

Determinação do potencial de contaminação de aquíferos no município de Artur Nogueira (São Paulo, Brasil), por meio de atributos geoambientais*

Mayara Herrmann Ruggiero** 

Adriel Barboza Bentos* 

Bruno Paganeli♦ 

Henrique Aio Adorno® 

Reinaldo Lorandi♥ 

José Augusto Di Lollo‡ 

Luiz Eduardo Moschini§ 

Resumo

As atividades antrópicas exercem constante pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos, e a inserção de contaminantes no ambiente é um dos principais problemas relacionados ao uso do solo. Analisar a resposta de fatores geoambientais ao uso e a ocupação do solo é essencial para identificar as regiões com maior ou menor potencial de contaminação de aquíferos, o que contribui diretamente com ações de planejamento territorial. O objetivo deste estudo é determinar o potencial de contaminação de aquíferos no município de Artur Nogueira (São Paulo, Brasil). Para este fim, foram utilizados atributos relacionados à geologia e geomorfologia da área de estudo (unidades aquíferas, materiais inconsolidados e declividade), juntamente com o uso e ocupação do solo, os quais foram classificados entre muito baixo e muito alto potencial de contaminação, por meio de uma análise multicritério e álgebra de mapas. Aproximadamente 47 % da área do município apresenta um potencial de contaminação médio, seguido pelo alto, que ocupa cerca do 24 % da região. A presença de uma grande matriz agropecuária no município contribuiu fortemente com este resultado, juntamente com as características do meio físico, indicando que a falta de planejamento relacionado ao uso e ocupação do solo de uma região influencia de forma direta o potencial de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

Palavras-chave: águas subterrâneas, contaminação, dados geográficos, Sistema de Informações Geográficas, uso do solo.

Ideias destacadas: artigo de investigação que trata sobre a contaminação de aquíferos. Foi aplicada uma análise multicritério para a elaboração de uma carta de potencial de contaminação de aquíferos. Analisando atributos geoambientais com o uso do solo, foram identificadas áreas de alto a baixo potencial de contaminação. A agricultura convencional foi a atividade mais impactante.



RECEBIDO: 2 DE NOVEMBRO DE 2020. | AVALIADO: 24 DE MAIO DE 2021. | ACEITO: 28 DE FEVEREIRO DE 2022.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

Ruggiero, Mayara Herrmann; Bentos, Adriel Barboza; Paganeli, Bruno; Adorno, Henrique Aio; Lorandi, Reinaldo; Lollo, José Augusto Di; Moschini, Luiz Eduardo. 2022. "Determinação do potencial de contaminação de aquíferos no município de Artur Nogueira (São Paulo, Brasil), por meio de atributos geoambientais." *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 31 (2): 324-340. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n2.88995>.

* O trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES)-Código de Financiamento 001.

** Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - Brasil. ✉ mayara.ruggiero@estudante.ufscar.br - ORCID: 0000-0001-6191-7750.

♦ Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - Brasil. ✉ adrielbb@estudante.ufscar.br - ORCID: 0000-0002-5621-6965.

♦ University of Tartu, Tartu - Estônia. ✉ paganelibruno@ut.ee - ORCID: 0000-0002-8660-0511.

® Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - Brasil. ✉ adornohenrique@estudante.ufscar.br - ORCID: 0000-0002-5946-522X.

♥ Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - Brasil. ✉ lorandir@gmail.com - ORCID: 0000-0003-0026-7269.

‡ Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira - Brasil. ✉ jose.lollo@unesp.br - ORCID: 0000-0002-6703-5377.

§ Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - Brasil. ✉ lemoschini@ufscar.br - ORCID: 0000-0001-5829-7618.

✉ Correspondência: Mayara Herrmann Ruggiero, Rodovia Washington Luis, km 235-SP 310-São Carlos, SP - BR. CEP: 13565-905, Brasil.

Determination of Potential of Aquifer Contamination in the Municipality of Artur Nogueira (São Paulo, Brasil), Through Geoenvironmental Attributes

Abstract

Human activities exert constant pressures on groundwater. In fact, one of the most relevant problems is the anthropogenic addition of contaminants and pollutants, closely related with the land use. Analyzing the response of geoenvironmental factors associated to land use and occupation is an essential tool to identify how prone to contamination an aquifer is it, also widely used for territorial planning. Thus, the present study aimed to determine the aquifer contamination potential in Artur Nogueira city (São Paulo, Brasil). To do so, we used study area attributes related to the geology and geomorphology (aquifer units, unconsolidated materials, and slope), including soil use and occupation features. By using multi-criteria analysis and map algebra, this region exhibited a huge range of contamination potential. Our results showed that approximately 47 % of the city area displayed a medium potential. The highest one covered approximately 24 % of the study site. The large agricultural and livestock matrix in the region contributed strongly to those results. Another important factor was the physical environmental characteristics. This highlights how a planning lack regarding the land use and occupation directly influenced the groundwater contamination potential.

Keywords: groundwater, pollution, geographical data, Geographic Information System, land use.

Highlights: research article about aquifer contamination. Multicriteria analysis was applied to prepare a chart of aquifer contamination potential. Analyzing geoenvironmental attributes with land use, areas with high to low contamination potential were identified, with conventional agriculture being the most impactful activity.

Determinación del potencial de contaminación de acuíferos en el municipio de Artur Nogueira (São Paulo, Brasil), a través de atributos geoambientales

Resumen

Las actividades antrópicas ejercen presión sobre las aguas subterráneas, y son la inserción de contaminantes y sustancias nocivas en el medioambiente uno de los principales problemas relacionados con el uso de la tierra. Analizar la respuesta de los factores geoambientales al uso y la ocupación del suelo es fundamental para identificar regiones con mayor o menor potencial de contaminación de acuíferos. El propósito de este estudio es determinar el potencial de contaminación del acuífero en el municipio de Artur Nogueira, en São Paulo (Brasil). Se utilizaron atributos relacionados con la geología y la geomorfología (unidades acuíferas, materiales no consolidados y pendiente), junto con el uso de la tierra, que se clasificaron entre potencial de contaminación muy bajo y muy alto, mediante un análisis multicriterio y el álgebra cartográfica. Aproximadamente el 47 % del área del municipio tiene un potencial de contaminación medio, seguido por el alto potencial de contaminación, que ocupaba más o menos el 24 % de la región. La presencia de una gran matriz agrícola contribuyó en gran medida a este resultado, a la par con las características del entorno físico, lo que indica que la falta de planificación relacionada con el uso de la tierra en una región influye de forma directa en el potencial de contaminación de acuíferos.

Palabras clave: agua subterránea, contaminación, datos geográficos, Sistema de Información Geográfica, uso de la tierra.

Ideas destacadas: artículo de investigación sobre la contaminación de los acuíferos. Se aplicó un análisis multicriterio para preparar un cuadro de contaminación potencial de los acuíferos. Al analizar los atributos ambientales con el uso de la tierra, se identificaron áreas con alto o bajo potencial de contaminación, y la agricultura convencional fue la actividad de mayor impacto.

Introdução

A água subterrânea é um recurso natural essencial para a humanidade e para o meio ambiente, pois além de suprir as necessidades do abastecimento para consumo e para o uso das diversas atividades antrópicas, mantém a umidade do solo e garante o fluxo de base dos cursos d'água, sendo responsável por mantê-los perenes em épocas de estiagem (Santos et al. 2007).

Estima-se que 51 % do abastecimento de água potável no Brasil seja originário de fonte subterrânea, da qual provêm inúmeros poços tubulares profundos e poços escavados. Somente no estado de São Paulo, essa estimativa chega a contar 61 % de seus núcleos urbanos abastecidos total ou parcialmente por águas subterrâneas (Foster e Hirata 1993).

Assim, a questão da qualidade da água subterrânea vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento dos recursos hídricos, visto que a exploração excessiva dos recursos hídricos subterrâneos, a perfuração de poços tubulares, a ocupação irregular do solo e a ausência de normas legais ameaçam de contaminação os aquíferos, colocando em risco a qualidade natural dos mesmos (Ribeiro et al. 2011), dado que a qualidade final da água subterrâneas tem relação direta com as atividades que são desenvolvidas em toda a bacia hidrográfica, pois cada atividade produz um efeito específico e característico (Porto e Branco 1991).

Na agricultura, os sistemas de produção intensivos elevam a necessidade do uso de agroquímicos, aumentando os níveis de nitrato, fosfato e as concentrações residuais dos agrotóxicos ou de seus metabólitos, resultantes dos processos de biodegradação no solo, que, por sua vez, podem comprometer a qualidade das águas superficiais e dos lençóis freáticos (Fay e Silva 2004), sendo que, cerca de 20 % das quantidades dos agrotóxicos usados no combate à pragas, doenças e plantas daninhas, podem alcançar as águas superficiais (Barriuso et al. 1996).

Datando décadas, resíduos de agrotóxicos nas águas subterrâneas têm sido registrados por vários autores (a citar, Walls et al. 1996; Rudolph e Parkin 1997; e no Brasil, Hirata et al. 1995), principalmente com contaminantes oriundos de fertilizantes nitrogenados. A lixiviação de nitrogênio do solo para os aquíferos é resultado de um complexo processo que envolve os tipos de solo e de aquífero, regime de colheita e infiltração. Entre os principais fatores controladores da lixiviação destacam-se: permeabilidade e espessura do solo, infiltração efetiva (chuvas e irrigação), continuidade do cultivo e controle da aplicação de fertilizantes (Foster e Hirata 1988).

