and by the EPPNA method through the analysis of geological data from the area obtained from the Geological Survey of Brazil (CPRM), being verified the classes: low (12.36%), low to variable (42.16%), medium (20.24%) and high (25.24%). The results achieved, although contextual, show that the main aquifers in the region are associated with fissure rocks with moderate levels of vulnerability to contamination followed by aquifers in carbonate rocks with high levels. In this way, it is evident that there are areas that require attention and need strategic planning, especially preventive, regarding the management and conservation of local water resources mainly in those areas with the highest contamination vulnerability rates and with anthropogenic activities that have high contaminant potential, such as those related to industry, mining and the basic and environmental sanitation of the population. In view of this, this study represents an important step for the characterization and evaluation of the risks and dangers that involve the underground water resources of the municipality of Jacobina in view of the new demands on the use of these natural resources, being possible to use the contamination vulnerability maps generated so far as tool for the territorial planning of the municipality and as a basis for future new works.

Keywords: GOD. EPPNA. Carbonate rocks. Fissure rocks. Territorial planning.

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas constituem um recurso essencial para a manutenção e segurança hídrica global, sendo assim extremamente importante para o desenvolvimento de todas as atividades humanas. Possuem cerca de 97% de toda água doce disponível no planeta e basicamente estão concentradas nos poros, falhas e fraturas das rochas e em cavernas subterrâneas. Sua demanda cada vez mais crescente, principalmente nos grandes centros urbanos e polos industriais, em complemento ou até em substituição a utilização das águas superficiais é algo cada vez mais comum devido a, geralmente, possuírem boa qualidade por estarem

protegidas naturalmente (ANA, 2010), sua grande disponibilidade, e até mesmo aos custos que envolvem sua exploração, sendo por vezes mais barato explorar os recursos subterrâneos do que realizar o tratamento das águas superficiais. Por isso uma gestão eficaz desses recursos hídricos é importante assim como o monitoramento da presença de determinados elementos químicos. Todos esses elementos acabam refletindo na questão da vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas.

A vulnerabilidade a contaminação pode ser de três tipos: natural, intrínseca e específica. A natural se refere a fatores relacionados ao próprio meio ou ambiente em que o aquífero está contido e podem vir a contamina-lo como, por exemplo, a alta carga de sais que podem estar presentes no solo. Já a intrínseca é representada pelas características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas do entorno do aquífero que ainda segundo Leitão *et al.*, (2003), neste caso, está associada com a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente. E por fim a específica que considera um contaminante ou grupo de contaminante particular, juntamente com suas propriedades e as suas relações com os componentes de vulnerabilidade intrínseca.

Para Auge (2004), a vulnerabilidade intrínseca é mais útil no planejamento do uso da terra e água, especialmente em relação à preservação da qualidade dos recursos, o que melhor condiz com a estudo aqui proposto.

O município de Jacobina nos últimos anos vem apresentado um forte adensamento populacional acompanhado também por um grande aumento da atividade industrial o que acaba trazendo a tona problemas relacionados ao esgotamento sanitário, já que é comum o despejo de esgoto sem tratamento nos rios, o descarte de resíduos sólidos com a ocorrência de vários lixões na região que

contaminam o solo e por conseqüente podem atingir os aquíferos e ao manejo das águas, principalmente para o abastecimento da população, já que esta é derivada preponderantemente de fontes subterrâneas e fluviais. Além disso há registros que em algumas localidades do município, como a Vila de Itaitu, distrito de Jacobina, a captação da água é feita por meio das nascentes localizadas no topo das serras (áreas de proteção permanente – APP) o que é um grande problema pois pode trazer graves conseqüências ao equilíbrio hídrico da região a longo prazo já que acaba comprometendo o ciclo hidrológico refletindo diretamente no escoamento e armazenamento da água, na evaporação e na recarga dos sistemas aquíferos, por conseguinte aumentando a vulnerabilidade a contaminação na área por agentes internos e externos.

O objetivo deste trabalho é analisar a vulnerabilidade a contaminação intrínseca das águas subterrâneas do município de Jacobina/BA, que estão essencialmente sob a forma de aquíferos, por meio de uma análise qualitativa e comparativa utilizando os métodos GOD e EPPNA para avaliação. Com isso é possível analisar a frequência de variações das taxas de vulnerabilidade e identificar as áreas mais suscetíveis a contaminação, apontar áreas que já estejam contaminadas atrelada a outros dados presentes, definir abordagens e desenvolver projetos para o correto manejo das águas e fazer um comparativo e associação dos resultados de vulnerabilidade obtidos nessa área com outras localidades.

Quanto a escolha dos métodos, o GOD é utilizado por sua fácil aplicabilidade, com apenas três variáveis que podem ser obtidas utilizando somente dados básicos de estudos hidrogeológicos, além dos bons resultados geralmente alcançados, o este método segundo Foster *et al.*, (2006) é um sistema de avaliação adaptado às condições brasileiras, podendo ser usado em locais onde os dados hidrogeológicos

são escassos ou de difícil acesso, atrelado a um baixo investimento/custo assim como demonstrado nos artigos “Vulnerabilidade natural e perigo à contaminação de zona de recarga do aquífero Guarani” por Meira *et al.*, (2014) e “Vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos no município de Piracicaba, através do método GOD” por Garcia *et al.*, (2018).

Já o EPPNA por utilizar somente um parâmetro, se torna ideal para áreas que possuem poucas informações, como é o caso do município de Jacobina que possui poucos dados referentes aos aspectos hidrogeológicos. Apesar da simplicidade, este método é capaz de integrar o conhecimento de inúmeras variáveis hidrogeológicas e do comportamento das principais formações para gerar classes de vulnerabilidade correspondentes a um determinado nível de risco. Tal método é utilizado em estudo como a “Avaliação da vulnerabilidade do sistema aquífero dos gabros de Beja e análise crítica das redes de monitorização no contexto da directiva quadro da água” por Paralta *et al.*, (2015).

O município de Jacobina faz parte da Bacia do Rio Itapicuru, uma área com considerável extensão geográfica e diversidades fisiográficas, com alta relevância no cenário econômico da região. Por isso este estudo se torna necessário para elucidar as necessidades da área no que se refere a gestão dos recursos hídricos, conciliando e auxiliando na correta exploração desses recursos por meio da empresa que é responsável pelo sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário da população (Embasa) e também devido à crescente demanda do setor industrial na área, com destaque para a mineração (exploração de ouro) que utiliza quantidades exorbitantes de água para sua viabilidade, desde a concepção do projeto até o desenvolvimento das atividades minerárias, perpassando por todos os processos de operação, tratamento e beneficiamento do minério, bem como as

etapas de fechamento e recuperação da zona afetada pela exploração. Outro ponto de importância se refere a questão ambiental, por esta se tratar de uma área que possui muitas nascentes e rios, e que apresenta um grande apelo ao ecoturismo pela presença de muitas paisagens exuberantes que incluem muitas serras e cachoeiras.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Jacobina está situado na região leste do Brasil, na porção centro-norte do estado do Bahia, com sede municipal a 330 km de Salvador, a capital do estado. O acesso à área é feito através de vias rodoviárias federais e estaduais integrando as diversas localidades existentes na região (Figura 1). A população do município é estimada em 80.518 habitantes (IBGE, 2019) para uma área total de 2.192,903 km² (IBGE, 2018), com densidade populacional de 36,72 hab./ km².

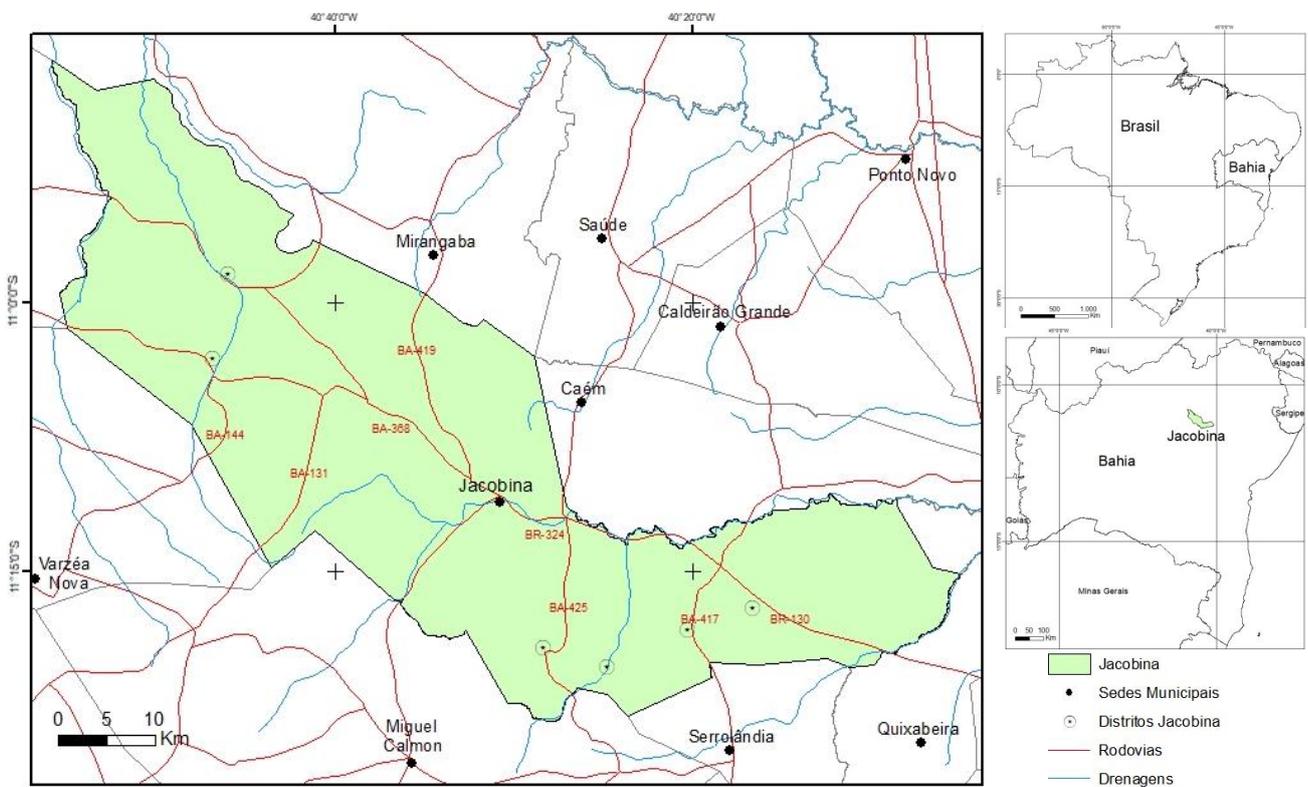


Figura 1: Mapa de localização do município de Jacobina. Fonte: modificado, IBGE (2018).

