

## Potencial de contaminação de aquíferos na bacia do córrego do Gouveia, São Paulo

João Vitor Roque Guerrero<sup>a</sup>, Michel Eustáquio Dantas Chaves<sup>b</sup>, Rodrigo Cesário Justino<sup>c</sup>, Guilherme Augusto Verola Mataveli<sup>d</sup>, Luiz Eduardo Moschini<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, São Carlos, 13565-905, Brasil.  
\*jvguerrero2@gmail.com

<sup>b</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Lavras, 37200-000, Brasil.

<sup>c</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, Alfenas, 37130-001, Brasil.

<sup>d</sup> Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 05508-900, Brasil.

Recebido: 10 julho 2017 / Aceito: 25 setembro 2017 / Publicado online: 27 setembro 2017

### Resumo

No cenário atual de aumento da consciência ambiental e procura por meios de proteger o meio ambiente, a preservação das águas, tanto a superficial quanto a subterrânea, tem ganhado destaque tanto nos meios de informação quanto na ciência. Esta pesquisa teve como objetivo gerar uma carta de potencial de contaminação de aquíferos da bacia hidrográfica do córrego do Gouveia, localizado no município de Brotas, São Paulo, referente ao ano de 2017, com base em análise multicritério e sistematizada por lógica Fuzzy. A carta considerou a relação entre os processos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de declividade com o uso do solo local. Os resultados obtidos demonstraram que 96% da área da bacia apresenta classes de médio, alto ou muito alto potencial de contaminação de aquíferos, sugerindo que a relação entre a dinâmica natural do meio físico e o atual padrão de ocupação antrópica são desfavoráveis à manutenção da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos. A metodologia aplicada pode servir como suporte para decisões de planejamento territorial e gestão sustentável do sistema aquífero Guarani à medida em que é possível espacializar áreas que necessitam de maior conservação e outras onde a ocupação seria mais favorável.

*Palavras-chave:* Planejamento Territorial, Águas subterrâneas; Análise multicritério, SIG.

## Potential of aquifer contamination in the Gouveia stream basin, São Paulo

### Abstract

In the current scenario of increasing environmental awareness and seeking for methods to protect the environment, the preservation of both surface and underground water has gained prominence in the media and science. This research aimed to generate a chart of aquifers' contamination potential of the Gouveia stream basin, located in the municipality of Brotas, São Paulo, for the year 2017, based on multicriteria analysis and systematized by Fuzzy logic. The chart considered the relationship between the geological, geomorphological, pedological, and declivity processes with the local land use. Results showed that 96% of the basin area present medium, high or very high potential for contamination of aquifers, suggesting that the relationship between the natural dynamics of the physical environment and the current pattern of anthropic occupation is unfavorable to the maintenance of the quality of groundwater resources. The methodology applied can support territorial planning decisions and sustainable management of the Guarani aquifer system once it is possible to spatialize areas that need more conservation and others where the occupation would be more favourable.

*Keywords:* Territorial Planning, Groundwater; Multicriteria Analysis, GIS.

### Introdução

As previsões que indicam falta de água em um futuro próximo tornam essenciais as discussões acerca do uso consciente deste recurso natural e da capacidade de seu armazenamento. Estima-se que 97,5% da água existente no Planeta Terra pertencem aos oceanos e apenas 2,5% está na superfície terrestre, correspondendo à parte disponível para consumo humano, a água doce (ANA, 2017). Grande parte da água doce é armazenada no subsolo, ou seja, as águas

subterrâneas.

Excluindo-se glaciares e calotas polares, as águas subterrâneas constituem o maior reservatório de água doce do mundo, representando 97% do total. Os restantes 3% são, sobretudo, constituídos por águas superficiais (lagos, rios e pântanos) e pela umidade da zona superficial do solo (Cameron, 2012).

De acordo com Hu et al. (2017), as águas subterrâneas, em contraste com as águas superficiais, possuem a vantagem de

armazenar um grande volume de água, geralmente mais limpa do que a água superficial, devido à filtragem natural provocada pela percolação da água. A maior parte da água subterrânea corresponde aos aquíferos, formações geológicas do subsolo constituídas por rochas permeáveis que armazenam água em seus poros ou fraturas e possuem recarga natural graças à infiltração das águas das chuvas nas áreas de afloramento.

Um dos maiores reservatórios de água doce do mundo, o Sistema Aquífero Guarani se estende por oito estados brasileiros: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, além de abranger também parte dos territórios da Argentina, do Paraguai e do Uruguai (MMA, 2017). Tal extensão territorial abrange uma população de mais de 9 milhões de pessoas (Gastmans et al., 2017).

