

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE PORTO VELHO/RO

Gislayne Alves Oliveira (Universidade Federal de Santa Maria) E-mail: gislaynealvesoliveira@gmail.com
Juliana Fernandes Vaz Viega (Universidade Federal de Santa Maria) E-mail: gislaynealvesoliveira@gmail.com
Ana Lúcia Denardin da Rosa (Universidade Federal de Santa Maria) E-mail: eng.analucia@yahoo.com.br
Jonas Onis Pessoa (Universidade Federal de Santa Maria) E-mail: jonasonis@gmail.com
José Luiz Silvério da Silva (Universidade Federal de Santa Maria) E-mail: silverioufsm@gmail.com

Resumo: O artigo apresenta o estudo da vulnerabilidade natural do Aquífero Jaciparaná, no município de Porto Velho-RO. De um total de 871 registros de captações de água subterrânea, foram selecionados 211 poços cadastrados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas/CPRM, que continham informações hidrogeológicas necessárias à aplicação do sistema GOD. O grau de confinamento (**G**) apresentou cerca de 49,76% dos poços tubulares em condição confinado; 36,49% semiconfinado; 6,64% não confinado (coberto) e ainda, 7,11% não confinados (livre). Segundo o perfil litológico (**O**) dos poços, os estratos de cobertura da zona vadosa eram compostos de frações: 66,35% argila; 9,00% silte; 20,85% areia e 3,80% cascalho. No parâmetro **D**, observou-se que 93,37% dos poços possuíam nível estático raso, até 20m. De posse dos valores dos parâmetros GOD, obteve-se as seguintes classes de vulnerabilidade: insignificante (48,82%), baixa (40,76%), média (6,16%), alta (3,32%) e extrema (0,95%). Dessa forma, ressalta-se a necessidade de maior atenção às zonas de maior vulnerabilidade, principalmente pelo fato do município não possuir rede coletora e tratamento de esgoto adequados. Contudo, também merecem cuidado aquelas zonas que, apesar da vulnerabilidade baixa e insignificante, indicam fluxos das águas subterrâneas convergindo das fontes de potencial contaminação pontuais, como: postos de combustíveis, lixões e cemitérios.

Palavras-chave: Aquífero Jaciparaná, sistema GOD, mapeamento.

EVALUATION OF INTRINSIC VULNERABILITY OF GROUNDWATER IN MUNICIPALITY OF PORTO VELHO/RO

Abstract: The paper presents the study of natural vulnerability of the aquifer Jaciparaná, the city of Porto Velho. Of a total of 871 records of groundwater extraction, were selected 211 wells registered in the Information System of Groundwater / CPRM, which contained hydrogeological information required to implement the GOD system. The degree of confinement (**G**) had approximately 49.76% of tube wells in confined conditions; 36.49% semi-constrained; 6.64% unconfined (covered) and also 7.11% unconfined (free). According to the lithological profile (**O**) of the wells, the covering layers of the vadose zone consisted of fractions: 66.35% clay; 9.00% silt; 20.85% 3.80% sand and gravel. In the parameter **D**, it was observed that 93.37% of the wells had shallow static level, up to 20m. Having the values of the parameters GOD, there was obtained the following classes of vulnerability: negligible (48.82%), low (40.76%), medium (6.16%), high (3.32%) and extreme (0.95%). Thus, the use and occupation, it emphasizes the need for greater attention to the most vulnerable areas, mainly because the city has no sewage system and treatment of proper sewage. However, they also deserve careful those areas that, despite the low and insignificant vulnerability indicate groundwater flows converging point of potential contamination sources, such as gas stations, garbage dumps and graveyards.

Keywords: Jaciparaná Aquifer, GOD system, mapping.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, assim como em inúmeras partes do mundo, as águas subterrâneas têm desempenhado um importante papel no abastecimento público e privado, suprimindo as mais variadas necessidades de água em diversas cidades e comunidades, bem como em sistemas autônomos residenciais, indústrias, serviços, irrigação agrícola e no lazer. Estima-se que os aquíferos servem ao abastecimento para 30 - 40% da população brasileira, sobretudo em

idades de médio e pequeno porte e em algumas capitais, tais como Porto Velho-RO (HIRATA *et al.*, 2010).

Segundo Silva Filho e Campos (2002), a capital rondoniense, Porto Velho, está inserida no Sistema Aquífero Jaciparaná ou mais recentemente denominado como Aquífero Sedimentar Indiferenciado ou de Aluvião (FREITAS *et al.*, 2012). Constitui-se por depósitos de origem fluvial e colúvio-aluvial com intercalações de areia, argila e silte de idade Tércio – Quaternária (CAMPOS, 1998). O pacote sedimentar é bastante heterogêneo e possui, em média, 50 m de espessura. Esse aquífero é do tipo poroso/intergranular e representa uma fonte estratégica de água para a o abastecimento humano, visto que o Aquífero Jaciparaná abastece cerca de 25% do Município de Porto Velho, além de vários outros (CAMPOS, 1998; CAMPOS e MORAIS, 1999; SILVA FILHO e CAMPOS, 2002).

Apesar de sua notória relevância, o Aquífero Jaciparaná é ainda pouco conhecido. As pesquisas acerca de sua vulnerabilidade natural, por exemplo, ainda são incipientes. Para Santos *et al.*, (2010), o estudo da vulnerabilidade em aquíferos é de fundamental importância, pois através deste é possível especializar-se em mapas, os fatores que comprometem a qualidade da água. Também espacializar os riscos pelos quais ela pode ser poluída e como os fatores intrínsecos reagem as ações antropogênicas na superfície do terreno.