A região possui uma cota altimétrica que varia de 434 metros em seu ponto mais baixo e pode alcançar até 1.300 metros no cume, este último devido à presença da Serra de Jacobina. Possui clima semiárido, média de temperaturas de 25.0 °C e pluviosidade média anual abaixo de 700 mm, inserindo-se no chamado “Polígono das Secas” (IBGE, 2018).

No que se refere ao contexto geológico (figura 2), o município de Jacobina apresenta unidades que compreendem os períodos Arqueano, representado pelo greenstone belt de Mundo Novo que é delimitado a oeste pelo Grupo Jacobina ao longo da falha transcorrente sinistral-transpressional de Pindobaçu, englobando metabasaltos, metadacitos, rochas calcissilicatadas, anfibólio, formações ferríferas bandadas, xistos e quartzitos e o Complexo Mairi correspondente a porção central da área, formado principalmente por ortognaisse migmatítico, tonalítico-trondhjemitico-granodiorítico, com enclaves máfico e ultramáfico, todos correspondentes ao Arqueano.

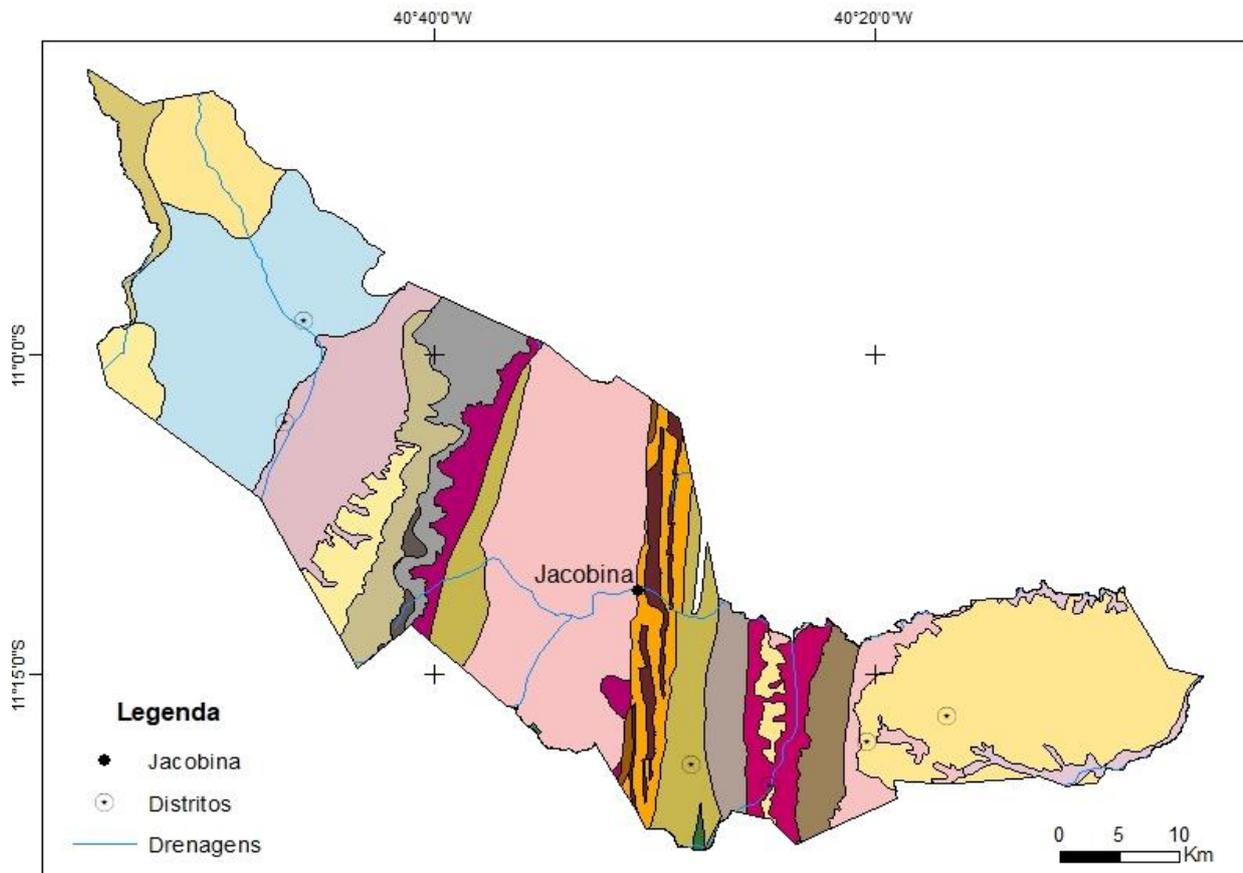


Figura 2: Mapa geológico do município de Jacobina. Fonte: modificado, Dalton de Souza, CPRM (2003).

Já o Grupo Jacobina é um pacote metassedimentar com orientação N-S, de mergulho para Leste, de idade Paleoproterozóica (Couto *et al.*, 1978) presente na porção central do município, possui as formações Rio do Ouro contendo quartzitos puros e recristalizados e a formação Serra do Córrego que hospeda mineralizações de ouro, composta por ortoquartzitos e metaconglomerados oligomíticos. Ainda no Paleoproterozóico estão presentes os granitoides tardi a pós-tectônicos compondo faixas também orientadas no sentido norte-sul e ocupando a porção central do município. Compreendem os granitóides da região de Jacobina e Campo Formoso (leucogranitos e biotita granitos, calcialcalinos) e granitos sintectônicos da Lagoa D'anta e Miguel Calmon (sienogranito, monzogranito, granodiorito). Se encerra esse contexto com o Complexo Saúde que por sua vez foi redefinido por Melo (1993) como uma associação vulcânica-sedimentar que compreende rochas calcissilicatadas, quartzitos, rochas máficas-ultramáficas, gnaisses peraluminosos, xistos micáceos e aluminosos e formação ferrífera bandadas.

No Mesoproterozóico ocorre o grupo Chapada Diamantina, que está na porção central-oeste do município em faixas orientadas de norte a sul, constituído pela formação Caboclo com ocorrências de siltito e arenitos rítmicos quartzareníticos e pela formação Tombador composta por arenitos e arenitos conglomeráticos e pelitos (unidade superior), recobrimdo quartzarenito eólico com intercalações de arenito e arenito conglomerático, mal selecionados.

Também estão presentes rochas do período Neoproterozoico, na porção oriental de Jacobina, com as formações Salitre, unidade São Gabriel, constituída por calcilito e calciarenito, com níveis subordinados de dolomito, arenito e pelito e Formação Bebedouro com diamictitos e novamente pelito e arenito.

Por fim ocorrem as coberturas superficiais do período Cenozoico com coberturas residuais, coberturas dentrito-lateríticas e a Formação Caatinga composta por brecha calcífera e calcrete, todas com ocorrência na porção extrema oriental do município de Jacobina.

Quanto aos aspectos hidrogeológicos, a área de estudo está inserida em cinco domínios hidrogeológicos, sendo eles: cristalino, poroso/fissural, metassedimento-metavulcanicas, formações cenozoicas e carbonatos-metacarbonatos.

O domínio cristalino corresponde aos aquíferos fissurais, abrangendo 28,39% do território de Jacobina com ocorrência na parte central e leste do município onde quase não existe porosidade primária e a presença de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas, falhas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão.

O domínio dos carbonatos/metacarbonatos está restrito a parte oeste abrangendo a Formação Salitre com a Unidade Gabriel e a Formação Caatinga, com ocorrência em 16,43% da área de estudo. Esse sistema aquífero é do tipo cárstico e possui porosidade e permeabilidade secundária, o que permite boa acumulação de água, porém de maneira heterogênia, irregular em toda área de abrangência deste domínio. Há predominância de rochas calcárias, magnesianas e dolomíticas, que tem como característica principal, a constante presença de formas de dissolução cárstica (dissolução química de rochas calcárias), formando cavernas, sumidouros, dolinas e outras feições erosivas típicas desses tipos de rochas.

Já as formações cenozoicas são aquíferos do tipo poroso com rochas sedimentares de naturezas e espessuras diversas caracterizadas por possuir uma porosidade primária, e nos terrenos arenosos uma elevada permeabilidade. Está presente principalmente a leste e oeste do município de Jacobina recobrando 23,63% de sua área total.

O domínio poroso-fissural corresponde aos aquíferos mistos que envolve pacotes sedimentares de vários tipos onde ocorrem litologias essencialmente arenosas como é o caso dos pelitos e arenitos da Formação Tombador e Formação Bebedouro. Apesar disso possui litificação acentuada, forte compactação e fraturamento acentuado, que lhe confere além do comportamento de aquífero granular com porosidade primária baixa/média, um comportamento fissural acentuado com porosidade secundária de fraturas, falhas e fendas, possuindo dessa forma um potencial hidrogeológicos baixo a médio. Este domínio está localizado na porção central-oeste do município de Jacobina com 15,57% de sua área total.

