



Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no município de Humaitá, Amazonas, Brasil

doi:10.4136/ambi-agua.1797

Received: 04 Nov. 2015; Accepted: 25 Jan. 2016

Miqueias Lima Duarte^{1*}; Fabrício Berton Zanchi²; Juliana Rocha Duarte Neves¹;
Heron Salazar Costa¹; Walleon Higor Corrêa Jordão¹

¹Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Humaitá, AM, Brasil
Instituto de Educação Agricultura e Ambiente - IEAA

²Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Porto Seguro, BA, Brasil

*Autor correspondente: e-mail: miqueiaseng@hotmail.com,
faberzanchi@gmail.com, julianaengamb@outlook.com,
hescosta@ufam.edu.br, walleonjordao@gmail.com

RESUMO

Os recursos hídricos subterrâneos têm sido utilizados em grande escala em todo o território brasileiro. No sul do estado do Amazonas, sua utilização é exclusiva em vários municípios, porém esta região é caracterizada pelo precário quadro de saneamento básico. Considerando-se tal importância das águas subterrâneas, foi realizado um estudo com o objetivo de classificar e mapear a vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea sob área urbana e adjacências do município de Humaitá, sul do Estado do Amazonas. A aplicação do método GOD (*Groundwater occurrence; Overall lithology of the unsaturated zone; and Depth of the water table*), permitiu identificar as classes de vulnerabilidade na área. Os resultados obtidos revelaram a existência de média e alta vulnerabilidade à contaminação do aquífero na área, indicando a fragilidade do sistema aquífero que abastece o município, e a necessidade da adoção de políticas públicas que visem à proteção dos recursos hídricos subterrâneos da região.

Palavras-chave: aquífero aluvionar, método GOD, recursos hídricos.

Vulnerability of groundwater to contamination in the municipality of Humaitá, Amazonas

ABSTRACT

Groundwater has been used intensively throughout Brazil. In southern Amazonas state, the water supplies of some municipalities are derived exclusively from wells. Yet this region generally has no wastewater treatment, leading to potential contamination of the underground water. We classified and mapped the vulnerability of groundwater supplies to contamination in the urban and peri-urban area of Humaitá in southern Amazonas State. We used the GOD method (*Groundwater occurrence; Overall Lithology of the unsaturated zone; Depth of the water table*) to score vulnerability classes. The results revealed the existence of average and

high vulnerability of aquifer contamination in the area, indicating the fragility of the aquifer system that supplies the municipality, and showing the need for public policies aimed at the protection of the region's groundwater resources.

Keywords: alluvial aquifer, GOD method, water resources.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de águas subterrâneas são fontes naturais bem mais resistentes à poluição do que os de águas superficiais, pois a camada de solo sobrejacente atua como filtro impedindo o deslocamento de poluentes para a camada saturada (Foster et al., 2006). E por serem fontes de água mais limpas, e geralmente possuindo boa qualidade, vêm sendo utilizados em grande escala para abastecimento de cidades e núcleos urbanos em todo Brasil (ANA, 2010).

No estado do Amazonas, a maioria das comunidades e aglomerados urbanos está situada na margem dos rios da região. No entanto, a despeito da grande disponibilidade hídrica superficial, a maioria dos municípios amazonenses possui captação de água para abastecimento urbano efetuado por poços rasos (ANA, 2010).

Os principais aquíferos explorados para abastecimento público no estado do Amazonas são: Içá, Alter do Chão e os demais relacionados às Coberturas Aluvionares. Os classificados como de Cobertura Aluvionares recentes e antigas se constituem como o terceiro sistema aquífero mais importante do estado do Amazonas, sendo fonte de abastecimento de vários núcleos urbanos (Maia, 2010).

O município de Humaitá, localizado ao sul do estado, é um exemplo onde o abastecimento de água consiste exclusivamente de fontes subterrâneas. Os sistemas de abastecimento de água desse município e de outras 18 sedes municipais são bastante precários, uma vez que é captada e distribuída sem tratamento (ANA, 2010). Segundo Maia (2010), os sistemas aquíferos relacionados à Cobertura Aluvionares que abastece a região são mais susceptíveis à contaminação por serem geralmente mais raso e facilmente alcançado por poluentes. Além disso, a região é marcada pelo precário quadro de saneamento básico, que segundo Foster et al. (2006), o tratamento inadequado desses resíduos é uma das principais fontes de contaminantes das águas subterrâneas.

Vários métodos de avaliação de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos têm sido utilizados no Brasil e em diversas partes do mundo. Tais metodologias apresentam grande aplicabilidade no planejamento do uso do solo, no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas e em investigação de risco de contaminação dos aquíferos (Tavares et al., 2009; Cutrim e Campos, 2010; Barbosa et al., 2011; Meira et al., 2014; Caniani et al., 2015; Eke et al., 2015; Löbler e Silvério da Silva, 2015; Miranda et al., 2015; Muhammad, et al., 2015). Dentre eles, destaca-se o Método GOD (Groundwater Overall Depth) proposto por Foster e Hirata (1988), que pela simplicidade de aplicação e praticidade nas análises dos resultados, tem sido amplamente utilizado na avaliação de aquíferos e como auxílio no gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e no planejamento de políticas públicas.