Assim, a identificação do potencial de risco à contaminação de aquíferos, considerando os aspectos naturais, físicos, geológicos, clima, as atividades antrópicas e seus produtos utilizados, compõem um importante instrumento de gestão ambiental que visa a proteção dos mananciais subterrâneos (Lorandi e Junqueira 2008), sendo o Sistema de Informação Geográfica — em diante SIG, uma ferramenta eficaz e essencial para tal uso (Costa 2017), conforme constatado em alguns estudos (Tavares et al. 2009; Huan et al. 2012; Montero e Peixoto 2013; Linhares et al. 2014; Guerrero et al. 2017; Novais, Cruz e Azevedo 2019).

Nesse cenário, o presente trabalho se propõe a determinar, com base na análise espacial de dados do meio físico, técnicas e geoprocessamento usando análise multicritério, o potencial de contaminação dos aquíferos, devido a ações antrópicas na sub-bacia hidrográfica do Jaguari, com recorte para o município de Artur Nogueira, São Paulo, Brasil, no ano de 2018, na escala de 1:50:000.

Área de estudo

O município de Artur Nogueira (Figura 1) está localizado na região centro-leste do Estado de São Paulo, na região administrativa e mesorregião de Campinas. Faz divisa geográfica com os municípios de Mogi-Mirim, Limeira, Holambra, Engenheiro Coelho e Cosmópolis; possui uma extensão territorial de 177,68 km²; e compreende a sua rede de drenagem na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 – Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ). Em maior escala, o município está inserido na sua sub-bacia hidrográfica do rio Jaguari e contempla as microbacias do Rio Pirapitingui, com uma área de 173,64 km², e a do Ribeirão do Pinhal, com uma área de 4,25 km², seu curso d'água principal é o Ribeirão Pirapitingui.

Em termos populacionais o município conta com a estimativa de 51.846 habitantes e uma densidade demográfica de 291,22 hab./km² em 2019, sendo que 90,54 % dessa população reside na área urbana (SEADE 2019). Sua economia é baseada 70,60 % em valor de serviços, seguido pela indústria com 15,57 % e pelo setor agropecuário com 13,83 % (SEADE 2019). A área de estudo apresenta grande quantidade de estabelecimentos rurais, totalizando 568 propriedades (IBGE 2017).

Dentre as suas características físico-ambientais, o clima é classificado como tropical de altitude Cwa segundo a Köppen e Geiger, com uma temperatura média anual de 19,8 °C e pluviosidade média anual de 1.295 mm. O município está inserido no bioma de Cerrado, com formação vegetacional de Floresta Estacional Semidecidual (Instituto Florestal 1983).

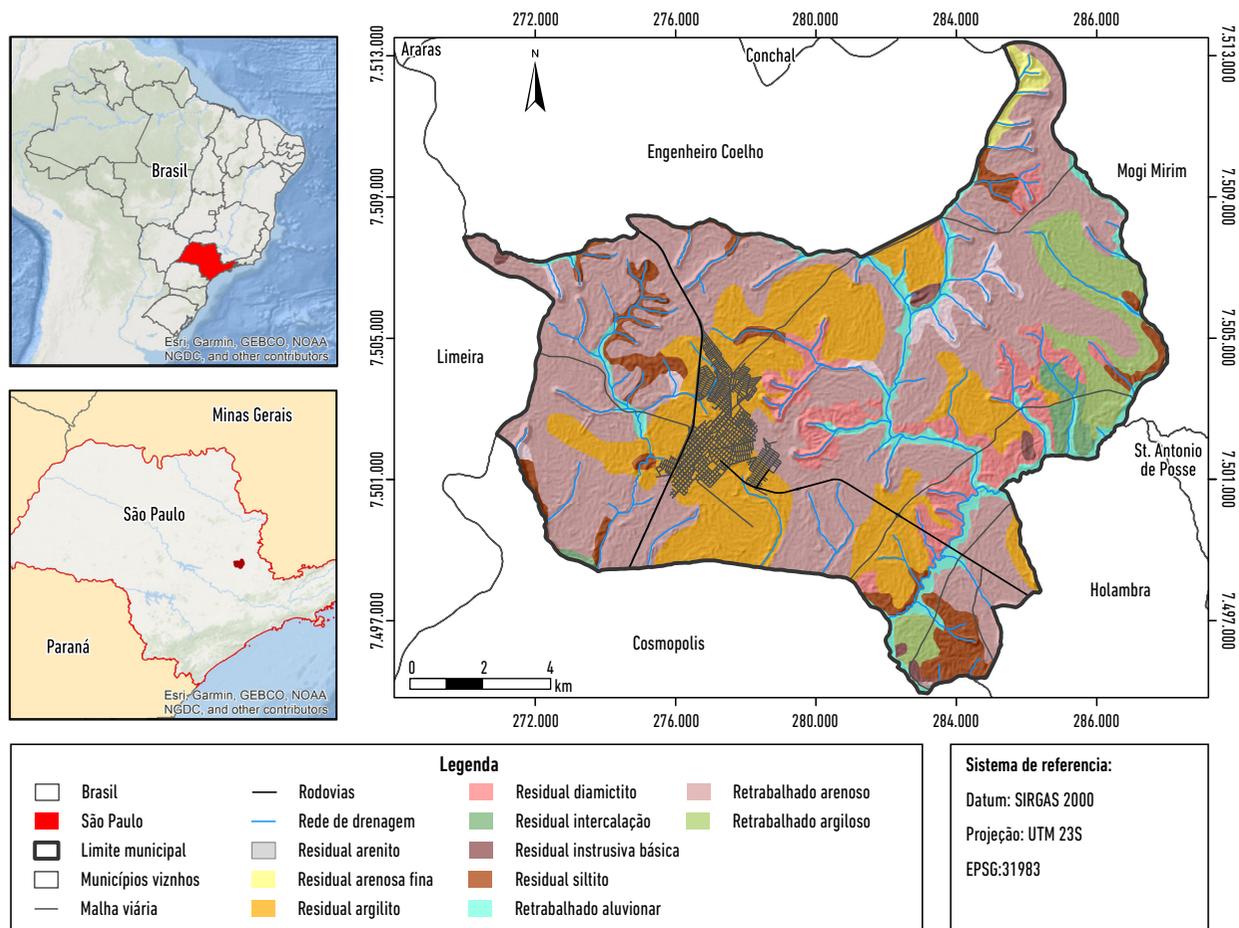


Figura 1. Posicionamento geográfico do município de Artur Nogueira (SP) e classes de materiais inconsolidados. Dados: adaptado de Lollo 1991, Gruber 1993, Aguiar 1995.

Numa escala geológica continental, a área está inserida no domínio geológico denominado Cobertura Fanerozoica (inclusive da província subandina), na compartimentação geotectônica Cráton Paraná, na Província Estrutural do Paraná (Hasui et al. 2012). Quanto à geologia regional, distribuem-se pelas bacias as unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná (Tabela 1), cuja distribuição na área é apresentada na Figura 2.

As unidades sedimentares dos Grupos Tubarão e Itararé apresentam orientação sub-horizontal com direções próximas N-S e mergulho variando entre 3 e 5° para W (Pedrotta et al. 2006). Os diques de rochas intrusivas básicas têm orientação subvertical e são compostos por diabásios associados ao evento Serra Geral. Na área, as unidades de materiais inconsolidados assentam-se concordantemente sobre as unidades do substrato rochoso.

Quanto a geomorfologia, as microbacias do rio Pirapitingui e do Ribeirão do Pinhal estão situadas na unidade morfoestrutural da bacia sedimentar do Paraná;

unidade morfoescultural, da depressão Periférica Paulista, depressão Média Tietê. As formas do relevo são resultado de processo denudacional e os modelados dominantes são formados por colinas com topos amplos. Os vales apresentam dimensão interfluvial grande (1.750 m a 3.750 m) e grau de entalhamento muito fraco (< 20 m) (Ross e Moroz 2011).