Por fim, com ocorrência principalmente na parte central de Jacobina e com 15,98% de sua área total englobando o Grupo Jacobina e o greenstone belt de Mundo Novo, está o domínio dos metassedimentos/metavulcânicas que corresponde a aquíferos do tipo fissural. Possui comportamento bastante similar ao domínio cristalino, pois a ocorrência de águas subterrâneas também está condicionada a uma porosidade secundária representada por fraturas, falhas e fendas devido a quase inexistência de uma porosidade primária nesse tipo de rocha. O que difere esses dois domínios é comportamento reológico distinto de suas rochas já que elas têm estruturação e competência diferente, vão reagir também diferentemente aos esforços causadores das fendas e fraturas, parâmetros fundamentais no acúmulo e

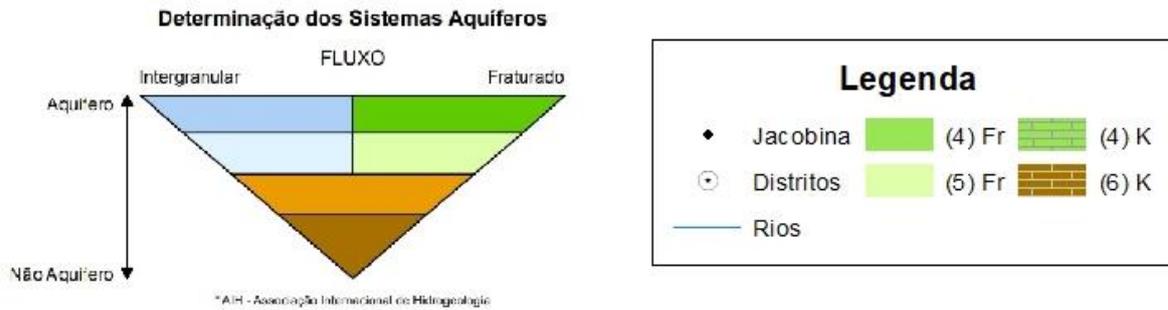
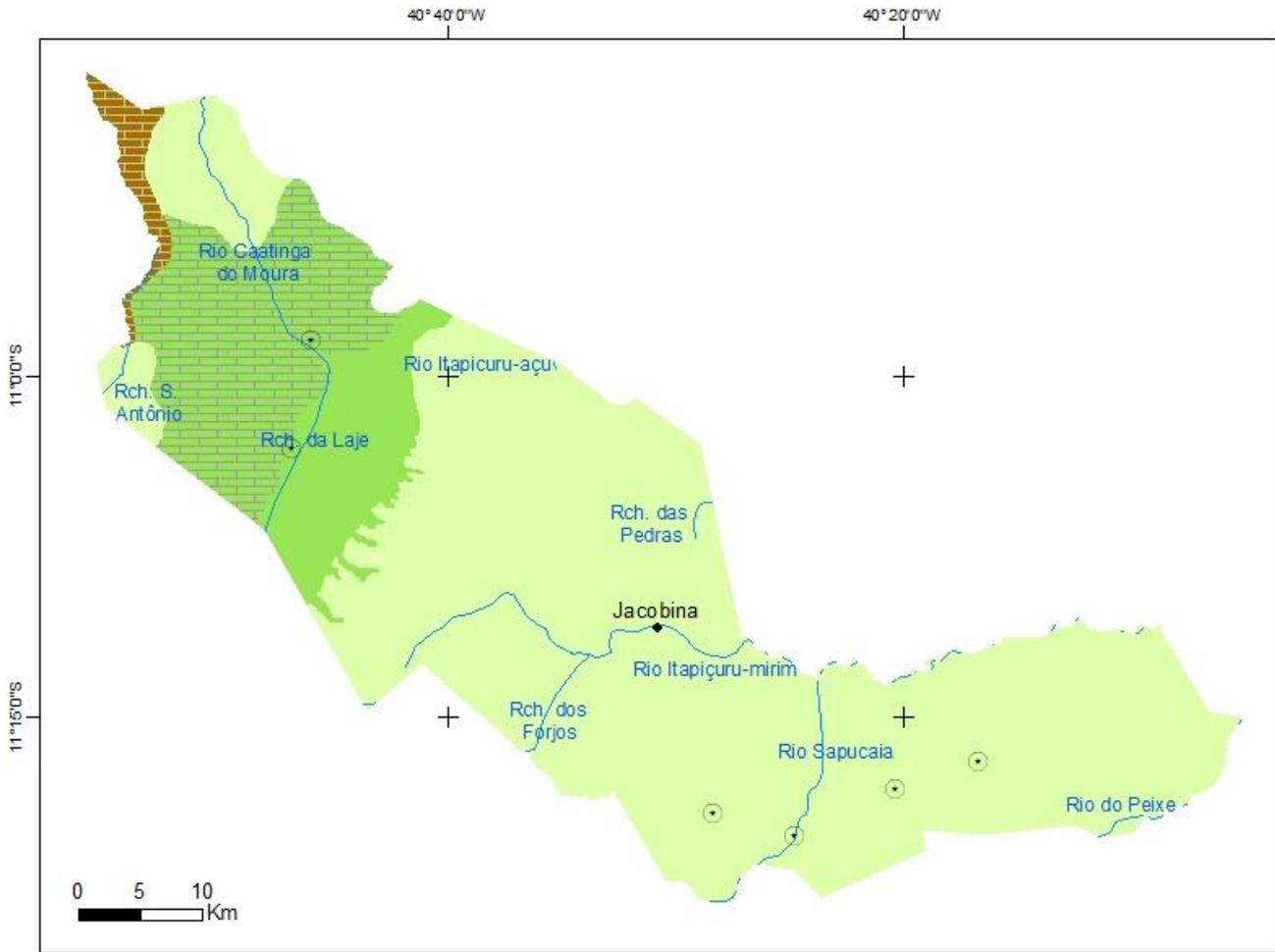
fornecimento de água, ou seja, no domínio dos metassedimentos/metavulcânicas é esperada uma maior potencialidade hidrogeológica do que no domínio cristalino.

Com relação às águas superficiais, o município de Jacobina tem grande parte do seu território inserida na Bacia do Rio Itapicuru e uma pequena parte a oeste e noroeste com drenagens fluindo para a bacia do Rio Salitre. Suas principais drenagens (figura 3) são o rio Caatinga do Moura que ocorre na porção oeste e noroeste do município, o rio Itapicuru-mirim na parte central, que inclusive tem suas águas fluindo a dentro da sede municipal de Jacobina (foto 1), sendo por isso uma importante fonte para o abastecimento da população urbana local, e pôr fim o rio do Peixe a sudoeste, todos eles de caráter intermitente.



Foto 1: Rio Itapicuru-mirim com fluxo de águas percorrendo o centro da cidade de Jacobina-BA. Coord UTM: 334374 mE / 8763324 mN.

A partir das unidades geológicas, domínios hidrogeológicos e também das águas superficiais é possível estabelecer uma relação com a litoestratigrafia da área. Nessa correlação tais unidades e domínios são essencialmente unidades estratigráficas, definidas e distinguidas pelas suas propriedades condutoras (ou não) de água, sendo denominadas unidades hidroestratigráficas e de hidroestratigrafia o estudo de seus inter-relacionamentos e propriedades (Galloway *et al.*, 1982). Dessa correlação, o mapa a seguir (figura 3) demonstra as unidades hidroestratigráficas para o município de Jacobina e suas características.



CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DAS UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS

Classes	Granulares	Fraturadas	Cársticas	Q/s (m ³ /h/m) *	T (m ² /s)	K (m/s)	Q (m ³ /h)	Produtividade **
(4)				0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 ⁵ ≤ T < 10 ⁴	10 ⁷ ≤ T < 10 ⁶	10 ≤ Q < 25	Geralmente baixa, porém localmente moderada - Fornecimento de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.
(5)				0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 ⁶ ≤ T < 10 ⁵	10 ⁸ ≤ T < 10 ⁷	1 ≤ Q < 10	Geralmente muito baixa, porém localmente baixa - Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos.
(6)				< 0,04	< 10 ⁶	< 10 ⁸	< 1	Pouco produtiva ou não aquífera - Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimento restrito ao uso de bombas manuais.

Modificada de Struckmeir & Margat, 1995

* Valores válidos para teste de bombeamento de 12 horas e rebaixamentos máximos de 25 metros

** Na definição de classe de produtividade para os aquíferos fraturados e cársticos, considerar apenas dados de vazão

Figura 3: Mapa hidroestratigráfico do município de Jacobina. Fonte: modificado, CPRM (2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão descritas as metodologias para se acessar a vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas do município de Jacobina, são elas: o método EPPNA, desenvolvida pela Equipe de Projeto do Plano Nacional da Água (1998) e o GOD, metodologia desenvolvida por Foster e Hirata (1988). Ambos os métodos foram escolhidos devido principalmente a disponibilidade de dados da área, a pouca quantidade de parâmetros utilizados, a maior facilidade na obtenção dos dados juntamente com um baixo custo para aplicação. O método GOD ainda se destaca devido sua simplicidade de conceitos e implementação atrelada aos bons resultados, utilizando por vezes somente dados básicos de estudos hidrogeológicos, este método por muitas vezes se torna a melhor opção para os estudos de vulnerabilidade e por isso é amplamente utilizado no meio científico.

Em seguida apresentam-se os procedimentos utilizados para a caracterização de cada parâmetro e determinação do mapa temático, que representa o índice de vulnerabilidade para cada método que envolve uma análise e processamento dos dados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica).

3.1 GOD

Segundo FOSTER *et al.*, (2006), o método GOD conta com três fatores:

G – o confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero (**G**roundwater hydraulic confinement);

O – os estratos de cobertura (zona não saturada ou camada confinada), em termos das características hidrogeológicas e do grau de consolidação que estabelecem a sua aptidão de atenuação do poluente (**O**verlying strata);

D – profundidade ou distância do nível da água subterrânea (**D**epth to groundwater table).

