



## VULNERABILIDADE NATURAL E PERIGO À CONTAMINAÇÃO DE ZONA DE RECARGA DO AQUIFERO GUARANI

### VULNERABILITY AND DANGER TO CONTAMINATION OF RECHARGE ZONE OF THE GUARANI AQUIFER, BRAZIL

José Carlos Rodrigues Meira<sup>1</sup>, Alfredo Borges De-Campos<sup>2</sup>, Lindolfo Caetano Pereira<sup>3</sup>

Artigo recebido em: 05/09/2013 e aceito para publicação em: 18/02/2014.

**Abstract:** This study was aimed at assessing the vulnerability and danger of contamination of the recharge area of the Guarani Aquifer System (SAG), which is restricted to the Botucatu Formation, located in the high basin of the Rio Paranaíba (area 2606 km<sup>2</sup>) in the municipality of Mineiros, state of Goiás. The methodology for assessing vulnerability to groundwater contamination was performed by the GOD method, which allowed the identification of classes: low, moderate and high. The results indicated that 27.34 % of the area has high vulnerability; moderate 69.20% and 3.46 % low. Through the method POSH the potential sources of anthropogenic contaminant were classified as nonexistent, low, moderate and high. It was found that 43.00% of the area has no potential contaminant, 44.72 % has moderate potential and 12.00% shows high potential contaminant (not mapped area with low potential). It was evident that the region west of the study area showed a greater danger to contamination of the aquifer, showing nine clusters of extreme danger to contamination with total area of 104.93 km<sup>2</sup>, which corresponds to 4.03 % of the study area, and 21.9 % of the total area has a high risk of contamination. Thus, the data showed that there were areas that require further environmental control. Therefore, the management of this aquifer requires care to maintain groundwater quality, especially preventive initiatives, together with appropriate development of agribusiness activities and suitability of types of use, management and conservation of soil characteristics of the aquifer in the study area.

**Keywords:** GOD. POSH. Guarani Aquifer. Vulnerability. Hazard to contamination.

**Resumo:** Este estudo foi realizado na alta bacia do Rio Paranaíba (área 2.606 km<sup>2</sup>), no Município de Mineiros, Estado de Goiás. Consistiu na avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação da área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG) em que está restrito à formação Botucatu. A vulnerabilidade à contaminação foi avaliada através do método GOD, que permitiu identificar as classes: baixa, moderada e alta. Determinou-se que 27,34% da área possui vulnerabilidade alta; 69,20% moderada e 3,46% baixa. Através do método POSH foi realizada a classificação das fontes potenciais de contaminação antrópica, definidas como: não existente, reduzida, moderada e elevada. Verificou-se que 43% da área não possui potencial contaminante, 44,72% apresenta potencial moderado e 12% elevado potencial contaminante, não foi mapeada área com reduzido potencial. Ficou evidente que a região a oeste da área de estudos apresenta um maior perigo à contaminação do aquífero, evidenciou-se nove agrupamentos de extremo perigo à contaminação com área total de 104,93 km<sup>2</sup> correspondente a 4,03% da área de estudo e 21,9% da área possui alto perigo de contaminação. Os dados obtidos demonstram que existem áreas que requerem atenção. Por isso a gestão deste aquífero inspira cuidados, sobretudo preventivos, com desenvolvimento apropriado de atividades agroindustriais, e adequação de tipos de uso, manejo e conservação dos solos às características do aquífero na área de estudo.

**Palavras-chave:** GOD. POSH. Aquífero Guarani. Vulnerabilidade e perigo à contaminação.

## INTRODUÇÃO

As reservas hídricas subterrâneas respondem por aproximadamente 97% de toda água doce disponível para uso. Entretanto, em função de se tratar de um recurso não facilmente observável, não raro, é uma fonte desconsiderada

pela população. Ambientalistas, Governantes e outros formadores de opinião não dispensam a devida atenção a essas reservas hídricas. Na literatura sobre meio ambiente utilizada no ensino brasileiro, verifica-se que a água subterrânea

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás – UFG (ariemcarlos@gmail.com).

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (alfredo.borges.campos@gmail.com).

<sup>3</sup> Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos (lindolfocaetano@gmail.com).

ocupa um espaço ínfimo, sendo o foco principal as águas superficiais (PEDROSA & CAETANO, 2002).

Tal fato aliado ao consumo hídrico no planeta implicará notadamente em uma pressão sobre essa reserva vital para manutenção do equilíbrio ambiental terrestre. Vale ressaltar que as águas subterrâneas distribuem-se irregularmente no interior da superfície terrestre e não respeitam os territórios político-administrativos, o que, segundo Ribeiro (2008), é mais um elemento a ser considerado quando se pensa na gestão dos recursos hídricos subterrâneos em escala internacional.

Rebouças et al. (2006), alertam para as formas desordenadas de extração de águas subterrâneas, onde poços mal projetados ou abandonados, sem qualquer medida de proteção, constituem os principais focos de poluição do manancial subterrâneo no meio urbano. Nesse contexto, Hirata (2003), ressalta que se consumida a contaminação dos recursos, pode haver limitação da oferta de água, encarecendo a sua utilização e causando problemas à saúde humana e danos ambientais. Numa tentativa de apontar soluções para o problema da contaminação da água, Souza (2009), deixa claro, que se aplicada a doutrina da prevenção e da precaução, princípios basilares do direito ambiental, pode-se garantir não só água de boa qualidade e em quantidade suficiente, mas também saúde à população.

O mapeamento de áreas suscetíveis à contaminação por fontes antropogênicas, através da avaliação de vulnerabilidade, risco e perigo à contaminação, empregando métodos diferentes, vem sendo utilizado em vários trabalhos: Al-Adamat et al. (2003); Aller et al. (1985); Antonakos e Lambrakis (2007); Neukum e Azzam (2009); Babiker et al. (2005); Caldwell et al. (1981); Canter et al. (1987); Foster e Hirata (1988); Hagerty et al. (1973); Kulf (1980); Le Grand (1964); Nobre et al. (2007); Taltasse (1972). Esses métodos tornaram-se ferramentas importantes para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Assim, a adoção de medidas preventivas demanda certo conhecimento das características intrínsecas que determinam a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos. Ela é consequência das propriedades naturais dos estratos que o separam da superfície da terra, ou seja, está diretamente ligada às particularidades do meio físico que definem uma região, enquanto o potencial à contaminação trata-se da carga contaminante que é, será ou poderá ser aplicada

no meio como resultado da atividade antrópica. Neste contexto, a abordagem mais lógica para definição do perigo de contaminação da água subterrânea é considerá-lo como a interação entre a vulnerabilidade e o potencial à contaminação (FOSTER et al., 2006).

A expressão perigo à contaminação é definida como a probabilidade de que a água de um aquífero atinja níveis inaceitáveis de contaminação em decorrência das atividades antrópicas que se realizam na porção imediatamente acima da superfície do solo (ADAMS & FOSTER, 1992; FOSTER & HIRATA, 1988). Sua avaliação tem como efeito prático a melhor definição de ações mitigadoras aos resultados da ação humana sobre as reservas subterrâneas.

Nesse contexto a utilização de métodos para definição da vulnerabilidade, potencial e perigo à contaminação dos aquíferos torna-se fundamental ao exercício de gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Vale ressaltar que no Brasil, as bases cartográficas são bastante incipientes, sobretudo no Centro-oeste, Norte e Nordeste do país. Segundo dados do CONCAR (2013), apenas 1% do território nacional encontra-se mapeado em escala 1:100.000, tal fato evidencia as dificuldades de obtenção dos insumos necessários a estudos mais acurados de qualidade das águas subterrâneas. Como forma de contornar tal situação a aplicação de métodos que demandem apenas a utilização de dados de fácil acesso e de simples obtenção tornam possíveis tal análise.

Os métodos GOD e POSH (acrônimo em inglês de *Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*) possuem a simplicidade conceitual e também demandam bases que são, até certo ponto, acessíveis. Desse modo a utilização de tais métodos permite uma avaliação da situação natural, do potencial e do perigo à contaminação existente em uma dada região.

O método GOD, segundo Foster et al. (2002), é amplamente aplicado nos países da América Latina em virtude do seu bom desempenho, menor custo e maior facilidade de obtenção das informações nele utilizadas. O método avalia a vulnerabilidade do aquífero à contaminação que é consequência das características naturais dos estratos que o separam da superfície da terra, utilizando três parâmetros: tipo de aquífero (G), a litologia e grau de consolidação da zona vadosa ou camadas confinantes (O) e a profundidade do nível freático do aquífero (D).