Existem grandes preocupações relacionadas às suas áreas de recarga do aquífero Guarani, que são regiões onde o mesmo encontra-se mais vulnerável, dada a sua alta exposição à poluição, principalmente devido aos avanços da agricultura intensiva e à contínua exploração em áreas consideradas naturalmente vulneráveis (Santos et al., 2015).

O uso inadequado das terras localizadas nessas áreas pode comprometer a qualidade da água. Desta forma, existe a necessidade de cuidados especiais quanto ao manejo dessas áreas, em particular quanto à disposição de produtos tóxicos, lixo urbano, rejeitos industriais e aplicação de agrotóxicos no solo (Paraná, 2017).

Uma das ferramentas mais difundidas capaz de promover um planejamento territorial adequado de áreas

ambientalmente vulneráveis é a cartografia geoambiental, que permite a representação das condições naturais e das intervenções antrópicas, além de promover análises que pode auxiliar na melhoria da qualidade ambiental do local estudado (Guerrero et al., 2016).

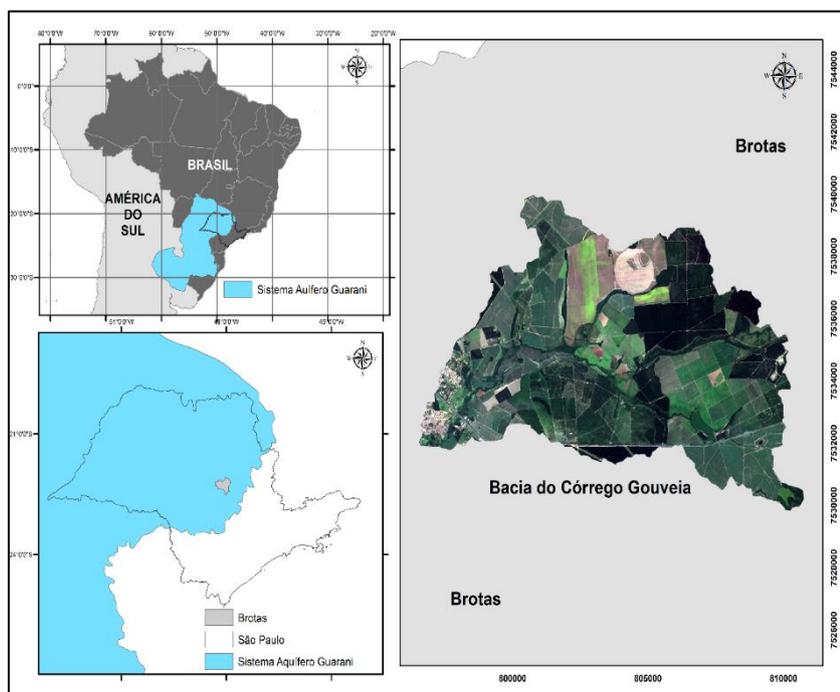
Diante do exposto, esta pesquisa gerará uma carta de potencial de contaminação de aquíferos da bacia hidrográfica do córrego do Gouveia, localizada no município de Brotas, São Paulo, referente ao ano de 2017, com base em análise multicritério e sistematizada por lógica Fuzzy, visando auxiliar o planejamento e a gestão do Sistema Aquífero Guarani a partir da análise da relação do meio físico com as atividades antrópicas exercidas na área.

Espera-se que os resultados obtidos sirvam como parâmetro base para a proposição de políticas públicas voltadas ao planejamento territorial da bacia do Gouveia e que a metodologia empregada possa ser aplicada para todo o Sistema Aquífero Guarani.

## Material e Métodos

### Área de estudo

A bacia hidrográfica do Córrego do Gouveia está localizada no município de Brotas (Figura 1), e encontra-se totalmente inserida sobre o Sistema Aquífero Guarani (SAG). O município possui uma população estimada de 23.641 habitantes para o ano de 2016 em uma área de 1.101,374 km<sup>2</sup> (IBGE, 2017), distanciando-se 208 km da capital estadual.



**Figura 1.** Localização da área de estudo. Imagem Landsat8, Sensor OLI, Composição colorida R4B3G2 – Janeiro/2017.

No que diz respeito aos aspectos do meio físico da bacia, o clima é classificado como Cwa segundo a classificação de Köppen (Peel et al., 2007), sendo subtropical de inverno seco

(com temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente (com temperaturas superiores a 22°C) (BROTAS, 2017).