Os autores citados também destacam que a análise da vulnerabilidade serve como parâmetro para ações gerenciais que visem a gestão racional dos mananciais subterrâneos, bem como para a gestão, por parte dos órgãos públicos, com relação à implementação de políticas de controle e preservação dos recursos hídricos.

Dentre os diversos métodos empregados para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos, ressalta-se o sistema GOD, o qual foi desenvolvido em 1987 por Foster e é considerado simples, sistemático e tem apresentado resultados satisfatórios, sendo adaptado as condições brasileiras e caribenhas (FOSTER *et al.*, 2006). Uma vez que a gestão das águas subterrâneas é de competência estadual, porém ainda é incipiente em várias regiões do país, como exemplo o Estado de Rondônia (OLIVEIRA SILVA *et al.*, 2008; RONDÔNIA (2015 a e 2015 b)).

O instrumento da outorga de direito de uso das águas subterrâneas exige que os usuários apresentem ensaios de bombeamento que forneçam parâmetros do aquífero acompanhados de análises físico-químicas e bacteriológicas da captação por poços tubulares. Essas informações ainda são pouco disponibilizadas. Portanto a aplicação do método de análise da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação como o DRASTIC (ALLER *et al.*, 1987) necessita da condutividade hidráulica, parâmetro C. Esse parâmetro é obtido pelo ensaio de bombeamento X rebaixamento seguindo normas da (ABNT/NBR/12.244/2006).

Ribeiro (2005) propôs o Índice de Susceptibilidade/IS, um novo índice de vulnerabilidade específico, alternativo ao método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), distingue dois tipos de vulnerabilidade: intrínseca e específica. A Intrínseca considera unicamente as características geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas do meio aquífero sendo por isso independentemente do tipo de poluente gerado pelas atividades antropogênicas. Enquanto que os métodos de vulnerabilidade específica devem ser utilizados sempre que se considera as propriedades de um poluente específico e as suas relações com os componentes de vulnerabilidade intrínseca.

Acerca das águas subterrâneas do Município de Porto Velho-RO, Rodrigues (2008) destaca que diversos fatores, tais como a ausência de uma infraestrutura urbana adequada, sistema de tratamento de esgoto deficitário, baixa oferta de água potável aos domicílios, lençol freático muito raso, ocupação desordenada e perspectivas de desenvolvimento econômico-industrial, por exemplo, representam uma potencial contaminação da água

subterrânea no município. Pesquisas de Melo Junior e Costi (2004) e, Forte *et al.*, (2007) já indicavam a existência de vazamentos em posto de combustível na Vila Tupi, porção sudoeste do município.

Assim, o uso de ferramentas como os estudos de vulnerabilidade natural ou intrínseca, torna-se premente a fim de contribuir para uma gestão racional dos recursos hídricos subterrâneos bem como no uso do solo de zonas urbanas como a capital do Estado de Rondônia objeto dessa pesquisa.

Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Jaciparaná à contaminação, no Município de Porto Velho-RO, aplicando-se o sistema GOD (FOSTER *et al.*, 2006) e especializando-se a superfície potenciométrica indicativa da direção dos fluxos subterrâneos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no Município de Porto Velho, o qual está localizado no Estado de Rondônia, na Amazônia Ocidental, no Norte do país. Essa porção de grande vastidão areal apresenta grandes lacunas de conhecimentos hidrogeológicos, Figura 1.

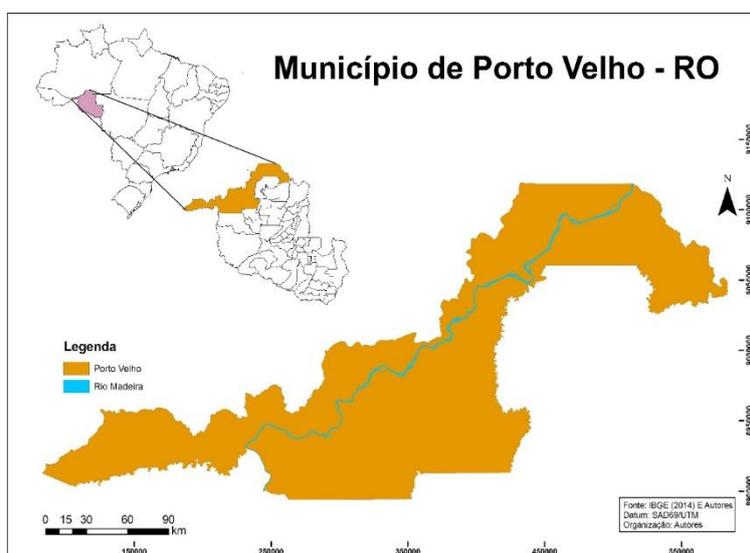


Figura 1 - Localização da área do estudo no Município Porto Velho/RO, Baía Hidrográfica do Rio Madeira.

Apresenta uma população estimada em cerca de 494.013 habitantes (IBGE, 2010). Está compreendido entre as latitudes de 7° 58' S e 13° 41' S e longitudes 59° 46' W e 66° 48' W de Greenwich.