Os métodos de avaliação de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos aliados às técnicas de cartografia em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) têm sido amplamente utilizados no estudo de vulnerabilidade de aquíferos, e sua aplicação tem sido bem descrita em vários trabalhos (Miranda et al., 2015; Linhares et al., 2014; Tavares et al., 2009; Nobre et al., 2008). Segundo Foster et al. (2006), a utilização da plataforma SIG adequada facilita a interação, a atualização e a apresentação dos resultados.

O preocupante quadro de saneamento básico apresentado no município de Humaitá/AM juntamente com insuficiência de informação do sistema aquífero da região, estimulou o desenvolvimento deste estudo que tem como objetivo avaliar a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas na área urbana e adjacências do município, com o

emprego do método GOD.

1.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende o meio urbano e parte da zona rural do município de Humaitá, sul do estado do Amazonas (Figura 1). Situada à margem esquerda do rio Madeira, cujas coordenadas são 07°30'22" Sul e 63°01'15" Oeste, possuindo área de 653,4 km², e distante 591,1 km da capital amazonense.

O município de Humaitá limita-se com os municípios de Canutama, Tapauá, Manicoré e com o estado de Rondônia (Jordão et al., 2015). Sua população, segundo IBGE (2011), é de 44.116 habitantes, sendo que o meio urbano possui uma população de 34.501 habitantes. Segundo a ANA (2010), o abastecimento de água no município é realizado por meio de poços pouco profundos, ou tipo Amazonas.

Segundo informações obtidas junto à companhia de saneamento do município, o sistema de abastecimento municipal é constituído por 25 poços tubulares e seis reservatórios (COHASB, 2015). Com base nas informações disponíveis na décima nona edição do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013 elaborado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e com base em dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, o sistema pode ser considerado precário, pois não conta com procedimentos e infraestrutura para o tratamento, consistindo apenas da captação e distribuição. Ainda segundo a mesma fonte, o município de Humaitá não possui sistema de tratamento de esgoto.

1.1.1. Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Am (tropical úmido), caracterizado por temperatura média anual de 25°C e uma estação seca de pequena duração, entre os meses de junho e agosto. A elevada pluviosidade é um dos aspectos mais característicos da região, com valores entre 2.050 a 2.650 mm por ano e elevada umidade do ar, variando entre 85 e 90% (Martins et al., 2006).

1.1.2. Geologia

A região sul do Amazonas que inclui o município de Humaitá é caracterizada por planícies de grande extensão, constituídas por depósitos sedimentares, em que, as Formações Terraços Fluviais, Depósitos Aluvionares e Formação Içá são os principais que afloram na área (Figura 1).

Segundo Maia (2010), os sedimentos depositados nas margens dos grandes rios amazônicos correspondem aos terrenos geologicamente mais novos do estado, os quais se apresentam como produto inconsolidados ou pouco consolidados da sedimentação dos rios, e em bacias de deposição fluviolacustre ao longo de todo o período Quaternário. Reis (2006) afirma que os Terraços Fluviais correspondem a amplos depósitos sedimentares constituídos por argila, areia e cascalho, via-de-regra, inconsolidados a semiconsolidados. Já os Depósitos Aluvionares são descritos e representados por sedimentos arenosos e argilosos que são classificados como inconsolidados a semiconsolidados, associando-lhes níveis de cascalho e matéria orgânica.

A unidade geológica denominada Formação Içá que aflora em grande extensão no município, no geral, é constituída por siltitos, arenitos finos a médio (Sarges et al., 2010). Encontra-se acamada de maneira descontínua sobre a formação médio-Mioceno Solimões (Maia et al., 1977; Latrubesse et al., 1994).

A Figura 2 mostra uma seção geológica esquemática, elaborada dos dados sobre os poços tubulares da região disponibilizados pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS (2015) da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais/CPRM (2015)

e pela Companhia de Abastecimento e Saneamento de Humaitá (COHASB, 2015).