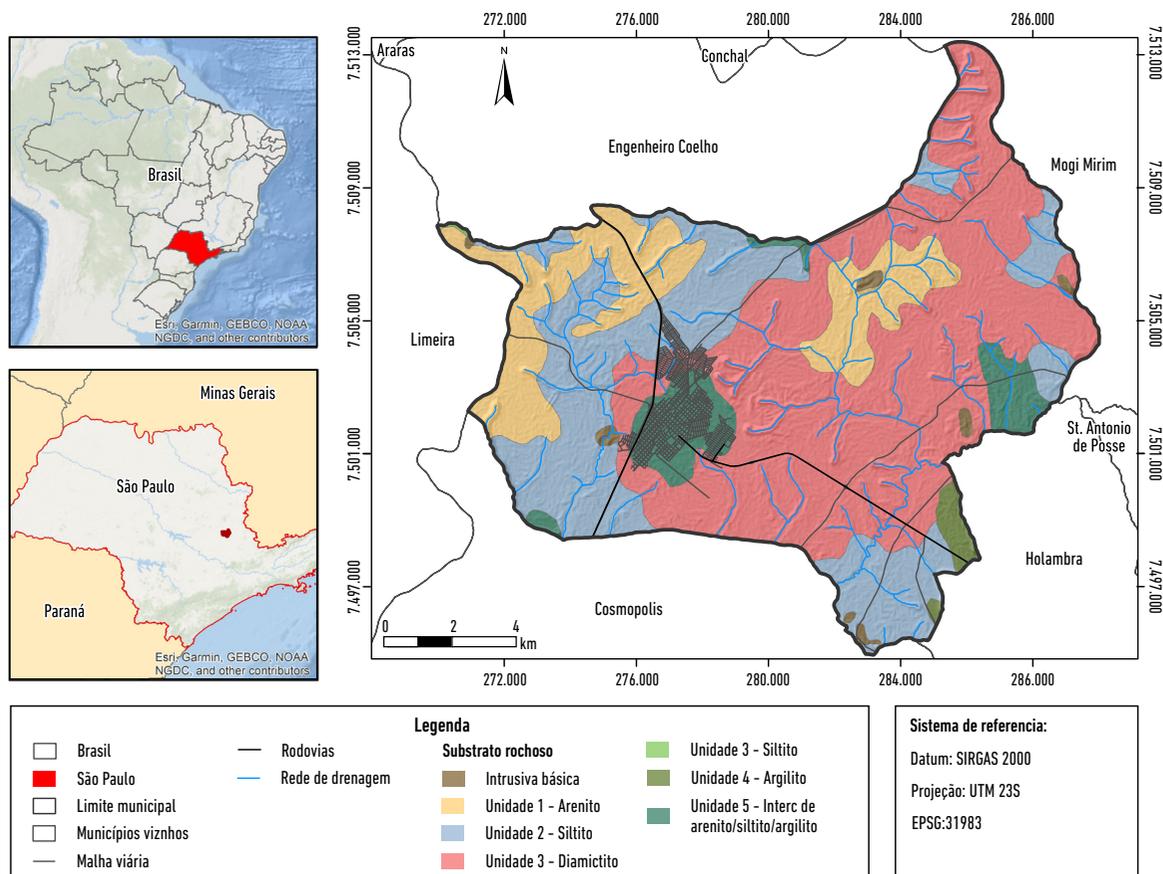
Caracterização socioeconômica e ambiental

Dentre as atividades agrícolas desenvolvidas no município, destacam-se a produção de cítricos e a cana-de-açúcar (IBGE 2017). Na pecuária, predominam estabelecimentos que se destinam a produção de bovinos e galináceos (IBGE 2017). Ambas atividades comercializam seus produtos nos mercados interno e externo (Furtado et al. 2011; Lopes et al. 2011; Neto e Bacchi 2014). As atividades agropecuárias frequentemente estão vinculadas à crescente demanda, advinda, em partes, do aumento populacional global (Lanz et al. 2018).

Tabela 1. Unidades litoestratigráficas reconhecidas na área de estudo

Supergrupo; grupo; unidade; membro	Era & Período	Descrição
Depósitos Aluvionares e Coluvionares	Cenozóica; Holoceno	Sedimentos aluvionares e coluvionares de textura arenosa, oriundos das litologias adjacentes amplas planícies nos fundos de vale do ribeirão do meio, córrego do taquari e da invernoada. É comum a presença de matéria orgânica nas camadas superficiais.
São Bento; Formação Serra Geral Intrusivas Básicas Tabulares	Mesozóica; Cretáceo	Constituídos por soleiras e diques de magmatitos básicos, de textura fanerítica e coloração cinza a preta, densos e intensamente fraturados. Na área de estudo apresentam diques associados a falhamentos normais na porção oeste, enquanto à leste apresentam-se na forma de extensas soleiras.
Tubarão; Itararé	Paleozóica; Permo-carbonífero	Na área estudada, esta unidade é composta de siltitos arenosos, argilitos, diamictitos, arenitos e intercalações de arenito, siltito e argilito. Ocorrem em áreas aplainadas, com densidade média de drenagem, de relevo cuestasiforme incipiente nas proximidades com o rio moji-guaçu.

Dados: Gruber 1993 e Aguiar 1995.

**Figura 2.** Carta de substrato rochoso do município de Artur Nogueira (SP).

Dados: adaptado de Lollo 1991, Gruber 1993 e Aguiar 1995.

Em consonância com esta tendência mundial, a população municipal também aumentou aproximadamente 25 % na última década (IBG 2010), contribuindo para a maior demanda também do mercado local. Não raramente, o agronegócio se expande para terras de baixo custo, porém, que são prioritárias na conservação como

o cerrado brasileiro (Myers et al. 2000; Silva 2018). Esta vegetação é típica de solos oligotróficos que (Paganeli et al. 2020; Paganeli e Batalha 2021), entretanto, estão sendo transformados para abrigar as requisições de determinadas culturas (Klink e Machado 2005; Matos e Pessoa 2014).

Reconhecidamente, além do estado de São Paulo ser o maior parque citrícola do mundo (Kalaki e Neves 2017), também tem destaque histórico no mercado global canavieiro (Goes et al. 2011; Schmitz et al. 2002). Desta maneira, possibilita o desenvolvimento econômico ao nível regional, mas também atua com grande relevância na balança comercial nacional (Erpen et al. 2018). Nas últimas décadas, embora o consumo de laranja tenha crescido 450 %, este pode ser entendido como modesto quando comparado aos investimentos em fertilizantes, que aumentaram cerca de 800 % (Lopes 2010). Similarmente, a produção de cana-de-açúcar também faz uso de insumos. Dentre eles, destaca-se o glifosato, que por ser um herbicida de amplo espectro (Zhang et al. 2019), dependendo da aplicação, pode ocasionar alterações ecológicas em muitos organismos (Hagner et al. 2019), inclusive para polinizadores necessários para o desenvolvimento sustentável dos laranjais (Cerqueira e Figueiredo 2017).

Dados disponibilizados pelo IBGE (2017) relatam que proprietários rurais desta região apresentam graus de instrução formal relativamente baixos e não recebem instruções técnicas, porém utilizam fertilizantes químicos e agrotóxicos em suas propriedades. Desta maneira, a produtividade potencial pode não ser alcançada, devido à falta ou excesso destes insumos (Lopes 2010), que, em última análise, diminuem a lucratividade rural por elevar os custos da produção, mas não a produtividade (Dias e Fernandes 2006; Lima et al. 2016). Não raramente, ocorrem excessos nestas práticas, os quais podem, além de impor prejuízos diretos à biodiversidade (Balmford et al. 2018; Lanz et al. 2018), serem intensamente lixiviados para áreas circunvizinhas, gerando desbalanço nutricional e consequente contaminação dos corpos d'água (Good e Beathly 2011; Hunke et al. 2015).

Metodologia

Para a elaboração das análises foi utilizada a álgebra de mapas, sendo os arquivos trabalhados no formato matricial, com o mesmo tamanho de pixel. Os planos de informação (Figura 3) foram tratados no software ArcGIS® 10.6 e projetados para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), sistema geodésico de referência SIRGAS 2000 e Zona 23 do hemisfério sul. A metodologia seguiu o que foi proposto por Costa (2017), com relação aos atributos a serem considerados (Tabela 2) e os graus de potencial de contaminação para ponderação.

A carta de materiais inconsolidados foi obtida por meio da digitalização do mapeamento realizado para as quadriculas de Cosmópolis e Conchal, na escala 1:50.000, elaborados por Gruber (1993) e Aguiar (1995), respectivamente. As características desses materiais consideradas para as análises foram granulometria, permeabilidade e espessura, todas obtidas a partir das pesquisas dos autores citados.

A carta de unidades aquíferas foi gerada por meio da análise das cartas de substrato rochoso das quadriculas de Cosmópolis e Conchal, com escala 1:50.000, também elaboradas por Gruber (1993) e Aguiar (1995). Com a consulta a especialistas da área, juntamente com a análise do material descritivo elaborado por tais autores foi possível realizar a delimitação e classificação das unidades aquíferas da área de estudo. Para esta classificação foram considerados os comportamentos da hidrologia superficial e subterrânea, bem como de permeabilidade de cada um dos materiais, atribuindo as características de unidade aquífera ou aquíclode (Costa 2017).

Tabela 2. Atributos geoambientais utilizados nas análises

Dados	Descrição	Fonte	Escala
Hidrografia	Rios e reservatórios artificiais	DataGEO – organizado pela CETESB.	
Formações Geológicas	Cartas de Substrato Rochoso	Gruber (1993) e Aguiar (1995)	1:50.000
	Carta de Unidades Aquíferas	Adaptado da Carta de Substrato Rochoso de Gruber (1993) e Aguiar (1995)	
Materiais Inconsolidados	Cartas de Materiais Inconsolidados	Gruber (1993) e Aguiar (1995)	
Uso e Ocupação do Solo	Classificação dos tipos de uso e ocupação do solo	MapBiomias (2018)	
Poços	Localização e profundidade	SIAGAS (2019)	-

Fonte: adaptado de Costa 2017.

