

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E PERIGO À CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO FURNAS NA CIDADE DE RONDONÓPOLIS (MT) COM APLICAÇÃO DOS MÉTODOS GOD E POSH

Alterêdo Oliveira CUTRIM ¹ & José Eloi Guimarães CAMPOS ²

(1) Universidade Federal do Mato Grosso - ICET/UFMT. Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367 – Bairro Boa Esperança. CEP 78060-900. Cuiabá, MT. Endereço eletrônico: alteredo@ufmt.br

(2) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília / IG/UnB / Campus Universitário Darcy Ribeiro – Ala Central. CEP 70910-970. Brasília, DF. Endereço eletrônico: eloi@unb.br

Introdução
Caracterização da Área de Estudo
 Geologia da Área
 Hidrogeologia
 Morfopedologia
Metodologia
 Método GOD
 Contribuição dos Parâmetros ao Índice GOD
 Tipo de Aquífero
 Litologia e Grau de Consolidação da Zona Vadosa ou Camadas Confinantes
 Profundidade da Água no Aquífero
 Classificação de Fontes Potenciais de Contaminação
Resultados e Discussões
 Influência dos Parâmetros sobre o Índice GOD
 Perigo à Contaminação do Aquífero Furnas
Conclusões e Considerações Finais
Referências Bibliográficas

RESUMO – Este trabalho foi realizado na cidade de Rondonópolis, estado de Mato Grosso e consiste da avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas. A vulnerabilidade foi avaliada através do método GOD que permitiu identificar as classes desprezível, moderada e alta. A vulnerabilidade desprezível ocorre em 68% da área, a moderada em 31,9% e a vulnerabilidade alta em 0,1%. Nas áreas de vulnerabilidade desprezível somente poços tubulares mal construídos e falhamentos nas camadas confinantes podem tornar possível a contaminação da zona saturada do aquífero, enquanto nas áreas de vulnerabilidade moderada somente alguns contaminantes podem atingir a zona saturada do aquífero, quando lançados continuamente. Nas áreas de vulnerabilidade alta o aquífero pode ser contaminado por diferentes contaminantes, exceto aqueles fortemente absorvidos. Através do método POSH as fontes pontuais de contaminação foram classificadas, segundo a geração de cargas, em: elevada (fonte linear de contaminação), moderada (postos de distribuição de combustíveis) e reduzida (cemitério e lagoas de tratamento de esgoto industrial). O perigo à contaminação decorrente destas fontes de poluição fica condicionado às classes de vulnerabilidade.

Palavras-chave: GOD, POSH, Aquífero Furnas, vulnerabilidade e perigo à contaminação.

ABSTRACT – *A.O. Cutrim & J.E.G. Campos - Evaluation of vulnerability and danger to contamination of the Furnas Aquifer in Rondonópolis (MT, Brazil) with the application of the GOD and POSH methods.* This research was carried out in the Rondonópolis area, Mato Grosso State, Brazil, to evaluate the vulnerability and the risk of Furnas Aquifer to pollution. The vulnerability was evaluated through the GOD method that allowed identifying three vulnerability classes - negligible, moderate and high. The negligible vulnerability corresponds to 68% of the area, the moderate 31.9% and the high 0.1%. In the negligible areas just the bad constructed wells and faulting zones in the confining layers can allow the pollution reach the saturated aquifer zone. The moderate vulnerability indicates that some pollutants can reach the saturated aquifer zone, when continuously launched. In the areas of high vulnerability the aquifer can be contaminated by several pollutants, except those strongly absorbed. The potential sources of pollution were classified through the POSH method, according to the loads generation: elevated (linear source of contamination), moderate (gas station) and reduced (cemeteries and pool of industrial sewage). The hazard to pollution resultant of these sources are function of the vulnerability classes.

Keywords: GOD, POSH, Furnas Aquifer, risk and vulnerability to contamination.

INTRODUÇÃO

A contaminação dos aquíferos tem se tornado um dos problemas mais preocupantes nas questões de gestão dos recursos hídricos subterrâneos, visto que são considerados reservatórios estratégicos para a

humanidade. Para contornar esse problema são adotadas, em várias partes do mundo, principalmente nos países mais desenvolvidos, medidas preventivas, pois uma vez contaminado, a recuperação do aquífero é

extremamente difícil e onerosa. No entanto, para adotar medidas preventivas é necessário conhecer a vulnerabilidade à contaminação do aquífero, o que torna a aplicação de métodos de avaliação de vulnerabilidade uma prática comum e de grande contribuição.

A vulnerabilidade à contaminação de um aquífero é o conjunto de características intrínsecas que determinam a sua susceptibilidade a ser eventualmente afetado por uma carga contaminante (Foster et al., 2002).

No Brasil, essa prática é adotada, principalmente nos estados do sul e sudeste. No caso do estado de Mato Grosso, estes estudos são desenvolvidos, pois além dos centros urbanos em que há grande diversidade de fontes potenciais de contaminação, existe ainda a

atividade agrícola que se constitui em uma grande ameaça às águas subterrâneas.

Diante desse quadro e da disponibilidade de dados para aplicação do método GOD, a cidade de Rondonópolis foi escolhida para a realização desta pesquisa. Na área, o Sistema Furnas representa o principal reservatório subterrâneo, sendo constituído por aquífero livre e confinado, contém reservas reguladoras de $10,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, permanentes de $6,97 \times 10^9 \text{ m}^3$ e exploráveis de $429 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (Cutrim & Rebouças, 2005a). Em Rondonópolis este aquífero supre 55% do abastecimento público, 100% da indústria e lazer, 90% do comércio e aproximadamente 10% de residências com poços particulares (Cutrim & Rebouças, 2005b).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, com 108 km^2 ($9 \text{ km} \times 12 \text{ km}$), compreende a cidade de Rondonópolis e o seu entorno, localizada no sudeste do estado de Mato Grosso entre os paralelos $16^\circ 25' \text{ S}$ e $16^\circ 30' \text{ S}$ e os meridianos $54^\circ 40' 20'' \text{ W}$ e $54^\circ 34' 50'' \text{ W}$ (Figura 1). Ela está

localizada na bacia hidrográfica do rio Vermelho, afluente do rio São Lourenço, ambos inseridos nos domínios do Pantanal Mato-Grossense. A pluviometria média anual da área é de 1.300 mm e a temperatura varia de 25° C a 38° C .