O método POSH refere-se à

possibilidade de geração de uma carga poluidora identificando as substâncias tóxicas armazenadas e/ou manipuladas e a existência de carga hidráulica associada à essas substâncias no processo ou no seu destino final. Basicamente, este método ampara-se nos seguintes aspectos: localização da atividade poluidora, início e fim do funcionamento, tipo e tamanho da atividade e uso ou disponibilidade de água (FOSTER & HIRATA, 1988).

Cutrim e Campos (2010) alertam que é necessária cautela e também ponderações, para as interpretações e utilização dos resultados, pois a elaboração do mapa de vulnerabilidade envolve muitas simplificações geológicas e hidrogeológicas. Além disso, os mapas de vulnerabilidade são elaborados com base nos dados disponíveis no ato de sua construção e alguns desses dados podem variar temporal e espacialmente. Assim, estes mapas deverão ser atualizados periodicamente para melhor cumprir as suas finalidades.

Devido à importância da proteção das águas subterrâneas, o Aquífero Guarani foi escolhido para aplicação dos métodos GOD e POSH em sua zona de recarga localizada no município de Mineiros, Estado de Goiás. Segundo Veroslavsky et al. (2008), o SAG representa um típico exemplo de aquífero transfronteiriço, estendendo-se por 1.087.879,15 km<sup>2</sup>, assim distribuídos: na Argentina, ocupa área de 228.255,26 km<sup>2</sup>; no Brasil, 735.917,75 km<sup>2</sup>; no Paraguai, área de 87.535,63 km<sup>2</sup>; e no Uruguai, 36.170,51 km<sup>2</sup>.

Rocha (1997), ainda ressalta que esse manancial dispõe de um volume aproveitável de água da ordem de 40 km<sup>3</sup>/ano. Isso corresponde a mais de 30 vezes a demanda por água de toda a população existente em sua área de ocorrência. O mesmo autor informa que seus recursos hídricos são em geral de excelente qualidade e aplicáveis a todos os fins em quase toda a área.

## **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

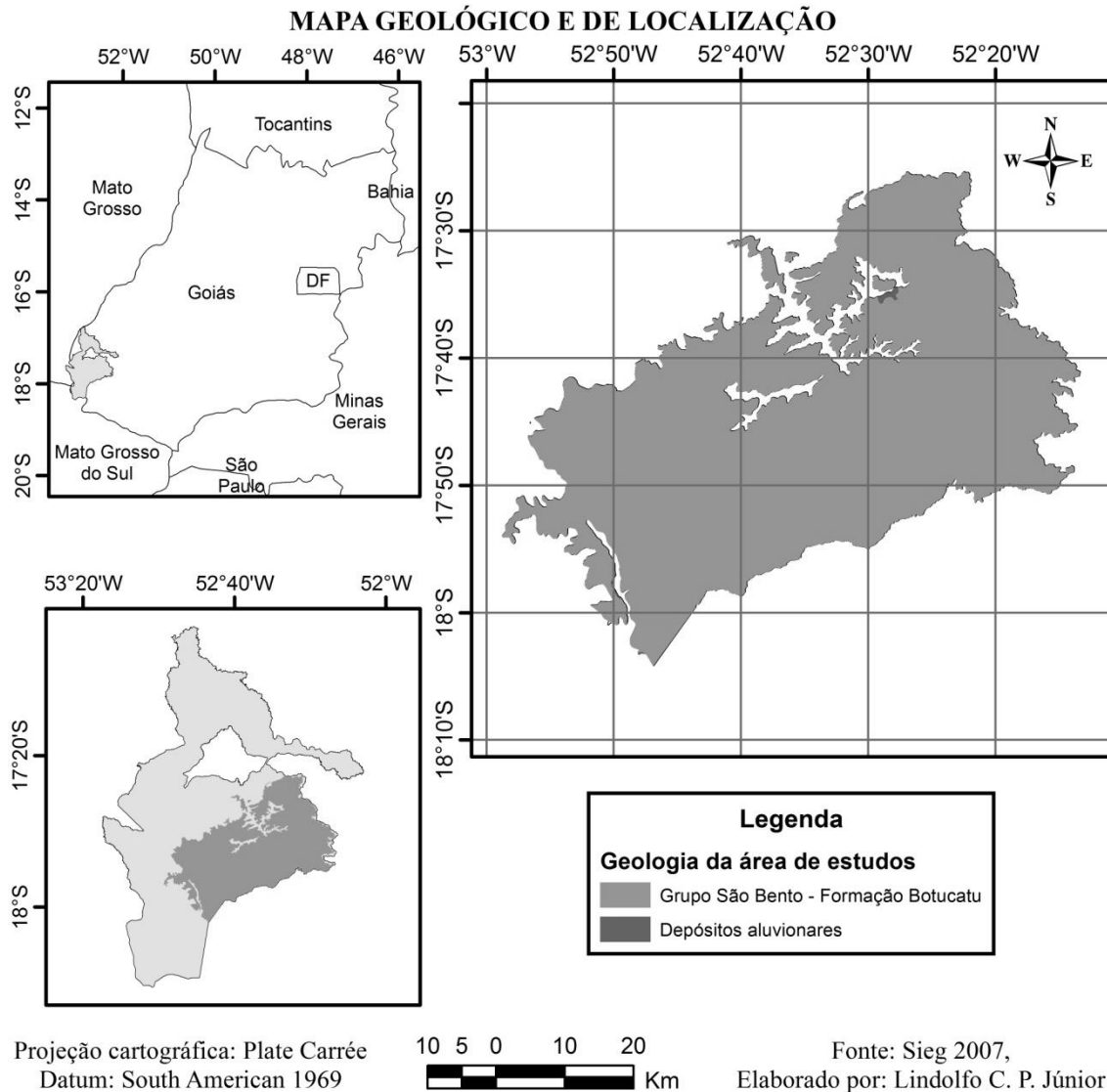
O município de Mineiros está localizado no sudoeste goiano, com área de 8.896 km<sup>2</sup>, situa-se geograficamente em terras com altitudes que variam entre 770 a 1100 metros. Apresenta precipitação média anual de 1853 mm, temperatura entre 18 e 20 °C e clima definido basicamente por duas estações: uma seca, com temperaturas amenas e a outra chuvosa, com temperaturas elevadas. O cerrado é a vegetação predominante, que tem sido em grande parte,

substituída por pecuária extensiva e pelas culturas de soja, milho, sorgo e, recentemente, pela cana-de-açúcar. No município são encontradas inúmeras nascentes d'água, muitas relacionadas ao afloramento do aquífero, que abastecem vários rios, como Araguaia, Verde, Formoso e Jacuba, os dois últimos drenam áreas do Parque Nacional das Emas.

Em Mineiros, o Aquífero Guarani encontra-se interligado a duas bacias hidrográficas: Alta Bacia do Rio Araguaia (norte) e a Alta Bacia do Rio Paranaíba (Sul). Este estudo focou a porção do Aquífero Guarani presente no domínio da Bacia do Rio Paranaíba, cuja área é de 2.606 km<sup>2</sup> (Figura 1). Segundo Campos (1996), o SAG engloba unidades geológicas confinadas, sotopostas aos basaltos, compostas por arenitos e lamitos, com aumento da proporção de argilas em direção à base do pacote sedimentar. Para Decoud e Rocha (2000), a porção confinada está sotoposta a espessos derrames basálticos correspondentes as Formações Serra Geral (Brasil). Essa condição geológica faz com que aproximadamente 90% do SAG estejam confinados e o restante ocupe áreas em faixas de afloramento e recarga (ARAÚJO et al., 1995).

Na região Sul de Goiás, o SAG está restrito a Formação Botucatu e distribuído em uma área de 39.367,72 km<sup>2</sup> (VEROSLAVSKY et al., 2008). A área de ocorrência compreende três zonas aflorantes e a porção confinada. A zona de afloramento mais representativa, com 8.832 km<sup>2</sup>, está localizada na região de Mineiros, que se estende desde o município de Santa Rita do Araguaia até o município de Serranópolis (OLIVEIRA, 2009).