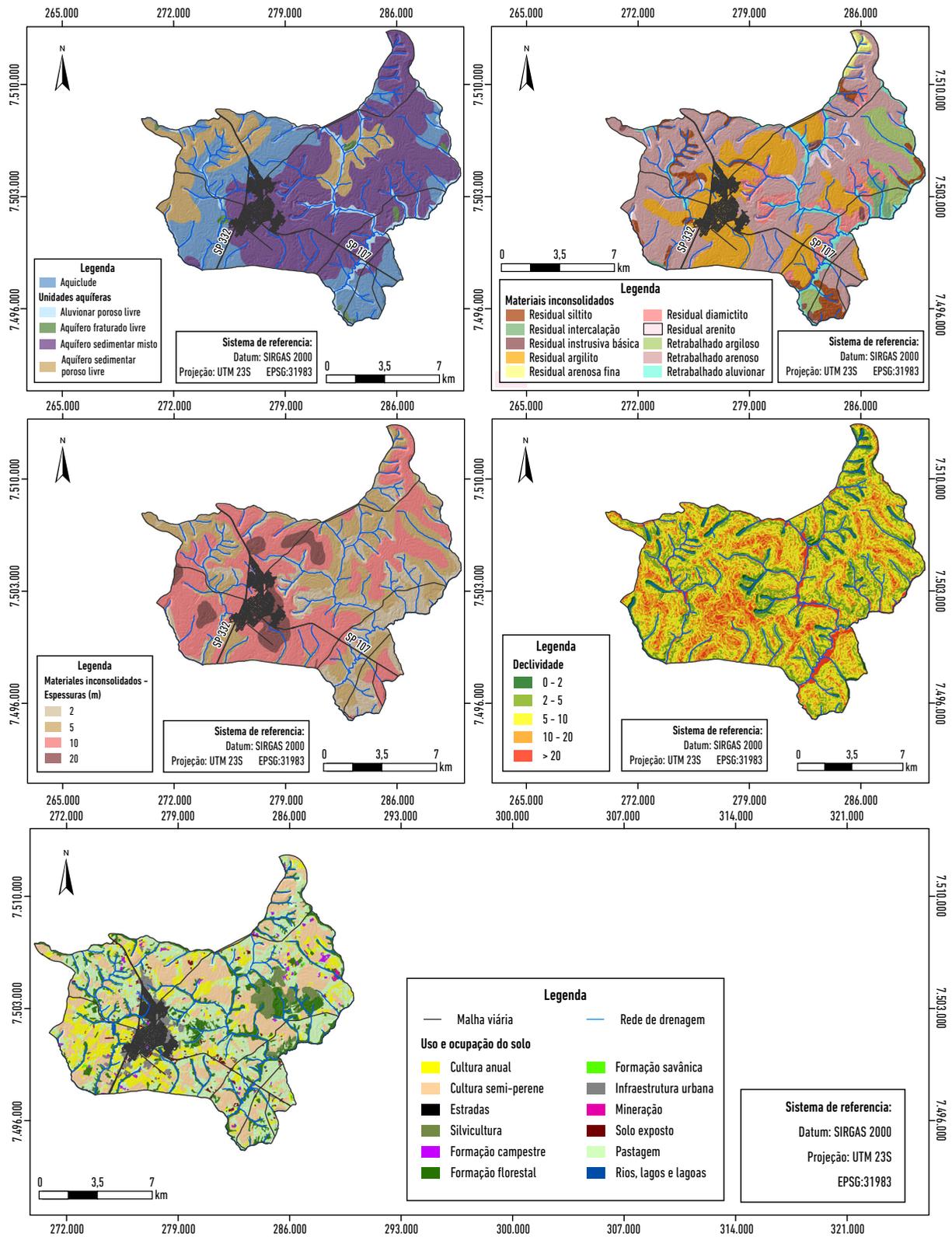


Figura 3. Distribuição espacial dos atributos utilizados nas análises. Dados: adaptado de Gruber 1993, Aguiar 1995, Alos Palsar 2011 e IBGE 2013.

A declividade da área foi elaborada a partir da extração dos pontos altimétricos da imagem Alos Palsar (2011) em ambiente SIG. Primeiramente, foi elaborado o Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizando a ferramenta Topo to Raster. A partir do MDE, utilizando a ferramenta Slope, foi obtida a declividade da área de estudo.

O uso e ocupação do solo para o ano de 2018 foi obtido por meio do banco de dados do MapBiomas, com base em imagens da coleção Landsat, com resolução de 30 m. O processamento é feito por *machine learning*, analisando o tipo de uso que é correspondente às características de um determinado pixel. Os arquivos são fornecidos em formato matricial, portanto, em ambiente SIG, foi realizada a conversão do plano de informações para vetores. Isso foi feito com o intuito de realizar algumas correções manuais necessárias na classificação e adequação das nomenclaturas do banco de dados, gerando um mapeamento com 13 classes de uso e ocupação do solo.

Finalizada a etapa de tratamento das informações, foram atribuídos pesos para os atributos de cada componente, sendo estes representativos do grau de potencial de contaminação, variando de Muito Baixo (1) a Muito Alto (5). Os componentes geoambientais receberam pesos iguais, indicando uma mesma importância na análise, e os atributos relacionados a esses componentes, pesos variando de 1 a 5, de acordo com a sua influência no potencial de contaminação das águas subterrâneas da área de estudo.

Após a atribuição de pesos, foi executada a álgebra de mapas, utilizando a ferramenta Weighted Sum. Esta ferramenta possibilita a realização de uma soma dos atributos, soma esta que foi feita de forma pareada, gerando quatro cruzamentos de informações, conforme apresentado no fluxograma metodológico (Figura 4).

Para as análises, foram consideradas as seguintes características dos materiais inconsolidados: permeabilidade, granulometria e espessura. Os materiais com maior permeabilidade e elevadas porcentagens de areia na sua composição foram classificados com maior potencial de contaminação, por facilitar a chegada de poluentes ao lençol freático. A espessura foi considerada de forma separada, devido a sua heterogeneidade na área de estudo. Materiais com espessuras menores do que 10 m apresentaram um maior potencial de contaminação, enquanto aqueles iguais ou maiores do que 10 m, menor potencial.

A declividade de uma região influencia diretamente a capacidade de um poluente em atingir uma unidade aquífera, isso porque regiões com baixas declividades tendem ao acúmulo de água e poluentes, facilitando o

processo de infiltração e percolação, enquanto regiões declivosas levam ao escoamento superficial. Assim, áreas com declividades maiores do que 10 % apresentaram um menor potencial de contaminação, e aquelas menores do que 5 %, os maiores potenciais.

Segundo Costa (2017), as atividades antrópicas podem modificar as propriedades das águas subterrâneas de acordo com as mudanças de uso e ocupação do solo que ocorrem em uma determinada região. A implementação de atividades agrícolas, industriais, urbanas e de mineração são responsáveis pelo lançamento de uma série de poluentes no ambiente, como agroquímicos e resíduos industriais e urbanos. Assim, locais onde foram identificados estes usos foram classificados com os maiores potenciais de contaminação. Por outro lado, locais em que foram mantidos remanescentes de vegetação ou possuem uma prática agrícola de menor impacto obtiveram baixos potenciais.

Resultados e discussão

A aplicação da metodologia considerou cinco níveis de potencial à contaminação dos aquíferos na área de estudo, conforme apresentado na Figura 5. Os resultados têm influência significativa das condições de materiais inconsolidados na área, especialmente devido às condições geológicas locais.

Os dados disponíveis na base SIAGAS (2019) mostram que grande parte dos poços em produção na área está produzindo em profundidades superiores à 10 m, por vezes ultrapassando 400 m. Os dados de qualidade de água de tais poços não apresentam indícios de contaminação ou poluição.

No entanto, na zona rural é comum a execução de escavações de 10 a 20 metros de profundidade para produção de água em pequenas vazões (1 a 5 m³/dia) na base das camadas de materiais inconsolidados, interface entre os materiais inconsolidados e as unidades do substrato. Tal circunstância faz com que esses volumes de água em subsuperfície sejam os mais expostos à eventuais contaminação ou poluição, sem que se tenha dados de qualidade de água de tais mananciais para atestar tal suspeita.

As atividades agrícolas existentes na área, por sua vez, apresentam grande potencial de contaminação de mananciais de superfície, o que pode ser constatado pelos registros da base INFOSANBAS (2020).

Infelizmente, os dados disponibilizados em tal base até o momento registram apenas o número de análises de água realizadas no ano, por grupo de parâmetros, e os

