

**ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS UNIDADES
AQUÍFERAS NO MUNICÍPIO DE JAÚ - SP****SUSCEPTIBILITY ANALYSIS TO CONTAMINATION OF THE AQUIFER UNITS IN
THE JAÚ - SP MUNICIPALITY**

Bruna Stefane Rodrigues Coelho¹
Gabriele Luiza Cordeiro Pereira²
Ana Paula Pereira Carvalho³
Ana Claudia Pereira Carvalho⁴
Dayana Almeida⁵
Diego Peruchi Trevisan⁶
Luiz Eduardo Moschini⁷

Submetido: 19/01/2021 / Aprovado: 26/11/2021 / Publicado: 03/12/2021.

Resumo

O presente trabalho tem como área de estudo o município de Jaú, localizado no estado de São Paulo, onde se encontram os aquíferos Bauru, Guarani e o Serra Geral, este último o mais significativo na área. A metodologia envolveu a aplicação do Índice de Susceptibilidade (IS) com o objetivo de avaliar as áreas mais susceptíveis à contaminação de aquíferos no município. O que difere este índice dos demais é a utilização de dados referentes ao uso e cobertura do solo, sendo um atributo fundamental para a área de estudo, a qual possui grandes extensões de cultivo agrícola, especificamente cana-de-açúcar. Nos resultados, foi possível identificar a importância desse atributo e sua relevância para a classificação de susceptibilidade dos aquíferos à contaminação e, quando associado com os outros atributos ambientais (declividade, recarga líquida, unidades aquíferas e profundidade do nível da água) utilizados no cálculo do IS, mostrou-se determinante para a classificação da área. Por meio do cálculo do índice, obteve-se uma classificação de alto risco em 57,61% da área territorial do município. O método utilizado para o cálculo da susceptibilidade à contaminação dos aquíferos mostrou-se eficiente e condizente para adequada gestão ambiental do município.

Palavras-chave: Índice de Suscetibilidade. Contaminação. Unidades Aquíferas. Recursos Hídricos. SIG.

¹ Graduanda do Curso de Gestão e Análise Ambiental da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - *Campus* de São Carlos. E-mail: bruna.srcoelho@gmail.com

² Graduanda do Curso de Gestão e Análise Ambiental da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - *Campus* de São Carlos. E-mail: gabrielepereira@estudante.ufscar.br

³ Doutoranda em Ciências Ambientais na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - *Campus* de São Carlos. E-mail: appc.engambiental@gmail.com

⁴ Doutoranda em Ciências Ambientais na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - *Campus* de São Carlos. E-mail: anaclaudiaengamb@gmail.com

⁵ Doutora em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - *Campus* de São Carlos. E-mail: almeida.dds@gmail.com

⁶ Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - *Campus* de São Carlos. E-mail: diego.peruchi@gmail.com

⁷ Doutor em Ecologia e Recursos Naturais e Professor Associado da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - *Campus* de São Carlos. E-mail: lemoschini@ufscar.br



Abstract

The present study area is the municipality of Jaú, located in the state of São Paulo, where the Bauru, Guarani and Serra Geral aquifers are found, the latter being the most significant in the area. The methodology involved the application of the Susceptibility Index (SI) in order to evaluate the areas most susceptible to contamination of aquifers in the municipality. What differs this index from the others is the use of data regarding the land use and land cover, being a fundamental attribute for the study area, which has large extensions of agricultural cultivation, specifically sugarcane. In the results, it was possible to identify the importance of this attribute and its relevance for the classification of susceptibility of aquifers to contamination and, when associated with the other environmental attributes (slope, liquid recharge, aquifer units and depth of water level) used in the calculation of IS, proved to be determinant for the classification of the area. By calculating the index, we obtained a classification of high risk in 57.61% of the territorial area of the municipality. The method used to calculate the susceptibility to contamination of aquifers proved to be efficient and suitable for adequate environmental management of the municipality.

Keywords: Susceptibility Index. Contamination. Aquifers Units. Water resources. GIS.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente mais da metade da população mundial reside em áreas urbanas (54%) e estudos estimam que em 2050, 66% da população mundial habitará em áreas urbanas (ONU, 2015). Um dos maiores desafios, associados com o crescimento e velocidade das mudanças das paisagens urbanas, será a de fornecer água. Com o aumento da densidade populacional, a água adicional para o abastecimento da população deve ser organizada a partir de fontes situadas fora dos limites geográficos das cidades e em aquíferos (LUNDQVIST et al., 2003; MAZZUCO et al., 2018).

Com a pressão na disponibilidade hídrica superficial e o uso acentuado das captações subterrâneas para abastecimento, cresce o risco de contaminação das unidades aquíferas, desta forma, se faz necessário integrar as intervenções antrópicas com os atributos naturais para avaliar o potencial de contaminação de aquíferos (COSTA et al., 2020).

As águas superficiais, como rios, lagos e reservatórios, normalmente são vistas como as principais fontes de abastecimento para os mais diversos usos humanos, porém, menos de 3% de toda a água doce do mundo está na superfície, sendo que mais de 97% encontra-se no subsolo (REBOUÇAS, 2006; PINTO-COELHO et al., 2014). Dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007) retratam que 55% dos distritos brasileiros são abastecidos por águas subterrâneas.