Quanto à geologia, 96% da área é composta pela formação Botucatu que, de acordo com Moreira et al. (2008),

é formada por arenitos com colorações variando do esbranquiçado ao avermelhado, de granulação fina a média. Os outros 4% são divididos entre a formação Serra Geral (3%) e a formação Pirambóia (1%). A formação Serra Geral é formada, basicamente, por derrames basálticos de coloração escura, enquanto a formação Pirambóia consiste em arenitos de granulação média a muito fina (Moreira et al., 2008). Como reflexo do arcabouço geológico, a pedologia apresenta diversos tipos de solos com características arenosas, tais como solos hidromórficos e areias quartzosas. Além destes, são encontrados na bacia também latossolos vermelho-escuros, latossolos vermelho-amarelos e solos podzólicos.

A bacia apresenta característica produtiva mista, ou seja, tem áreas consideradas urbanas e rurais. Porém, o uso do solo local é, predominantemente, agrícola, com cultivo de cana-de-açúcar e café. Existem também áreas de silvicultura de eucalipto comercialmente explorado. Já a vegetação natural foi praticamente toda substituída por atividades antrópicas.

*Mapas e recursos utilizados*

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessário utilizar dados primários e secundários da área de estudo. Tais materiais, bem como suas fontes e datas são apresentados na Tabela 1.

O mapa pedológico da Quadrícula de Brotas (IAC, 1981) é disponibilizado gratuitamente pelo *European Soil Data Centre (ESDAC)* em formato matricial. O material foi digitalizado e reprojetoado para o sistema cartográfico base para o Brasil (UTM SIRGAS 2000).

Já o mapa geológico utilizado foi produzido pela Coordenadoria de Planejamento do Estado de São Paulo (CPA-SP) em parceria com o Instituto Geológico (IG). Os

dados são disponibilizados para *download* pela Secretaria de Meio Ambiente estadual em formato vetorial. No presente trabalho, tal mapa foi recortado com o limite da bacia e reprojetoado para o sistema UTM SIRGAS 2000.

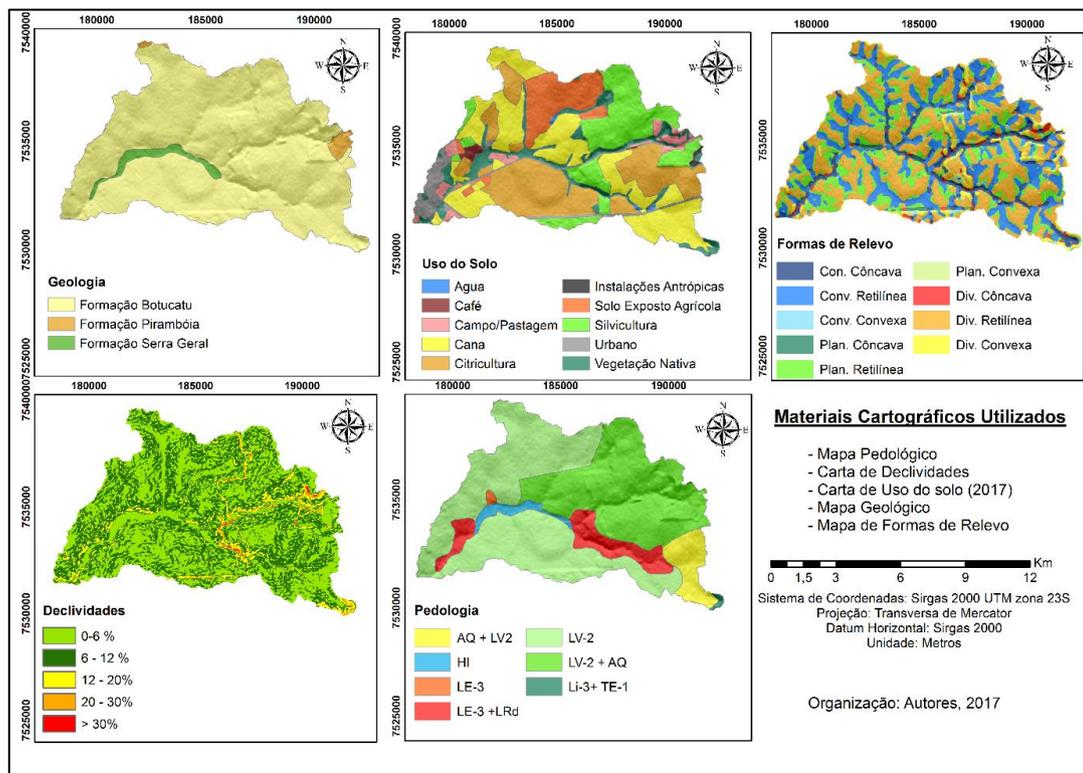
**Tabela 1.** Descrição dos materiais utilizados para a realização do trabalho.