Ou seja, de maneira simplificada, o método leva em conta o tipo de aquífero (G), a litologia (O) e a profundidade do lençol freático (D). Cada um desses parâmetros recebe um peso que varia de 0 a 1, sendo que o produto da multiplicação destes três fatores ($G \times O \times D$) determinara a vulnerabilidade a contaminação dos aquíferos, avaliados a partir de poços de monitoramento e de captação das águas subterrâneas. Assim a variação do índice de vulnerabilidade de 0,0 a 0,1 indica uma susceptibilidade a contaminação desprezível, é baixa entre 0,1 e 0,3, média entre 0,3 e 0,5, alta entre 0,5 a 0,7 e possui classe extrema de vulnerabilidade quando esses índices atingem valores entre 0,7 até 1,0 (figura 4).

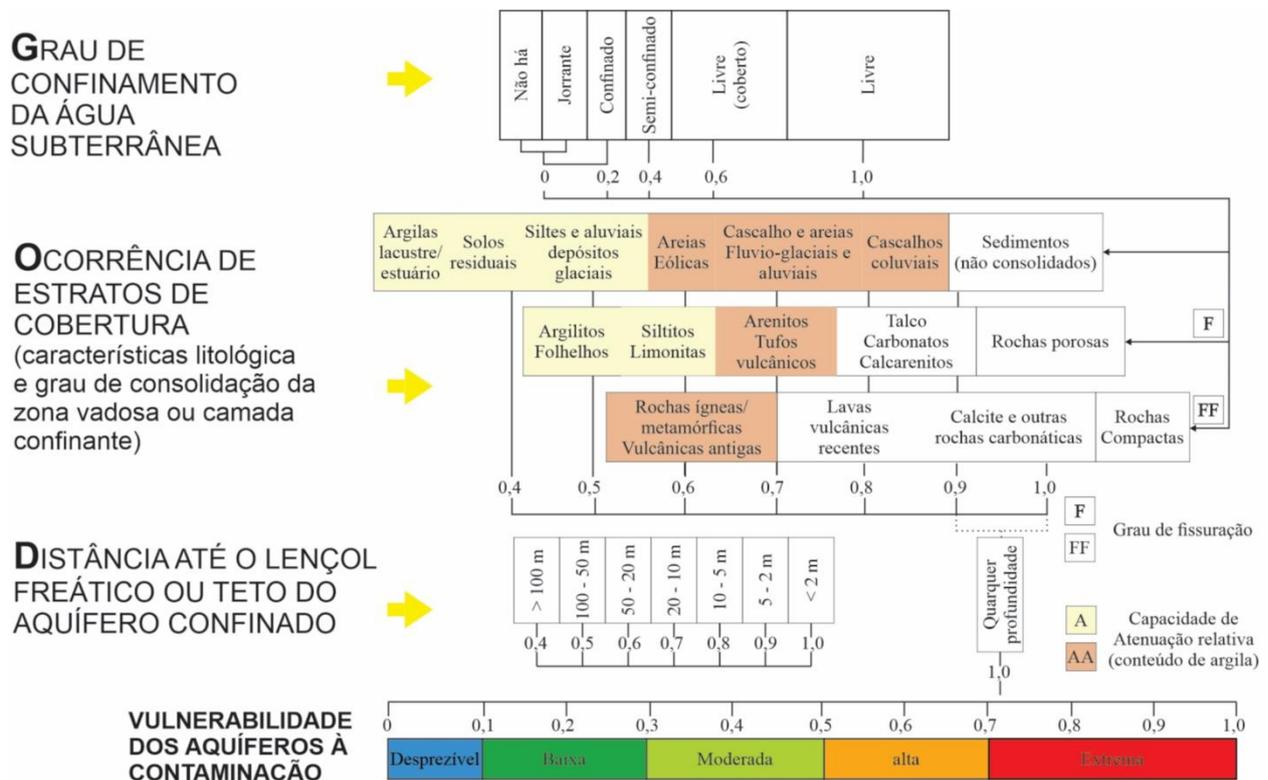


Figura 4: Sistema GOD de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação. Fonte: modificado, Foster *et al.*, (2006).

3.2 EPPNA

O método EPPNA se baseia nas características litológicas dos aquíferos e das suas formações hidrogeológicas e considera oito classes de vulnerabilidade segundo a tabela abaixo:

Classe	Tipo de Aquífero	Vulnerabilidade
V1	Aquíferos em rochas carbonatadas de elevada carsificação	Alta
V2	Aquíferos em rochas carbonatadas de carsificação média a alta	Média a Alta
V3	Aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial	Alta
V4	Aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água superficial	Média
V5	Aquíferos em rochas carbonatadas	Média a Baixa
V6	Aquíferos em rochas fissuradas	Baixa a Variável
V7	Aquíferos em sedimentos consolidados	Baixa
V8	Inexistência de aquíferos	Muito Baixa

Tabela 1: Classes de vulnerabilidade segundo critérios litológicos do método EPPNA. Fonte: Equipe de Projeto do Plano Nacional da Água (1998).

As classes V1, V2 e V5 se referem as rochas carbonáticas na qual os níveis de vulnerabilidade variam de alta a baixa de acordo com o nível de carstificação dessas rochas, ou seja, quanto maior a carstificação mais alta será a vulnerabilidade. Já V3 e V4 estão relacionados aos sedimentos não consolidados, sendo a vulnerabilidade alta quanto há ligação hidráulica desse tipo de rocha com a água superficial (basicamente rios, córregos e riachos) e média quando essa ligação é inexistente. A classe V6 faz referencial a uma vulnerabilidade baixa a variável (intermediária entre baixa e média) nos aquíferos em rochas fissurais, V7 demonstra uma vulnerabilidade baixa quando os aquíferos são provenientes de sedimentos consolidados e por fim a classe V8 utiliza-se do nível da vulnerabilidade muito baixa para demonstrar os locais no qual não há ocorrência de aquíferos e por sua vez não há possibilidade de contaminação das águas subterrâneas.

3.3 Coleta de dados

Os dados referentes aos aspectos hidrogeológicos foram coletados principalmente a partir da existência de poços de captação de águas subterrâneas distribuídos ao longo de todo o município de Jacobina e municípios limítrofes, disponíveis na base de dados do SIAGAS (figura 5), que possui um grande acervo com informações sobre as águas subterrâneas.

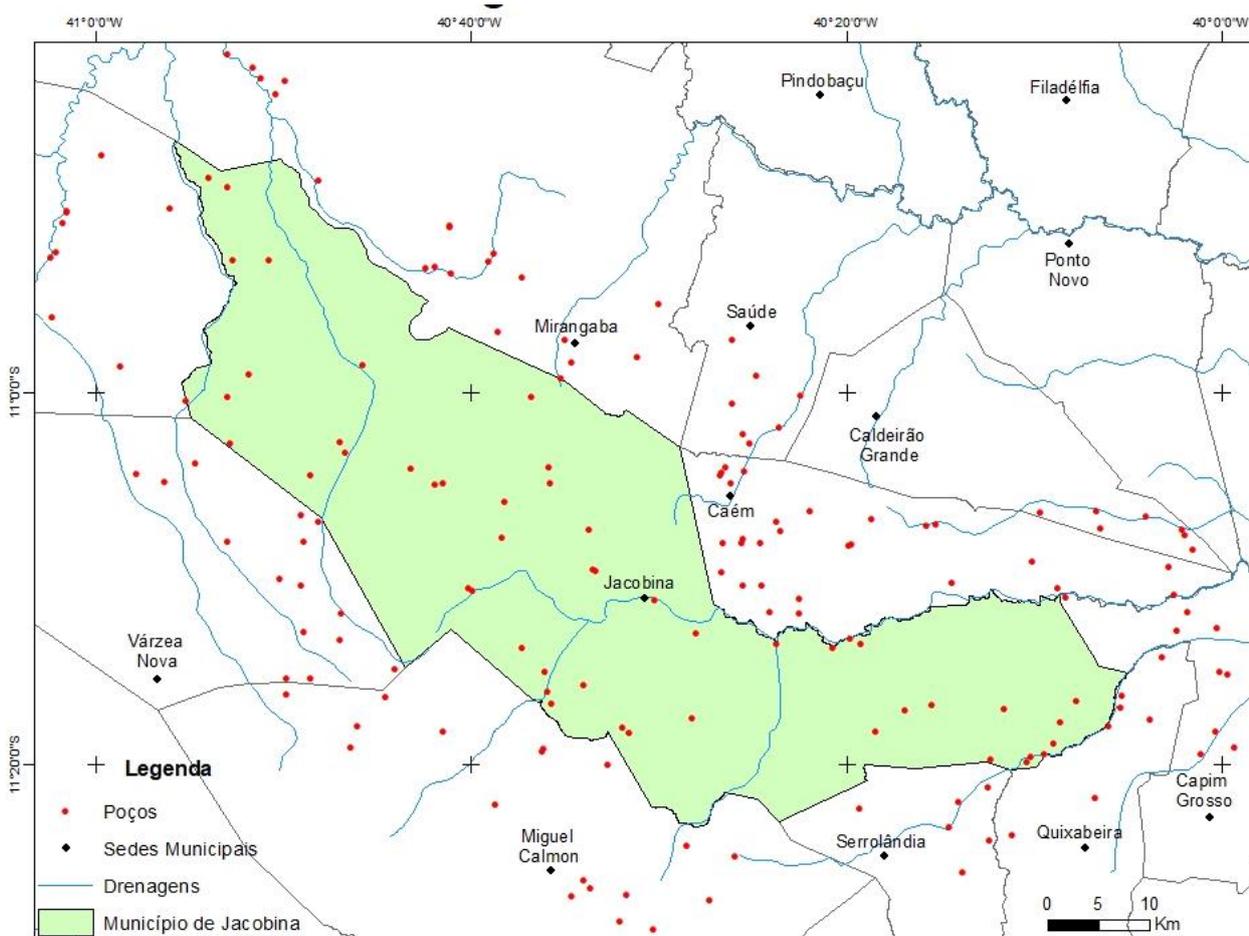


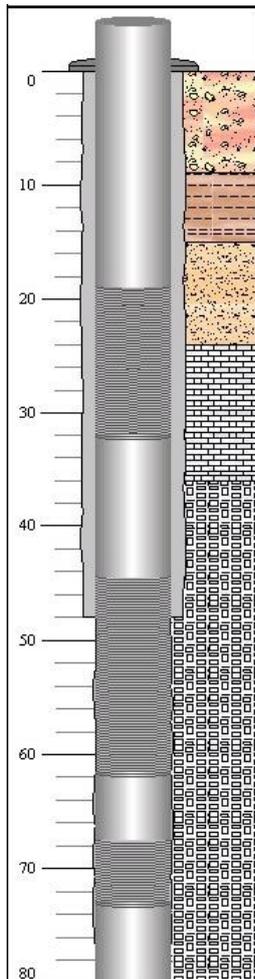
Figura 5: Mapa de localização dos poços de captação de águas subterrâneas utilizados para a avaliação da vulnerabilidade a contaminação para o município de Jacobina-BA. Fonte: modificado, IBGE / SIAGAS (2019).