A formação Botucatu é composta por arenitos eólicos, constituídos predominantemente por minerais de quartzo, arredondados (peito-de-pomba), granulação fina a média em meio a cimento de sílica, carbonato e ou limonita. Os arenitos estão dispostos em formas de dunas, interdunas e intertrapes entre derrames de rochas basálticas e ainda apresentam estruturas laminares, estratificadas plano-paralelas e estratificações cruzadas de baixo e alto grau e acanaladas. O contato superior com os basaltos da Formação Serra Geral é concordante, sendo comum a intercalação entre camadas de arenitos e basaltos (OLIVEIRA & VIEIRA, 2010). Segundo Oliveira (2009), de todas as unidades geológicas que compõem o SAG em território brasileiro, os arenitos da Formação Botucatu são os de maior distribuição espacial, ocorrendo em todos os locais de abrangência da Bacia Sedimentar do Paraná.



**Figura 1** - Mapas Geológico e de localização  
**Figure 1** - Geological and location maps

Segundo Gomes et al. (2008), a região onde se insere a área de estudo faz parte de uma das cinco regiões de recarga do Aquífero Guarani,

identificadas no Brasil, Paraguai e Uruguai, em que predominam aquíferos do tipo livre, ou seja, mais susceptíveis à contaminação (Figura 2).

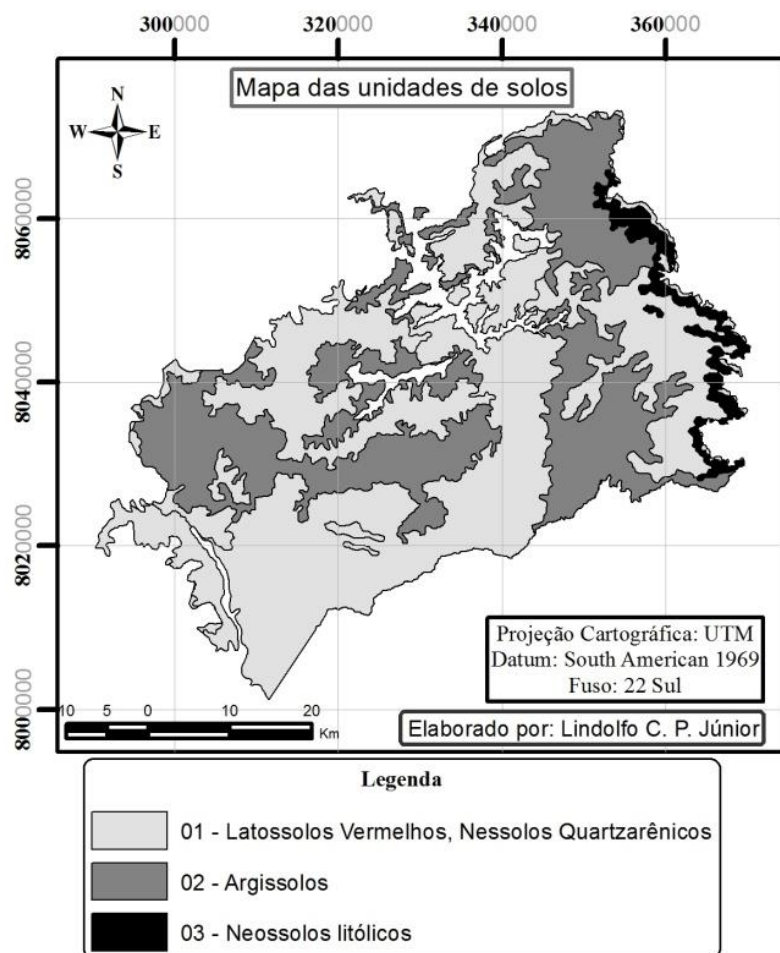


Fonte: adaptado de Borghetti et al., 2004.

**Figura 2** – Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani  
**Figure 2** – Schematic map of the Guarani Aquifer System

As unidades de solos selecionadas para a aplicação do método GOD foram determinadas a partir do mapa de solos elaborado pela Superintendência de Geologia e Mineração da Secretaria de Estado de Indústria e Comércio de Goiás (2005), em escala 1:250.000. As classes de

solos encontradas foram Latossolos Vermelhos, Neossolos Quartzarênicos, Argissolos e Neossolos Litólicos. A partir dessas classes predominantes chegou-se a três unidades de solos representativas para a aplicação do método GOD (Figura 3).



Fonte: SIEG - 2007.

**Figura 3** - Mapa das unidades de solos

**Figure 3** – Map of soil units

A unidade 1 é composta por Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos, que dominam a região perfazendo aproximadamente 59% da área de estudo. Tais solos apresentam alta porosidade efetiva e consequentemente boa condutividade hidráulica, conferindo características de zonas de recarga do Aquífero

Guarani subjacente. A unidade 2, composta por Argissolos que apresentam condutividade hidráulica moderada, representa 37% da área. Os Neossolos Litólicos ocupam menos de 4% da área e apresentam baixa condutividade hidráulica (Tabela 1).

**Tabela 1** - Unidades de solos por área e porcentagem de distribuição na área

**Table 1** - Units of soils by area and percentage distribution

<i>Unidades de solos</i>	<i>Classes de solos</i>	<i>Área (Km<sup>2</sup>)</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
1	Neossolos Litólicos	90,46	3,47
2	Argissolos	964,7	37,01
3	Latossolos Vermelhos, Neossolos Quartzarênicos.	1551,4	59,52

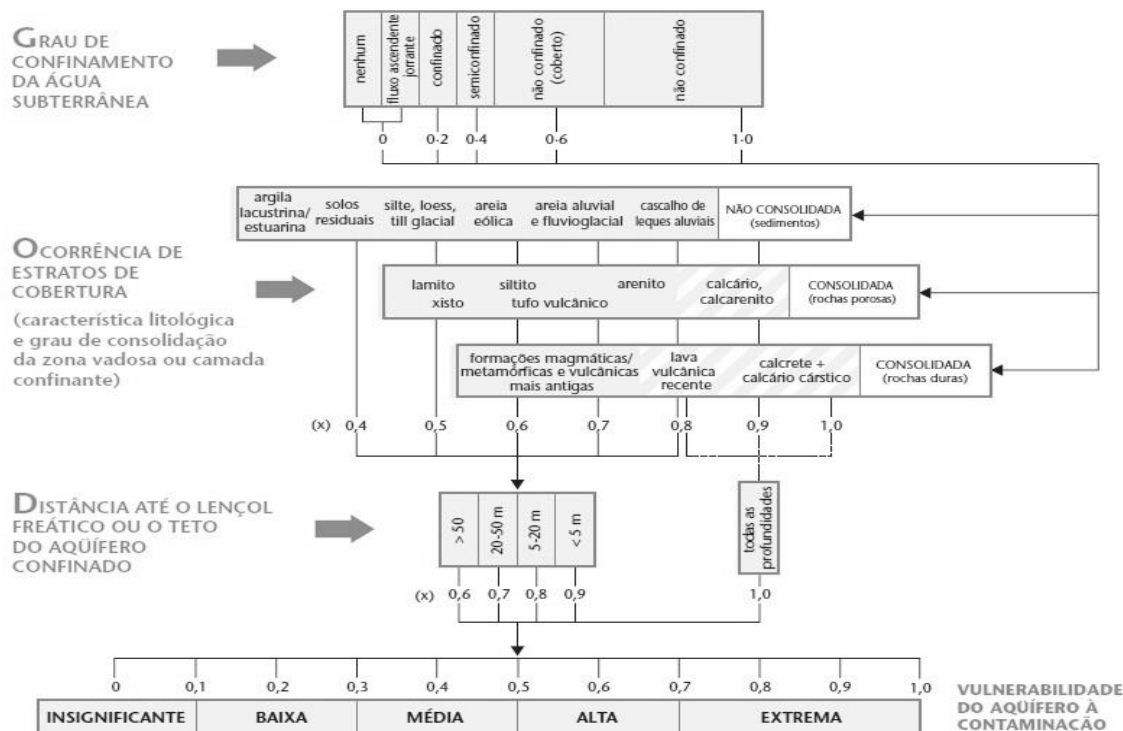
## MATERIAIS E MÉTODOS

### Método GOD

No método GOD os três parâmetros: tipo de aquífero (G), litologia e grau de consolidação da zona vadosa ou camadas

confinantes (O) e profundidade do nível freático do aquífero (D) recebem pesos que variam de 0 a 1. O produto da multiplicação destes três

parâmetros determinará a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, como pode ser observado na Figura 4.



Fonte: Foster et al. (2006).