Material	Fonte	Data
Mapa Pedológico de Brotas – Folha SF.22-Z-Z-III-4	IAC	1981
Mapa Geológico	CPA-SP / IG	2016
Formas de Relevo	Topodata	2011
Imagens SRTM folhas 22S48 e 22S49	Topodata	2011
Imagem Landsat8	USGS	2017

Tanto as Formas de Relevo quanto as Imagens *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* foram adquiridas diretamente do site do projeto Topodata. Como a área de estudo está situada entre duas folhas, foi necessário realizar um mosaico antes da reprojeção dos dados. As imagens SRTM foram utilizadas para a produção do mapa de declividades, no Sistema de Informações Geográficas ARCGIS 10.4.1.

Por fim, a imagem Landsat 8 de janeiro de 2017 foi obtida gratuitamente no *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) para a confecção da carta de uso do solo. Para tal, as imagens foram pré-processadas tendo seus atributos digitalizados manualmente polígono-a-polígono onde foram designadas as classes de uso da bacia.

Os materiais cartográficos finais utilizados no desenvolvimento do trabalho são demonstrados na Figura 2.



**Figura 2.** Materiais cartográficos utilizados para a confecção da carta de potencial de contaminação.

## Métodologia

A identificação do potencial de contaminação da bacia hidrográfica do Córrego do Gouveia consistiu na análise da relação entre os condicionantes do meio físico com o padrão de ocupação exercido pelas atividades antrópicas no local, assim como propõem Tavanti et al. (2009) e Costa et al. (2015).

Para a elaboração da Carta de Potencial foi utilizada a abordagem da análise multicritério sistematizada pela lógica Fuzzy. A análise multicritério pode ser caracterizada como um método para auxílio à tomada de decisões que tem como objetivo investigar possibilidades frente a múltiplos critérios de avaliação de um determinado tema (Santos, 2004). Já a Lógica ou Inferência Fuzzy é descrita como um modelo baseado em conhecimento que tem por objetivo realizar a caracterização de classes que não tem ou não podem apresentar limites rígidos entre os atributos escolhidos (Moreira et al., 2001).

A sistematização da metodologia consistiu em atribuir valores de 1 a 5 para os atributos de cada material cartográfico analisado onde, o valor 1 indica o potencial de contaminação muito baixo e 5 indica o potencial muito alto (Tavanti et al., 2009). Para os atributos relacionados à Geologia e Pedologia, o critério para a atribuição de valores foi que quanto mais arenoso o material, mais grosseiros seriam os grãos e consequentemente seria maior potencial de infiltração e contaminação. Sendo assim, os materiais mais arenosos receberam valor 5 e os mais argilosos, valor 1 (Costa et al., 2015).

Já as declividades foram avaliadas a partir do princípio de que quanto mais íngreme a encosta, maior o efeito de escoamento superficial e menor infiltração. Sendo assim, os maiores valores de declividade receberam valor 1, enquanto

as áreas mais planas receberam valor 5, por aumentarem o efeito da infiltração.

O critério das Formas de Relevo foi a capacidade de difusão ou concentração de fluxos. As formas de encostas com maior capacidade de difusão de fluxos (Convexas) tem maior capacidade de escoamento superficial recebendo, então, valor 1. Já as formas que favorecem a concentração dos fluxos, e consequentemente maior infiltração (Côncavas) receberam o valor 5.

O uso do solo foi avaliado a partir do potencial contaminante de cada um dos seus atributos, sendo o valor 1 aplicado aos usos com menor potencial (Vegetação Nativa) e o valor 5 para os atributos com maior potencial (Urbano).

Após a atribuição de valores foi aplicada a lógica Fuzzy, a partir de uma função linear, para equalizar os atributos em uma escala de 0 a 1 (Cereda Junior e Rhom, 2014; Costa et al., 2015). O objetivo da aplicação desta análise é representar uma variável de acordo com seu valor de adequação através de uma escala contínua capaz de representar o espaço geográfico utilizado (Tavanti et al., 2009).