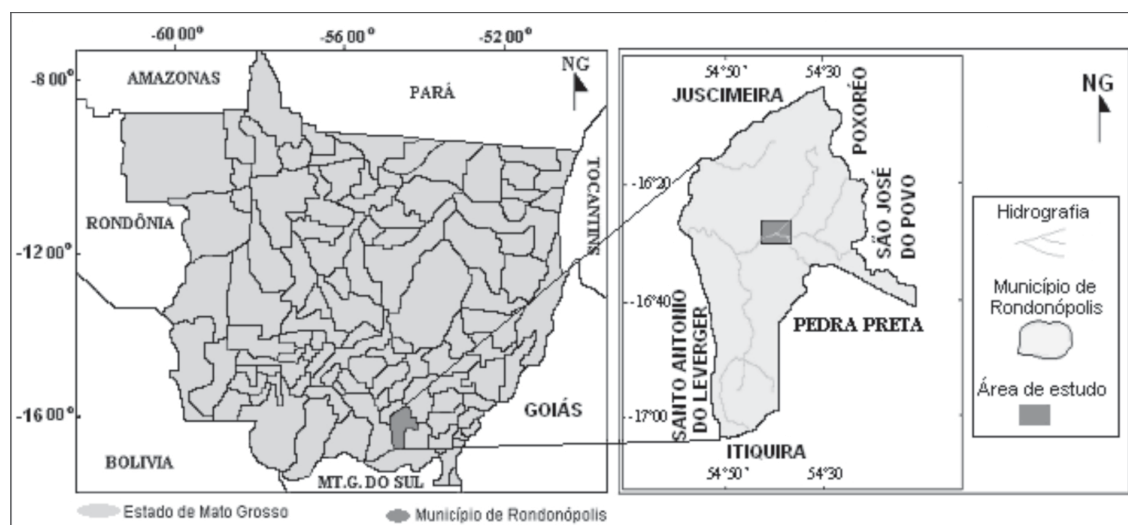


FIGURA 1. Localização da área de estudo.

GEOLOGIA DA ÁREA

Segundo Cutrim (1999) a geologia da área é composta por rochas devonianas da Formação Furnas, da zona de transição Furnas/Ponta Grossa e da Formação Ponta Grossa, pertencentes ao flanco noroeste da Bacia sedimentar do Paraná, além de depósitos aluvionares (Figura 2).

A Formação Furnas é composta por arenitos médios a grossos, sendo que em direção ao topo predominam fácies psamo-pelíticas, constituindo bancos de areia fina micácea intercalados por lâminas decimétricas de argilas e siltes. Os arenitos quartzosos são

mais abundantes e apresentam variações feldspáticas, com impregnações de óxido de ferro, grau médio de selecionamento, grãos esféricos e coloração variando de cinza esbranquiçado a rósea. Na área esta unidade aflora, principalmente, na parte sul e sudoeste, com ocorrência de falhamentos de direção preferencial sudoeste/nordeste. A sua espessura máxima é em torno de 300 m (Cutrim & Rebouças, 2005a; 2007).

A zona de transição Furnas/Ponta Grossa alcança espessuras entre 10 e 40 m e é caracterizada pela interdigitação de finas camadas de arenitos de granulometria fina a muito fina, siltitos e folhelhos sílticos com bastante

mica detrítica, orientada segundo o plano de acamamento.

A Formação Ponta Grossa é constituída pelas fácies pelítica e psamo-pelítica. A fácies pelítica ocorre nas porções noroeste, nordeste e sudeste e é composta por folhelhos silticos, com intercalações de argilitos, e em direção ao topo siltitos e arenitos muito finos, sendo comum a presença de fósseis nos arenitos e siltitos, o que corresponde à parte de topo da unidade. A fácies psamo-pelítica, ocorre no centro da área, sendo constituída por siltitos e arenitos finos a muito finos e argilitos subordinados, caracterizando a porção intermediária à basal da formação. Esta unidade encontra-se sobreposta à zona de transição Furnas/Ponta Grossa, o seu contato inferior com a Formação Furnas é gradacional e con-

cordante ou por falhamentos de gravidade.

Os depósitos aluvionares quaternários são constituídos por sedimentos areno-argilosos e cascalhos subordinados. A sua ocorrência se dá ao longo do rio Vermelho e dos córregos Macaco e do ribeirão Arareau.

HIDROGEOLOGIA

Segundo Cutrim (1999) a hidrogeologia da área é constituída pelo Aquicludo Ponta Grossa e pelos Sistemas Aquíferos Furnas e Transição Furnas / Ponta Grossa (Figura 3). O Aquífero Furnas é o principal reservatório de água subterrânea, podendo produzir vazões em poços individuais de até 250 m³/h, enquanto no Sistema Aquífero Transição Furnas / Ponta Grossa a vazão máxima dos poços é de 14 m³/h.

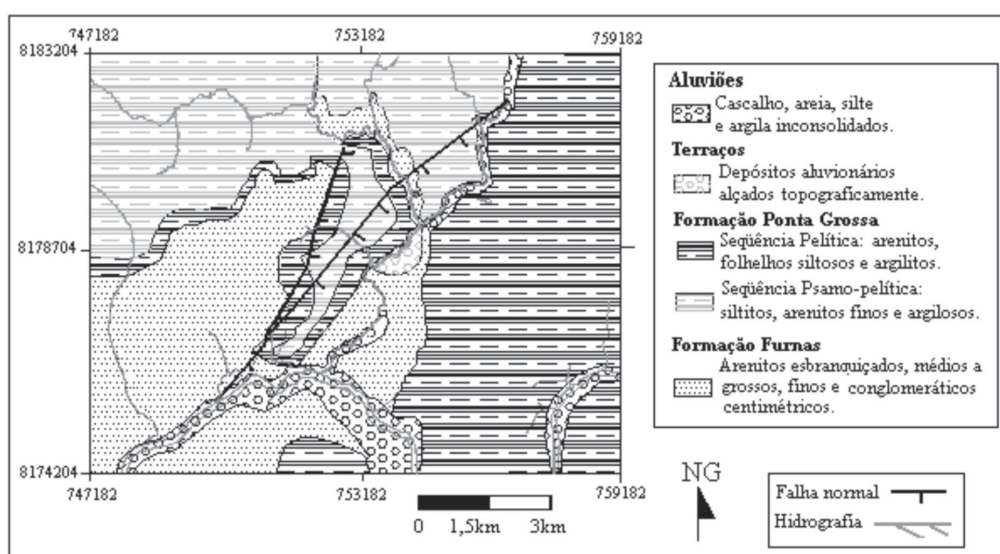


FIGURA 2. Mapa geológico da área (Cutrim, 1999).