Segundo a Classificação de Köppen, o Estado de Rondônia apresenta um clima tropical úmido, tipo AW. A precipitação média anual varia entre 1.400 a 2.600 mm/ano (RONDÔNIA, 2014), Já nos meses de junho, julho e agosto (verão) apresenta precipitação inferior a 20 mm, enquanto a temperatura média anual do ar varia entre 24° a 26°C.

A área em estudo pertence a Baía Hidrográfica do Rio Madeira afluente da margem direita do Rio Amazonas.

O índice de vulnerabilidade natural ou intrínseca à contaminação do Aquífero Jaciparaná foi obtido pela aplicação do sistema GOD (FOSTER *et al.*, 2006), o qual resulta do produto dos valores encontrados em cada um dos três parâmetros do aquífero, avaliados pelo sistema GOD, Figura 2.

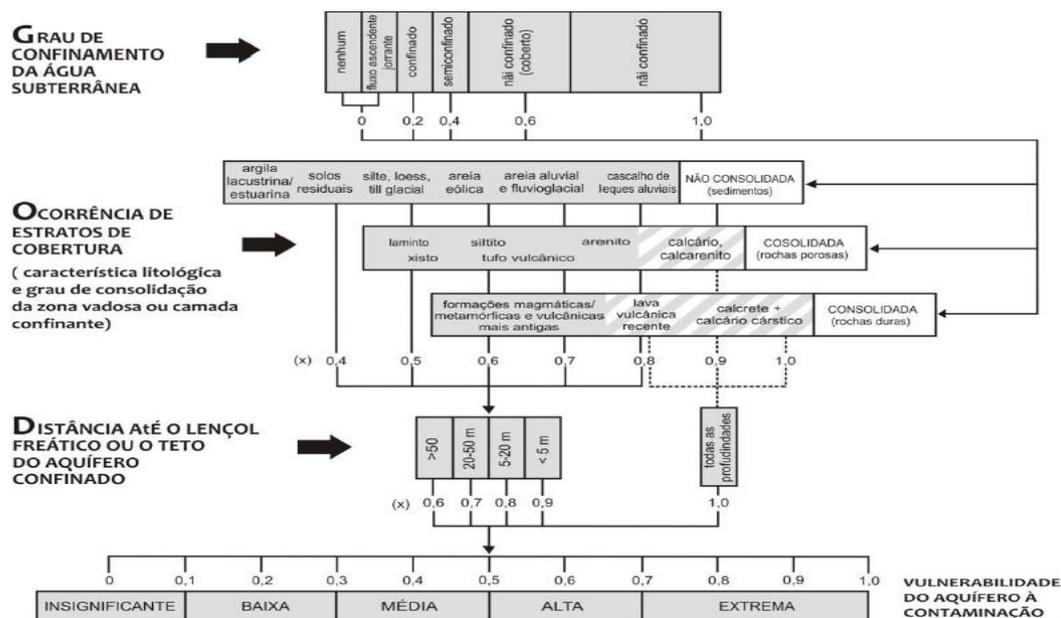


Figura 2 - Sistema GOD, Índice de Vulnerabilidade intrínseca do aquífero à contaminação (FOSTER *et al.*, 2006).

Para aplicação do Sistema GOD é necessário obter informações referentes aos poços localizados na área de estudo tais como: o grau de confinamento do poço, o perfil litológico penetrado e a profundidade do nível estático. Dessa forma foi realizada uma pesquisa no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) Serviço Geológico do Brasil.

De acordo com a Resolução Nº126 /2011 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabeleceu diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Essa resolução considera em seu Art. 3º, I Cadastro de usuários de recursos hídricos: conjunto de dados e informações sobre usuários, usos e interferências nos recursos hídricos.

Segundo informações disponibilizadas no sítio da *web* CPRM/SIAGAS (2015), o Município de Porto Velho apresenta cerca 861 captações por poços tubulares cadastrados. Entretanto somente 211 captações foram utilizadas no presente estudo, pois apresentaram todos os parâmetros hidrogeológicos necessários a execução do sistema GOD (FOSTER *et al.*, 2006).

O primeiro parâmetro do sistema GOD, “G” - Grau de confinamento, leva em consideração o tipo de aquífero, dos 211 poços selecionados somente 27 apresentavam essa informação, assim para os demais foi observado o estrato litológico acima do nível freático para classificá-lo, sendo atribuídos valores que variam entre 0 a 1,0.

O segundo parâmetro, “O” - Ocorrência de estratos de cobertura classifica os estratos ou camadas acima da zona saturada do aquífero, em termos do grau de consolidação e caráter litológico, e são atribuídos valores que variam em uma escala de 0,4 a 1,0. Já o último parâmetro, “D” - Distância até o lençol freático representa o nível freático, isto é, a distância entre a boca do poço e o nível da água subterrânea. Sua escala varia entre 0,6 a 1,0 Figura 2.

Outro parâmetro especializado em cartograma nesse estudo foi a superfície potenciométrica. Heath (1983) considera uma superfície que representa a carga total em um

aquífero, a qual é representada pela altura do nível da água em relação a um datum de referência, em um poço totalmente penetrante no aquífero.

Por meio da superfície potenciométrica é possível determinar-se a tendência da direção do fluxo da água subterrânea, verificando-se assim, a direção preferencial de uma possível pluma de contaminação gerada na superfície do terreno ou em subsuperfície.