Os valores de potencial de contaminação atribuídos para cada parâmetro analisado, bem como seus valores Fuzzy são demonstrados na Tabela 2. O último passo para a geração da carta final foi a sobreposição dos atributos analisados; tal tarefa foi realizada com o auxílio da ferramenta “Soma Ponderada” (*Weighted Sum*), disponível no Sistema de Informações Geográficas ArcGis 10.4.1. Esta ferramenta sobrepõe diversos atributos no formato matricial multiplicando cada um deles pelo peso dado, somando-os ao final do processo (ESRI, 2017). Para que nenhum parâmetro avaliado tivesse uma ponderação diferenciada, foi atribuído peso 1 para todos (geologia, pedologia, relevo, uso e declividades), promovendo uma equalização entre os dados.

**Tabela 2.** Valores de potencial de contaminação e valores Fuzzy para os parâmetros analisados.

Aspecto/Parâmetro	Potencial de Contaminação				
Valor Fuzzy	1	2	3	4	5
Atributo	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Pedologia	LE-3, LE-3 + LRd	LV-2	LV 2 + AQ	-	HI, AQ + LV2, LI-3 + TE-1
Geologia	Serra Geral	-	-	Pirambóia	Botucatu
Formas de Relevo	Divergente Convexa	Convergente Convexa, Planar Convexa	Planar retilínea, Convergente Retilínea, Divergente Retilínea	Planar Côncava, Divergente Côncava	Convergente Côncava
Declividade	> 30%	20 a 30%	12 a 20%	6 a 12%	0 a 6%
Uso do solo	Água, Vegetação Nativa	Silvicultura	Campo / Pastagem, Café, Citricultura	Cana-de-açúcar, Instalações Antrópicas, Solo Exposto Agrícola	Urbano

## Resultados e Discussão

Em relação ao uso do solo na bacia do Córrego do Gouveia, nota-se uma predominância de uso agrícola (cana-de-açúcar e citricultura), que compõe mais de 50% da área da bacia (Tabela 3). A pressão gerada pela cana-de-açúcar e pela citricultura no solo é determinante para elevar o potencial de contaminação, como será discutido na sequência. Ainda, cabe ressaltar que apenas 10% da área da bacia é composta por

vegetação nativa, outro fator determinante para o incremento do potencial de contaminação.

A vegetação nativa na área de estudo é composta, basicamente, por mata ciliar ao redor dos corpos d'água, uma imposição do Código Florestal brasileiro. No entanto, cabe ressaltar que a mata ciliar ao redor dos corpos d'água deveria ser mais ampla para atender a legislação imposta pelo Código Florestal. O Código Florestal estabelece mata ciliar de 30

metros ao redor dos corpos d'água com até 10 metros de largura (BRASIL, 2012), no entanto, é possível perceber ao analisar visualmente a Carta de Uso do Solo presente na Figura 2 que a área de mata ciliar é menor do que o estabelecido pela legislação vigente.

A Carta de Potencial de Contaminação de Aquíferos na bacia do córrego do Gouveia (Figura 3) mostra que apenas 0,35% da bacia tem potencial de contaminação “Muito Baixo”, em uma restrita área localizada na região central da bacia composta por Latossolos Vermelho Escuros que recobrem rochas intrusivas básicas em declividades moderadas, encostas divergentes convexas e uso do solo composto, basicamente, por vegetação nativa. Tais características geomorfológicas, pedológicas e de uso e cobertura do solo tornam a área estável e menos suscetível à contaminação. Ainda, apenas 3,9% da área da bacia foi considerada com potencial de contaminação “Baixo”, diferenciando-se da classe “Muito Baixo” por apresentar declividades menos elevadas e encostas convergentes convexas e planares convexas.