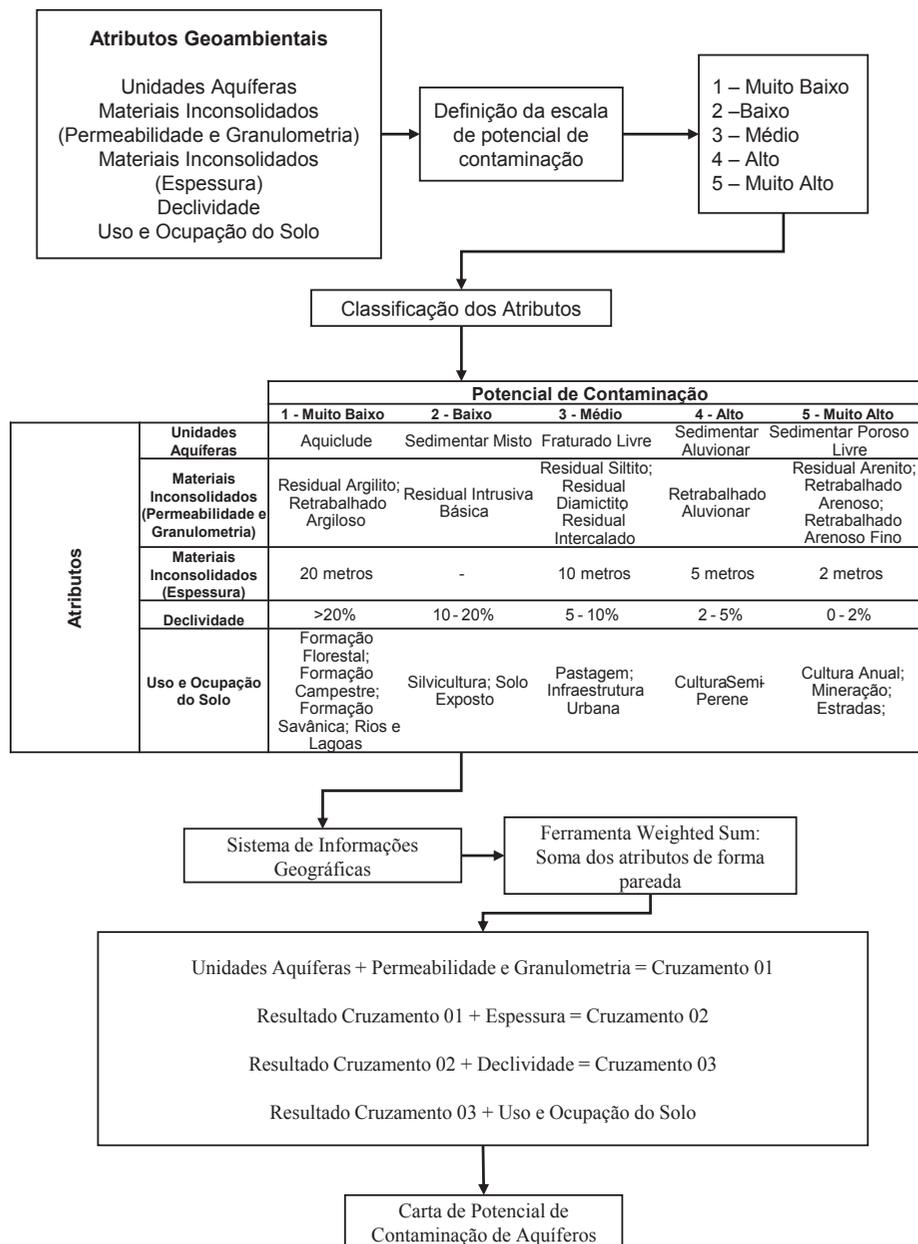


Figura 4. Fluxograma metodológico.

Dados: adaptado de Costa 2017.

agrotóxicos detectados nas cujo resultado foi um valor numérico ou abaixo do limite de quantificação, sem que se informe localização dos pontos de coleta ou resultados das análises. De qualquer forma, tais informações são um indicativo da possibilidade de contaminação dos mananciais de subsuperfície via escoamento e contribuição de mananciais superficiais.

As áreas com alto potencial de contaminação correspondem a cerca de 24 % do município. Na região noroeste, tais áreas coincidem com os solos arenosos de espessuras variáveis de 2 a 5m. Sua permeabilidade varia entre $3,10^{-2}$

a 10^{-3} cm/s em que tanto na porção noroeste como na porção central predomina o aquífero poroso livre. A fração sudeste, por estar sob o aquífero aluvionar, teve o mesmo score das áreas previamente citadas.

A inter-relação destes atributos aliada a baixas declividades (2 % a 5 %) classifica estas regiões como de alto potencial de contaminação. Nestas mesmas regiões, cerca de 2 % da área do município se caracteriza por apresentar um potencial de contaminação muito alto, devido a declividade que varia entre 0 % e 2 %, o que favorece os processos de infiltração e percolação de substâncias.

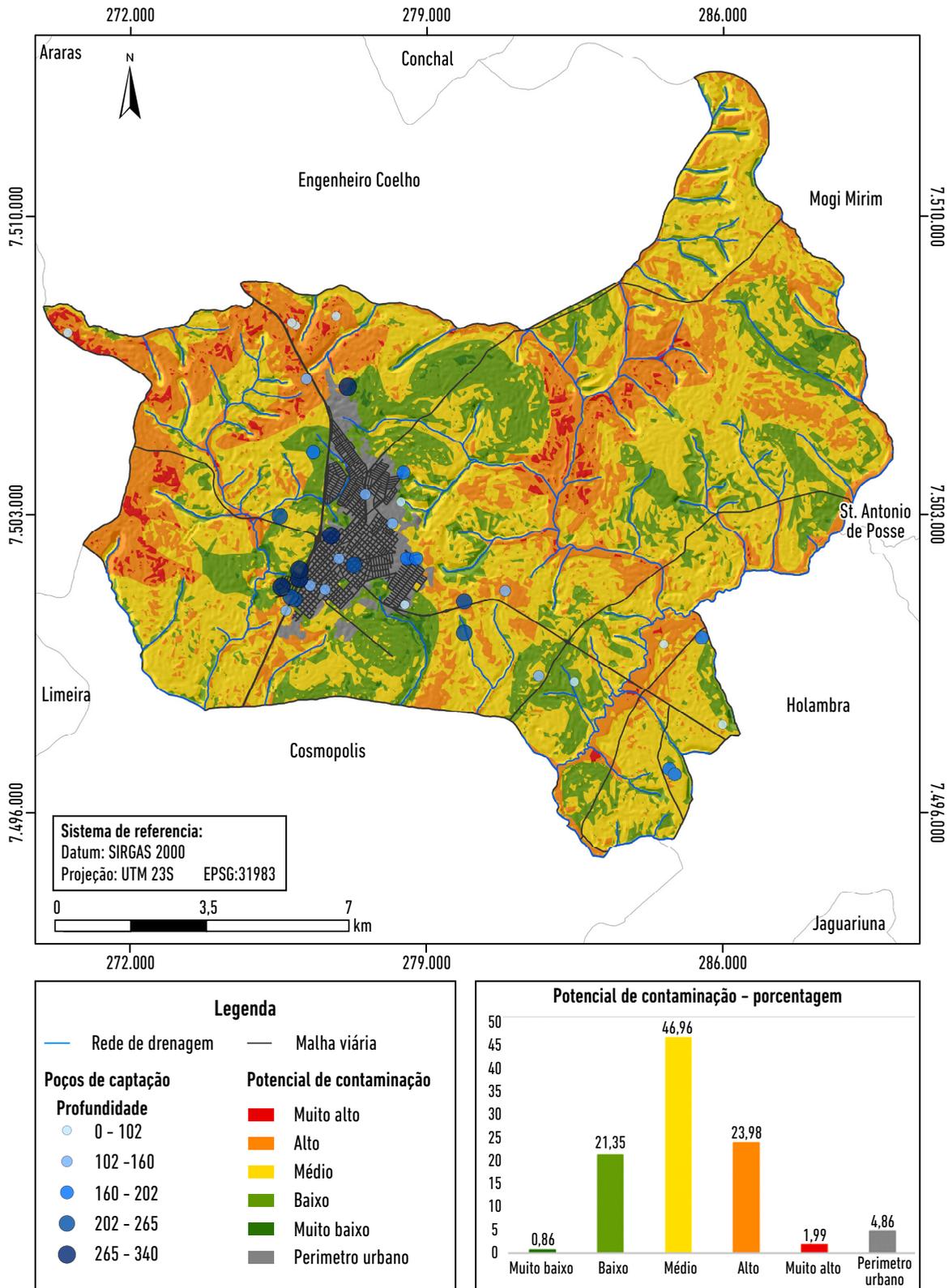


Figura 5. Carta de potencial de contaminação de aquíferos de Arthur Nogueira. Dados: IBGE 2013 e SIAGAS 2018.

O potencial médio de contaminação foi encontrado na maior parte do município, em aproximadamente 47 % do território. Nestas áreas predominam os materiais inconsolidados arenosos, com alta permeabilidade, porém com espessuras de aproximadamente 10 m. Tal característica pode ter reduzido o potencial de contaminação, uma vez que as substâncias devem percolar uma distância maior para alcançarem a zona saturada. As classes de declividade por sua vez, variam entre 2 % a 10 %, o que também contribui para a permanência das soluções em contato com o solo, propiciando a infiltração.

Entretanto, a variável tipo de aquífero contribuiu para que tais áreas fossem classificadas com um médio potencial de contaminação. Estas áreas se encontram sobre aquíferos mistos e aquícludes, os quais possuem maior confinamento, e são, portanto, aquíferos menos suscetíveis à contaminação.

As áreas categorizadas como de muito baixo e baixo potencial de contaminação ocupam 22 % do território. Nestas regiões, a característica que levou a este resultado foi a granulometria do material inconsolidado, a qual apresentou predominância de argilas e, conseqüentemente, baixas permeabilidades.

As maiores espessuras, que variaram entre 10 e 20 metros, também contribuíram para que o percurso mais longo das substâncias percoladas dificultasse o encontro destas com a reserva subterrânea. Tais áreas estão localizadas sobre aquíferos sedimentares mistos e aquíclude. Da mesma maneira, nota-se que as regiões sobre substrato rochoso do tipo diamictito se tornam um cenário de menor potencial de contaminação. Tais materiais, apesar de serem mais compactos que os arenitos e siltitos, são mais porosos que os argilitos. Estes aparecem apenas na porção extremo sudeste de Artur Nogueira, que, embora apresentem baixos e médios potenciais de contaminação, não compõem as maiores manchas desta classe no território municipal. Estas regiões se localizam na porção central do município, na qual se insere a porção urbanizada.