Dos cerca de 211 poços selecionados na pesquisa, somente 18 apresentavam informações geográficas com a cota altimétrica na “boca do poço”. Assim para obter-se essa cota nos demais poços não dotados desta informação, as mesmas foram inferidas a partir do uso imagens disponíveis na Web Projeto da NASA SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução no terreno de 90m X 90m. Usou-se ainda as ferramentas de processamento de imagem do programa de geoprocessamento ArcGIS®.

Por meio do portal Brasil em Relevo, produto gerado no projeto da Embrapa Monitoramento por Satélite (EMBRAPA, 2014), foi realizado o *download* de um conjunto de imagens SRTM, com resolução de 90 metros, pertencentes ao município de Porto Velho. Essas imagens foram unidas em processo de fusão, formando um mosaico através de programa de SIG.

Os dados originais, do projeto Brasil em Relevo, foram obtidos em formato *raster*, com resolução radiométrica de 16 *bits*, em formato HGT, projeção geográfica. Também foram utilizados como fonte de informações, os modelos digitais de elevação da América do Sul, derivados do SRTM e pós-processados pela FAO/UNESP (Food Agriculture Organization/United Nation Environment Programme), no âmbito do programa GLCN (Global Land Cover Network), (MIRANDA, 2005).

Através do mosaico gerado, utilizando-se a ferramenta “Extract Values to Points”, também no programa ArcGIS, foram retirados os dados altimétricos dos pontos de interesse, as captações por poços tubulares localizados na área de estudo.

Também foram obtidas as coordenadas geográficas e cotas de pontos considerados potenciais de contaminação na área urbana do município de Porto Velho, sendo eles: cemitérios e postos de combustíveis. A obtenção das coordenadas geográficas ocorreu de forma remota em que, valeu-se do conhecimento dos autores da área do estudo e de imagens do aplicativo *Google Earth* (2014)

Já para aquisição das cotas altimétricas de cemitérios e postos de combustíveis, foi realizado o mesmo procedimento empregado para obter as cotas dos poços, em que foram utilizadas as imagens de satélite SRTM e programas de geoprocessamento.

Para a confecção de mapas, cartogramas e materiais cartográficos foram utilizados os Programas Surfer 8 e o ArcGis. Em que foi necessário a utilização de interpoladores, que segundo Landim *et al.*, (2002) consideram que interpolar é predizer (estimar) o valor da variável sob estudo em um ponto não amostrado.

Os métodos mais comuns de interpolação são: o Vizinho mais Próximo, Vizinho Natural, Triangulação Linear, Triangulação Delaunay, Polígonos de Voronoi, Mínima Curvatura, Regressão Polinomial, Krigagem e Inverso da Potência da Distância. A Krigagem foi testada e utilizada na presente pesquisa, Em aplicações ambientais, a krigagem desempenha papel fundamental, pois parte do princípio de que um ponto localizado no espaço é mais semelhante aos pontos que estão ao seu entorno comparado aos pontos mais afastados. Isto, portanto, pressupõe a existência de correlação entre os elementos amostrados, sendo necessário identificar até onde espacialmente esta correlação é significativa a (ISAKS e SRIVASTAVA, 1989).

Ainda, Landim *et al.* (2002) salientam, que a representação espacial de dados no espaço é essencial em diversas áreas do conhecimento, em especial nas Geociências e Ciências da Terra. O SURFER é um pacote de programas gráficos comercial que pode ser utilizado para o cálculo e a confecção de mapas de variáveis a partir de dados regularmente distribuídos.

Utilizou-se o programa ArcGIS para geração de mapas, cartogramas e espacialização dados geológicos, o índice de vulnerabilidade natural em escala regional e de detalhe no município e especializou-se em Sistema de Informações Geográficas/SIG as tendências de direção dos fluxos subterrâneos.

Heath (1983) considera a Superfície Potenciométrica como sendo a relação entre a cota altimétrica e o nível da água, tomando-se uma relação com o Datum de referência. Nesse estudo adotou-se o Datum Horizontal *South America Datum/SAD 69*, também adotado pela CPRM/SIAGAS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das informações coletadas no sítio da *Web SIAGAS/CPRM* (2014) demonstrou que dos 211 poços selecionados, apenas 27 apresentaram a informação sobre a condição de confinamento da captação. Desses, 17 foram classificados como poços pertencentes a aquífero do tipo confinado, 5 na condição livre e 5 em aquífero semiconfinado. Os demais foram classificados utilizando-se as informações litológicas disponíveis nos perfis geológicos penetrados nas perfurações. Uma vez que ainda não existe um controle efetivo nas empresas perfuradoras, muitas não dispõem de informações litológicas e/ou construtivas. A partir dessas informações os poços foram classificados, sendo que 88 foram considerados em aquífero confinado, 10 em livre, 72 em semiconfinado e 14 em aquífero não confinado (coberto). Para cada uma dessas classificações eram atribuídos os valores indicados no sistema GOD, para o parâmetro “G”.

Observou-se que os poços considerados como pertencentes ao aquífero confinado apresentaram uma expressiva quantidade de fração argila (partículas inferiores a 0,002 mm), enquanto que os que se enquadraram no aquífero não confinado, apresentaram em sua composição grande quantidade de areia (partículas entre 2,0 a 0,062 mm). Heath (1983) informa que as argilas podem apresentar até 50% de porosidade, porém baixa permeabilidade, não transmite a água. Enquanto que as areias podem apresentar uma porosidade variando entre 15 até cerca de 30%, portanto com elevada relação porosidade/permeabilidade.