**Figura 4** – Método GOD de avaliação de vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos

**Figure 4** – GOD method for evaluating natural vulnerability to aquifers contamination

Nesse método é possível determinar as áreas mais suscetíveis à problemas de contaminação, possibilitando o direcionamento das ações preventivas às regiões prioritárias. Dessa forma, pode-se atuar dentro dos princípios da prevenção e da precaução. Sendo este último uma referência indispensável em todas as abordagens relativas aos riscos ambientais (SOUZA, 2009).

Para a definição do parâmetro “G”, o valor 1,0 foi atribuído para toda área de estudo, pois em toda sua extensão o aquífero encontra-se na forma de aquífero livre, ou seja, constituído por uma formação geológica permeável e superficial e limitado na base por uma camada impermeável.

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. Dessa forma um solo ou uma rocha de granulometria grossa tem menor capacidade de atenuação do que um solo ou uma rocha de granulometria fina. Nesse contexto o parâmetro “O”, considera o tipo de solo ou litologia e recebe peso que varia de 0,4 a 1,0 (Figura 4) e seus resultados são representados em um mapa do parâmetro “O”.

A profundidade do nível do aquífero, parâmetro “D”, corresponde à distância que o contaminante terá de percorrer para alcançar a zona saturada do aquífero. Neste trabalho, “D” foi obtido através de dados de nível estático dos poços tubulares situados na área de estudo, que constam nos laudos de outorga da Empresa Brasil Foods S.A (Perdigão). A partir desses, foram determinados os pesos de acordo com método GOD, ou seja, valores que variam de 0,6 a 1,0. Os poços com nível freático maior que 50 metros receberam peso 0,6, entre 20 e 50 metros receberam peso 0,7 e entre 5 e 20 metros receberam peso 0,8. Esses dados permitiram a interpolação, utilizando a ponderação pelo inverso da distância.

### Método POSH

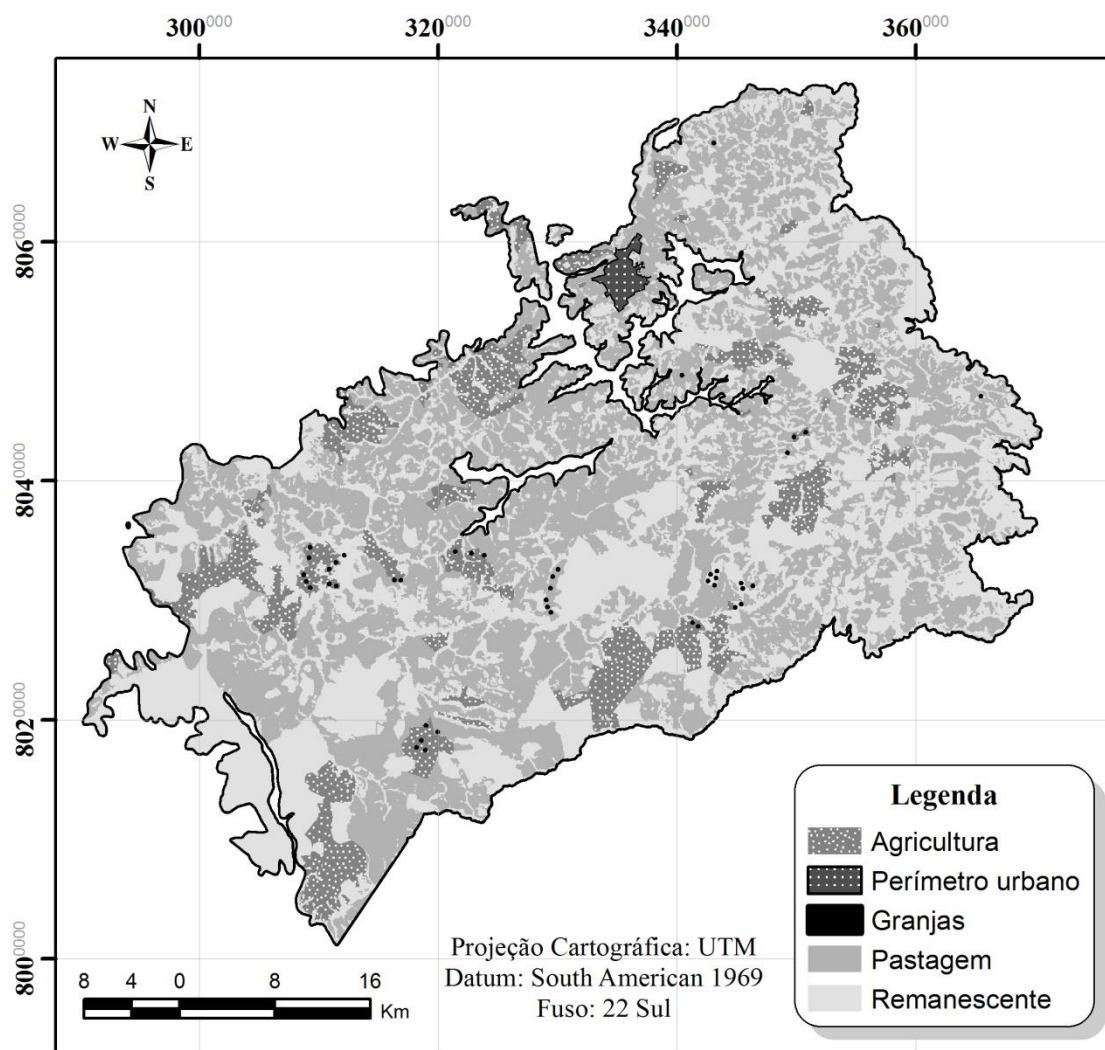
A análise do potencial contaminante foi realizada após a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo (Figura 5), obtido com base na interpretação das imagens de satélite Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*), do ano de 2010. Estas possuem resolução espacial de 30 metros, resolução espectral de 0,45-0,90  $\mu\text{m}$ , discriminados nos seguintes intervalos: azul - 0,45  $\mu\text{m}$ , verde - 0,52-0,60  $\mu\text{m}$ , vermelho - 0,63-0,69  $\mu\text{m}$ .

µm e Infravermelho próximo - 0,76-0,90, adotando-se, portanto, a composição colorida 5, 4, 3 (RGB).

A segmentação das imagens foi realizada no programa ArcGis, através de processo de classificação não supervisionada, seguida de aplicação de filtro, visando eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança possibilitando dessa forma a obtenção uma imagem classificada com aparência menos ruidosa. No processamento foram

definidas trinta classes, convertidas posteriormente para o formato vetorial e reclassificadas manualmente com base na interpretação das imagens. Após considerar os parâmetros espaciais e espectrais das imagens (cor, textura, forma e relevo), optou-se por agrupar os resultados em cinco classes: Remanescentes (englobando todas as fitofisionomias do Bioma Cerrado residuais); Áreas Urbanas, Pastagens, Agricultura e Granjas (Figura 5).

### MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO



**Figura 5** – Mapa do uso do solo  
**Figure 5** – Map of land use

Através do mapa de uso do solo, foram delimitadas as áreas de pastagens 43,28%, agricultura 11,24%, área urbana 0,53%, perímetro das granjas 0,22% e as áreas de vegetação remanescente 43,3%. As fontes potenciais foram classificadas de acordo com o método POSH

(FOSTER et al., 2002). Este as classifica em três níveis qualitativos de geração de carga contaminante: reduzido, moderado e elevado. Levando em consideração o tipo de atividade antrópica na área de estudo e sua capacidade geradora de contaminante (Tabela 2).



**Tabela 1** – Determinação do potencial contaminante, método POSH**Table 1** – Determination of potential risk of contamination by POSH method

Uso e ocupação do solo	Potencial contaminante	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Remanescente	Não existe	1128,2	43,28
Pastagem	Moderado	1165,6	44,72
Granjas, Perímetro urbano, Agricultura.	Elevado	312,76	12,00
<b>TOTAL</b>		<b>2.606,56</b>	<b>100</b>

A rede de esgotamento sanitário do município encontra-se bem desenvolvida, sendo que 87% da população da cidade conta com esse serviço (SAEE, 2012). Entretanto, na área urbana existem diversos poços tubulares profundos, mini-poços (Poços de pequena profundidade que captam água apenas do lençol freático, não atingindo aquíferos em formações rochosas) e cisternas que representam fontes potenciais de contaminação. Isso ocorre, sobretudo, pela manutenção precária de vários desses poços, conforme evidenciado em vistorias realizadas pela equipe da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás. Nesse sentido, o perímetro urbano foi considerado como zona de risco elevado. Além disso, existem os postos de combustíveis e as agroindústrias nessa área.