Outro relevante influenciador do potencial de contaminação foi o uso da terra, o qual é destinado predominantemente para atividades agropecuárias, com poucas áreas de paisagens típicas da região. Este fato cria condições de suscetibilidade edáfica para que ocorra contaminação, inclusive com excessos de fertilizantes e defensivos agrícolas. Assim, o uso e cobertura do solo na área de estudo foi caracterizado, principalmente, por atividades agrícolas e agropecuárias, de modo que pastagem (34,2 %) e cultura semi-perene (24,7 %), quando somados, ultrapassam 50 % da área total do município (Tabela 3).

Tabela 3. Área total de cada tipo de uso e ocupação do solo e suas respectivas porcentagens

Uso e ocupação do solo	Área (km ²)	%
Cultura Anual e Perene	24,85	13,9
Formação Campestre	2,04	1,1
Pastagem	57,45	34,2
Floresta Plantada	4,59	2,5
Formação Florestal	27,32	15,3
Formação Savânica	0,34	0,1
Outra área não vegetada	1,96	1,1
Infraestrutura Urbana	10,41	5,8
Cultura Semi-Perene	44,05	24,7
Rios Lagos e Lagoas	0,40	0,2
Estradas	0,76	0,4
Mineração	0,14	0,07
Pastagem	3,58	2
Total	177,90	100

Ao associar a carta de potencial de risco à contaminação de aquíferos, apresentada na Figura 5, tais características corroboram e evidenciam a existência de problemática antrópica do uso do solo com atividades impactantes advindas da agricultura. Assim, áreas apontadas como cultura semi-perene configuraram alto potencial de contaminação (23,9 %), e áreas de pastagem, médio potencial (46,9 %).

Uma situação parecida pôde ser verificada no trabalho de Anjinho et al. (2018), na bacia do rio São Roque (SP), onde foram encontradas áreas com risco muito alto de contaminação pelo uso e ocupação do solo de atividades agrícolas, em específico, o cultivo de cana-de-açúcar, citricultura e pastagem, mostrando semelhança com o potencial de contaminação e uso do solo predominante encontrados neste trabalho.

Outra relevante associação estabelecida foi verificada entre uso do solo e declividade, uma vez que as áreas de alto e muito alto potencial de contaminação estão inseridas majoritariamente próximas ou sob áreas de corpos hídricos, sendo que a declividade dos rios de primeira ordem estão entre 0-2 % e 2-5 %, e quando se unem e formam rios de ordens superiores a declividade é maior, estando entre 10 % e 20 % e acima de 20 %, propiciando assim o carreamento e lixiviação dos agroquímicos utilizados nas culturas de cana-de-açúcar e laranja para os cursos d'água ali presentes. É o caso do Ribeirão Boa Vista, que possui áreas de elevado potencial de contaminação ao longo do seu curso, visto que de jusante à montante

o uso do solo predominante é de área destinada à pastagem e monoculturas de cana-de-açúcar e citricultura.

Segundo Chilton et al. (1995), extensas áreas de monocultura são os tipos de atividade agrícola que geram contaminação difusa mais preocupante das águas subterrâneas. Sendo o íon nitrato relacionado com as práticas agrícolas e considerado como o contaminante mais agravante na poluição de águas subterrâneas (Chilton et al. 1998). Mesmo que em baixas concentrações, a contaminação por agroquímicos em amostras de água subterrânea foi encontrada em diversos países, incluindo o Brasil (Dores 2004). Gomes et al. (2001) avaliaram a presença de um pesticida utilizado em larga escala no Brasil, em amostras de água subterrânea de um poço localizado na microbacia do Córrego Espreado, município de Ribeirão Preto (SP), área de recarga do Aquífero Guarani e concluíram que o contaminante estava presente em todas as amostras analisadas.

A disposição das formações florestais influencia em uma menor proteção do solo, visto que estas aparecem esparsas como pequenas manchas pelo território e em Áreas de Preservação Permanente (APP). O maior adensamento florestal, que coincide com áreas de menores potenciais de contaminação, encontra-se em uma região que aparenta tornar-se a próxima fronteira da expansão urbana municipal. Entretanto, ressalta-se a relevância de maiores áreas com cobertura florestal, o que pode ser visualizado na região nordeste do município. Nesta porção municipal ocorre um adensamento florestal que configurou um baixo potencial de contaminação, mesmo estando sobre solos arenosos com espessura baixa.

Ao se realizar uma abordagem cronológica de expansão urbana, se verifica uma tendência de avanço do território urbano às margens da rodovia SP 332 (MapBiomias). Caso esta perspectiva persista, a expansão urbana será feita justamente nas regiões de menores potenciais de contaminação dos aquíferos. Isto faz com que seja imprescindível a tomada de decisão que não exclua o desenvolvimento, entretanto, demanda a manutenção de condições apropriadas para a saúde ambiental e, conseqüentemente, a de toda população que possa se beneficiar dos recursos hídricos desta região.

No entanto, sabe-se que a expansão urbana avança gradualmente em direção aos ambientes naturais de forma não ordenada na maioria dos casos. Caso não ocorra um planejamento adequado, bem como tomadas de decisão na ótica da qualidade ambiental, os potenciais de contaminação de áreas inseridas próximas à atual mancha urbana e de futura expansão territorial, podem variar de baixo para médio ou alto potencial, devido ao

fator de complexidade e utilização do solo presente em ambientes urbanos. Os centros urbanos possuem fontes de poluição pontuais e difusas, visto que a contaminação pode ocorrer especificamente em um ponto (descarga de efluentes de uma indústria) ou a partir de vários pontos (carreamento de resíduos superficiais via *first flush*). Portanto, a expansão urbana deve ser controlada e planejada, além da necessidade de fiscalização e licenciamento de novos empreendimentos potencialmente poluidores.

Destaca-se também a presença de 37 poços de captação de água subterrânea na área de estudo, sendo que aproximadamente 8 destes se encontram em regiões de alto potencial de contaminação, podendo contribuir com a inserção de poluentes e contaminantes no sistema, principalmente por estarem localizados em matriz agrícola. Segundo Foster et al. (2002), os poços de captação, quando não projetados de forma correta, podem atuar como pontos de entrada direta de contaminantes nos aquíferos. Além disso, os mesmos autores alertam para o risco que a construção de poços em regiões inadequadas acarreta à saúde humana, visto que a contaminação de águas subterrâneas é mais difícil de ser detectada e, portanto, a água que está sendo captada pode não estar nos padrões sanitários para consumo.

Desta maneira, fica claro que o potencial de contaminação é o resultado da interação de inúmeros fatores. Isto fica evidente ao analisar a região de maior adensamento florestal, na região nordeste da cidade, que cria condições para as áreas serem caracterizadas com baixas e médias suscetibilidades à contaminação.

Conclusões

O município de Arthur Nogueira apresentou em grande parte de sua área médio potencial de contaminação de aquíferos. Os locais com presença de baixas declividades, associadas a unidades aquíferas vulneráveis, materiais inconsolidados com elevadas permeabilidades e baixas espessuras e uso do solo caracterizado por atividades antrópicas apresentaram elevado potencial de contaminação.

Por se tratar de áreas monocultivadas com citricultura e cana-de-açúcar, a determinação do risco de contaminação é essencial, porém, uma das mais difíceis de ser avaliada, particularmente quando se discute a contaminação química (íons inorgânicos, pesticidas, fertilizantes, entre outros). Os processos de dispersão (escoamento superficial, lixiviação, retenção, degradação, entre outros) que ocorrem após a aplicação de insumos em extensas áreas e o comportamento em subsuperfície desses compostos

são ainda pouco conhecidos. Nesse sentido, estudos quantitativos voltados para a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de estudo são necessários para determinar os níveis de contaminação que podem ser encontrados, de forma a indicar quais medidas devem ser executadas para mitigar os impactos ambientais existentes.

A manutenção dos fragmentos de vegetação remanescente é necessária para que não ocorra o aumento do potencial de contaminação em outras regiões, juntamente com a ação do poder público a fim de propor um planejamento do uso e ocupação do solo que considere as características geoambientais da região.

Com relação à carta de potencial de contaminação de aquíferos, este documento pode contribuir diretamente com a tomada de decisões relacionada ao processo de planejamento e zoneamento do município, indicando áreas que podem ser mais ou menos favoráveis à expansão urbana, além daquelas onde existe a necessidade de ações voltadas à recuperação e restauração de ecossistemas.