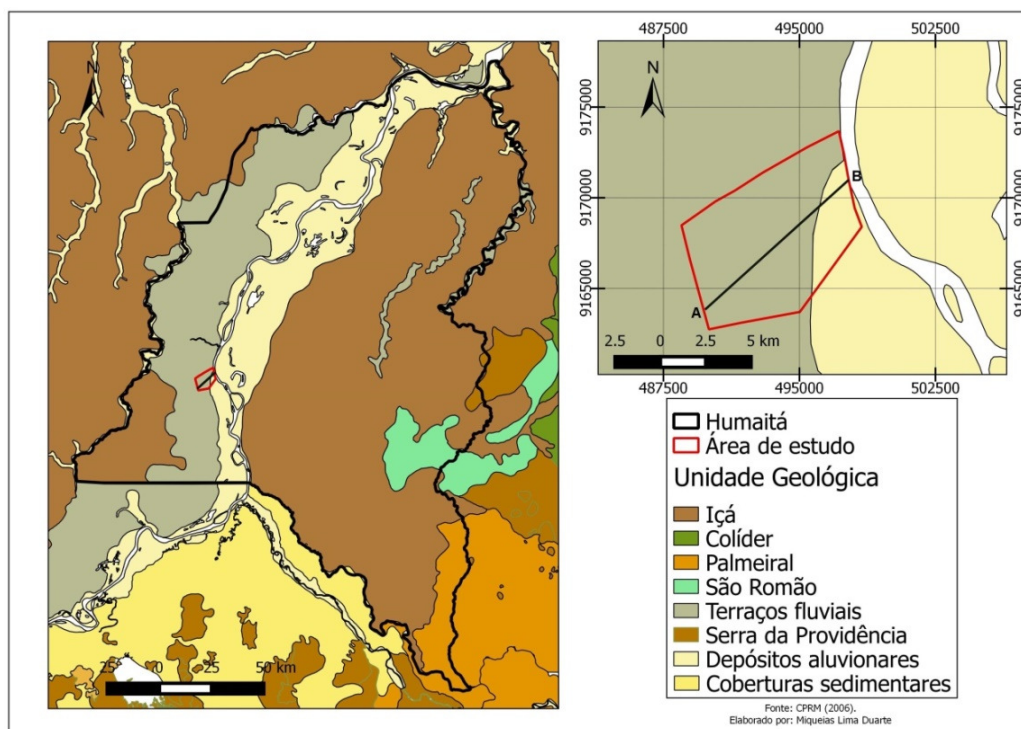


Figura 1. Mapa da geologia da área de estudo.

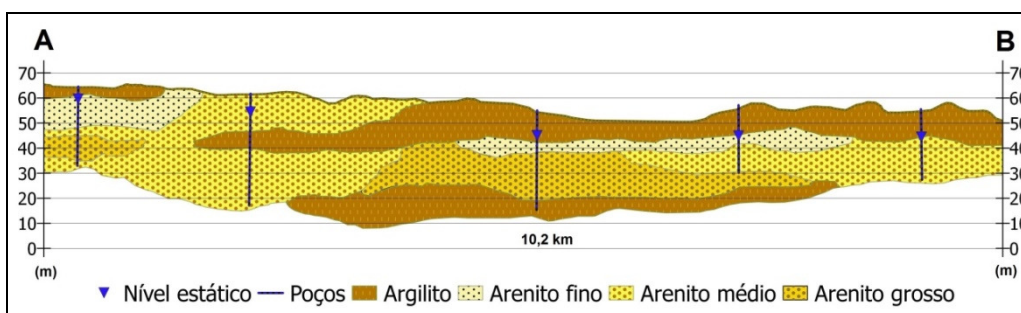


Figura 2. Seção geológica esquemática da área de estudo.

De modo geral, há primeiramente a ocorrência de argilitos ou argilitos arenosos, com espessura média de 8,7 m, e em alguns casos a ocorrência de afloramento arenoso. Essa camada argilosa recobre arenitos finos a médios e grossos, apresentando, em alguns locais, intercalados a argilito. A seção de arenito fino, médio e grosso pode alcançar profundidades de até 35 m (espessura média de 20 m). É nessa camada que está localizada grande parte das seções de filtros da maioria dos poços tubulares utilizados para o abastecimento de água na região.

1.1.3. Hidrogeologia

Conforme o mapa geológico (Figura 1) disponibilizado pela CPRM, a área de estudo apresenta dois afloramentos geológicos: Depósito Aluvionar e Terraço Fluvial. No entanto, os dados dos perfis de poços tubulares disponibilizados pela SIAGAS indicam apenas a Formação Depósito Aluvionar na área de estudo.

Nesse trabalho, adotou-se a definição de sistema aquífero Aluvionar em acordo com

Maia (2010), a qual relaciona os aquíferos da região com as diversas coberturas aluvionares formadas ao longo dos grandes rios amazônicos. Pereira e Cajazeiras (2012) caracterizam esses aquíferos como sendo livres, com porosidade intergranular; sendo compreendidos pelos sedimentos arenosos da Formação Depósito Aluvionar formada às margens do rio Madeira.