Nas áreas onde existem granjas, foi considerado um raio de 50 metros a partir de cada complexo para determinação de área de elevado potencial contaminante. Além desse tipo de atividade gerar carga de dejetos no ciclo de produção, nas áreas circunvizinhas geralmente ocorre a prática de culturas comerciais intensivas destinadas à produção de ração, sendo que essa atividade utiliza-se de grandes quantidades de insumos, como fertilizantes e agrotóxicos.

### Perigo à contaminação

Foster et. al (2002) definem que o perigo à contaminação é resultado do cruzamento entre o potencial contaminante e a vulnerabilidade natural do aquífero, ou seja, trata-se da análise de sobreposição dos resultados obtidos pela aplicação dos métodos GOD e POSH. Nesse contexto, o perigo pode ser definido como a interação entre as características naturais do sistema aquífero e as atividades antrópicas que são realizadas sobre ele.

Diante do exposto, o perigo à contaminação na área de estudo foi definido a partir da classificação proposta por Foster et. al. (2002), conforme Tabela 2. Tal procedimento foi realizado em ambiente de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) possibilitando a obtenção

do mapa de perigo à contaminação.

**Tabela 2** - Matriz de determinação do perigo à contaminação**Table 2** - Matrix determining the danger of contamination

		GOD		
		Baixa	Média	Alta
POSH	Não possui	Muito baixo	Baixo	Baixo
	Moderado	Baixo	Moderado	Alta
	Elevado	Moderado	Alto	Extremo

Adaptado de Foster et. al. (2002).

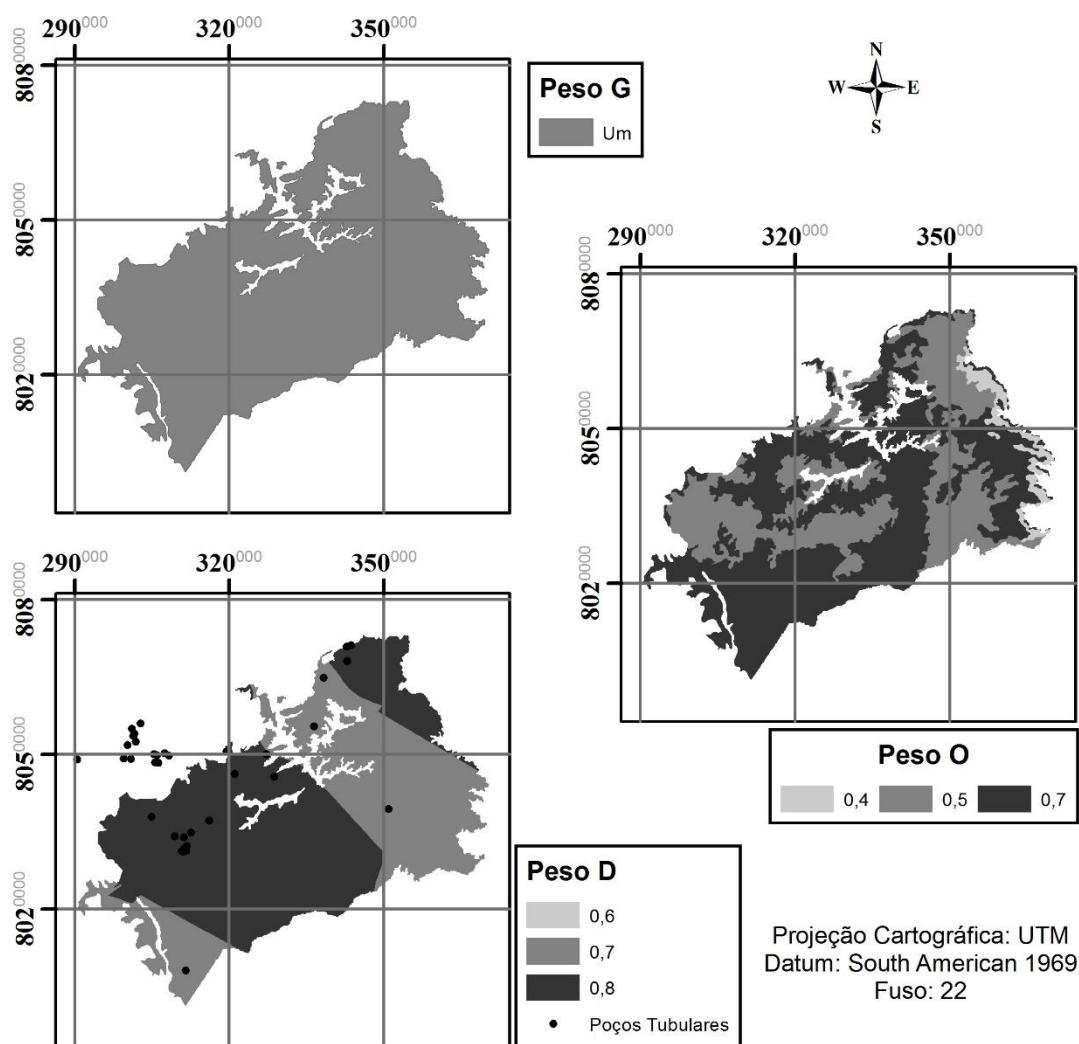
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Método GOD

Conforme já mencionado, para a definição do parâmetro “G”, o valor 1,0 foi atribuído para toda área de estudo, pois em toda sua extensão o aquífero encontra-se na forma de aquífero livre, ou seja, constituído por uma formação geológica permeável e superficial e limitado na base por uma camada impermeável (Figura 6).

Na área predominam rochas arenosas pertencentes à Formação Botucatu e solos com condutividade hidráulica variável. Desta forma, foram atribuídos três unidades de classes de valores para o parâmetro “O”, relativos a sedimentos não consolidados e rochas porosas (Figura 6).

A unidade 1, composta de Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos recebeu valor 0,7 pois essas classes de solos apresentam boa condutividade hidráulica, sendo a unidade dominante na área de estudo. A unidade 2, representada por Argissolos com condutividade hidráulica moderada, foi atribuído valor 0,5 e constitui a segunda com maior representação na área de estudo, enquanto a unidade 3 constituída de Neossolos Litólicos, com baixa condutividade hidráulica, recebeu valor 0,4 e ocorre somente na porção nordeste da área. A Figura 6 apresenta os parâmetros do método GOD.



FONTES: Sieg 2007 / SEMARH 2012

Elaborado por: Lindolfo C. P. Júnior

**Figura 6** – Mapas de distribuições dos parâmetros GOD  
**Figure 6** – Maps of GOD distribution parameters

O mapa do parâmetro “D” e sua porcentagem de distribuição na área de estudo são apresentados na Figura 6 e Tabela 3. Observa-se que em cerca de 2/3 da área o aquífero possui profundidade do nível freático entre 5 e 20 m, ou seja, são aquíferos rasos com nível freático próximos da superfície. Não foram identificadas na área de estudos regiões com nível menor que 5 metros de profundidade.

O mapa do índice GOD de vulnerabilidade natural à contaminação, gerado através do produto dos três parâmetros, é mostrado na Figura 7. Constatou-se que somente uma pequena porção da área mapeada apresentou baixa vulnerabilidade natural à contaminação. Esse resultado demonstra a potencialidade desta