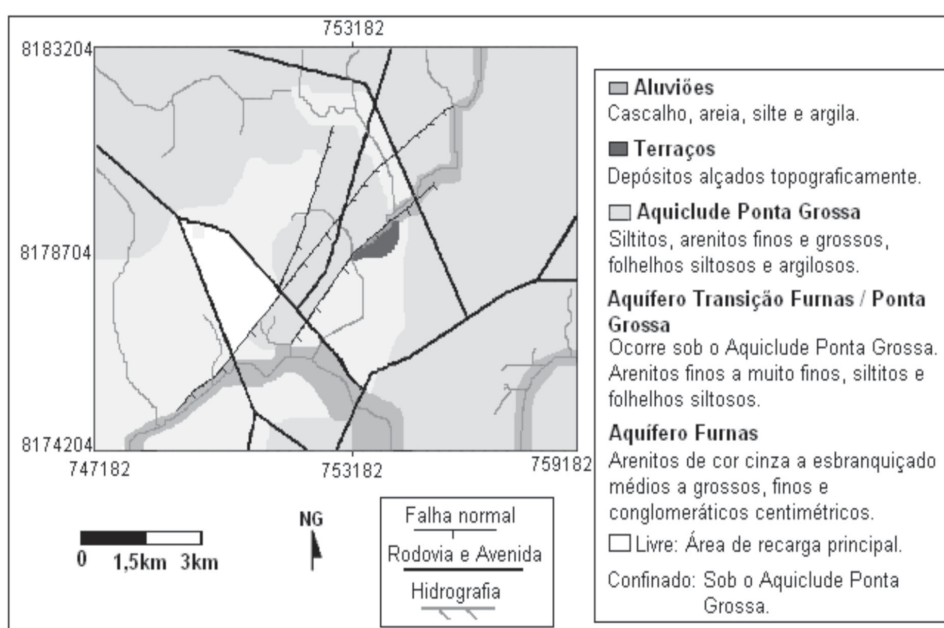


FIGURA 3. Mapa hidrogeológico da cidade de Rondonópolis, MT (Cutrim, 1999).

MORFOPEDOLOGIA

A morfopedologia da área, segundo Salomão et al. (inédito) é constituída por dez unidades (Figura 4). Os tipos e as classes de solos estão descritos de acordo com Embrapa (2006).

A unidade 1 é composta por colinas alongadas com topo plano. Os solos gradam do topo para o centro do vale de Neossolos Quartzarênicos Latossólicos a Gleissolos Melâncios Eutróficos típicos. São solos profundos, com espessuras da ordem de 15 m na parte mais alta. A unidade 2 é constituída por colinas amplas com declividade e vertente suaves. Os seus solos são do tipo Latossolo Vermelho, de textura média/argilosa, com profundidades em torno de 15 m nas partes mais elevadas. A unidade 3 é caracterizada por colinas com topos arredondados e amplitudes relativamente altas e com ruptura de declive no terço inferior da vertente. Os solos são constituídos na parte baixa da vertente por Neossolos Litólicos e na porção superior por Neossolos Quartzarênicos com espessura em torno de 1 m, seguida pela presença de Plintossolos Pétricos Concrecionários Eutróficos.

A unidade 4 é composta por colinas amplas e vertentes longas com declividade pequena, sua cobertura é constituída por Neossolos Quartzarênicos, cuja espessura aumenta no fundo do vale. A unidade 5 é composta por Planície de Inundação/Terraços Aluvionares, Neossolos Quartzarênicos. Ela é caracterizada pela planície de inundação do rio Vermelho, onde os solos são constituídos por Neossolos Quartzarênicos

associados a Neossolos Flúvicos. A unidade 6 é constituída por pequenas colinas com topos estreitos intermediários a pequenos morrotes, amplitudes consideravelmente altas e localmente ao longo das vertentes existem setores associados a depressões e pequenos morrotes. Os Neossolos Quartzarênicos com profundidades menores que 1 m e Plintossolos Pétricos Concrecionários Eutróficos, constituem os tipos principais de coberturas.

A unidade 7 é caracterizada pela presença de colinas alongadas com topo estreito de forma aplainada e alta amplitude. A sua pedologia é constituída por Plintossolos Pétricos Concrecionários Eutróficos pouco profundos. A unidade 8 é composta por colina ampla, com amplitude relativamente elevada e topo plano com pequenos embaciamentos e vertentes longas. Os solos são do tipo Latossolo Vermelho de textura argilosa, associados com Gleissolos Melâncios Eutróficos típicos, ocasionalmente ocorrem Plintossolos Pétricos Concrecionários Eutróficos e a jusante passando para Neossolos Quartzarênicos. A unidade 9 é constituída por Terraços e Neossolos Quartzarênicos. A unidade 10 é caracterizada por colinas médias com topos aproximadamente convexos, intermediários a morrotes, com quebra acentuada de relevo no terço inferior das vertentes. Ocorrem também nas vertentes pequenas depressões ao longo da linha de talvegue. O seu solo é composto por Neossolos Quartzarênicos pouco profundos e Plintossolos Pétricos Concrecionários Eutróficos.

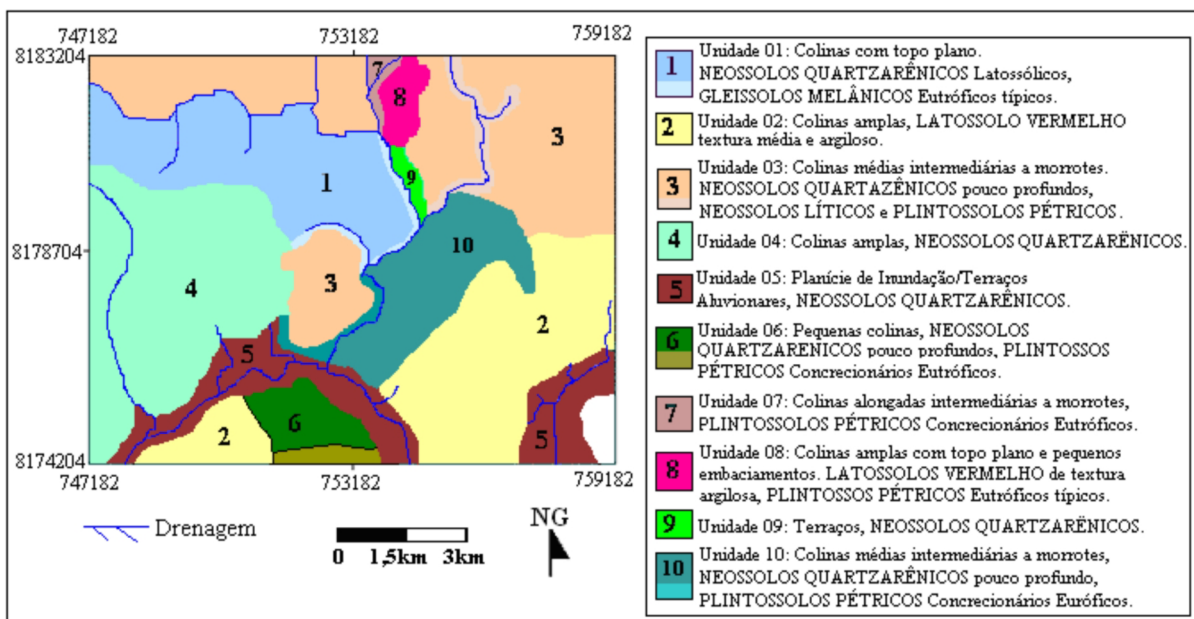


FIGURA 4. Mapa morfopedológico da cidade de Rondonópolis (Cutrim, 1999).