Merecem uma atenção especial, os poços classificados como não confinados, pois são mais suscetíveis à contaminação das águas subterrâneas, dependendo dos tipos de atividades antropogênicas realizadas no solo/subsolo e a profundidade em que se encontra o nível da água.

Para determinação do parâmetro “O” foi realizada a análise dos perfis geológicos dos poços, sendo que as camadas sedimentares de cobertura da zona vadosa eram compostas por frações: 66,35% argila; 9,00% siltes; 20,85% areias e 3,80% cascalho. Esses resultados estão consonantes com as formações litológicas encontradas nas áreas de estudo. Dentre elas são constituídas pela Formação Solimões, Coberturas Sedimentares indiferenciadas, Cobertura detrito-lateríticas, Depósitos Aluvionares, Complexo Xingu, Grupo Jaci-Paraná, Suite intrusiva São Lourenço –Caripunas, Teotônio, Depósito Aluvionares, Serra da Providencia, Santo Antônio conforme Figura 3.

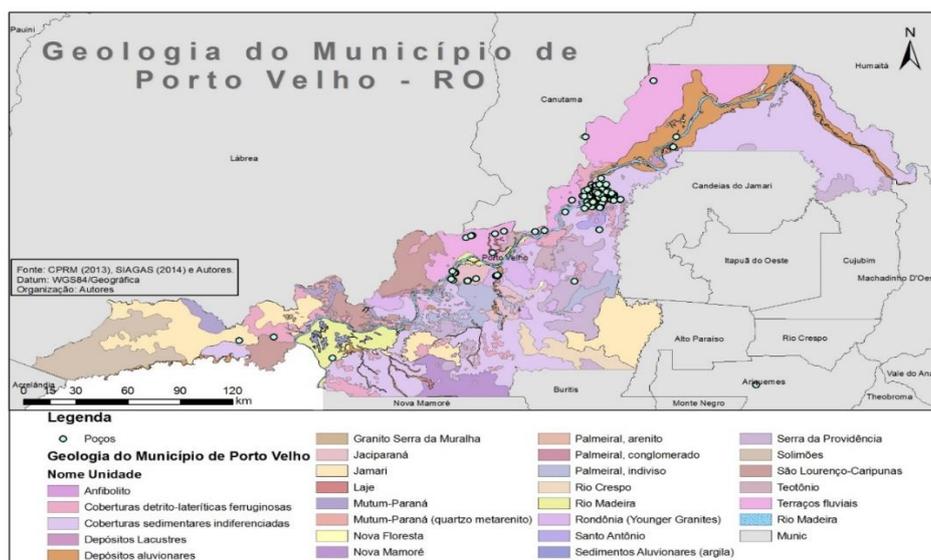


Figura 3 - Mapa Geológico do Município de Porto Velho/RO, CPRM (2013).

Observando-se as informações do nível estático (N.E.) é possível determinar o parâmetro “D” no Sistema GOD, em que 6,63% dos poços com apresentaram N.E. variando entre 20 e 50m. Cerca de 83,41% das captações por poços tubulares apresentaram N.E. entre e 5 e 20 metros e ainda, 9,96% dos poços apresentam N.E., inferior a 5 metros. Dessa forma pode-se dizer que 93,37% dos poços possuíam N.E até 20m de profundidade, o que os enquadra como nível da água rasos Figura 4.

Nível Estático dos Poços

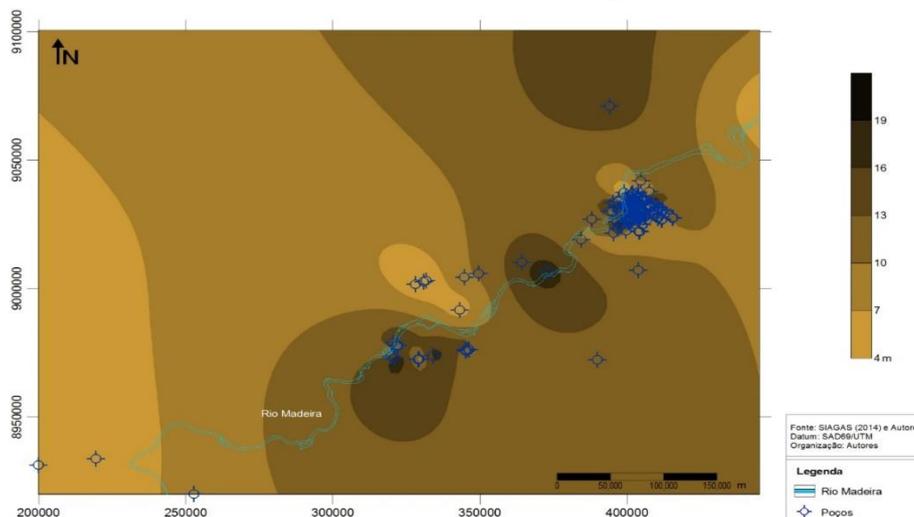


Figura 4 - Cartograma do Nível Estático (N.E.) nos 211 poços tubulares na área do estudo em escala regional.

A análise do N.E em captações por poços é de grande importância na determinação da vulnerabilidade natural ou intrínseca do aquífero, pois as captações com nível de água mais rasas, tendem a ser mais propícias à contaminação oriundas de ações antrópicas na superfície do terreno, tais como: vazamentos em postos de combustíveis, lixões, cemitérios (FOSTER e HIRATA, 1993; FOSTER *et al.*, 2006).