Referências

- Aguiar, Adélia Dídia Calôba. 1995. "Mapeamento Geotécnico da Folha de Conchal – SP: Escala 1:50.000." Tese de Mestrado em Geotecnia, Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São, São Carlos.
- Anjinho, Phelipe da Silva, Leticia Geraldino Campos, Frederico Fábio Mauad, e Luiz Eduardo Moschini. 2018. "Geotecnologias aplicado à análise de risco à contaminação dos aquíferos da bacia hidrográfica do rio São Roque – SP." *Águas Subterrâneas–Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas* 32 (3): 1-11. <https://doi.org/10.14295/ras.v32i3.29136>
- Barriuso, Enrique, Raoul Calvet, Michel Schiavon, e Guy Soulas. 1996. "Les pesticides et les polluants organiques des sols: transformations et dissipation." *Étude et Gestion des Sols* 3 (4): 279-296.
- Balmford, Andrew, Tatsuya Amano, Harriet Bartlett et al. 2018. "The Environmental Costs and Benefits of High-Yield Farming." *Nat Sustain* no. 1, 477-485. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0138-5>
- Cerqueira, Amanda y Rodolfo Antônio Figueiredo. 2017. "Percepção ambiental de apicultores: Desafios do atual cenário apícola no interior de São Paulo." *Acta Brasiliensis* 1 (3): 17-21. <https://doi.org/10.22571/Actabra13201754>
- Costa, Carlos Wilmer. 2017. "Mapeamentos geoambientais, em escala 1:50.000, aplicados em análises de planejamento territorial de manancial periurbano: bacia do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP." Tese Doutoral em Ciências Ambientais, UFSCAR, São Carlos.
- Dias, Victor Pina, e Eduardo Fernandes. 2006. "Fertilizantes: uma visão global sintética." *BNDES Setorial*, no. 24, 97-138.
- Erpen, Lígia, Fabiana Rezende Muniz, Tatiana de Souza Moraes, e Eveline Carla da Rocha Tavano. 2018. "Análise do cultivo da laranja no Estado de São Paulo de 2001 a 2015." *Revista Ipecege* 4 (1): 33-43. <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2018.1.33>
- Fay, Elisabeth Francisconi, e Célia Maria Maganhotto de Souza Silva. 2004. "Comportamento e Destino de Agrotóxicos no Ambiente Solo-Água." Em *Embrapa Meio Ambiente*, editado por Elisabeth Francisconi Fay e Célia Maria Maganhotto de Souza Silva, 107-143. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Foster, Stephen, e Ricardo César Aoki Hirata. 1988. *Groundwater Pollution Risk Assessment: A Methodology Using Available Data*. Lima: Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences.
- Foster, Stephen, e Ricardo César Aoki Hirata. 1993. *Determinação de risco de contaminação das águas subterrâneas: uma metodologia embasada em dados existentes*. São Paulo: Instituto Geológico. Consultado o 25 de outubro de 2019. https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2019/02/Boletim_IG_10_Determinacao_de_Riscos_de_Contaminacao_das_Aguas_Subterraneas-1994.pdf
- Foster, Stephen, Ricardo César Aoki Hirata, Daniel Gomes, Monica D'Elia, e Marta Paris. 2002. *Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Utilities, Municipal Authorities, and Environment Agencies*. Washington: The World Bank. Consultado o 28 de outubro de 2019. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/913221468028147970/pdf/250710PUB00BOX334116Bo1PUBLIC1.pdf>
- Furtado, André Tosi, Mirna Ivonne Gaya Scandiffio, e Luis Augusto Barbosa Cortez. 2011. "The Brazilian Sugarcane Innovation System." *Energy Policy* 39 (1): 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.023>
- Goes, Tarcízio, Renner Marra, Marlene de Araújo, Eliseu Alves, e Mirian Oliveira de Souza. 2011. "Sugarcane in Brazil–Current Technologic Stage and Perspectives." *Revista de Política Agrícola*, no. 1, 52-65.
- Good, Allen, e Perrin Beatty. 2011. "Fertilizing nature: a tragedy of excess in the commons." *PLOS BIOL* 9 (8): 1-9. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001124>
- Gruber, Gustavo Aristides Gomes. 1993. "Mapeamento Geotécnico da Folha de Cosmópolis – SP." Tese de Mestrado em Geotecnia, Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São, São Carlos.
- Guerrero, João Vitor Roque, Michel Eustáquio Dantas Chaves, Rodrigo Cesário Justino, Guilherme Mataveli, e Luiz Eduardo Moschini. 2017. "Potential of Aquifer Contamination in The Gouveia Stream Basin, São Paulo." *Acta Brasiliensis* 1 (3): 1-7. <https://doi.org/10.22571/Actabra13201757>

- Hagner, Marleena, Juha Mikola, Irma Saloniemi, Kari Saikkonen, e Marjo Helander. 2019. "Effects of a Glyphosate-Based Herbicide on Soil Animal Trophic Groups and Associated Ecosystem Functioning in A Northern Agricultural Field." *Scientific Reports* 9 (1): 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44988-5>
- Hasui, Yositero, Celso Dal Ré Carneiro, Fernando Flávio Marques Almeida, e Andrea Bartorelli. 2012. *Geologia do Brasil*. São Paulo: Editora Beca.
- Hirata, Ricardo, Geraldo Stachetti Rodrigues, Lourival Costa Paraíba, e Cláudio César de Almeida Buschinelli. 1995. "Groundwater Contamination Risk from Agricultural Activity in São Paulo State (Brazil)." Em *Groundwater and Agriculture: The Interrelationship*, editado por P. J. Chilton, H. J. Jégat, e M. E. Stuart, 93-101. Keyworth: British Geological Survey.
- Huan, Huan, Jinsheng Wang, e Yanguo Teng. 2012. "Assessment and Validation of Groundwater Vulnerability to Nitrate Based on a Modified DRASTIC model: A Case Study in Jilin City of Northeast China." *The Science of the Total Environment* 440 (5): 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.037>
- Hunke, Philip, Eva Nora Mueller, Boris Schröder, e Peter Zeilhofe. 2015. "The Brazilian Cerrado: Assessment of Water and Soil Degradation in Catchments Under Intensive Agricultural Use." *Ecohydrology* 8 (6): 1154-1180. <https://doi.org/10.1002/eco.1573>
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2010. "Censo Demográfico 2010." Consultado o 3 de novembro de 2019. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/artur-nogueira/pesquisa/23/27652?detalhes=true>
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2017. "Panorama." Consultado o 4 de novembro de 2019. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/artur-nogueira/panorama>
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2013. "Malhas Digitais." Consultado o 3 de novembro de 2019. <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>
- INFOSANBAS (Fundação Nacional da Saúde). 2020. "Artur Nogueira - SP." Consultado o 25 de setembro de 2021. <https://infosanbas.org.br/municipio/artur-nogueira-sp/#>
- Instituto Florestal. 1983. "Regiões Fitoecológicas." Consultado o 26 de outubro de 2019. <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>
- Kalaki, Rafael Bordonal, e Marcos Fava Neves. 2017. "Strategic Plan for the Brazilian Agro-industrial Citrus System." *Gestão & Produção* 24 (2): 338-354. <https://doi.org/10.1590/0104-530x1307-15>
- Klink, Carlos Augusto, e Ricardo Bomfim Machado. 2005. "A conservação do Cerrado brasileiro." *Megadiversidade* 1 (1): 147-155.
- Lanz, Bruno, Simon Dietz, e Tim Swansone. 2018. "The Expansion of Modern Agriculture and Global Biodiversity Decline: An Integrated Assessment." *Ecological Economics* 144: 260-277. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.018>
- Lima, Lilian M., Lilian de Pelegrini Elias, José V. Caixeta-Filho, e Jamile de Campos Coleti. 2016. "Fertilizer Freight Rate Disparity in Brazil: A Regional Approach." *The International Food and Agribusiness Management Review (Online)* 19 (4): 109-128. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2015.0109>
- Linhares, Franklin Mendonça, Cristiano das Neves Almeida, Alain Marie B. Passerat de Silans, e Victor Hugo Rabelo Coelho. 2014. "Avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Gramame (PB)." *Sociedade & Natureza* 26 (1): 139-157. <https://doi.org/10.1590/1982-451320140110>
- Lollo, José Augusto de. 1991. "Mapeamento geotécnico da folha de Leme, SP: utilização da geomorfologia para a caracterização preliminar de Unidades Geotécnicas." Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo/Escola de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo.
- Lopes, Felipe de Araújo. 2010. "Aducação em doses variadas em citros." Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo/Escola de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo.
- Lopes, J., T. F. G. Déo, B. J. M. Andrade, M. Giroto, A. L. S. Felipe, C. E. I. Junior, C. E. M. S. Bueno, T. F. Silva, e F. C. C. Lima. 2011. "Importância econômica do citros no Brasil." *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, no. 20, 1-2.
- Lorandi, Reinaldo, e Cássia de Ávila Ribeiro Junqueira. 2008. Estudo do potencial de risco à contaminação das águas subterrâneas por fertilizantes no município de Cordeirópolis (SP, Brasil). Em 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, de 2 a 4 de setembro de 2008, Maputo, Moçambique.
- Matos, Patrícia Francisca, e Vera Lúcia Salazar Pessôa. 2014. "Apropriação do cerrado pelo agronegócio e os novos usos do território." *Campo-Território: Revista de Geografia Agrária* 9 (17): 6-26.
- MAPBIOMAS. 2018. "Cobertura e uso do solo." Consultado o 28 de outubro de 2019. <https://cutt.ly/OJDGLtI>
- Montero, Rafael Carrion, e Anna Silvia Palcheco Peixoto. 2013. "Vulnerabilidade e perigo de contaminação dos aquíferos no Alto Aguapeí e Alto Peixe, SP." *Ciência & Engenharia* 22 (1): 115-124. <https://doi.org/10.14393/19834071.2013.22499>
- Myers, Norman, Russell Mittermeier, Cristina Mittermeier, Gustavo da Fonseca, e Jennifer Kent. 2000. "Biodiversity hotspots for conservation priorities." *Nature* 403: 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Novais, Tiago de Moraes Faria, Mauro César Cardoso Cruz, e Mônica de Abreu Azevedo. 2019. "Modelagem da vulnerabilidade e do risco de contaminação de águas subterrâneas em locais de disposição de resíduos sólidos urbanos." *Águas Subterrâneas* 33 (3): 270-279. <https://doi.org/10.14295/ras.v33i3.29526>