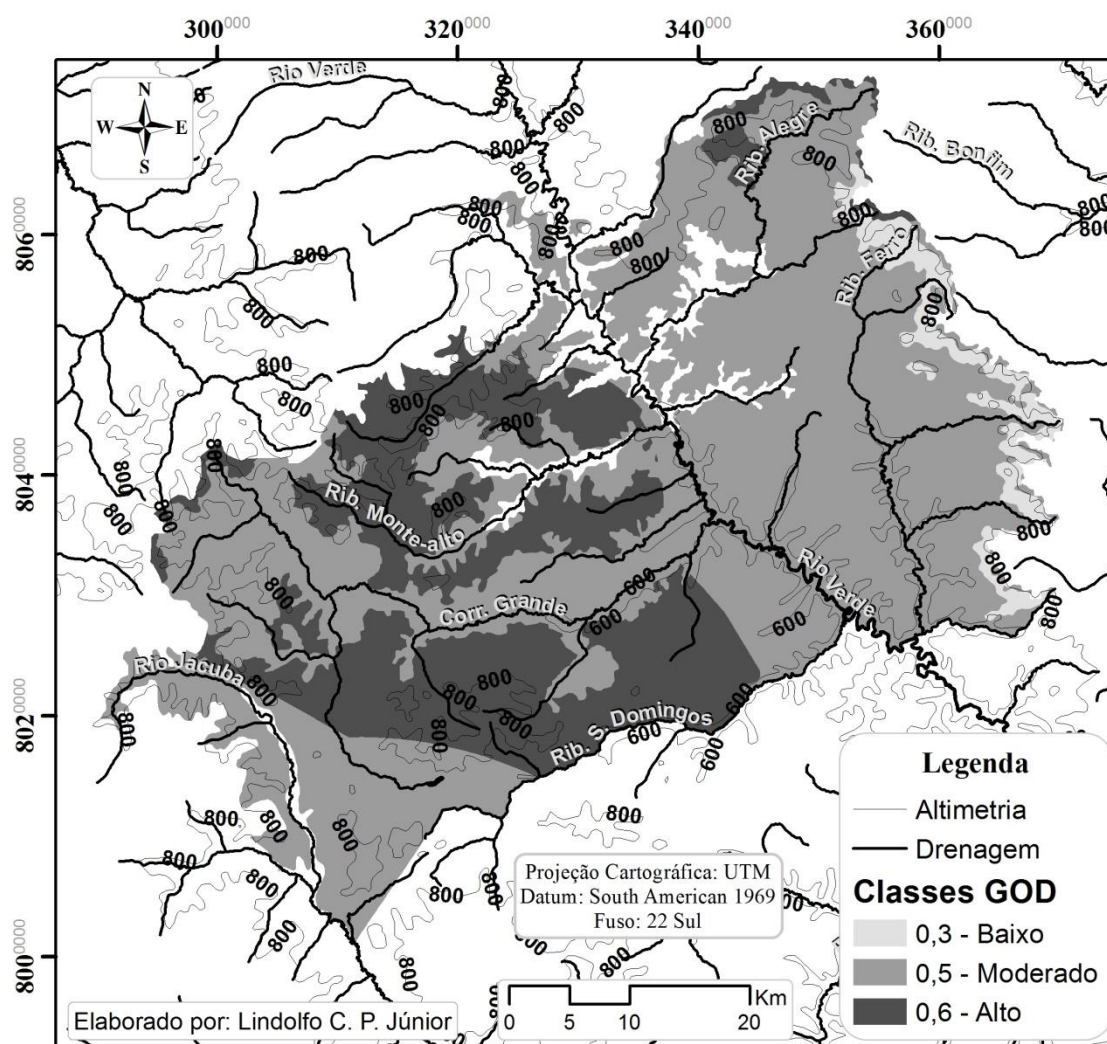
área de recarga do Aquífero Guarani a contaminação, caso não haja uma política adequada de uso e manejo do solo.

**Tabela 3** – Distribuição das classes do parâmetro “D” em área e porcentagem

**Table 3** – Distribution of classes of the parameter “D” in surface area and percentage

Classe do parâmetro “D”	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
5 - 20	1569,8	60,22
20 - 50	1036,71	39,77
> 50	0,05	0,002
<b>Total</b>	<b>2606,56</b>	<b>100</b>

## MAPA DE VULNERABILIDADE A CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO GUARANI



**Figura 7** – Mapa de Vulnerabilidade natural à contaminação  
**Figure 7** – Map of natural vulnerability to contamination

Observa-se um predomínio da classe de vulnerabilidade moderada, que é encontrada em cerca de 2/3 da área de estudo, onde ocorrem os Argissolos e o nível freático está mais profundo (Tabela 4). A classe de vulnerabilidade alta está presente em cerca de 1/3 da área sendo a segunda classe mais expressiva. Essa se relaciona a locais onde o lençol freático está pouco profundo e os solos predominantes são Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos com boa condutividade hidráulica.

Entretanto, assinala-se que o resultado obtido para a classe moderada não reflete as característica dos locais de maior potencial para recarga do aquífero, as quais em geral se posicionam nas áreas de vulnerabilidade alta,

onde as declividades são baixas e favorecem a infiltração vertical de contaminantes.

**Tabela 4** – Distribuição em área e porcentagens de classes de vulnerabilidade natural à contaminação (GOD)

**Table 4** – Distribution area and percentages of classes of natural vulnerability to contamination (GOD)

Classe de Vulnerabilidade	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Baixa	90,12	3,46
Moderada	1803,7	69,20
Alta	712,74	27,34
<b>Total</b>	<b>2606,56</b>	<b>100</b>

### Análise do potencial contaminante (POSH)

A partir da análise pelo método POSH foi possível encontrar dois níveis potenciais de contaminação, além de elevada área sem potencial contaminante, por ser composta de remanescentes de cerrado (Tabela 5). Observa-se a predominância de moderado potencial contaminante (Figura 8), sobretudo em função da maior área dedicada a pastagens.

O potencial contaminante elevado está presente em aproximadamente 12% da área de estudo. Distribui-se de forma bastante heterogênea, não havendo portanto grandes áreas de concentração. É possível verificar que as três classes do método POSH distribuem-se por toda área de estudo.

Através da análise pelo método POSH observou-se que na área existe uma variedade de atividades antrópicas com potencial contaminante,

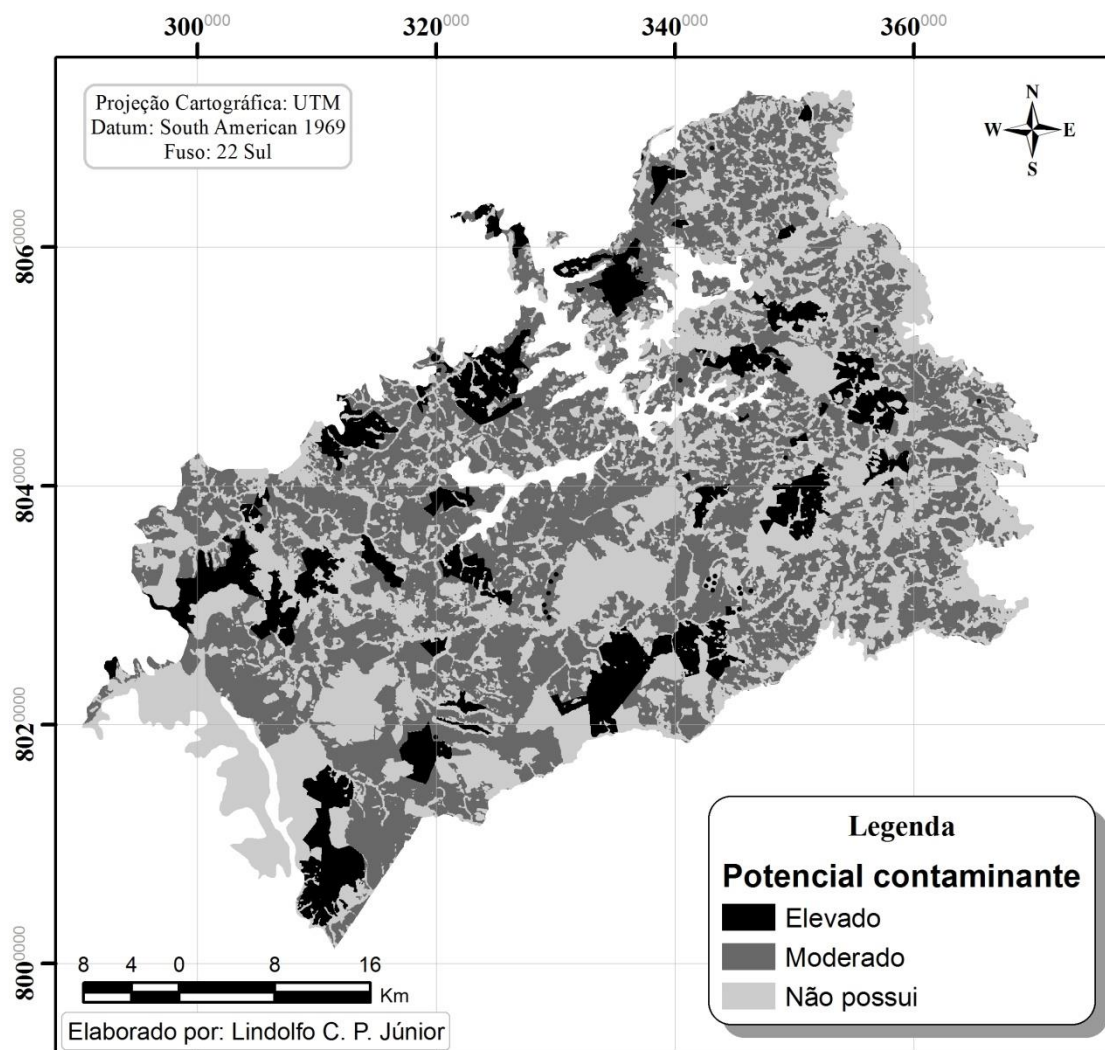
e que essas áreas devem ser priorizadas e amplamente fiscalizadas, no sentido de evitar problemas de poluição da água subterrânea. Pois a contaminação da água subterrânea é geralmente de caráter irreversível, assim é preferível sua proteção para garantir a utilização futura para os diversos fins.