Em relação a cota da “boca do poço” as quais foram obtidas a partir dos dados gerados pelas imagens SRTM, foi possível verificar que os valores variaram de 45,46m a 150,86m, sendo a média de 85,87m. O Município de Porto Velho é caracterizado por ser bastante

plano, de pequena variação na altitude, associado a Planície Aluvial do Rio Madeira, um importante afluente da margem direita do Rio Amazonas.

De posse dos valores encontrados para cada um dos parâmetros do sistema foi possível determinar-se a vulnerabilidade natural do aquífero no Município de Porto Velho, por meio do produto desses valores, sendo possível identificar a ocorrência na área do estudo de todas as classes de vulnerabilidade: insignificante, baixa, média, alta e extrema. A classe com vulnerabilidade insignificante foi predominante, com cerca de 48,82% do total dos poços estudados é seguida pela classe baixa, com 40,76%. Já a classe média apresentou 6,16% do total dos poços analisados, a classe alta com 3,32% e a classe extrema com 0,95%, conforme Figura 5.

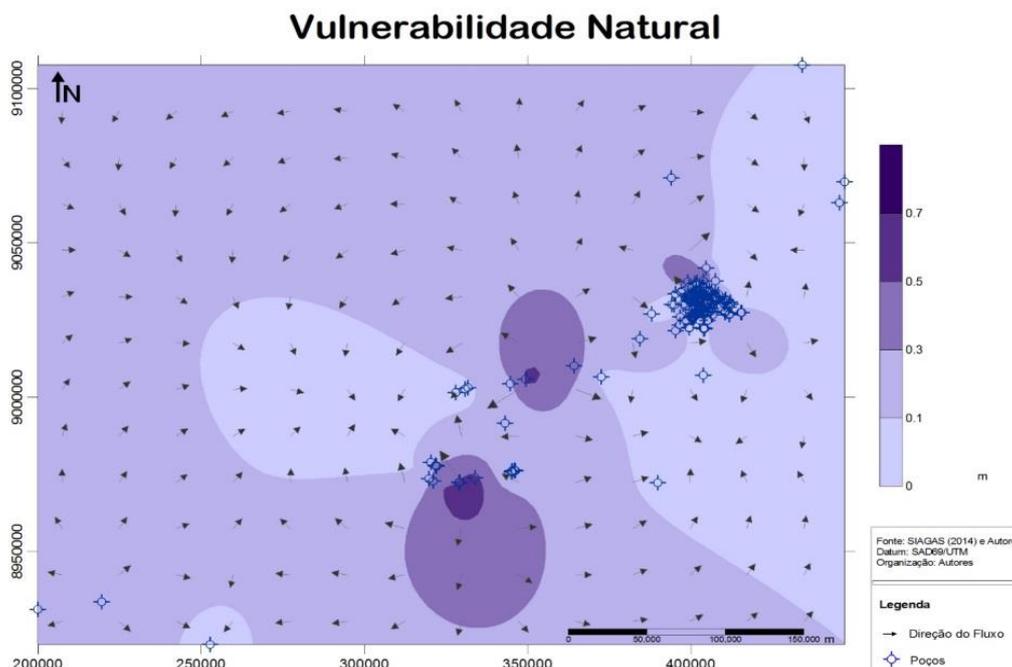


Figura 5 - Cartograma do Índice Vulnerabilidade natural do Aquífero Jaciparaná no Município de Porto Velho/RO.

Vale destacar que os poços encontrados na área de média vulnerabilidade natural estão em aquífero classificado como não confinado (coberto) e não confinado enquanto a litologia é composta, em sua grande maioria, constituída por frações silte e areia (2,0 a 0,062 mm) de maior relação entre porosidade/permeabilidade, e ainda N.E. menor do que 20 m. Entretanto os poços classificados com alta vulnerabilidade estão localizados no aquífero livre, com cobertura da zona vadosa composta por areias e cascalhos e profundidades de N.E. inferior a 20 m. Merece maiores cuidados na ocupação dos solos na implantação de novos empreendimentos potencialmente poluidores.

Já os poços localizados na zona de extrema vulnerabilidade natural, estão em aquífero livre, onde a litologia é composta por arenitos e a profundidade no nível estático é menor do que 5 metros. Entretanto é importante observar-se que a vulnerabilidade natural é diferente de risco a poluição, pois é possível encontrar-se áreas com alto risco de poluição, porém com baixa vulnerabilidade.

Tal fato pode ser explicado, pois é preciso observar que a contaminação dos aquíferos está diretamente ligada ao tipo de atividade exercida na superfície do terreno, o tipo de contaminante e sua carga. Nesse contexto a vulnerabilidade

natural não leva em consideração as contaminações geradas devido a potenciais cargas poluentes tais como: cemitérios, poços de combustíveis, fossas negras, lixões, dentre outros.

Por essa razão foram mapeados com auxílio do aplicativo Google Earth, disponível na *Web*, alguns dos postos de combustíveis (pontos em amarelos) e cemitérios (cruz vermelha) pertencentes a zona urbana do Município de Porto Velho, Figura 6.