- Paganelli, Bruno, Kyle Graham Dexter, e Marco Antônio Batalha. 2020. "Early Growth in a Congeneric Pair of Savanna and Seasonal Forest Trees under Different Nitrogen and Phosphorus Availability." *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 32 (15): 1-12. <https://doi.org/10.1007/s40626-019-00164-8>
- Paganelli, Bruno, e Marcos Antônio Batalha. 2021. "Effects of Nitrogen and Phosphorus Availability on The Early Growth of Two Congeneric Pairs of Savanna and Forest Species." *Brazilian Journal of Biology* 82:1-8. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.235573>
- Perrotta, Mônica Mazzini, Elizate Domingues Salvador, Ricardo da Cunha Lopes, Liz Zanchetta D'Agostino, Luiz Antonio Chieregati, Nazário Peruffo, Sylvio Dutra Gomes, Liliane Lavoura Bueno Sachs, Vinicius Tieppo Meira, Maria da Gloria Motta Garcia, e Joffre Valmório de Lacerda Filho. 2006. "Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo." CPRM. Consultado o 15 de setembro de 2021. <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/2966>
- Piga, Fabíola Geovanna, Nicolas Guerra Rodrigues Tão, Mayara Herrmann Ruggiero, Darlan de Souza Marquezola, Welliton Leandro de Oliveira Boina, Carlos Wilmer Costa, José Augusto de Lollo, Reinaldo Lorandi, Edson Augusto Melanda, e Luiz Eduardo Moschini. (2017). "Multi-Criteria Potential Groundwater Contamination and Human Activities: Araras Watershed, Brazil." *RBRH* 22 (56): 1-13. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.0217170052>
- Porto, M. F. A. Estabelecimento de parâmetros de controle da poluição. Em Hidrologia ambiental. Editado por Porto, R. L. L.; Branco, S. M.; Cleary, R. W.; Coimbra, R. M; Eiger, S.; Luca, S. J.; Nogueira, V. P. Q. São Paulo: São Paulo: EDUSP Asociación Brasileña de Recursos Hídricos. 375-390.
- Ribeiro, Daniela Menezes, Washington Franca Rocha, e Antonio Jorge Vasconcellos Garcia. 2011. "Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do rio Siriri, Sergipe." *Águas Subterrâneas* 25 (1): 91-102. <https://doi.org/10.14295/ras.v25i1.19366>
- Ross, Jurandy Luciano, e Isabel Cristina Moroz. 1996. "Mapa geomorfológico do estado de São Paulo." *Revista do Departamento de Geografia* 10: 41-58. <https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004>
- Rudolph, David, e Gary Parkin. 1997. "Partitioning of Solutes from Agricultural Fields within the Hydrologic System at Two Sites in Southern Ontario and the Subsequent Impact on Adjacent Aquatic Ecosystems." Final Report, Waterloo Centre for Groundwater Research, University of Waterloo, Waterloo.
- Santos, Eliane Ferreira dos, José Luiz Silvério da Silva, Adilson de Chaves, e Isabel Camponogara. 2007. "Vulnerabilidade à Contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral/Guarani no município de Quaraí/RS." XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 1º Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste. 22 de julho de 2007. Gramado, Rio Grande do Sul.
- Schimtz, Troy G., James L. Seale, e Petter J. Buzzanell. 2002. "Brazil's Domination of the World Sugar Market." Em *International Perspectives*, editado por A. Schimtz, T. H. Spreen, W. A. Messina, e C. B. Moss, 123-139. Wallingford: CABI PUB.
- SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Estatísticos). 2019. "Perfil Municipal: Artur Nogueira." Consultado o 20 de outubro de 2019. <https://perfil.seade.gov.br/>
- SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). 2018. "Pesquisa Complexa." Consultado o 20 de outubro de 2019. http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php
- Silva, Claiton Márcio da. 2018. "Entre Fênix e Ceres: a grande aceleração e a fronteira agrícola no Cerrado." *Varia Historia* 34 (65): 409-444. <https://doi.org/10.1590/0104-87752018000200006>
- Silva Neto, Waldemiro Alcântara da, e Mirian Rumenos Piedade Bacchi. (2014). "Growth of Brazilian Beef Production: Effect of Shocks of Supply and Demand." *Revista de Economia e Sociologia Rural* 52 (2): 209-228. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032014000200001>
- Tavares, Paulo Roberto Lacerda, Marco Aurélio Holanda de Castro, Celme Torres Ferreira da Costa, José das Graças Procópio da Silveira, e Francisco Jocélio Bezerra de Almeida Júnior. 2009. "Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na bacia sedimentar do Araripe, estado do Ceará, Brasil." *Revista Escola de Minas* 62 (2): 227-236. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672009000200015>
- Walls, D., P. G. Smith, e M. G. Mansell. 1996. "Pesticides in Groundwater in Britain." *International Journal of Environmental Health Research* 6: 55-62. <https://doi.org/10.1080/09603129609356873>
- Zhang, Luoping, Iemaan Rana, Rachel M. Shaffer, Emanuela Taioli, e Lianne Sheppard. 2019. "Exposure to Glyphosate-Based Herbicides and Risk for Non-Hodgkin Lymphoma: A Meta-Analysis and Supporting Evidence." *Mutat* 781: 186-206. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.02.001>

Mayara Herrmann Ruggiero

Gestora e analista ambiental formada na Universidade Federal de São Carlos (2014), mestra em Engenharia Urbana pela mesma universidade. Atualmente é doutoranda em Ciências Ambientais na Universidade Federal de São Carlos. Possui experiência em geoprocessamento e sensoriamento remoto para análises ambientais, com aplicação em áreas de recarga de aquífero e bacias hidrográficas. Trabalhou com a aplicação e desenvolvimento de análises em sensoriamento remoto voltadas para cultivos agrícolas.

Adriel Barboza Bentos

Tecnologia em Agroecologia, UEMS, 2013. Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2016. Aluno regular do programa de pós-graduação em Ciências Ambientais da UFSCar, nível doutorado. Tem experiência em agroecologia e desenvolvimento rural sustentável especificamente com Sistemas Agroflorestais (SAF), indicadores de sustentabilidade, avaliações e perícias de conformidade agroecológica, sistemas de produção orgânica e ainda, com pesquisas voltadas para avaliação e monitoramento de recursos hídricos.

Bruno Paganeli

Graduado em Ciências Biológicas (UFSCar, Brasil) com experiência em Biologia Marinha (Universita di Bologna, Itália). Mestre em Ciências Ambientais (UFSCar, Brasil) com experiência em Geociências (Universidade de Edimburgo). Atualmente cursa o doutorado na Universidade de Tartu, Estônia (Ecologia e Botânica), no grupo de trabalho de macroecologia. Seus estudos abordam questões macroecológicas com ênfase na diversidade obscura e nas espécies não nativas. Seus interesses são macroecologia e ecologia em geral, com ênfase especial em plantas.

Henrique Aio Adorno

Técnico em Informática, ETEC Paulino Botelho, 2014. Bacharel em Gestão e Análise Ambiental, UFSCar, 2018. Mestre em Ciências Ambientais, UFSCar, 2021. Tem experiência em ecologia de ecossistemas ripários e geoprocessamento. Trabalhou com ecotoxicologia e contaminação aquática, utilizando a fisiologia animal para avaliação de ambientes contaminados. Seus interesses são a ecologia e o gerenciamento de áreas contaminadas.

Reinaldo Lorandi

Geólogo, doutor em Solos e Professor Associado 3. Mestre em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo (ESALQ 1982) e doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo (ESALQ 1986). Possui experiência na área de Engenharia Civil e Ciências Ambientais, com ênfase em Cartografia Geológico Geotécnica e Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: geologia de engenharia, cartografia temática, engenharia urbana, planejamento regional. Participa como docente permanente (orientação), junto ao PPG-Ciências Ambientais (UFSCar, Campus de São Carlos) Interesses de investigação: geologia de engenharia e ambiental.

José Augusto Di Lollo

Professor da Universidade Estadual UNESP da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (2010). Engenheiro Geológico, doutor em Engenharia Civil, docente em Engenharia Geológica, especialista em Geoprocessamento e pós-doutorado em Engenharia Urbana. Tem experiência nas áreas de Geotecnia, Geociências e Engenharia Urbana, atuando principalmente nos seguintes temas: caracterização ambiental, erosão, mapeamento geotécnico e geoambiental, águas subterrâneas e análise de riscos naturais.

Luiz Eduardo Moschini

Graduado em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário de Araraquara (2003), mestre em Ecologia e Recursos Naturais (2005) e doutor em Ecologia e Recursos Naturais (2008), pela Universidade Federal de São Carlos. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de São Carlos. Atua nos seguintes temas: planejamento ambiental, ecologia da paisagem, sistemas de informações geográficas (SIG), conservação da biodiversidade e gestão ambiental. Docente do programa de pós-graduação em Ciências Ambientais e do programa de pós-graduação em Conservação da Fauna.