Foram utilizados um total de 176 poços de captação de água selecionados de acordo com a disponibilidade de informações necessárias para a realização do estudo. Dos 200 poços presentes no município de Jacobina apenas 56 (28%) puderam ser utilizados devido muitos dos dados presentes no SIAGAS estarem incompletos como, por exemplo, a escassez de informações referente a descrição litológica das camadas, falta de perfis construtivos de alguns poços, e deficiência ou imprecisão em informações de profundidades dos poços e seu nível freático, entre outros problemas. Dos demais poços, o critério utilizado foi escolher aqueles a partir de um alcance máximo de aproximadamente 10 quilômetros dos limites municipais de Jacobina com intuito de dar uma maior legitimidade aos resultados finais, sendo também excluídos aqueles poços com falta ou imprecisão de informações

essenciais. Dessa forma foram selecionados 120 poços ao redor do município de Jacobina, totalizando 176 poços de captação de água a serem utilizados (figura 5).

A seguir (figura 6) um exemplo de perfil construtivo seguido por dados litológicos e construtivos de um poço de captação de água encontrado no município de Jacobina:

Perfil Construtivo



Dados Litológicos

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	9	Rochas intemperizadas e decompostas	Material Calcio argiloso roxo, c/60% de quartzo.
9	15	Argila	Argila avermelhada, grãos de quartzo. Fragmentos de calcário siltito.
15	24	Areia siltosa	Material siltoso, amarelo c/quartzo e fragmentos de calcário.
24	36	Calcário	Calcário creme claro e material argiloso.
36	80	Calcário alterado	Alternância de calcário creme e calcário amarronzado.

Dados Construtivos

Tipo de aquífero:	Cárstico	Data perfuração:	23/02/1968
Profundidade (m):	80.00	Nível Estático (m):	6.00
Condição:	Livre	Perfurador:	ECOSAMA
Entrada d'água (m):	10.00 51.00	Método:	Percussão

Figura 6: Exemplo de perfil construtivo e dados litológicos e construtivos de poço de captação de água no município de Jacobina. Ponto 2900002163 localizado no distrito de Caatinga do Moura na parte noroeste do município de Jacobina. Coordenadas UTM: 307322 mE / 8786124 mN. Fonte: SIAGAS/CPRM (2019).

Outras fontes de informação foram a CPRM e CBPM, que possuem uma série de mapas e relatórios referente a geologia e hidrogeologia da região como um todo, o IBGE com dados referente a população e shapefiles da região além de algumas

visitas de campo com intuito de reconhecimento da área e obtenção de registros fotográficos.

3.4 Ambiente SIG

Após a atribuição de valores para cada um dos parâmetros G, O e D no método GOD e a determinação dos estratos litológicos dos aquíferos da área com base no mapa geológico do município de Jacobina para as classes de vulnerabilidade do método EPPNA, o mapeamento temático do projeto é realizado dentro do ambiente do Sistema de informações Geográficas (SIG) no qual são utilizadas uma série de ferramentas do *ArcMap* do software *ArcGIS* 10.5 da ESRI, entre elas a *Interpolation* pelo *IDW* (ponderação do inverso da distância) e o *Map Algebra* pelo *Raster Calculator*, para a confecção de mapas temáticos de escala 1:5000.000 com coordenadas referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro que demonstram a vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas no município de Jacobina para cada método proposto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Para o método GOD

Com a obtenção dos dados na base do SIAGAS, foi aplicado o método GOD sendo atribuído os pesos para cada parâmetro.

Para o parâmetro G (grau de confinamento do aquífero) foram atribuídos pesos entre 0,6-0,9 e 1,0 já que todos os poços presentes na área estão contidos em aquíferos do tipo livre, ou seja, possuem grau de confinamento da água subterrânea não confinada, com ou sem cobertura. Os locais que apresentaram afloramento do aquífero (sem cobertura) foram empregados maior índice (1,0), os pontos que apresentavam cobertura entre 5-3 metros constituída por areias, argilas

ou rochas intemperizadas foi empregado índice 0,8 e entre 3-1 metros o índice 0,9. Por fim, os pontos que se apresentaram como não confinado e coberto constituído por material argiloso, siltoso ou arenoso com profundidade superior a 5 metros foi empregado índice 0,6 (figura 7a).

Com respeito ao parâmetro O (ocorrência de estratos de cobertura), os índices empregados foram 0,4, 0,5, 0,6, 0,6-0,7 e 0,9-1,0. O índice 0,4 foi empregado para a litologia constituída com predominância de argilas e solos residuais, já o índice 0,5 abrange silte e xistos e 0,6 para o siltito e os vários tipos de areia. Para os índices 0,6-0,7 foram empregados às litologias constituídas por formações magmáticas, metamórficas e vulcânicas mais antigas de acordo com o grau de fissuração da rocha, quanto maior a fissuração maior o índice. E por fim, os índices 0,9-1,0 foram empregados para os locais com litologia constituída por calcário de maneira que quanto maior a carsitificação maior o índice a ser utilizado (figura 7b).

Para o parâmetro D (distancia até o lençol freático ou zona vadosa) foram empregados todos os índices disponíveis já que os poços analisados possuem uma grande heterogeneidade de profundidades até o lençol freático, sendo assim o índice 0,6 foi aplicado para profundidades maiores que 50 metros, 0,7 em profundidades entre 50-20 metros, o índice 0,8 entre 20-5 metros e 0,9 em profundidades entre 5-2 metros até o nível freático dos poços analisados. O índice 1,0 foi empregado em poços que possuíam entrada d'água inferior a 2 metros e também em todos aqueles com litologia cárstica independente da profundidade até o nível freático do poço (figura 7c).

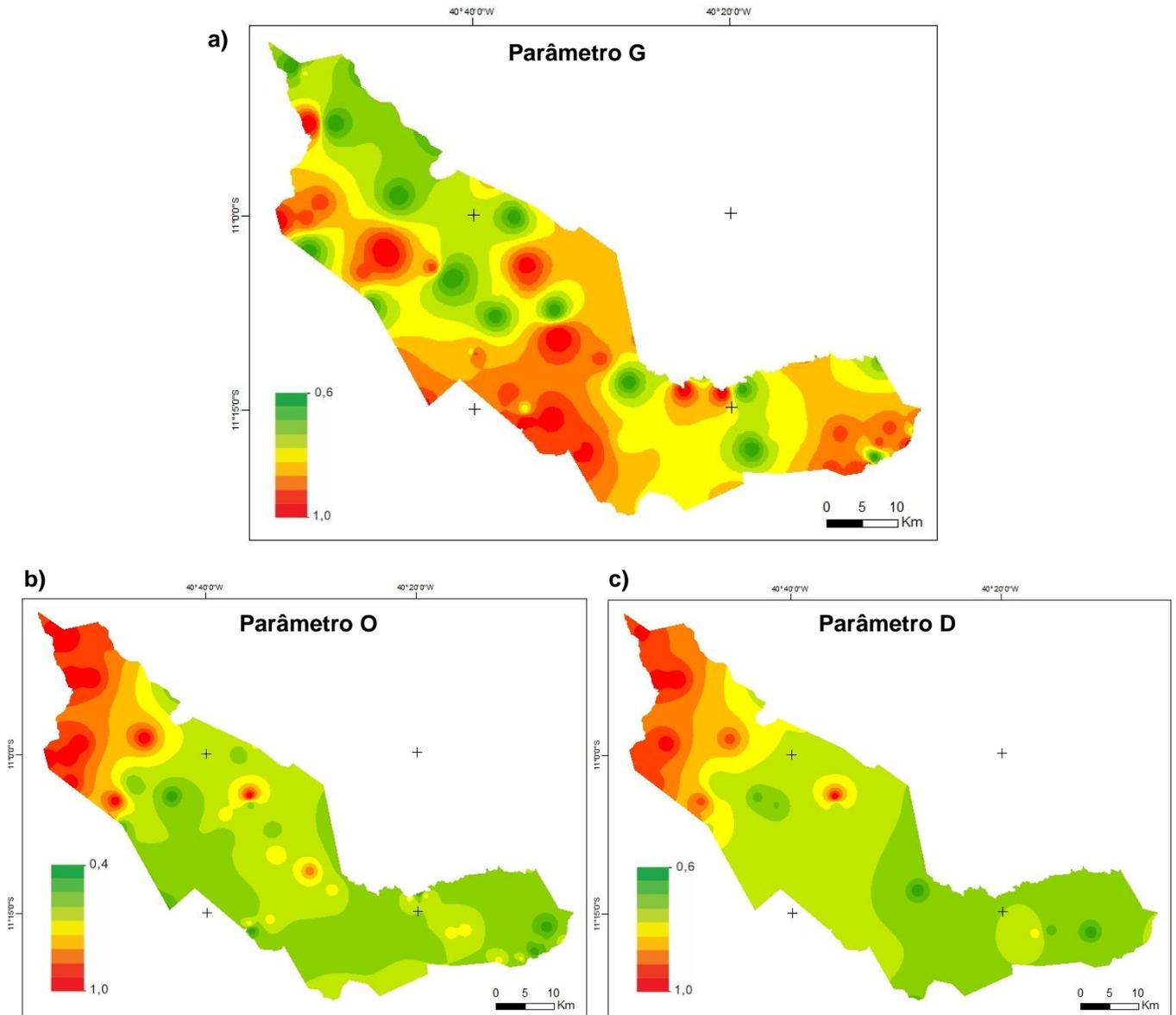


Figura 7: Mapas com os parâmetros do método GOD para o município de Jacobina-BA. Parâmetro G – Grau de confinamento do aquífero; Parâmetro O – Ocorrência de estratos de cobertura; Parâmetro D – Distancia até o lençol freático. Fonte: modificado, CPRM (2018).