METODOLOGIA

MÉTODO GOD

O método GOD (Foster et al., 2002), amplamente aplicado nos países da América Latina em virtude do seu bom desempenho, menor custo e maior facilidade de obtenção das informações nele utilizadas.

Este método avalia a vulnerabilidade do aquífero, utilizando três parâmetros: o tipo de aquífero (G), a litologia e o grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes (O) e a profundidade da água no aquífero (D). A cada um destes parâmetros é atribuído

um valor que varia de 0 a 1, e o nível de vulnerabilidade é obtido através do produto desses valores (Figura 5). A partir do nível de vulnerabilidade estimado e das suas coordenadas em cada ponto de uma malha foi elaborado o mapa de vulnerabilidade na escala de 1:20.000, utilizando-se o Surfer 2000.

Na aplicação do GOD foram feitas modificações nos valores atribuídos ao tipo de aquífero, à litologia e grau de consolidação da zona vadosa e à algumas classes de profundidade do nível da água do aquífero.

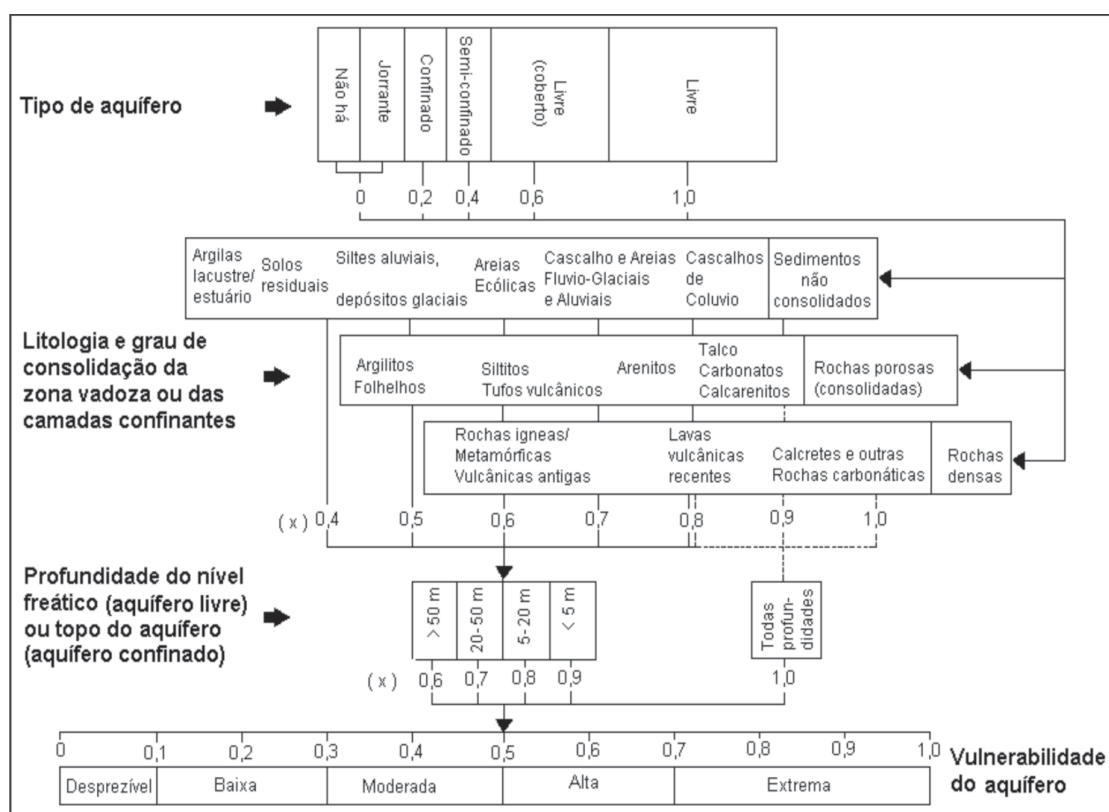


FIGURA 5. Método GOD para determinação da vulnerabilidade de aquíferos (Foster et al., 2002).

CONTRIBUIÇÃO DOS PARÂMETROS AO ÍNDICE GOD

(G) Tipo de Aquífero

Considerando que os tipos de ocorrências de aquíferos são livre, confinado e confinado drenante, e que cada um destes reflete o nível de contato deste com a superfície do terreno, o modo de ocorrência do aquífero tem grande correlação com o seu grau de vulnerabilidade natural.

(O) Litologia e o Grau de Consolidação da Zona Vadosa ou Camadas Confinantes

O solo e a litologia situados acima da zona saturada do aquífero condicionam o tempo de deslocamento dos

contaminantes e os vários processos de sua atenuação.

O solo corresponde à parte da zona vadosa onde estão localizadas as raízes das plantas. Cada tipo de solo tem sua capacidade de atenuação. Um solo essencialmente arenoso tem menor capacidade de atenuação do que um solo argiloso. Os tipos de solo da área usados na aplicação do GOD estão apresentados no mapa morfopedológico da área (Figura 4).

A litologia situada acima da zona saturada do aquífero contribui com a capacidade de atenuação desse meio, uma rocha de granulometria grossa tem menor capacidade de atenuação do que uma rocha de granulometria fina. Os dados litológicos da área usados

neste trabalho estão apresentados no mapa geológico (Figura 2).

(D) Profundidade da Água no Aquífero

A profundidade da água no aquífero corresponde à profundidade que o contaminante terá de percorrer para alcançar a zona saturada do aquífero. Para as áreas de ocorrência do aquífero livre este parâmetro foi considerado como o nível freático obtido no monitoramento de 34 poços localizados nessas áreas, no final do período pluviométrico no ano de 2007, e para as áreas onde o aquífero é confinado este parâmetro foi considerado igual à profundidade do aquífero obtida em relatórios dos poços. O mapa deste parâmetro (Figura 6) foi elaborado com auxílio do software Surfer (2000), usando malha de 60x60 pontos, método de interpolação krigagem, modelo linear e anisotropia com raio 1,5 e ângulo de 135°.