Esses sistemas aquíferos são responsáveis por abastecimento de vários núcleos urbanos e comunidades em boa parte do estado do Amazonas, apresentam vazão de 10 a 15 m³h⁻¹, e boa qualidade química (Maia, 2010). Normalmente apresentando espessura máxima de 40 m, e transmissividade variando de 6,6 x 10⁻⁶ m²s⁻¹ a 4,27 x 10⁻³ m²s⁻¹, com valor médio de 6,03 x 10⁻⁴ m²s⁻¹. E normalmente, encontram-se presente nos depósitos sedimentares constituídos por areia, silte, argila e cascalho (Maia, 2010; Pereira e Cajazeiras, 2012).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção dos Dados

Para aplicação do método GOD, foram extraídas informações de poços tubulares da área de estudo no banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais/CPRM.

No banco de dados do SIAGAS, existem registros de 162 poços tubulares para a área de estudo, no entanto, apenas 16 poços contêm os requisitos necessários para a aplicação do método GOD. Nesse caso, foram extraídas informações sobre a identificação dos poços (ID), coordenadas UTM, nível estático, formação geológica e perfil litológico. Também foi realizada uma inspeção de campo para identificação e verificação da situação dos poços de captura, sendo utilizado um *GPS (Global Position System)*, modelo *Garmim 60CSx* para validação dos dados.

2.2. Método GOD

O método GOD proposto por Foster e Hirata (1988) e modificado por Foster et al. (2006) para avaliar a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos é baseado na análise de três parâmetros representados por “G” (*Groundwater hydraulic confinement*) que é o grau de confinamento do aquífero, variado de 0 a 1, “O” (*Overlaying strata*) que corresponde ao tipo de litologia encontrada na zona não saturada, variando de 0,4 a 1, e “D” (*Depth to groundwater table*) que corresponde à profundidade do nível d’água, variando de 0,6 a 1 (Foster et al. 2006).

O índice de vulnerabilidade (IV) constitui-se a partir do produto dos três parâmetros (Equação 1), onde valores mais próximos de 0 corresponde a menores índices de vulnerabilidade, já valores mais próximos de 1 corresponde a maiores índices de vulnerabilidade (Foster et al. 2006).

$$IV = G \times O \times D \quad (1)$$

2.3. Obtenção dos parâmetros GOD

Com os dados do perfil dos poços tubulares da área de estudo obtidos no SIAGAS, e de acordo com Maia (2010), é possível caracterizar o sistema aquífero que abrange a área como sendo livre com porosidade intergranular, compreendidos pelos sedimentos arenosos da Formação Depósito Aluvionar na parte superior, e na parte inferior pela Formação Içá, formado à margem do rio Madeira.

O método GOD atribui índice 0,6 a 1,0 para aquíferos livres, onde 0,6 é atribuído para aquíferos livres que apresentam cobertura, e 1,0 para aquíferos sem cobertura. Nesse trabalho, atribui-se índice 0,6 para pontos que apresentaram, na seção superior, camadas de sedimentos argilosos, já os locais que apresentaram cobertura por sedimentos arenosos, o índice empregado para tal parâmetro foi igual a 1,0.

No que diz respeito ao índice “O”, o método GOD atribui valores a esse parâmetro com base na litologia da camada insaturada, ou seja, a camada acima do nível estático. Desse modo, foram avaliadas as seções geológicas presente, sendo observadas as seções de argilito, arenito fino, arenito médio e arenito grosso. Nesse caso, o parâmetro “O” deu-se com base na presença dessas seções, sendo atribuído índice 0,5 (argilito), 0,66 (arenito sobreposto a argilito) e 0,8 (arenito médio e grosso).

O parâmetro “D” deu-se conforme os registros do nível estático dos poços, sendo verificado que o mesmo variou entre 4,0 e 18,2 metros (média de 9,95 m), onde os índices empregados foram 0,8 para profundidades de 20 a 5 metros e 0,9 para profundidades menores que 5 metros.

O índice de vulnerabilidade à contaminação do aquífero foi obtido pela multiplicação dos três parâmetros GOD, conforme descrito por Foster et al. (2006).

2.4. Interpolação e Confeção Cartográfica

O processamento dos dados foi realizado com auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS 2.8, onde foi realizada uma interpolação dos índices “G” “O” e “D” aplicando o método Inverso Ponderado da Distância (*Inverse Distance Weighting - IDW*) conforme descrito por Marcuzzo et al. (2011).

O mapa de vulnerabilidade à contaminação foi obtido por meio da ferramenta *Calculadora Raster* do QGIS, sendo realizada uma multiplicação entre os parâmetros “G” “O” e “D” interpolados. A multiplicação *pixel a pixel* de cada parâmetro GOD permitiu obter um novo *Raster* resultante dos valores das imagens originais interpoladas (Medeiros et al., 2011).

Foi realizado o estudo da tendência de direção do fluxo das águas subterrâneas do local, utilizando-se as cotas altimétricas extraídas da base de dados do SIAGAS. A superfície potenciométrica foi obtida com base na diferença entre a cota da “boca” do poço e o nível da água de cada poço avaliado. A espacialização dos dados foi realizada no ambiente QGIS 2.8.