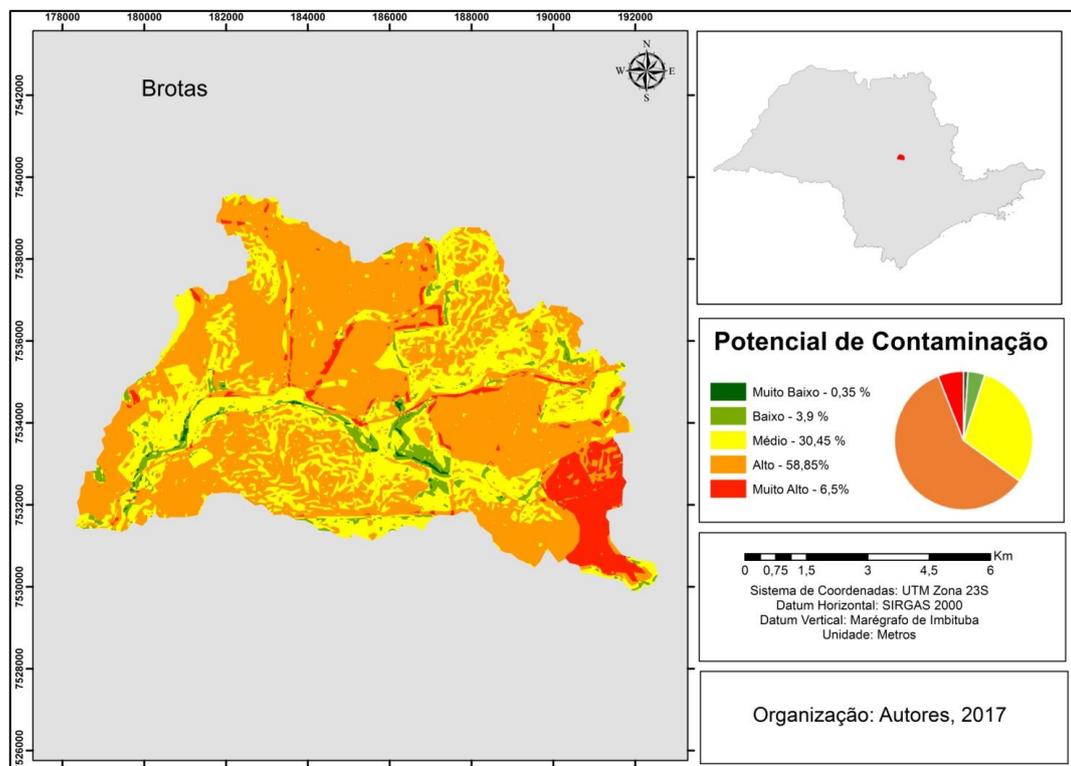
Esforços quanto à orientação de uso correto do solo por atividades antrópicas devem ser tomadas para que possam ser identificadas mais áreas de potencial “Muito Baixo” e “Baixo” já que, de acordo com Borba et al. (2016), estas áreas são as que apresentam maiores condições naturais de proteção às águas subterrâneas, preservando sua qualidade e quantidade disponível.

Em 30,45% da bacia o potencial de contaminação foi considerado “Médio”, sendo tal classe composta por declividades entre 6 e 20%, Latossolos Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo, relevo planar retilíneo, Convergente Retilíneo e Divergente Retilíneo, uso do solo formado por silviculturas, corpos hídricos e áreas de campo/pastagem, que amenizam a relação com o substrato rochoso, composto pelas formações Botucatu, Piramboia e Serra Geral.

**Tabela 3.** Tipos de uso do solo e porcentagens de cada uso na área de estudo.

Tipo de Uso do Solo	Percentual (%)
Caná-de-açúcar	27,5
Campo/Pastagem	3,5
Água	0,25
Silvicultura	18
Solo Exposto Agrícola	10,5
Citricultura	24,5
Instalações Antrópicas	0,25
Café	0,5
Vegetação Nativa	10
Urbano	5

A classe de contaminação “Médio” está concentrada nas regiões Centro-sul e Nordeste da bacia do Córrego do Gouveia.



**Figura 3.** Carta de Potencial de Contaminação da bacia do córrego do Gouveia.

Na maioria da área da bacia, cerca de 59% do total, o potencial de contaminação foi considerado “Alto”, estendendo-se por praticamente toda a bacia e causado pela combinação entre solos potencialmente frágeis (Latossolos

Vermelho Amarelos combinados com Areias Quartzosas), Geologia das Formações Botucatu e Piramboia, declividade baixa e/ou muito baixas e presença de solos expostos de origem agrícola, uso urbano e silvicultura. Tais áreas

apresentam grande perigo à qualidade e disponibilidade de uso das águas subterrâneas e merecem especial atenção do Poder Público e órgãos ambientais, especialmente no sentido de compatibilizar o uso do solo e atividades antrópicas sustentáveis para mitigar os problemas relacionados à contaminação.

Já o potencial de contaminação “Muito Alto” foi identificado em 6,5% da área da bacia, especialmente distribuído em áreas com predomínio de Areias Quartzosas Profundas que recobrem a formação Botucatu, declividade inferior a 6%, formas de relevo Convergentes Côncavas e uso do solo composto por cana-de-açúcar, apresentando maior concentração no Sudoeste da bacia. Este fato vai de encontro com os resultados encontrados por Corrêa et al. (2016), que afirmaram que a o manejo incorreto da cultura de cana-de-açúcar em regiões de solos arenosos causam grande degradação da qualidade do solo e consequentemente dos recursos hídricos.