CLASSIFICAÇÃO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO

As fontes potenciais de contaminação da área foram classificadas de acordo com o método POSH (Foster et al., 2002). O método POSH - *Pollutant*

Origin and its Surchage Hydraulically classifica as fontes em três níveis qualitativos de geração de carga contaminante: reduzida, moderada e elevada. Esta classificação leva em consideração o tipo de atividade, sua capacidade geradora de contaminante e a carga hidráulica associada. Estas fontes são apresentadas em mapa na mesma escala do mapa de vulnerabilidade à contaminação.

O inventário das atividades potenciais de contaminação consideradas mais relevantes para o estudo foi realizado através de inspeção de ruas e avenidas da cidade, e plotando cada uma delas no mapa urbano de Rondonópolis na escala de 1:14.000. A partir da digitalização deste mapa e da classificação das fontes de contaminação, foi então elaborado o mapa de classificação das fontes, de acordo com os critérios apresentados em Foster et al. (2002), na mesma escala do mapa de vulnerabilidade à contaminação.

O perigo à contaminação do aquífero foi determinado através da integração dos mapas de vulnerabilidade e de fontes potenciais de contaminação.

Foram realizados trabalhos de campo com a finalidade de checar os mapas de vulnerabilidade e o de fontes potenciais de contaminação, visando ajustá-los à realidade da área.

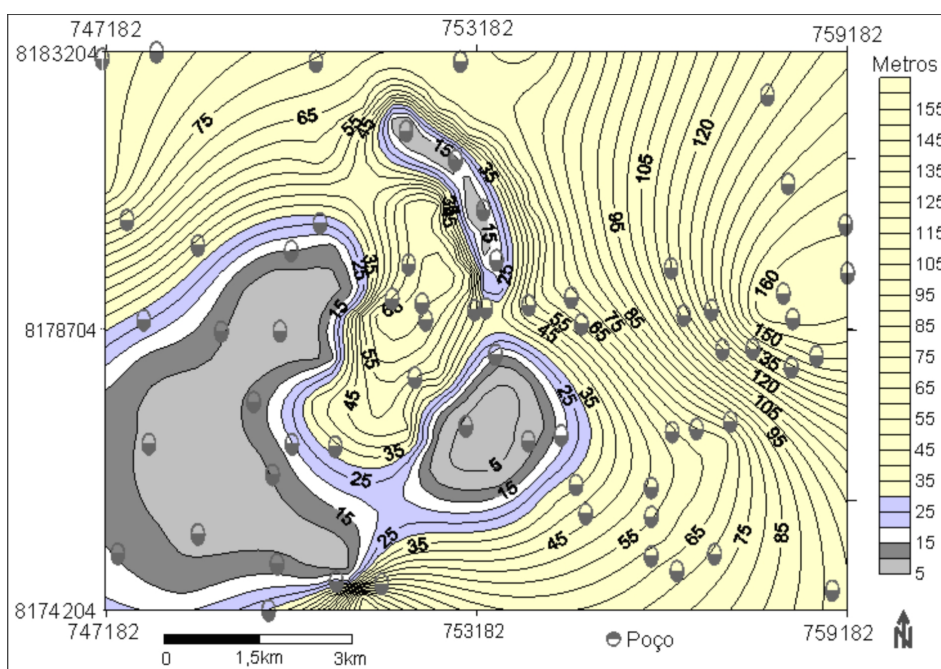


FIGURA 6. Mapa de profundidade da água no Aquífero Furnas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS SOBRE O ÍNDICE GOD

Na área o Aquífero Furnas ocorre de modo livre (exposto) em torno de 0,1% da área, 31,9% livre e

coberto por Neossolo Quartzarênico, e 68% confinado pelo Aquiclude Ponta Grossa e pelo Aquífero Transição Furnas / Ponta Grossa (Figura 3). O método GOD

estabelece um peso 1 (valor máximo) para aquífero livre exposto; um peso 0,6 para o aquífero livre coberto, onde neste caso foi adotado o valor de 0,8 pelo fato da cobertura ser um Neossolo Quartzarênico, cuja capacidade vertical de infiltração é elevada; e para a ocorrência confinada foi adotado o peso 0,2 (Tabela 1 e Figura 7A).

A influência da cobertura pedológica e das rochas situadas acima da zona saturada do aquífero está apresentada na Tabela 2 e na Figura 7B. Para as áreas onde o Neossolo Quartzarênico tem maior predominância e menor espessura (unidades 2, 4, 5, 6, 7, 9 e 10) foi adotado o peso 0,7 e para as demais unidades pedológicas foi adotado o peso 0,4 (Tabela 2). Para as áreas de ocorrência da Formação Ponta Grossa (Figura 5) foi adotado o peso 0,4 e para as áreas de ocorrência da Formação Furnas, Aluviões e Terraços (Figura 5) foi adotado o peso 0,9 (Tabela 2). O peso devido ao solo e à litologia foi estimado pelo produto do peso do solo pelo peso da litologia correspondente às respectivas áreas (Tabela 2 e Figura 7B).

Observa-se na Figura 7B que em torno de 68% da área este parâmetro tem valor de 0,16; em 31,9% tem valor de 0,63 e em 0,1% tem valor de 0,9. O menor valor corresponde às áreas onde o aquífero é confinado. O segundo valor é quase 4 vezes maior que o primeiro

e corresponde às áreas de ocorrência do aquífero livre, e o último valor é em torno de 1,4 vezes maior que o segundo e corresponde à pequena ocorrência do aquífero livre. A diferença entre estes valores mostra uma boa coerência com os diferentes modos de ocorrência do aquífero.

A profundidade da água no aquífero varia de 5 a 30 m onde o aquífero é livre, ocupando em torno de 31% da área situada a sudoeste e parte do centro da área. No restante 69% da área o aquífero é confinado e a profundidade da interface com a camada confinante sobreposta varia de 30 a 165 m, sendo que as maiores profundidades estão localizadas a leste e nordeste da área (Tabela 3 e Figura 6). Estes valores distribuídos nas classes de 1,5 a 5 m, 5 a 20 m, 20 a 50 m e maior que 50 m, e os seus respectivos pesos (wD) estão apresentados na Tabela 3. Os valores de wD para a área foram 0,9 em torno de 2% da área; 0,8 em 15% da área; 0,7 em 16% e 0,6 em 69% da área (Figura 7C).

Os índices GOD para o Aquífero Furnas foram calculados através do produto dos valores de wG, wO e wD estimados para a área (Figura 7). Os índices variam de 0,64 a 0,0192, gerando as classes de vulnerabilidade: desprezível (0 a 0,0192) cor cinza, moderada (0,3 a 0,5) cor amarela e alta (0,5 a 0,7) cor vermelha (Figura 8).