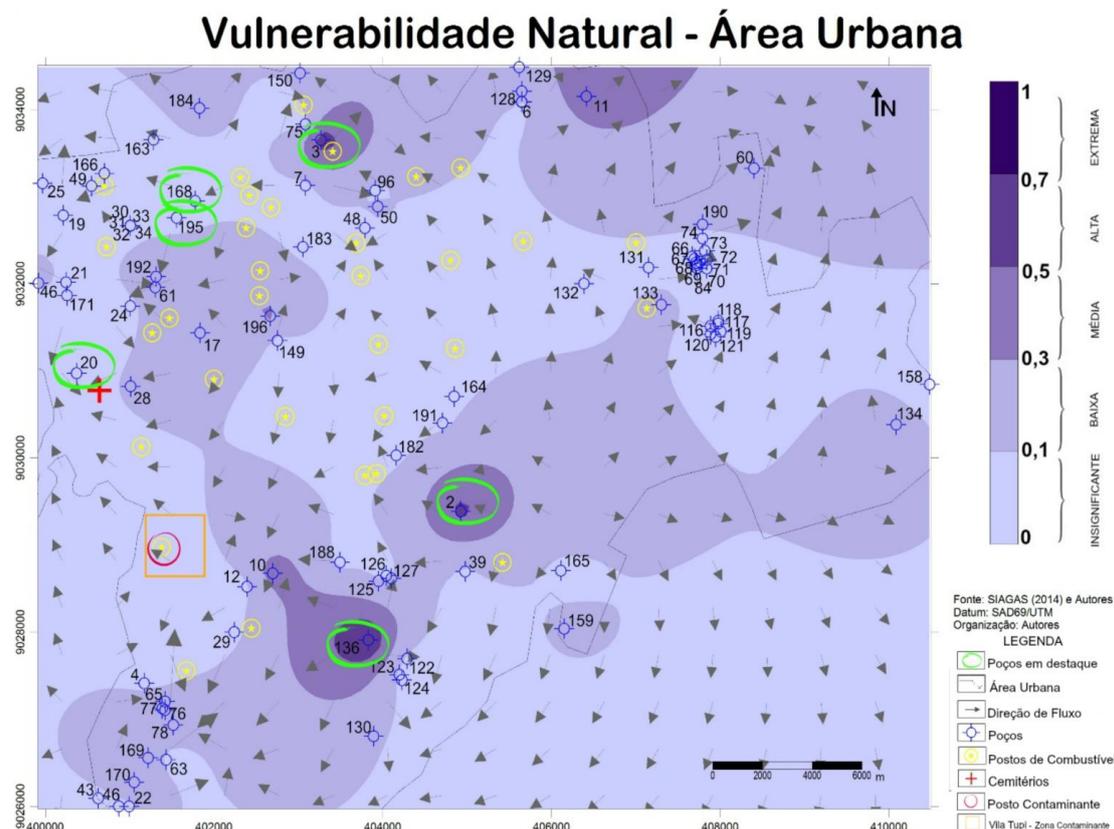


Figura 6 - Vulnerabilidade intrínseca do aquífero à contaminação na área urbana do Município de Porto Velho/RO.

Além dos poços de combustível e cemitério foi destacado na Figura 6 a área do bairro Vila Tupi (quadrado laranja), que apresentou contaminação por posto de combustível citada por Melo Junior e Costi (2004) e Forte et al., (2007). Dessa forma é possível perceber, que apesar do bairro estar em uma zona de vulnerabilidade insignificante a contaminação gerada pelo posto de combustível merece atenção, pois encontrasse em uma zona de fluxo divergente, assim essas águas podem contaminar poços de áreas vizinhas.

Ainda na Figura 6, alguns poços, que estão destacados por um círculo verde, merecem atenção, devido a vulnerabilidade natural da área em que se encontram e a direção das linhas de fluxos. Por exemplo, os poços de número 168 e 195, apesar de estarem localizados em áreas vulnerabilidade natural insignificante, podem sofrer contaminação devido aos poços de combustíveis localizados no seu entorno, pois o fluxo das águas subterrâneas convergem dos postos de combustível para os poços.

Fato semelhante ocorre com o poço de número 20, que está localizado em uma área de vulnerabilidade natural insignificante, indicando o fluxo das águas subterrâneas convergindo do cemitério para essa captação por poço tubular.

Já no poço de número 136, ocorre situação bem distinta, ele está localizado em área de extrema vulnerabilidade natural, que tem o fluxo das águas subterrâneas divergente, fator que favorece a não contaminação pelos postos de combustíveis localizados no entorno, entretanto vale destacar que essa região onde está localizada a captação necessita de cuidados, na preservação da sua qualidade natural, uma vez que podem existir outras fontes de contaminação.

4. CONCLUSÕES

Deve-se dar maior atenção para as zonas de índice de vulnerabilidade alta e extrema, principalmente pelo fato do Município de Porto Velho, ainda não dispor de rede coletora e tratamento de esgotos adequado. Conforme já salientado grande parcela da população ainda utiliza fossas negras para depósito dos efluentes domésticos.

Também merece atenção aspectos referentes ao uso e a ocupação dos solos, na implantação de novos empreendimentos que utilizem o subsolo para dispor seus efluentes. Mesmo as zonas de vulnerabilidade baixa e insignificante deve-se considerar a carga contaminante associada as tendências de direção dos fluxos das águas subterrâneas (superfície potenciométrica), convergindo das fontes potenciais de contaminação para as captações por poços.

Os resultados encontrados poderão ser complementados e servem de subsídio aos órgãos gestores e Plano de Bacia Hidrográfica.

Exponha nesta seção as conclusões a respeito do seu trabalho. Resgate o objetivo do seu trabalho confrontando-o com os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.224: *Construção de poço para captação de água subterrânea*. Rio de Janeiro. 2006.