Na confecção cartográfica do mapa dos parâmetros GOD, IV e tendência de fluxo, utilizou-se a malha do setor censitário disponibilizado pelo IBGE, o sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), e base de referência SIRGAS 2000, Zona 20S.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados apresentados, o sistema aquífero livre, intergranular que abastece o município é constituído pela Formação Depósito Aluvionar, ocorrendo sobreposto a Formação Içá (Tabela 1), com espessura média de 23,75 metros. Esse sistema de aquífero apresenta nível estático pouco profundo, o que o caracteriza como mais vulnerável à contaminação, por ser mais raso, e apresentar na camada instaurada, constituintes de predominância arenosa.

A Tabela 1 apresenta algumas características gerais dos poços tubulares analisados nesse estudo, e a Figura 3 apresenta o mapa do nível estático da área bem como a distribuição dos parâmetros GOD.

Com a multiplicação dos parâmetros GOD obteve-se o índice de vulnerabilidade à contaminação do aquífero. Foram identificados 3 classes de vulnerabilidade (Figura 4), sendo elas: baixa, média e alta. A vulnerabilidade predominante foi baixa, cobrindo 49% da região, seguida de vulnerabilidade alta com 38,3% de área e por último, a vulnerabilidade média, correspondendo a 12,7% da área.

A predominância da baixa vulnerabilidade observada em 49% da área de estudo deve-se a ocorrência em predominância da camada superficial argilosa, como apresentado na Figura 2. Essas camadas constituídas de argila servem como proteção natural ao aquífero,

agregando menores índices de vulnerabilidade pelo método empregado.

Tabela 1. Identificação dos poços (**ID**) e informações das respectivas profundidades dos poços e Formação Geológica, Nível Estático (**NE**) e índice de vulnerabilidade (**IV**).

ID	Profundidade dos Poços/Formação Geológica	NE	IV
130000910	0 a 23m Depósito Aluvionar	11,5	Baixa
130000912	0 a 30m Depósito Aluvionar, 30 a 36m Formação Içá	18,2	Baixa
130000913	0 a 30m Depósito Aluvionar, 30 a 36m Formação Içá	-	Baixa
130000914	0 a 26m Depósito Aluvionar	10	Média
130000916	0 a 30m Depósito Aluvionar, 30 a 34m Formação Içá	7,4	Média
130000917	0 a 23m Depósito Aluvionar	12,3	Baixa
1300004807	0 a 30m Depósito Aluvionar	6	Alta
1300004809	0 a 30m Depósito Aluvionar	-	Alta
1300004986	0 a 30m Depósito Aluvionar, 30 a 36m Formação Içá	12	Baixa
1300004991	0 a 30m Depósito Aluvionar, 30 a 36m Formação Içá	12	Baixa
1300004992	0 a 30m Depósito Aluvionar, 30 a 36m Formação Içá	12	Baixa
1300005007	0 a 23m Depósito Aluvionar	11	Baixa
1300005034	0 a 18m Depósito Aluvionar	6	Alta
1300005055	0 a 30m Depósito Aluvionar, 30 a 40m Formação Içá	8	Média
1300005064	0 a 20m Depósito Aluvionar	4	Alta
1300007151	0 a 30m Depósito Aluvionar, 30 a 43m Formação Içá	9	Alta

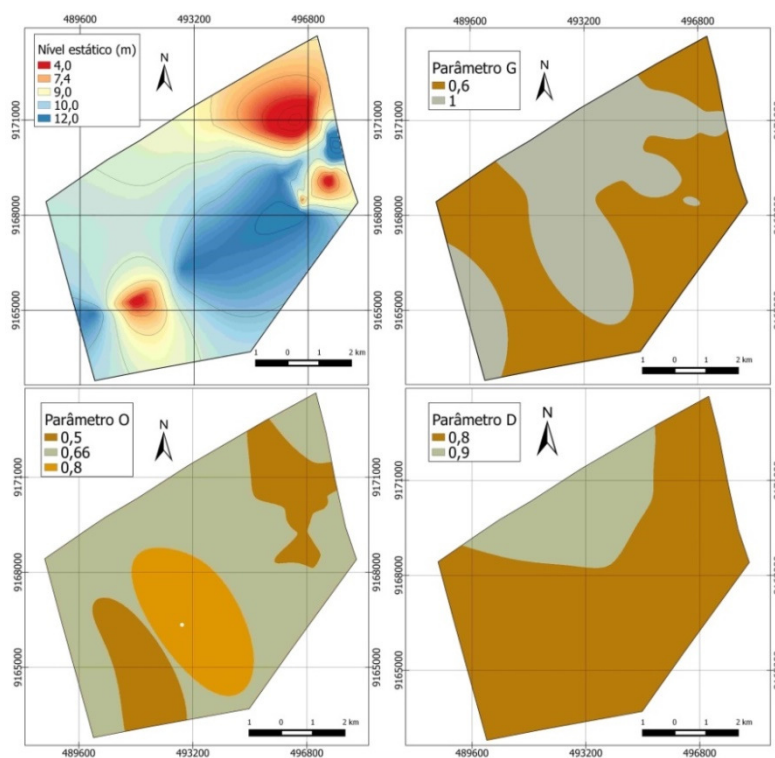


Figura 3. Mapa de nível estático e distribuição dos parâmetros GOD.