Com todos os parâmetros calculados e definidos, a partir da álgebra dos valores de cada mapa foi gerado o seguinte mapa (figura 8) de vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas do município de Jacobina para o método GOD.

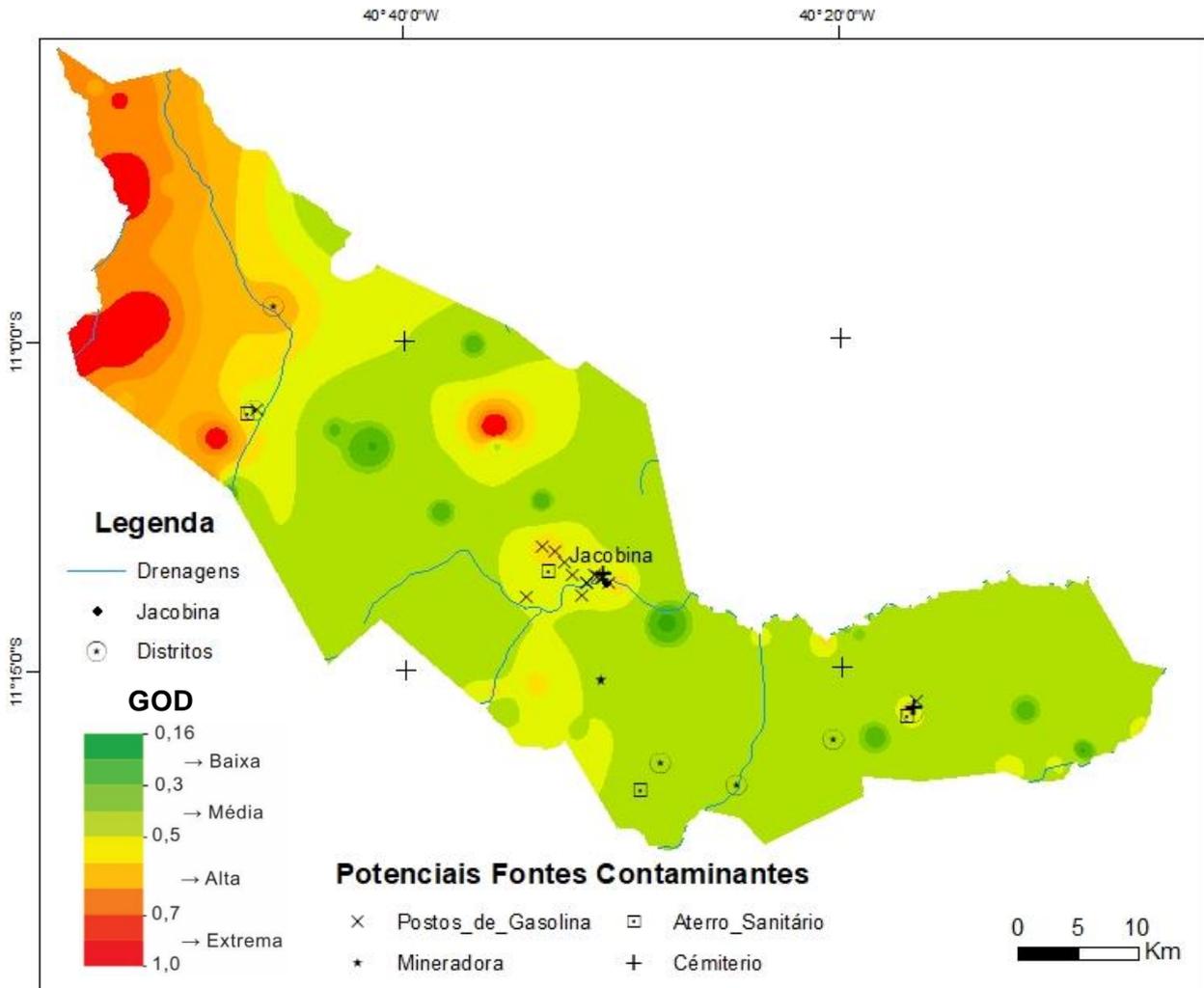


Figura 8: Mapa GOD de vulnerabilidade a contaminação para o município de Jacobina-BA. Fonte: modificado, CPRM (2018).

Com os resultados é possível notar no mapa (figura 8) 4 classes de vulnerabilidade para a área de estudo: baixa, média, alta e extrema. A vulnerabilidade preponderante no município de Jacobina é a média, cobrindo cerca de 75,73% da região, seguida pela alta com 18,92%, depois a baixa com 2,83% e por último a extrema, abrangendo cerca de 2,52% da área.

A identificação de uma preponderância da classe de vulnerabilidade média, abrangendo cerca de 3/4 da área de estudo, é explicada, pois os aquíferos em questão estão localizados em terrenos de rochas fissurais, sendo que em geral, possuem uma cobertura de sedimento (solo) de pouca espessura e muitas vezes

inexistente, aliada à profundidade dos níveis de água dos poços que em sua maioria é inferior a 20 metros.

Enquanto somente pequenas porções pontuais da área mapeada apresentam baixa vulnerabilidade à contaminação segundo o mapa GOD, o maior potencial contaminante para o município de Jacobina está localizado na porção oeste da região, com níveis de vulnerabilidade que variam de alto a extremo, assim sendo devido a presença de aquíferos em rochas carbonáticas com média a alta carsitificação e a ocorrência de aquíferos em sedimentos não consolidados que basicamente possuem camadas litológicas pouco profundas e estão associadas a rochas carbonáticas.

4.2 Para o método EPPNA

A partir do mapa geológico do município de Jacobina e utilizando-se da metodologia EPPNA foram empregados os parâmetros V1 (aquíferos em rochas carbonatadas de elevada carsitificação), V2 (aquíferos em rochas carbonatadas de carsitificação média a alta), V3 (aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial), V4 (aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água superficial), V5 (aquíferos em rochas carbonatadas), V6 (aquíferos em rochas fissurais) e V7 (aquíferos em sedimentos consolidados) para determinar a vulnerabilidade a contaminação da área.

Utilizando-se desses parâmetros foi gerado o seguinte mapa de vulnerabilidade a contaminação:

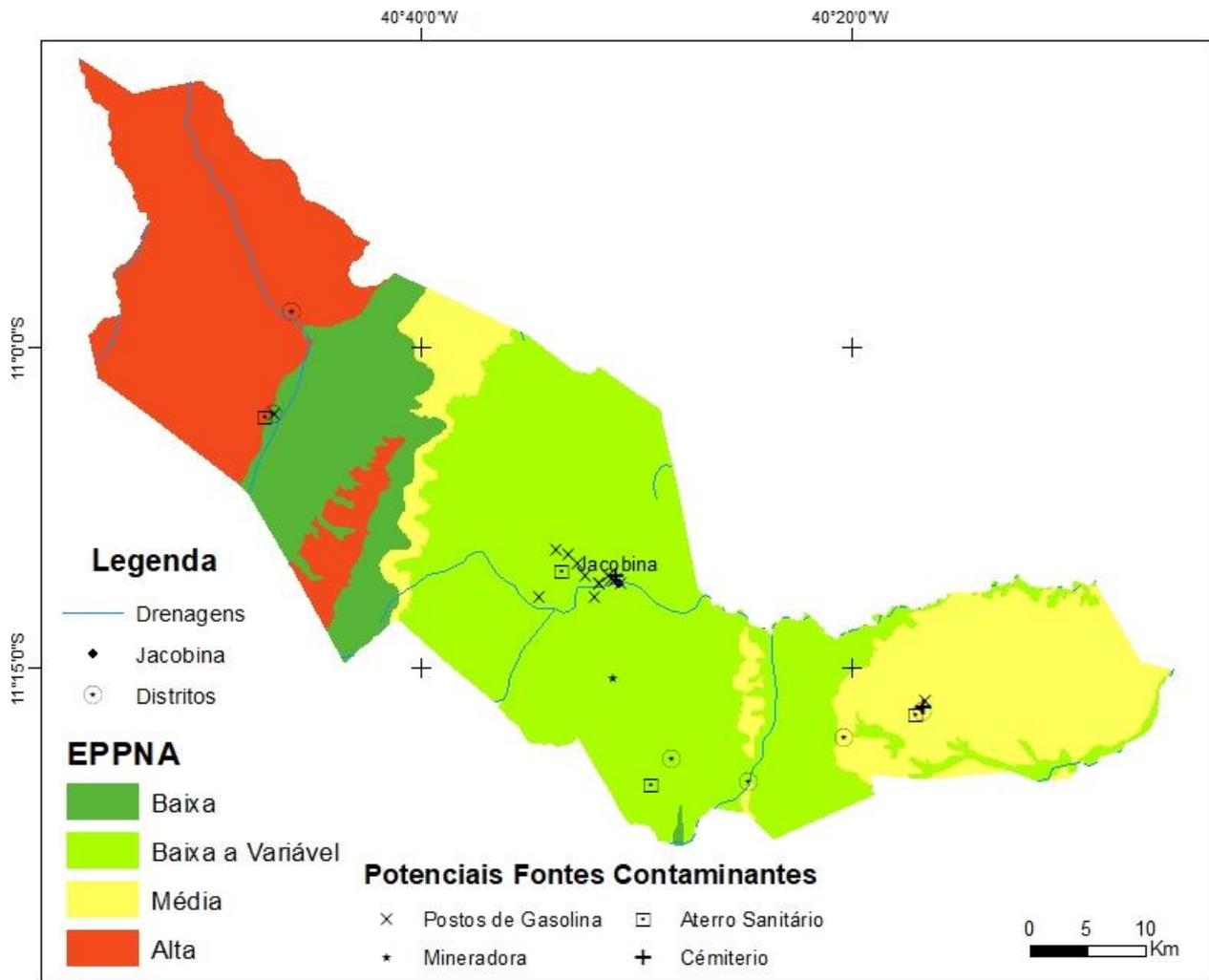


Figura 9: Mapa EPPNA de vulnerabilidade a contaminação para o município de Jacobina-BA. Fonte: modificado, CPRM (2018).