Existe uma relação intrínseca entre os solos arenosos provenientes das formações Botucatu e Pirambóia com o alto potencial de contaminação para todo o Sistema Aquífero Guarani, já que Santos et al. (2016) também identificaram maior vulnerabilidade do aquífero nessas litologias no município de Ribeirão Bonito.

Sobre a relação entre o uso do solo voltado para a agricultura e a contaminação de aquíferos, um condicionante está na utilização desenfreada de pesticidas e herbicidas sobre terrenos com características arenosas. De acordo com Guerrero et al. (2016), a presença de cultivos agrícolas sem bases sustentáveis e com alto potencial degradante em áreas com baixas taxas de escoamento superficial (tais como os terrenos arenosos da bacia do Gouveia) expõe tais locais a contaminação das águas subterrâneas. Em seu estudo na bacia hidrográfica do rio Clarinho, os mesmos autores identificaram alto potencial de contaminação de aquíferos e degradação do solo nas formações Botucatu e Pirambóia, justamente em áreas que eram destinadas à produção agrícola de cana-de-açúcar.

A baixa presença de vegetação também expõe o solo à contaminação. De acordo com Costa et al. (2015), em condições adequadas, a vegetação atenuaria o potencial de contaminação, protegendo os mananciais subterrâneos. Com relação à declividade, assim como encontrado por Junqueira et al. (2009), as classes de potencial de contaminação “Muito alto” e “Alto” foram encontradas, especialmente, em áreas com declividade menor que 5%. Da mesma forma, a análise multicritério identificou relação entre o potencial de contaminação e o substrato rochoso. O predomínio das classes “Muito alto” e “Alto” está diretamente relacionado à Formação Botucatu, assim como no estudo de Junqueira et al. (2009).

## Conclusões

A metodologia da Análise Multicritério sistematizada pela lógica Fuzzy mostrou-se eficiente ao ser capaz de representar a dinâmica do meio físico aliada ao tipo de ocupação da área de estudo. Os resultados encontrados demonstraram que a maior parte do território da bacia encontra-se em situação de Médio ou Alto potencial, indicando que a mesma está

atualmente vulnerável à ações antrópicas potencialmente impactantes, graças à combinação de atributos do meio físico naturalmente frágeis (geologia e pedologia compostas por materiais essencialmente arenosos, baixas e médias declividades, formas de terreno que favorecem a concentração de fluxo) com um uso do solo voltado para atividades agrícolas de grande impacto ambiental.

A espacialização das classes de potencial de contaminação pode fornecer subsídios para gestores públicos aplicarem medidas de ordenamento e planejamento territorial que visem discutir o atual uso do solo para que sejam implementadas práticas mais sustentáveis de acordo com as limitações do meio físico. Devido aos resultados satisfatórios obtidos neste estudo, a metodologia proposta pode ser aplicada em todo o sistema Aquífero Guarani com o objetivo de conservação das águas subterrâneas através de um planejamento territorial adequado.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo número 2016/19020-0 (João Vitor Roque Guerrero), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), processo número 1435897 (Michel Eustáquio Dantas Chaves) e ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ), processo número 162898/2015-0 (Guilherme Augusto Verola Mataveli) pela concessão de bolsas de Doutorado que permitiram o desenvolvimento deste estudo.