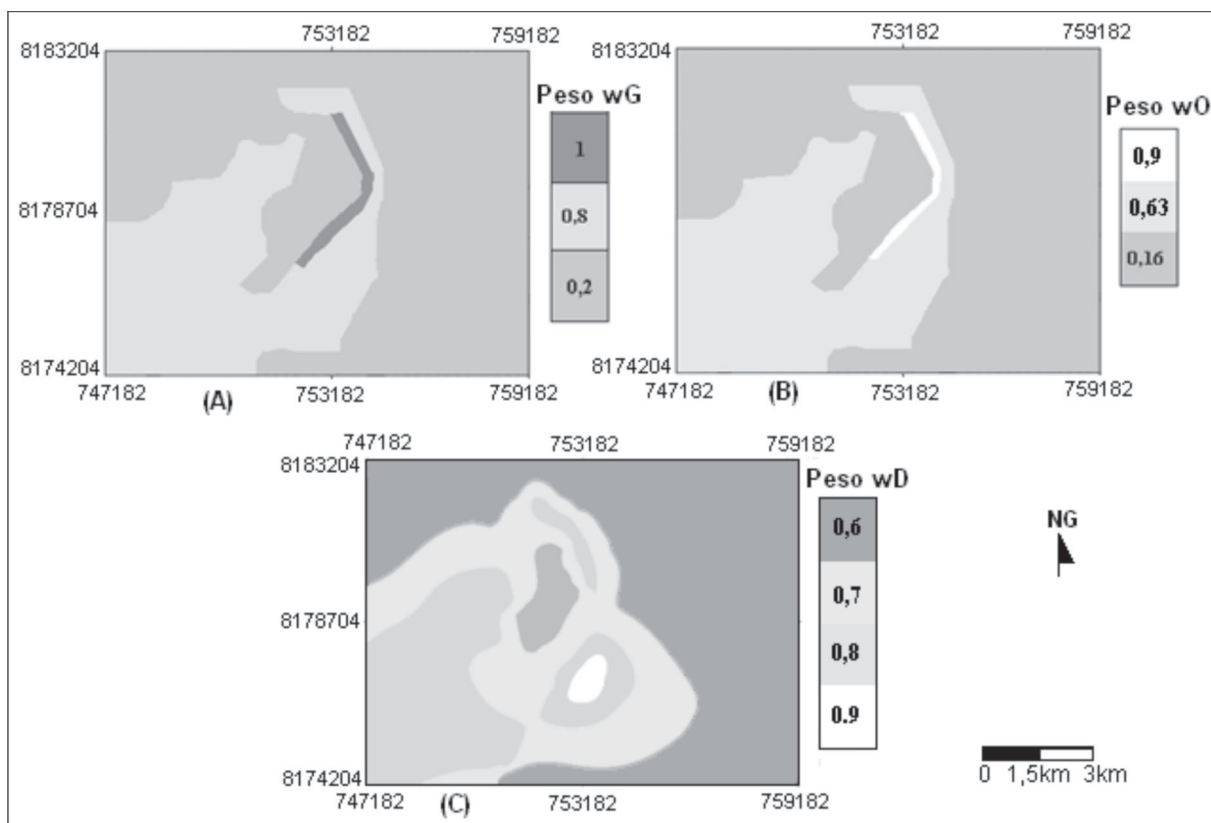


FIGURA 7. Distribuição dos valores de wG (A), wO (B) e wD (C) na área.

TABELA 1. Tipo de ocorrência do Aquífero Furnas na área.

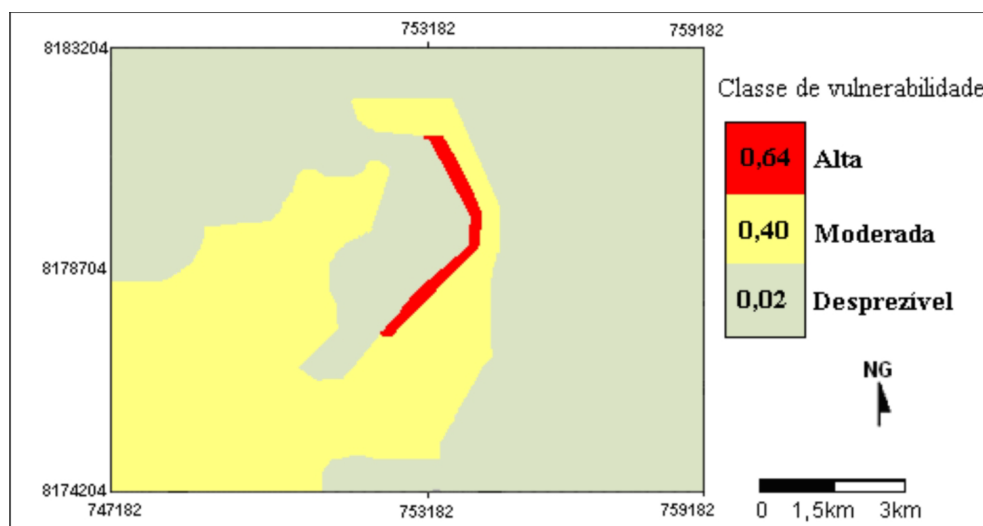
Ocorrência	Peso (wG): God ⁺ / Modificado [?]
Livre (exposto)	1,0 ⁺
Livre coberto por NEOSSOLO QUARTZARÊNICO	0,6 ⁺ /0,8 [?]
Confinado	0,2 ⁺

TABELA 2. Litologia e grau de consolidação da zona vadosa.

Solo (Figura 4)		Rocha (Figura 5)		Peso (wO)
Unidade	Peso	Tipo	Peso	
1, 2, 3, 5, 6, 7, 8	0,4	Arenitos finos, folhelhos siltosos, argilitos e Siltitos	0,4	0,16
2, 4, 5, 6, 7, 9 e 10	0,7	Arenitos médios a grossos, finos, conglomerados, Aluviões e Terraços	0,9	0,63
Ausente	-----	Arenitos médios a grossos, finos, conglomerados e Terraços	0,9	0,9

TABELA 3. Profundidade da água no aquífero (Figura 6).

Classe (m)	Peso (wD)
1,5 a 5	0,9
5 a 20	0,8
20 a 50	0,7
>50	0,6

**FIGURA 8.** Mapa de vulnerabilidade GOD do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis, MT.

A vulnerabilidade desprezível está distribuída em 68% da área, envolvendo toda a ocorrência confinada do aquífero, onde a profundidade da água varia de 30 a 163 m. Esta vulnerabilidade indica uma probabilidade remota de qualquer contaminante atingir a zona saturada do aquífero, visto que o fluxo vertical no aquífero

Ponta Grossa, seu principal meio confinador, é insignificante. A área envolvida por esta vulnerabilidade está coerente com o modo de ocorrência e a profundidade do aquífero.