ALLER, L., et al., 1987. *DRASTIC: A standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. US Environment Protection Agency, Ada, Oklahoma, EPA/60012-87/035.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/ Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº126 de 29 de junho de 2011. Estabelecer diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2014. Disponível em <<http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%20126.pdf>> Acesso 10 de setembro de 2014.

CAMPOS, J. C. V. Avaliação preliminar do potencial hidrogeológico da cidade de Porto Velho – RO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRANEAS, 10. *Anais...* 1 CD, São Paulo, 1998.

CAMPOS, J. C. V.; MORAIS, P. R. C. 1999. Morfologia dos Aquíferos da área urbana de Porto Velho (RO). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13. *Anais...* Belo Horizonte, (CDROM).

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTO DE RONDÔNIA. CAERD. Porto Velho. Disponível em <<http://www.caerdro.com.br/arquivos/imagens/Relatorio%20Anual%202010.pdf>>. Acesso 20 de maio de 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. *Embrapa Monitoramento por Satélite*. Portal Embrapa (Versão 2.22.0) p1. Disponível em <<https://www.embrapa.br/monitoramento-por-satelite>>. Acesso 20 de maio de 2015.

ESRI 2011. *ArcGIS Desktop: Release 10*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. Licensed UFSM/Brazil.

FOSTER, S. *Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy*. In: International Conference of Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants, 1987, Noordwijk. Proceedings... The Hague: TNO Committee on Hydrological Research; Bilthoven: National

FOSTER, S; HIRATA, R. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (*Boletim N° 10*).

FOSTER, S., et al. Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Edição brasileira: SERVIMAR – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. São Paulo, 2006.

HEATH, R. C. *Basic ground-water hydrology*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 2220, 1983, 84 p.

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

FORTE, E. J.; AZEVEDO, M.S.; ALMEIDA, R. Contaminação de aquífero por hidrocarbonetos: estudo de caso na vila Tupi, Porto Velho – Rondônia. *Química Nova*. Vol.30, n. 7, p. 1539-1544, 2007.

FREITAS, M. A.; DINIZ, J. A. O.; PEIXINHO, F. C. Mapa Hidrogeológico da Amazônia Legal- Escala 1: 2.500.000. In: XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. *Anais...* 2012.

Golden Software, Inc; SURFER 8.0; Colorado, USA, 2002. Licensed to UFSM, Brazil.

HIRATA, R. C. A.; ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. In: BICUDO, Tundisi, Scheuenstuhl (orgs.). *Águas do Brasil: análises estratégicas*. Cap. IX, 2010, p. 149-161.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. Introdução à confecção de mapas pelo *software* SURFER, UNESP, Campus de Rio Claro. IGCE, Laboratório de Geomatemática, Texto Didático 08, 2002. P. 34.

MELO JUNIOR, H. R.; COSTI, A. C. Z. Avaliação da Contaminação das Águas Subterrâneas por Hidrocarbonetos Provenientes de Postos de Abastecimento de Combustível

na Vila Tupí, Porto Velho (RO). In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas/ABAS, 2004.19 p.

MIRANDA, E.E. Brasil em Relevô. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, 2005.

NASA _ Jet Propulsion Propulsion Laboratory California Institute of Technology SRTM/ Shuttle Radar Topography Mission. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (SC-19-X-D, SC-20-V-A, SC-20-V-B, SC-20-V-C, SC-20-V-D, SC-20-X-A, SC-20-X-B, SB-20-Y-D, SB-20-Z-C). Acesso 02 de agosto de 2014.

OLIVEIRA SILVA, M.M.A.; HOLZ, J.; FAIÃO, D.; FREIRE, C.C. A outorga de direito do uso da água subterrânea nos estados brasileiros. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS.2008, 14p.

RIBEIRO, L. Desenvolvimento e aplicação de um novo índice de susceptibilidade dos aquíferos à contaminação de origem agrícola. 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, APRH, 29 Maio a 2 Junho 2005, Évora; 2005.

RODRIGUES, E.D.R. *Avaliação Espacial da Qualidade da Água Subterrânea na Área Urbana de Porto Velho – RO, Brasil*. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2008.

RONDÔNIA. Lei Complementar Nº 255, de 25 de janeiro de 2002. Disponível em <<http://www.sedam.ro.gov.br/web/guest/Instituicao/Legislacao/LeiComplementar>>. Acesso 20 de maio de 2015 a.

RONDÔNIA. Portaria SEDAM Nº 0038, de 17 de fevereiro de 2004. Disponível em <<http://www.sedam.ro.gov.br/web/guest/Instituicao/Legislacao/Portarias>>. Acesso 20 de maio de 2015 b.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. CPRM. *Sistema de Informações de águas subterrâneas*. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso 02 de março de 2015.

_____. *Mapa Geológico do Estado de Rondônia*. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Cartografia-Geologica-Regional-624.html>>. Acesso 05 de setembro de 2014.

SANTOS, R. A.; CRUZ, M. J. M; NASCIMENTO, S. A. M. Avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos cársticos: subsídios para uma gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Caderno de Geociências. Nº 7,54 -62 p. 2010.

SILVA FILHO, E.P.; CAMPOS A. L. C. V. Diagnóstico da captação de água subterrânea em Porto Velho. Universidade Federal de Rondônia, Primeira Versão, Ano I, n.29, Porto Velho, 2002, 8 p.