**Tabela 5** – Distribuição em área e porcentagem do potencial contaminante (POSH)

**Table 5** – Area and percentage distribution of contaminant potential (POSH)

Potencial	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Não possui	1130,47	43,37
Moderado	1163,51	44,64
Elevado	312,58	11,99
<b>TOTAL</b>	<b>2.606,56</b>	<b>100</b>

### MAPA DO POTÊNICAL CONTAMINANTE (POSH)



**Figura 8** - Mapa do potencial contaminante (POSH)

**Figure 8** - Map of contaminant potential (POSH)

### Perigo à contaminação

A análise do perigo à contaminação (Figura 9) revelou aproximadamente nove agrupamentos espaciais de áreas com extremo perigo, um total de 104,93 km<sup>2</sup>, equivalente a 4,03 % da área possui essa característica. Nota-se que a região a leste da área de estudo, que inclusive contém o perímetro urbano, não apresenta áreas de extremo perigo à contaminação.

O alto perigo à contaminação corresponde a 21,90% ou 570,93 Km<sup>2</sup>, distribuindo-se por toda área de estudo. Essas áreas são formadas basicamente por regiões que possuem média vulnerabilidade natural à contaminação com elevado potencial contaminante, sendo predominante a agricultura, além do perímetro urbano do município.

**Tabela 6 - Perigo à contaminação**  
**Table 6 - Contamination danger**

Perigo	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Muito Baixo	62,81	2,41
Baixo	1.095,31	42,02
Moderado	772,59	29,64
Alto	570,93	21,90
Extremo	104,93	4,03
<b>TOTAL</b>	<b>2.606,56</b>	<b>100</b>

As áreas de moderado perigo representam 29,64% ou 772,59 km<sup>2</sup>, também se distribuem por toda região, sendo formada basicamente por zonas de média vulnerabilidade natural e moderado potencial contaminante, onde predominam áreas de pastagem.

Predominam no perímetro estudado as zonas de baixo e muito baixo perigo à contaminação, sendo estas responsáveis por 42,02% ou 1.095,31 e 2,41% ou 62,81 Km<sup>2</sup> respectivamente. Essas são caracterizadas por possuírem baixa ou média vulnerabilidade natural, além de contar, em sua maioria, com remanescentes de cerrado, apresentando pequenas regiões de pastagem.

O mapa de perigo à contaminação (Figura 9), revela que existe um maior perigo à contaminação na porção a oeste da área de estudo, onde há predominância dos latossolos e o nível do aquífero está entre 20 e 50 metros de profundidade. Nota-se ainda que nesta área existe um grande número de poços tubulares e também de granjas, o que evidencia a necessidade de ações de conscientização, sobretudo dos proprietários de poços tubulares quanto à necessidade de manutenção das condições de segurança de seus poços.

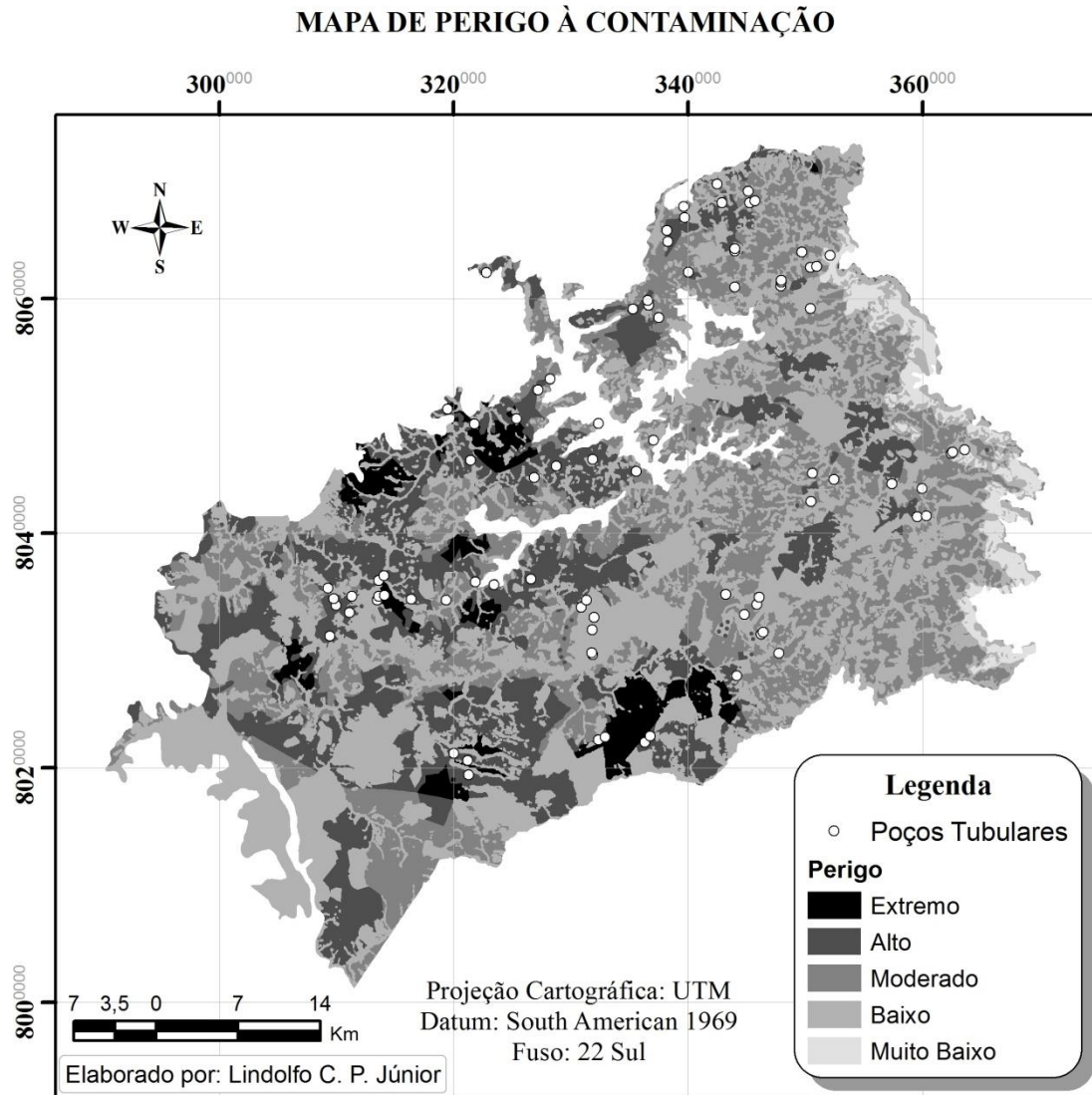
Foram mapeados um total de 87 poços tubulares na área de estudo, desses 29% encontram-se em área de alto perigo (Figura 9), também existem 4 em regiões de extremo perigo. Nota-se que apenas 1 dos poços mapeados encontra-se em área de muito baixo risco.

**Tabela 7 – Relação entre os poços-tubulares e o perigo à contaminação**

**Table 7 - Relationship between the tubular wells and the contamination danger**

Perigo	Número de poços	Porcentagem (%)
Extremo	4	4,60
Alto	26	29,89
Moderado	27	31,03
Baixo	29	33,33
Muito Baixo	1	1,15
<b>TOTAL</b>	<b>87</b>	<b>100</b>

É necessário ainda ressaltar que esses poços representam apenas uma parcela dos existentes na região, tratando-se apenas dos que têm ou já tiveram outorga emitida pela Secretária de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás. Tal fato evidencia a necessidade de ações de educação e fiscalização na região, visando sobretudo conscientizar os moradores dos perigos envolvidos na contaminação das águas subterrâneas.