## Referências

- Agência Nacional de Águas - ANA. 2017. Quantidade de água doce no planeta. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?List=ccb75a86-bd5a-4853-8c76-cc46b7dc89a1&ID=11687>>. Acesso em: 20/07/2017.
- Borba, W. F.; Fernandes, G. D. Á.; Terra, L. G.; Löble, C. A.; Silva, J. L. S. 2016. Avaliação da Vulnerabilidade Intrínseca à Contaminação do Aquífero na Bacia do Rio Passo Fundo no Estado do Rio Grande do Sul. Anuário do Instituto de Geociências, 39(2), 145-154.
- BRASIL. Código Florestal (Lei Federal nº 12.651), de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de maio. 2012a.
- Brião, V. B., Magoga, J., Hemkemeier, M., Brião, E. B., Girardelli, L., Sbeghen, L., Favaretto, D. P. C. 2014. Reverse osmosis for desalination of water from the Guarani Aquifer System to produce drinking water in southern Brazil. Desalination, 344, 402-411.
- Brotas, Prefeitura Municipal. 2017. Aspectos Geo-Físicos.
- Cameron, J. 2012. Groundwater Essentials. National Water Commission.
- Cereda Junior, A.; Röhm, S. 2014. Proposal and analysis of environmental fragility model using multicriteria analysis and fuzzy logic for integrated landscape mapping. Journal of Urban and Environmental Engineering (UFPB), 8, 28-37.
- Coordenadoria de Planejamento Ambiental do Estado de São Paulo - CPA-SP. 2016. Unidades Básicas de Compartimentação.
- Corrêa, E. A.; Moraes, I. C.; Pinto, S. A. F.; Lupinacci, C. M. 2016. Perdas de Solo, Razão de Perdas de Solo e Fator Cobertura e Manejo da Cultura de Cana-de-Açúcar: Primeira Aproximação. Revista do Departamento de Geografia (USP), 32, 72-87.
- Costa, C. W.; Moraes, M. C. P.; Caçado, C. J.; Guerrero, J. V. R.; Marangon, F.; Lorandi, R.; Lollo, J. A.; Moschini, L. E. 2015. Potencial de Contaminação de Aquíferos por Atividades Antrópicas da Bacia do Ribeirão do Meio - Município de Leme - SP. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 20, 218-225.
- ESRI. 2017. Weighted sum.
- Gastmans, D., Mira, A., Kirchheim, R., Vives, L., Rodríguez, L., Veroslavsky, G. 2017. Hypothesis of Groundwater Flow through Geological Structures in Guarani Aquifer System (GAS) using Chemical and Isotopic Data. Procedia Earth and Planetary Science. 17, 136-139.

- Guerrero, J. V. R.; Lollo, J. A.; Lorandi, R. 2016. Cartografia Geoambiental como base para planejamento territorial na bacia do Rio Clarinho, SP. RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online), 68, 313-326.
- Hu, K., Awange, J.L., Khandu, Forootan, E., Goncalves, R. M., Fleming, K. 2017. [Hydrogeological characterisation of groundwater over Brazil using remotely sensed and model products](#). Science of the Total Environment. 599-600, 372–386.
- Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. 1981. Mapa pedológico de Brotas. Folha SF.22-Z-Z-III-4.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2017. Ferramenta Cidades@ - Brotas.
- Junqueira, C. de Á. R., Junior, V. E. M., Lossardo, L. F., Felício, B. da C., Junior, O. M., Foschini, R. C., Mendes, R. M., Lorandi, R. 2009. Identificação do potencial de contaminação de aquíferos livres por vinhaça na bacia do Ribeirão do Pântano, Descalvado (SP), Brasil. Revista Brasileira de Geociências, 39: 507-518.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA) 2017. Abrangência do Aquífero Guarani.
- Moreira, F. R.; Câmara, G.; Filho, R. A. 2001. Técnicas de Suporte à Decisão para Modelagem Geográfica por Álgebra de Mapas. Relatório Técnico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE): 03-40.
- Moreira, M. A. A; Lorandi, R; Moraes, M. E. B. 2008. Caracterização de áreas preferenciais à instalação de aterros sanitários no município de Descalvado (SP), na escala 1:50.000. Revista Brasileira de Cartografia, 60: 177-194.
- North American Space Agency (NASA). 2014. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): The Mission to Map the World.
- Paraná. Instituto das Águas do Paraná. 2017 Aquífero Guarani.
- Paz, V. P. S., Teodoro, R. E. F., Mendonça, F. C. 2000. [Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente](#). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 4: 465-473.
- Peel, M. C.; Finlayson; B. L.; McMahon, T. A. 2007: [Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification](#). Hydrology and Earth System Sciences, 11, 1633-1644.
- Santos, R. F.. 2004. Planejamento ambiental: teoria e prática. São Paulo: Ed. Oficina de Textos.184p.
- Santos, R. G., Sturaro, J. R., Marques, M. L., Faria, T. T. 2015. [GIS Applied to the Mapping of Land Use, Land Cover and Vulnerability in the Outcrop Zone of the Guarani Aquifer System](#). Procedia Earth and Planetary Science, 15, 553-559.
- Tavanti, D. R.; Moura, S.; Azevedo, F. Z.; Medvedchikoff, T. G.; Rodrigues de Deus, L.; Moreira, M. A. A.; Lorandi, R.; Cançado, C. J.; Martins, M. M. R. 2009. [Estudo da Vulnerabilidade de Contaminação de Aquífero por Agrotóxicos, na Região de Descalvado e Analândia \(SP\)](#). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 14: 53-61.
- United States Geological Survey (USGS). 2017. Earth Explorer – Landsat8 Imagery.