Os resultados do mapa de vulnerabilidade a contaminação para o método EPPNA (figura 9) demonstram que a classe predominante no município de Jacobina é a baixa a variável abrangendo cerca de 42,16% da área total, seguida pela alta com 25,24%, depois a média com 20,24% e por fim a baixa, correspondente a 12,36% da área do município.

Pelos parâmetros utilizados por este método, a predominância da classe baixa a variável é justificada pela presença de aquíferos em rochas fissurais, para a classe alta é devido a ocorrência de aquíferos em rochas carbonáticas com carsitificação elevada e aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água subterrânea, pois nessas áreas é possível encontrar

drenagens como o Rio Caatinga do Moura e o Riacho Santo Antônio (figura 2). As classes média e baixa estão associadas, respectivamente, a aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água subterrânea e a aquíferos em sedimentos consolidados.

4.3 Análise comparativa entre os métodos

Por ser um método a utilizar uma maior quantidade de parâmetros, três enquanto o EPPNA emprega apenas um, e por conseguinte requerer uma maior quantidade de informações, o GOD possui uma escala de detalhe superior ao EPPNA. Dessa forma o mapa GOD (figura 8) se comparado ao EPPNA (figura 9) apresenta valores mais diversificados, heterogêneos para toda a área do município de Jacobina.

Apesar de algumas diferenças encontradas nos dois mapas de vulnerabilidade a contaminação propostos (figuras 8 e 9), a maior que se destaca é a classificação no mapa EPPNA quanto à vulnerabilidade baixa a variável encontrada na região central do município, que se refere aos aquíferos em rochas fissurais, enquanto que para o mapa GOD a mesma região é classificada como vulnerabilidade média. Em uma análise específica, tal diferença pode ser explicada na separação utilizada para a classificação dos métodos. O método GOD não possui uma classe intermediária entre as classes baixa e média enquanto que no EPPNA entre essas classes existe a baixa a variável. Ainda, se for considerado que na área em questão boa parte dos valores no intervalo de vulnerabilidade média presentes no mapa GOD apresentam valores próximos ao limite final do intervalo da classe de vulnerabilidade baixa, neste sentido a classe baixa a variável utilizada no EPPNA é, no mínimo, próxima a classe de vulnerabilidade média do método GOD para a dita região.

Quanto as demais áreas, os dois métodos apresentam boa equivalência entre os mapas de vulnerabilidade a contaminação. Na região oeste, basicamente com aquíferos em rochas carbonáticas, tanto o GOD como o EPPNA demonstram resultados de áreas com alta suscetibilidade a contaminação, assim como na região leste do município de Jacobina, com aquíferos em sedimentos não consolidados, em que ambos os métodos demonstram, de maneira geral, uma média vulnerabilidade a contaminação. Resultados semelhantes também foram encontrados por Romeiro (2012) em “Tecnologia SIG Aplicada ao Estudo da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste” que analisa os métodos GOD e EPPNA de maneira conjunta.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e interpretados, é condizente afirmar que os dois métodos aplicados, GOD e EPPNA, são concordantes e coerentes de maneira geral quando se analisa todo o quadro proposto e considerando os diferentes parâmetros utilizados em cada método, observando também, como já esperado, algumas diferenças nos níveis de vulnerabilidades a contaminação em algumas áreas, principalmente naquelas em que há deficiência na qualidade e quantidade de dados, como também pela diferença dos níveis de classificação para cada método.

Assim sendo, os métodos mostraram-se adequados à aplicação no grau de detalhe requerido para o município Jacobina (mapas regionais de 1:500.000), sobretudo pela sua simplicidade conceitual e facilidade de aplicação. Ressalta-se que a etapa mais complexa de todo o processo foi à obtenção de valores parâmetros confiáveis assim como seu tratamento, principalmente aqueles provenientes do SIAGAS.

Numa análise conjunta dos dois mapas de vulnerabilidade a contaminação, observa-se um predomínio da classe de vulnerabilidade média para o município de Jacobina, com variação significativa para a vulnerabilidade alta e insignificante para a baixa.

A predominância da vulnerabilidade média é explicada em decorrência de boa parte da área está situada em aquíferos sob terrenos de rochas fissurais que, em geral, possuem nível freático pouco profundos (<20 metros) e com pouca ou nenhuma cobertura (solo).

A variação significativa para a vulnerabilidade a contaminação alta, principalmente na parte oeste da área, se dá em decorrência principalmente da presença de aquíferos em terrenos carbonáticos com média a alta carsitificação. Isso acontece porque aquíferos cársticos, assim também chamados, são particularmente sensíveis à contaminação devido à falta de filtração de água no aquífero, pelo fato das águas subterrâneas e superficiais serem conectadas diretamente, o que requer uma especial atenção e planejamento, pois contaminantes podem fluir diretamente no aquífero sem diluição ou filtração.

Os poucos pontos onde os índices gerados pelo método GOD e alguns mais no EPPNA acusam baixa vulnerabilidade a contaminação ocorrem especificamente devido à ocorrência de alta profundidade do nível estático dos poços naquele ponto ou devido alguma característica litológica presente na área, como presença de sedimentos consolidados ou em característica da alta espessura da camada de cobertura (solo).

Diante desse quadro, em que boa parte da área de estudo está suscetível a contaminação média a alta, destaca-se a necessidade de que a ocupação do município seja melhor planejada, para que os riscos à contaminação não se elevem

ainda mais. É altamente recomendável que atividades que apresentem algum tipo de perigo e/ou risco à contaminação dos aquíferos, como é o caso de indústrias e a grande mineradora de ouro presente na área, se atentem a políticas sustentáveis e de preservação ao meio ambiente com a devida fiscalização dos órgãos competentes. Destaque também para a questão do precário saneamento básico e ambiental da população, que representa um alto potencial contaminante para os aquíferos da região e devem ser levados em consideração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (BRASIL). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobraper – Brasília : ANA : Engecorpos/Cobraper, 2010. Volume 1 e 2.

AUGE, M. Vulnerabilidad de Acuíferos. Revista Latino-Americana de Hidrogeologia, n.4, p.85- 103, 2004.

CPRM. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento de Águas Subterrâneas, Diagnostico do Município de Jacobina. Jacobina, 2005.

COUTO, P. A.; DELGADO, I. M.; MASCARENHAS, J. F.; Batista, M. B.; PEDREIRA, A. J.; SIQUEIRA, L. P.; BRUNI, D.C.; GONÇALVES, G. D.; SAMPAIO, A. R.; GIL, C. A.; LOUREIRO, H. S.; AWDZIEJ, J.; ARCANJO, J. B.; FERNANDES FILHO, J.; GUIMARÃES, J. T.; SILVA, L. C.; MELO, R. C.; TOLEDO, L. A. A.; MACHADO, G. J.; MARON, J. E.; OLIVEIRA, J. E.; RODRIGUES, V.; FRANA, F. B.; TEIXEIRA, A. J.; SILVA, H. P.; MARGALHO, R.; BRITO, P. C.; KIPPER, D.; CÃS, M. G.; BANI, R.; CAMPELO, R. 1978. Projeto serra de Jacobina– geologia e prospecção geoquímica. Salvador, DNPM/CPRM, Relatório Final, CPRM, 12 v.

EPPNA, 1998. Informação Cartográfica dos Planos de Bacia. Sistematização das Figuras e cartas a Imprimir em Papel. Equipa de projeto do plano Nacional da Água, versão de Outubro de 1998, pp. 29, Lisboa.

FETTER, C.W, 2001. *Applied hydrogeology*. Prentice Hall, Inc., pp 692.

FOSTER, S.; HIRATA, R. Groundwater risk assessment, a methodology using available data. Pan American Health Organization, 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. World Bank, GWMAE. Washington, 101 p., 2002.

GALLOWAY W. E.; HENRY C. D.; SMITH G. E. 1982. Depositional framework, hydrostratigraphy and uranium mineralization of the Oakville Sandstone (Miocene), Texas Coastal Plain. Bureau of Economic Geology. Univ. Texas, Austin, Rept. Invest. N° 113.

GARCIA, C. et al. Vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos no município de Piracicaba, através do método GOD. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – Revista Águas Subterrâneas. v. 32, n. 2, p. 218-227, 2018.

IBGE. Cidades. IBGE, fevereiro de 2019. Disponível em <<http://https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/jacobina/panorama> />. Acesso em 22/08/2019.

LEITÃO, T. E. et al. Poluição de Águas Subterrâneas: Principais problemas, processos de prevenção e de reabilitação. In: 6º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LINGUA OFICIAL PORTUGUESA, 16.,

2003, Recife. Anais eletrônicos. Cabo Verde: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2003.