A vulnerabilidade moderada abrange em torno de 31,9% da área total, correspondendo a 100% da área

de ocorrência do aquífero livre, onde a profundidade da água varia de 3 a 30 m. Esta vulnerabilidade indica que nestes locais somente alguns contaminantes podem alcançar a zona saturada do aquífero quando lançados continuamente. Ressalta-se que nas áreas de vulnerabilidade moderada, o fato de o aquífero ser livre e coberto por Neossolo Quartzarênico e a litologia arenosa do aquífero contribuirão para que o fluxo vertical de água seja muito maior que o previsto para este tipo de vulnerabilidade. Associando estes fatores à profundidade da água de 3 a 15 m em grande parte dessa área, eles indicam que os contaminantes tenham deslocamento muito diferente daquele previsto, evidenciando assim, que o método não definiu adequadamente a vulnerabilidade do aquífero nestas áreas.

A vulnerabilidade alta ocorre em torno de 0,1% da área total e corresponde à ocorrência livre do aquífero sem cobertura, onde a profundidade da água varia de 20 a 30 m. Ela indica que estes locais são vulneráveis a muitos contaminantes, exceto aqueles fortemente absorvidos ou transformados. A área de distribuição desta vulnerabilidade está muito bem definida, visto que se trata de área de exposição do aquífero.

PERIGO À CONTAMINAÇÃO DO AQUIFERO FURNAS

O perigo à contaminação do aquífero foi avaliado através da integração da vulnerabilidade do aquífero com as classes de fontes potenciais de contaminação da área (Figuras 9 e 10).

Na área foram identificadas quatro fontes potenciais pontuais de contaminação, classificadas em três categorias: fontes pontuais urbanas, lagoa de tratamento de esgoto industrial e fonte linear (Figura 9).

Na classe de fontes pontuais urbanas estão os postos de distribuição de combustíveis com moderado potencial de geração de carga contaminante e cemitério com reduzido potencial de geração de carga contaminante. Os postos de combustíveis estão localizados na área urbanizada, tendo a sua maior concentração na parte central, correspondendo a grande parte da área de vulnerabilidade moderada e um pequeno número em locais de vulnerabilidade desprezível (Figura 10). Como esta fonte é de moderada geração de contaminantes ela oferece perigo à contaminação do aquífero, o qual é maior nos locais de vulnerabilidade moderada e nenhum em vulnerabilidade desprezível. O cemitério está situado em área de vulnerabilidade moderada (Figura 10), embora sendo uma fonte com reduzida capacidade de geração de carga contaminante, ela gera perigo à contaminação do aquífero, principalmente por cargas patogênicas como vírus e bactérias.

As lagoas de tratamento de esgoto industrial da área são menores que 1 hectare, portanto classificadas como de reduzida capacidade de geração de contaminantes. Elas estão situadas em área de moderada vulnerabilidade à contaminação do aquífero (Figura 10), e, mesmo tendo reduzida capacidade de geração de contaminantes, produzem perigo à contaminação do aquífero.

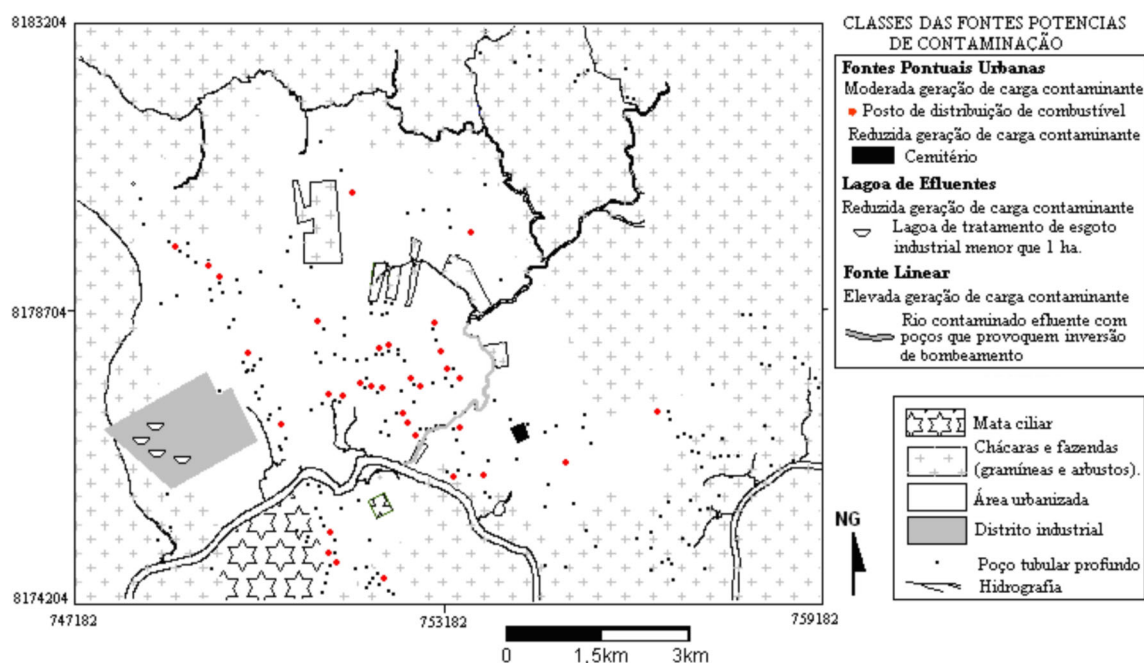


FIGURA 9. Mapa das fontes potenciais de contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis, MT.