**Figura 9** - Mapa de perigo à contaminação  
**Figure 9** - Map of contamination danger

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos GOD e POSH mostraram-se adequados à aplicação em regiões carentes de dados geográficos em escalas de detalhe, sobretudo pela sua simplicidade conceitual e facilidade de aplicação. Ficou claro que a etapa mais complexa de sua aplicação é a obtenção de bases de dados confiáveis e em escala compatível.

O município de Mineiros nos últimos anos se sobressaiu pela expressiva expansão de sua fronteira agrícola e no uso intensivo dos solos para a produção. Com destaque para as culturas de milho, soja, sorgo e da cana-de-açúcar e também instalações de agroindústrias. Destacam-se no município o setor sucroalcooleiro, frigoríficos e a avicultura, as quais constituem atividades antrópicas que possuem grande potencial poluidor. Tais características podem

contribuir sobremaneira para a degradação da qualidade da água no aquífero, caso não haja um controle ambiental adequado.

Ainda nesse sentido, não deve ser excluída a necessidade de detalhamento das atividades potencialmente contaminantes antes de serem decididas políticas públicas. Torna-se necessária a aplicação de medidas preventivas de fiscalização e controle de qualidade da água subterrânea, uma vez que as atividades agrícolas intensivas praticadas no município fazem uso de grandes quantidades de insumos, os quais em geral possuem quantidades significativas de agentes potencialmente poluidores.

Espera-se que os resultados apresentados nesse trabalho possam contribuir para o prosseguimento de estudo mais específico do Sistema Aquífero Guarani, já que este sistema precisa ser conhecido em escala de detalhe,

quanto à qualidade da água e a exploração desta de modo sustentável. Espera-se também que o trabalho possa orientar o gerenciamento do uso e

ocupação das terras e da gestão dos recursos hídricos subterrâneos da área em questão.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, B.; FOSTER, S. S. D. Land-surface zoning for groundwater protection. **Journal of Institution of Water and Environmental Management**, v. 6, 1992, p. 312-320.
- AL-ADAMAT, R. A. N.; FOSTER, I. D. L.; BABAN, S. M. J. Groundwater vulnerability and risk mapping for the basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC. **Applied Geography**, v. 23, 2002, p.303-324.
- ALLER, L., BENNET, T., LEHER, J., PETTY, R. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. **USEPA Report, 600/02-85**, 1985.
- ANTONAKOS, A. K.; LAMBRAKIS, N. J. Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece. **Journal of Hydrology**, v. 333, 2007, p.288-304.
- ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. Aquífero Gigante do Mercosul – Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai: mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tucumbó. **UFPR/PETROBRÁS**, Curitiba, 1995, 10p.
- BABIKER, I. S.; MAHAMED, M. A. A.; HIYAMA, T. KATO, K. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. **Science of the Total Environment**, v. 345, 2005, p 127-140.
- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Fundação Roberto Marinho, Curitiba, 2004, 214 p.
- CALDWELL, S.; BARRET, K.; CHANG, S. Ranking system for releases of hazardous substance En: **Conf. on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites**. Instituto de Pesquisa de Controle de Materiais Perigosos, 1981, p.14-20.
- CAMPOS, H. C. N. S. Mapa hidrogeológico do Aquífero Guarani, escala 1:2.500.000. **Editado pela ISOMAPA – Consultoria e Projetos Ltda**, São Paulo, Brasil. 1996.
- CANTER, L.; KNOX, R.; FAIRCHILD, D. **Groundwater quality protection**. Lewis Publishers, 1987, 562p.
- CONCAR. Comissão Nacional de Cartografia. **Cenário Situacional**. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/planejEstrategico.aspx?sub=3>. Acesso em: 04 de Março de 2013.
- CUTRIM, A. O.; CAMPOS, J. E. G. Aplicação dos Métodos Drastic e Posh para a Determinação da Vulnerabilidade e Perigo à Contaminação do Aquífero Furnas na Cidade de Rondonópolis-MT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 15, n.2, 2010, p.127-147.
- DECOUD, P.; ROCHA, L. Aportes a la hidráulica subterránea del Acuífero Guarani en el NW del Uruguay. **1st Joint World Congress on Groundwater**. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, Fortaleza, 2000, 16p.
- FOSTER, E. S. D.; HIRATA, R. C.; ROCHA, A. Riscos de Poluição de Águas Subterrâneas; uma proposta de avaliação regional. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS. São Paulo, 1988. **Anais**, São Paulo: ABAS, 1988. 279p. il. p.175-185.
- FOSTER, S.; HIRATA, R. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. **CEPIS Tech. Report. (WHO-PAHO-CEPIS)**, Lima, Perú, 1988.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Groundwater Management Advisory Team (GW.MATE) em parceria com a Global Water Partnership, copatrocínio da OMS-OPAS-CEPIS & UNESCO-ROSTLAC-PHI. Banco Mundial. Washington, D.C., 2002.
- \_\_\_\_\_. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Banco Mundial. Washington, D.C., 2006.
- GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A.; PERIERA, A. S. Caracterização das Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil – base para uma proposta de gestão sustentável. **EMBRAPA**, Jaguariúna-SP, 2008.
- HAGERTY, D.; PAVONI, L.; HEER, J. Solid water management. **Van Nostrand Reinhold**, New York, 1973.
- HIRATA, R. **As águas subterrâneas em centros urbanos**. ABAS Informa, São Paulo, Set/2003.
- KULFS, C. Rating the hazard potential on waste disposal facilities En: Nat. Conf. on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites. **Hazardous Material Control Research Institute**, 1980, p 30-41.
- LE GRAND, H. System for evaluating contamination potential of some waste sites. **American Water Work Association Journal**, v. 56, 1964, p.959-974.
- NEUKUM, C.; AZZAM, R. Quantitative assessment of intrinsic vulnerability to contamination using numerical simulations. **Science of Total Environment**, v. 408, 2009, p.245-254.
- NOBRE, R. C. M.; ROTUNNO FILHO, O. C.; MANSUR, W. J.; NOBRE, M. M. M.; COSENZA, C. A. N. Groundwa-

ter vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a fuzzy logic tool. **Journal of Contamination Hydrology**, v. 94, 2007, p..277-292.

OLIVEIRA, L. A. de; VIEIRA, A. S. Estado da Arte do Sistema Aquífero Guarani. **Caminhos de Geografia** – revista on line. Instituto de Geografia UFU. V. 11, n. 34, 2010, p.174-189.

OLIVEIRA, L. A. **Sistema Aquífero Guarani no Estado de Goiás: Distribuição, Caracterização, Hidrodinâmica, Hidroquímica, Composição Isotópica e CFCs**. Tese (Doutorado e Geociências), Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília – DF, 2009.

PEDROSA, A. C.; CAETANO, Francisco A. Águas Subterrâneas. **Agência Nacional de Águas (ANA)**. Superintendência de Informações Hidrológicas, Brasília, 2002.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B., TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª edição – São Paulo. Escrituras editora, 2006, 748p.

RIBEIRO, W. C. Aquífero Guarani: gestão compartilhada e soberania. **Estudos Avançados**. v. 22 n.,64, São Paulo, 2008, p.227-238.

ROCHA, G. A. O grande manancial do Cone Sul. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 30, 1997, p.191-212.

SAEE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Minas-GO. **Sistema de Esgoto**. 2012. Disponível em: <http://saaemineiros.go.gov.br/#sistema-de-esgoto>. Acesso em: 05 de Março de 2013.

SIEG. – Sistema Estadual de Estatística de Goiás. **Plano diretor da Bacia do Rio Paranaíba-GO**, 2007.

SOUZA, L. C. de. **Águas subterrâneas e a legislação brasileira**. Curitiba, ed. Juruá, 2009, 236p.

TALTASSE, P. **Mapas da vulnerabilidade à poluição dos lençóis aquíferos do município de Campinas (SP)**. Universidade de São Paulo (IGc). Publ. Avulsa n. 1, 1972.

VEROSLAVSKY, G.; LÓPEZ, F.; GUILLO, V. A.; CASACCIA, J. L.; ROSSI, V. Avanços no Conhecimento do Sistema Aquífero Guarani. Projeto de Proteção Ambiental de Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. **Consórcio Guarani**, Rio Claro, 2008, 120p.