MEIRA, J. C. R. et al. Vulnerabilidade natural e perigo à contaminação de zona de recarga do aquífero Guarani. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – Revista Águas Subterrâneas. v. 28, n. 1, p. 31-46, 2014.

MELO Jr, G. 1993. Gênese da mineralização aurífera de Jacobina, Bahia: uma hipótese alternativa. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON SÃO FRANCISCO, 2, 1993, Sergipe, SBG/Núcleo Sergipe. Resumos Expandidos, p.334-336.

ROMEIRO, C. I. R. A. Tecnologia SIG Aplicada ao Estudo da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste. Univ. Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

SIAGAS. Portal SIAGAS. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>.

Acesso em: 10/09/2019.

CAPÍTULO 4

RECOMENDAÇÕES

Este estudo representa um passo importante para a caracterização e avaliação dos riscos e perigos que envolvem os recursos hídricos subterrâneos do município de Jacobina frente às novas imposições de demanda de usos destes recursos naturais. Assim, estudos complementares se tornam necessários para adensar os resultados apresentados até aqui.

Devido à dificuldade para obtenção de dados atualizados sobre a área e ainda a falta de informações em vários pontos da região provenientes da base de dados do SIAGAS, fica claro a necessidade de coleta de dados oriunda de trabalhos de campo, que se fazem solução inicial para acrescentar material de análise de forma a enriquecer a precisão dos resultados, assim como complementar lacunas em locais onde a representatividade de poços cadastrados é inexistente ou possuem cadastro pouco eficiente a esta demanda.

Ainda como sugestão de trabalhos futuros, propõe-se a realização do estudo sobre a vulnerabilidade a contaminação das águas subterrâneas da área em escala de detalhe, com enfoque naquelas localidades nas quais os mapas mostrados aqui neste relatório demonstram os maiores índices de suscetibilidade a contaminação e/ou onde estão localizadas as principais fontes de potencial contaminação das águas subterrâneas do município de Jacobina, como é o caso da mineradora de ouro JMC-Yamana Gold, aterros sanitários, cemitérios e postos de gasolina. Para a escala de detalhe, é recomendável usar métodos com maiores quantidades de parâmetros do que os presentes no EPPNA ou no GOD, como por exemplo os

métodos DRASTIC e o IS, podendo-se também ao final fazer um paralelo com os resultados obtidos no estudo de escala regional aqui presentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (BRASIL). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape – Brasília : ANA : Engecorpos/Cobrape, 2010. Volume 1 e 2.

ALLER, L., T. BENNETT, J. LEHR, AND R. PETTY. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. Washington: USEPA, 1987. 58 p. ALMEIDA, F. F. M. 1977.0 Cráton do São Francisco. Rev. Bras. Geoc., 7(4): 349-364.

AUGE, M. Vulnerabilidade de Aquíferos. Revista Latino-Americana de Hidrogeologia, n.4, p.85- 103, 2004.

BARBOSA, J. S. F.; SABATÉ, P. Geological features and the Paleoproterozoic collision of four Archean crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil: a synthesis. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 74, p. 343-359, 2002.

CPRM. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento de Águas Subterrâneas, Diagnostico do Município de Jacobina. Jacobina, 2005.

COUTO, P. A.; DELGADO, I. M.; MASCARENHAS, J. F.; Batista, M. B.; PEDREIRA, A. J.; SIQUEIRA, L. P.; BRUNI, D.C.; GONÇALVES, G. D.; SAMPAIO, A. R.; GIL, C. A.; LOUREIRO, H. S.; AWDZIEJ, J.; ARCANJO, J. B.; FERNANDES FILHO, J.; GUIMARÃES, J. T.; SILVA, L. C.; MELO, R. C.; TOLEDO, L. A. A.; MACHADO, G. J.; MARON, J. E.; OLIVEIRA, J. E.; RODRIGUES, V.; FRANA, F. B.; TEIXEIRA, A. J.; SILVA, H. P.; MARGALHO, R.; BRITO, P. C.; KIPPER, D.; CÃS, M. G.; BANI, R.; CAMPELO, R. 1978. Projeto serra de Jacobina– geologia e prospecção geoquímica. Salvador, DNPM/CPRM, Relatório Final, CPRM, 12 v.

CUTRIM, A. O.; CAMPOS, J. E. G. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH. *Revista Geociências*, v.29, n. 3. 2010.

EPPNA, 1998. *Informação Cartográfica dos Planos de Bacia. Sistematização das Figuras e cartas a Imprimir em Papel*. Equipa de projeto do plano Nacional da Água, versão de Outubro de 1998, pp. 29, Lisboa.

FETTER, C.W, 2001. *Applied hydrogeology*. Prentice Hall, Inc., pp 692.

FOSTER, S.; HIRATA, R. Groundwater risk assessment, a methodology using available data. Pan American Health Organization, 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. World Bank, GWMATE. Washington, 101 p., 2002.

GALLOWAY W. E.; HENRY C. D.; SMITH G. E. 1982. Depositional framework, hydrostratigraphy and uranium mineralization of the Oakville Sandstone (Miocene), Texas Coastal Plain. Bureau of Economic Geology. Univ. Texas, Austin, Rept. Invest. N° 113.

GARCIA, C. et al. Vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos no município de Piracicaba, através do método GOD. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – *Revista Águas Subterrâneas*. v. 32, n. 2, p. 218-227, 2018.

IBGE. Cidades. IBGE, fevereiro de 2019. Disponível em <http://https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/jacobina/panorama> />. Acesso em 22/08/2019.

LEITÃO, T. E. et al. Poluição de Águas Subterrâneas: Principais problemas, processos de prevenção e de reabilitação. In: 6º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LINGUA OFICIAL PORTUGUESA, 16., 2003, Recife. Anais eletrônicos. Cabo Verde: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2003.

MEIRA, J. C. R. et al. Vulnerabilidade natural e perigo à contaminação de zona de recarga do aquífero Guarani. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – Revista Águas Subterrâneas. v. 28, n. 1, p. 31-46, 2014.

MELO Jr, G. 1993. Gênese da mineralização aurífera de Jacobina, Bahia: uma hipótese alternativa. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON SÃO FRANCISCO, 2, 1993, Sergipe, SBG/Núcleo Sergipe. Resumos Expandidos, p.334-336.

SIAGAS. Portal SIAGAS. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 10/09/2019.

ROMEIRO, C. I. R. A. Tecnologia SIG Aplicada ao Estudo da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste. Univ. Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

RIBEIRO, L., 2001. *Vulnerabilidade de aquíferos e medidas de proteção das águas subterrâneas em Portugal Continental*. Seminário de Geotecnia Ambiental, pp. 29, Porto.

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O trabalho submetido para avaliação preliminar deverá ser submetido em programa Word for Windows ou compatível, fonte Arial, tamanho 12, espaçamento duplo, em papel A4, margens de 2,5 cm, sem numeração de páginas e ter, no máximo, 6.000 (seis mil) palavras, já incluindo tabelas, e 10 (dez) figuras.

O documento deverá ter a numeração de linhas visível e contínua a partir do seu título, visando acelerar o processo de revisão pelos pares.

Importante: O(s) nome(s) do(s) autor(es), sua(s) instituição(ões) e endereço(s) para correspondências não devem constar do texto, a identificação do trabalho será feita pelo preenchimento dos metadados da submissão e pelo número de identificação gerado automaticamente. Referências a publicação(ões) do(s) autor(es) dentro do texto ou na lista de referências devem aparecer somente como "AUTOR", de modo a garantir uma avaliação cega segura.

Serão aceitos trabalhos em Português, Espanhol e Inglês e serão publicados no idioma em que foi redigido originalmente. Os artigos deverão, obrigatoriamente, apresentar resumo em Português e Inglês. Além disso, caso o idioma escolhido não seja o Português, o título deverá obrigatoriamente ser apresentado secundariamente nesse idioma, sendo mantido o título original no idioma do artigo. O título do trabalho, com no máximo 140 toques, deverá aparecer na primeira página do trabalho, sem a identificação do(s) autor(es).

Antecedendo o texto serão apresentados dois resumos em Português e Inglês. Para trabalhos redigidos em Espanhol, o segundo resumo será em Português e o terceiro em Inglês. O resumo deverá ser redigido em parágrafo único, variando entre 1.000 a 1.500 toques, apresentando de forma breve e objetiva a justificativa do trabalho, os métodos utilizados, os resultados e as conclusões. Após o resumo, incluir obrigatoriamente uma lista de até cinco palavras-chave que expressem o assunto do trabalho.

O texto deverá ser redigido de forma impessoal, objetiva, clara, precisa e coerente.

O título do trabalho deverá ser apresentado no idioma do trabalho e em Inglês. As abreviaturas deverão ser identificadas, por extenso, na primeira vez que aparecem no texto. As unidades das grandezas numéricas deverão obedecer aos padrões do Sistema Internacional de Unidades (SI).

As tabelas serão numeradas sequencialmente e inseridas normalmente dentro do texto. O título deve ser claro e conciso e colocado no topo da tabela. Outras informações relativas à tabela (origem dos dados, observações, etc.), serão colocadas logo abaixo da tabela, com espaçamento simples e fonte de tamanho menor que a do texto principal.

As figuras (mapas, fotos, perfis, esboços, gráficos, diagramas, etc.), devem ser numeradas sequencialmente. O título deve ser claro e conciso e colocado na base da figura. Outras informações relativas à figura (legenda, origem dos dados, observações, etc.), serão colocadas logo abaixo da figura, com espaçamento simples e fonte de tamanho menor que a do texto principal. As figuras devem ser preparadas em alta resolução (maiores que 1Mb). Para uma boa legibilidade, os

símbolos e caracteres de texto das figuras devem ter tamanho mínimo de 1 mm, mesmo após a redução da figura.

As citações mencionadas no texto devem ser indicadas pelo sistema Autor-Data, obedecendo a norma ABNT NBR 10.520 (agosto/2002), ou a que estiver vigente.