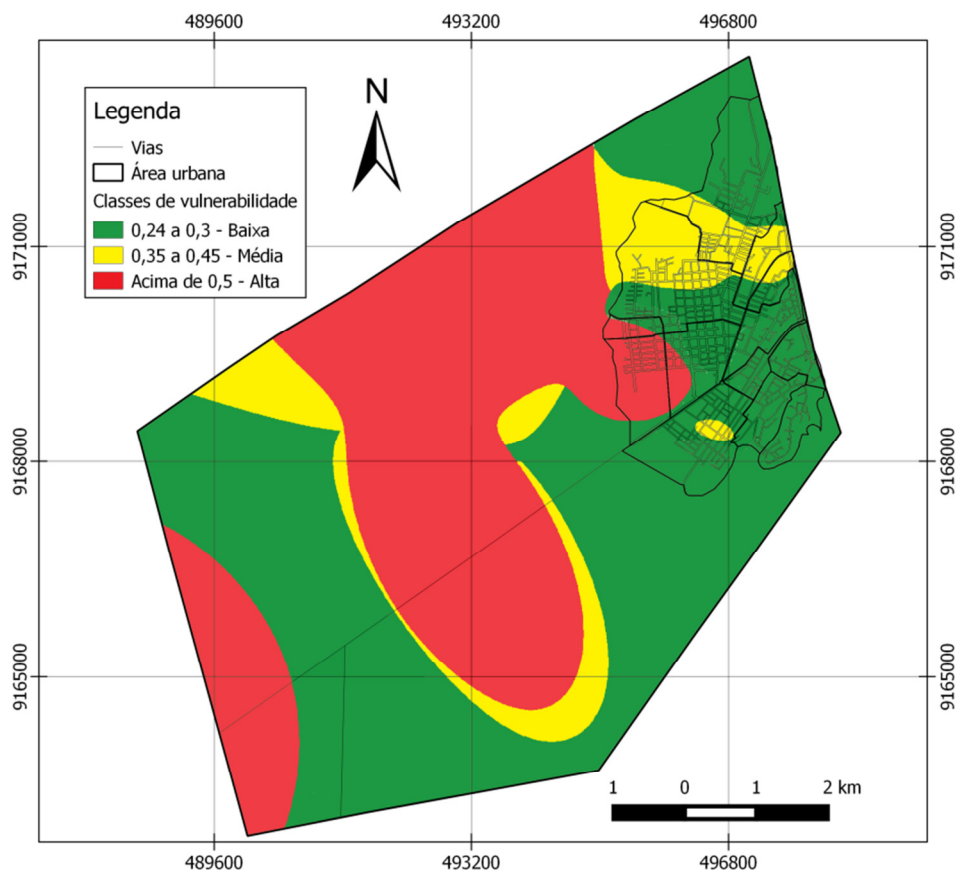


Figura 4. Mapa de vulnerabilidade à contaminação do aquífero.

Por outro lado, a somatória da vulnerabilidade média e alta apresenta-se em 51% da área de estudo, o que é explicado pelo fato de se tratar de um aquífero livre, com nível estático pouco profundo, juntamente com a camada vadosa constituída por sedimentos arenosos. Essas áreas apresentam um maior potencial à contaminação, pois a acessibilidade hidráulica é maior em função das características geológicas e hidrogeológicas do local.

Vale ressaltar que, as áreas de alta e média vulnerabilidade à contaminação ocorreram em predominância no meio rural, enquanto que, no meio urbano apenas uma pequena parte a oeste apresentou alta vulnerabilidade, enquanto a parte sul apresentou média e baixa vulnerabilidade à contaminação do aquífero. É importante destacar que 25% dos poços localizam-se em área de alta vulnerabilidade e 18,7% em áreas de média vulnerabilidade, o restante, cerca de 56,3% encontra-se em áreas de baixa vulnerabilidade à contaminação. Esses últimos são os que apresentam maior taxa de bombeamento para abastecimento residencial (COHASB, 2015).

Nesse caso, uma informação importante seria a provável direção de fluxo do aquífero, uma vez que a alta vulnerabilidade à contaminação encontra-se em predominância, fora da zona de captura do meio urbano. O estudo da tendência de fluxo local é ilustrado na Figura 5, onde é possível observar a predominância de fluxo de área de alta vulnerabilidade para áreas de média e baixa vulnerabilidade à contaminação (do extremo Norte para a parte Sul e Leste da área).