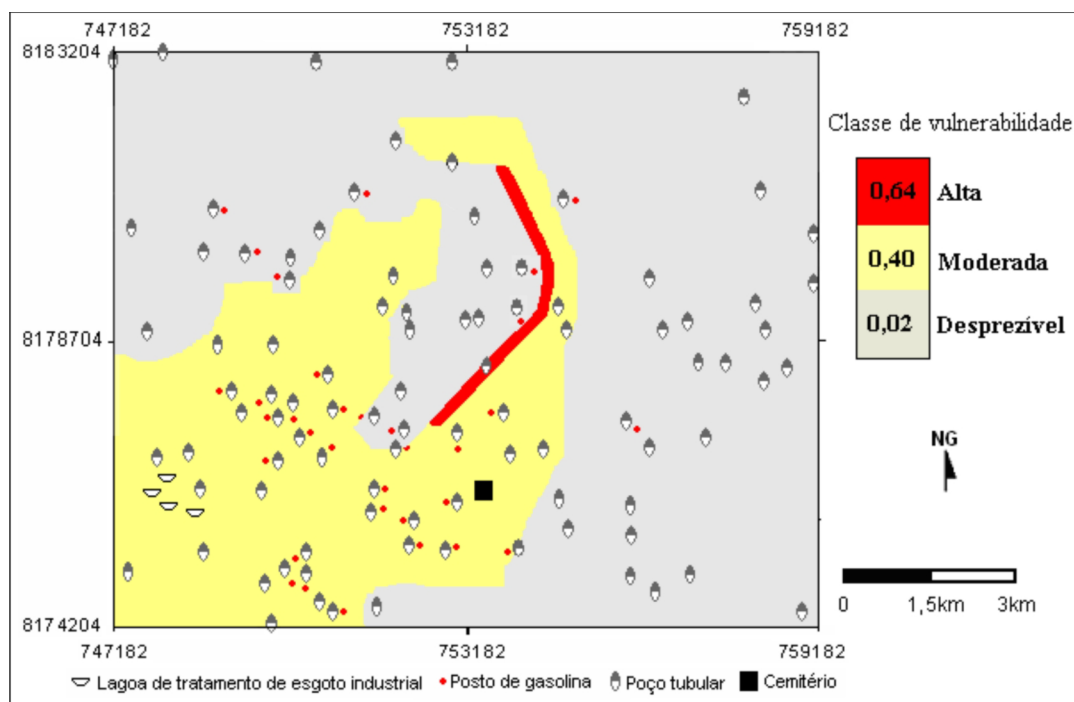


FIGURA 10. Mapa de vulnerabilidade GOD e fontes potenciais de contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis, MT.

A fonte linear de contaminação é parte do Ribeirão Arareau, com elevado nível de contaminação por esgoto doméstico, portanto classificada como de elevada capacidade de geração de contaminantes. O seu posicionamento em áreas de alta vulnerabilidade, associado à sua capacidade de geração de contaminantes gera alto perigo à contaminação. Para o detalhamento do grau de perigo que esta fonte de

contaminação pode resultar ao aquífero é necessário um estudo específico de sua efluência, ou em que períodos do ano ela se comporta como uma drenagem efluente ou influente. Algumas drenagens superficiais, apesar de conterem elevada carga de contaminação em solução e suspensão, não causam risco ao aquífero, pois são alimentadas pela água subterrânea em todo o ano hidrológico e em todo seu eixo de drenagem.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As classes de vulnerabilidade desprezível e alta geradas pela aplicação do método GOD estão bastante coerentes com as características do Aquífero Furnas na área, visto que a vulnerabilidade desprezível ocupa 100% da área confinada do aquífero, onde ocorrem as maiores profundidades da água, e a vulnerabilidade alta cobre 100% da pequena área onde o aquífero é livre sem cobertura. No entanto a vulnerabilidade moderada considerada pela aplicação do método GOD, que abrange 100% da ocorrência livre coberta do aquífero, não contempla adequadamente às características de profundidade da zona saturada do aquífero e dos tipos de solo e rochas que o recobrem. Contudo, a metodologia GOD apresentou um bom desempenho.

O mapa de vulnerabilidade indica que o aquífero precisa de maiores cuidados apenas nos locais de vulnerabilidades moderada e alta, porém em toda área

existem muitos poços que exploram o aquífero sem estrutura técnica construtiva adequada, tornando o aquífero mais vulnerável do que foi indicado pelo método GOD, que em seu desenvolvimento não contempla este tipo de feição pontual.

O bom desempenho do método GOD, associado ao baixo custo e tempo de determinação dos seus três parâmetros justificam sua aplicação, tanto em estudos regionais em áreas de cultivo agrícola intensivo, quanto em estudos de detalhe. Sua aplicação é especialmente importante em áreas urbanas, em que grande parte do abastecimento é feito por água subterrânea com risco efetivo de contaminação, cenários que necessitam do conhecimento da vulnerabilidade de aquífero para proposição de medidas preventivas e corretivas apropriadas.

O fato da vulnerabilidade GOD ser natural, relativa e envolver muitas simplificações geológicas e hidrogeo-

lógicas requer cautela e ponderações para as interpretações e utilização dos resultados. Além disso, como na elaboração do mapa de vulnerabilidade foram usados dados de profundidade da água do aquífero e estes variam temporal e espacialmente, este mapa deverá ser atualizado periodicamente para melhor cumprir a sua finalidade.

Na área existem apenas fontes potenciais de contaminação pontuais classificadas como fontes urbanas, lagoa de tratamento de efluente industrial e fonte linear.

As fontes urbanas, constituídas por postos de distribuição de combustíveis e cemitério são, respectivamente, de moderado e reduzido potencial de geração de contaminante. Os postos de combustíveis oferecem perigos alto, moderado e desprezível, respectivamente, às suas localizações em vulnerabilidades alta, moderada e desprezível. O perigo à contaminação devido ao cemi-

tério é moderado, pois está localizado em área de vulnerabilidade moderada.

As lagoas de tratamento de esgoto industrial têm reduzida capacidade de geração de contaminantes, porém a sua localização em área de moderada vulnerabilidade produz alto perigo à contaminação do aquífero. A fonte linear de contaminação tem elevada capacidade de geração de contaminantes e oferece perigo à contaminação alto nas áreas de vulnerabilidade alta.

Nas áreas onde o perigo à contaminação do aquífero é maior devem ser adotadas medidas preventivas, envolvendo monitoramento da qualidade de água e a implantação de área de proteção de poços. Nos locais de vulnerabilidades moderada e alta devem ser criadas áreas de proteção de qualidade de água, o que permitirá um controle rigoroso sobre as fontes potenciais de contaminação já existentes e impedirá a instalação de novas fontes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CUTRIM, A.O. **Hidrogeologia, consumo e demanda de água em Rondonópolis-MT: subsídios para o desenvolvimento urbano sustentável**. Cuiabá, 1999. 187 p. Tese (Doutoramento) – Instituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso.
2. CUTRIM, A.O. & REBOUÇAS, A.C. Estimativa das reservas de água do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis-MT. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE, 1, 2005, Cuiabá-MT. **Boletim...** Cuiabá, 2005, CD-ROM. (a).
3. CUTRIM, A.O. & REBOUÇAS, A.C. Tipos de usos das águas subterrâneas do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis-MT. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL, 1 E SIMPÓSIO DE ÁGUAS DA AUGM, 1, 2005, Santa Maria-RS. **Boletim...** Cuiabá, 2005, CD-ROM. (b).
4. CUTRIM, A.O. & REBOUÇAS, A.C. Aplicação de sondagem elétrica vertical na estimativa do topo e da espessura de unidades geológicas da Bacia do Paraná na cidade de Rondonópolis-MT. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 1, p. 89-98, 2007.
5. EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Produção de Informações** e EMBRAPA Solos, 412 p., 2006.
6. 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.

*Manuscrito Recebido em: 24 de maio de 2010
Revisado e Aceito em: 3 de agosto de 2010*