A predominância desse comportamento de fluxo é preocupante, pois caso ocorra uma contaminação do aquífero nesses locais, o mesmo pode comprometer a qualidade da água captada no meio urbano do município (Leste). Deste modo, é de suma importância o planejamento do uso e ocupação da área pelos órgãos gestores, bem como análises mais específicas de avaliação e proteção de zonas de captação.

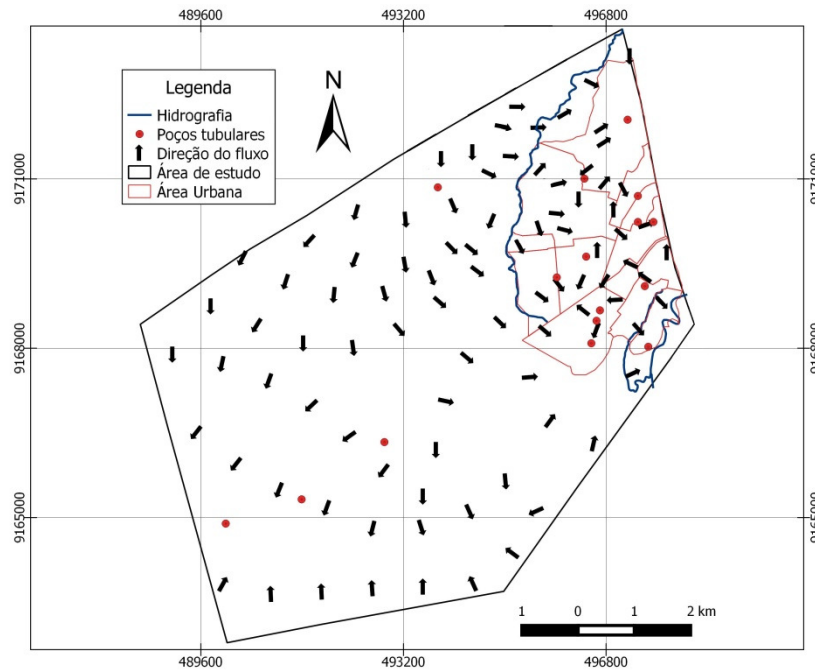


Figura 5. Mapa de direção de fluxo da água subterrânea na área de estudo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Formação geológica Depósito Aluvionar que compreende o sistema aquífero avaliado, constituído por material arenoso, foi um fator que contribuiu para a ocorrência de altos índices de vulnerabilidade à contaminação.

A elaboração do mapa de vulnerabilidade à contaminação, com base no método GOD possibilitou observar que 49% da área possui baixa vulnerabilidade à contaminação, no entanto, a média e alta vulnerabilidade perfazem 51% da área, o que decorre das características geológicas e hidrogeológicas do local. Isso não caracteriza com sendo uma situação de risco à contaminação do sistema aquífero por se tratar de uma área que, atualmente apresenta pouca ação antrópica.

Mesmo ocorrendo predominância da baixa vulnerabilidade à contaminação na área de estudo, é motivo de preocupação a ocorrência das áreas de média e alta vulnerabilidade à contaminação, pois a deficiência na infraestrutura de coleta de esgoto do município poderá acarretar em contaminação do recurso hídrico subterrâneo. Deste modo, é de suma importância o delineamento de áreas de proteção, bem como o mapeamento das fontes potenciais de geração de carga contaminante na área. Também é recomendável o monitoramento físico-químico e microbiológico da qualidade da água distribuída pelos poços na área de estudo.

Espera-se que o resultado apresentado no presente trabalho possa auxiliar os órgãos gestores em um melhor planejamento do uso e ocupação da área, bem como contribuir na difusão do conhecimento dos sistemas de aquíferos da região.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas – UFAM/IEAA, à Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado do Amazonas/FAPEAM e ao Programa de Apoio à Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico/PAITI pelo auxílio financeiro concedido (Processo Nº 062.00455/2015).

6. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Atlas Brasil**. Abastecimento Urbano de Água: panorama nacional. Brasília: Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape, 2010.
- BARBOSA, C. M.; CARVALHO, A. M.; IKEMATSU, P.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; CAVANI, A. C. M. Avaliação do perigo de contaminação do Sistema Aquífero Guarani em sua área de afloramento do estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. **Águas subterrâneas**, v. 25, n. 1, p. 1-14, 2011. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v25i1.21296>
- CANIANI, D.; LIOI, D. S.; IGNAZIO M.; MANCINI, I. M.; MAIS, S. Hierarchical classification of groundwater pollution risk of contaminated sites using Fuzzy Logic: A Case study in the Basilicata Region (Italy). **Water**, v. 7, p. 2013-2036, 2015. <http://dx.doi.org/10.3390/w7052013>
- COMPANHIA HUMAITAENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - COHASB. **Relatório técnico dos poços**. Humaitá, 2015. p. 2. (Relatório não publicado).
- 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.
- EKE, D. R.; OPARA, A. I.; INYANG, G. E.; EMBERGA, T. T.; ECHETAMA, H. N.; UGWUEGBU, C. A. et al. Hydrogeophysical evaluation and vulnerability assessment of Shallow Aquifers of the Upper Imo River Basin, Southeastern Nigeria. **American Journal of Environmental Protection**, v. 3, n. 4, p. 125-136, 2015. <http://dx.doi.org/10.12691/env-3-4-3>
- FOSTER, S.; HIRATA, R. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. Lima: WHO/PAHO/HPECEPIS, 1988. p. 81.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: Servemar, 2006. p.15-81.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2010. Indicadores de bairros – região norte**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 mar. 2014.
- JORDÃO, W. H. C.; ZANCHI, F. B.; FERREIRA, D. M. M.; PAGANI, C. H. P.; LUIZÃO, F. J.; NEVES, J. R. D. et al. Variabilidade do índice de área foliar em campos naturais e floresta de transição na região Sul do Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 2, p. 363-375, 2015. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1490>
- LATRUBESSE, E.; RANCY, A.; RAMONELL, C. G.; SOUZA FILHO, J. P. A formação Solimões: uma formação do Mio-Plioceno da Amazônia sul-ocidental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém. **Boletim de Resumos Expandidos...** Belém: Sociedade Brasileira de Geologia. Núcleo Norte, 1994. p. 204-205

- LINHARES, F. M.; ALMEIDA, C. N.; SILANS, A. M. B. P.; COELHO, V. H. R. Avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Gramame (PB). **Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 1, p. 139-157, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320140110>
- LÖBLER, C. A.; SILVERIO DA SILVA, J. L. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Nova Palma, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, vol. 10 n.1, p. 141-152, 2015. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1390>
- MAIA, M. A. M. **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. p. 59-71.
- MAIA, R. G.; GODOY, H. K.; YAMAGUTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S. **Projeto carvão no Alto Amazonas**. Relatório Final. Rio de Janeiro: CPRM, 1977.
- MARCUZZO, F. F. N.; DE ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 04, p. 193-804, 2011.
- MARTINS, G. C.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, M. L. N. Campos nativos e matas adjacentes da região de Humaitá (AM): atributos diferenciais dos solos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 2, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542006000200005>
- MEDEIROS, C. M.; RIBEIRO, M. A. DE F. M.; RUFINO, I. A. A.; BARBOSA, D. L. Mapeamento da vulnerabilidade de parte da bacia sedimentar do baixo curso do Rio Paraíba utilizando o método GOD. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15., Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 3819-3826.
- MEIRA, J. R.; DE-CAMPOS, A. B.; PEREIRA, L. C. Vulnerabilidade natural e perigo à contaminação de zona de recarga do Aquífero Guarani. **Águas Subterrâneas**, v. 28, n. 1, p. 31-46, 2014.
- MIRANDA, C. DE S.; MIOTO, C. L.; LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; PARANHOS FILHO, A. C. Uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na modelagem da vulnerabilidade de aquífero livre: comparação entre os métodos GOD e Ekv na bacia do Rio Coxim, São Gabriel do Oeste, MS, Brasil. **Geociências**, v. 34, n. 2, p. 312-322, 2015.
- MUHAMMAD, A. M.; ZHONGHUA, T.; DAWOOD, A. S.; EARL, B. Evaluation of local groundwater vulnerability based on DRASTIC index method in Lahore, Pakistan. **Geofísica Internacional**, v. 54 -1, p. 67-81, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gi.2015.04.003>
- NOBRE, R. C. M.; NOBRE, M. M. M.; ROTUNNO FILHO, O. C.; MANSUR, W. J. Mapeamento do índice de perigo ao consumo de águas subterrâneas vulneráveis à contaminação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 13, n. 2, p. 101-111, 2008.
- PEREIRA, L. A. C.; CAJAZEIRAS, C. C. A. Caracterização dos principais aquíferos da região sudoeste da Amazônia Ocidental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 17. E ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 18., 2012, Bonito. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2012.p. 1-4.

- REIS, N. J. **Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2006. p. 35-96.
- SARGES, R. R.; NOGUEIRA, A. C. R.; FROTA, C. A.; LOPES DA SILVA, C. Depósitos argilosos Cenozóicos do estado do Amazonas: utilização como agregados de argilas calcinadas para pavimentações na região Amazônica. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium**, v. 1, n. 1, p. 33-49, 2010.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Mapas estaduais de Geodiversidade**. Rio de Janeiro: GEOBANK, 2015. Disponível em: <http://geobank.cprm.gov.br/> . Acesso em: 31 ago. 2015.
- SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - SIAGAS. **Website**. 2015. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br>. Acesso em: 23 mar. 2015.
- TAVARES, P. R. L.; DE CASTRO, M. A. H.; DA COSTA, C.T. F.; DA SILVEIRA, J. G. P.; ALMEIDA JÚNIOR, F. J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 2, p. 227-236, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672009000200015>