Aquíferos são reservatórios de águas subterrâneas, sendo definidos como unidades rochosas aptas a armazenar água, além de sua exploração ser economicamente rentável, desempenham importante papel social, servindo de abastecimento para a população ou até mesmo como irrigação de lavouras. Atualmente, há um grande crescimento na utilização das águas subterrâneas, principalmente nos países subdesenvolvidos, que encontram nessas reservas um meio barato e viável para suprir sua demanda de abastecimento (TEIXEIRA et al., 2007; CETESB, 2015).

O uso das águas dos aquíferos é uma prática mundialmente difundida, sendo observado em muitos países do Oriente Médio, como Índia, China, Japão, em países da Europa (principalmente Itália e Países Baixos) como também nas Américas (como Estados Unidos e Chile). No Brasil, podemos destacar as regiões Nordeste e Sudeste, em destaque o estado de São Paulo, como sendo as que mais utilizam (PINTO-COELHO et al., 2014).



Por conta do crescente uso das águas subterrâneas, há um aumento na preocupação de preservação destas águas. Neste sentido, destaca-se o Programa Hidrológico Internacional (PHI), órgão pertencente à UNESCO, que assumiu a conservação dessas águas como algo prioritário, tendo como objetivo a recuperação e o incentivo ao uso sustentável das mesmas (UNESCO-PHI, 2011; UNESCO-PHI, 2021).

Para Palmier (2006), o uso das águas de aquíferos depende de características próprias das formações geológicas, como por exemplo o perfil geológico e litológico da região, e também da permeabilidade das rochas que compõem estas formações, o que permite que a precipitação percole até as zonas saturadas. A capacidade de armazenamento de um aquífero depende da extensão e espessura da camada de rochas componentes, sendo que as mesmas devem ser permeáveis para permitir a percolação (BATISTA, 2017).

Vianna (1995) descreve que as atividades antrópicas vêm causando danos aos reservatórios subterrâneos, gerando inúmeras fontes de contaminação, e essa se dá de forma qualitativa e quantitativa. O autor ainda relata que a crescente preocupação com as águas vem forçando as autoridades a apresentarem propostas de conservação e também de conscientização social. De acordo com Ribeiro et al., (2011), a grande exploração dos aquíferos, juntamente com a ocupação irregular em áreas de recarga, põe em risco a qualidade natural das águas subterrâneas, citando como exemplo “a exploração mineral e a expansão da cana-de-açúcar, que expõe preocupação no que diz respeito à preservação do meio ambiente subterrâneo”.

Os usos mais comuns das águas subterrâneas, de acordo com Zanatta e Coitinho (2002), são para abastecimento urbano. Além disso, contribuem para o abastecimento rural, sendo importante para irrigação e dessedentação dos animais; uso industrial, ao qual se destina para aproveitamento de energia geotérmica; turismo e lazer, sendo esta última destinada para fins terapêuticos e fonte de águas termais. No entanto, observa-se que as águas superficiais se encontram contaminadas em grande parte dos municípios (DENIZMAN, 2018). Associado a isso, o número de poços clandestinos é superior aos cadastrados, sendo desconhecido os atuais números referentes à captação e uso das águas subterrâneas (HIRATA et al., 2019).

Os aquíferos apresentam grau de susceptibilidade à contaminação que se baseiam em suas propriedades físicas, além de sua sensibilidade a impactos naturais e antrópicos, descreve Guiguer e Kohnke (2002). Os autores ainda alegam que a susceptibilidade é baseada no contexto de que os aquíferos apresentam certo grau de proteção às contaminações, por conta de suas características físicas, o que significa que alguns aquíferos são mais vulneráveis que outros.

Para Ribeiro et al. (2011), as metodologias de avaliação da susceptibilidade servem como uma “ferramenta de auxílio às propostas de proteção das águas subterrâneas, associadas a atividades de gestão dos recursos hídricos e de planejamento e ordenamento territorial”. Na literatura há várias metodologias utilizadas para avaliar a suscetibilidade de aquíferos, como o método DRASTIC de Aller et al., (1987), o método GOD, desenvolvido por Foster e Hirata (1988), o método DRASTIC Pesticida utilizado por Bevilacqua (2015), Método de Índice de Suscetibilidade (IS), utilizado por Condeça e Chambel (2015) e Borba et al., (2016), dentre outros.

Um dos métodos mais conhecidos é o Índice de Susceptibilidade (IS), desenvolvido por Ribeiro (2000). Este índice consiste em um método paramétrico utilizado para avaliar a vulnerabilidade vertical específica das águas subterrâneas quanto à poluição ocasionada principalmente por atividades da agricultura, como o uso de fertilizantes e pesticidas que interferem consideravelmente na qualidade da água subterrânea. Este método trata-se de em uma modificação do método DRASTIC, que inclui o uso e cobertura do solo na análise, no entanto, elimina o impacto da zona vadosa e a condutividade hidráulica (GHOUILI et al., 2021).

A metodologia IS se destaca pela sua fácil aplicação, levando em conta cinco parâmetros, os quais recebem pesos diferentes entre si, sendo este o método adotado no presente trabalho.



A escolha deste método se deu ao fato da acessibilidade aos atributos e a facilidade de aplicação. Além disso, o mesmo leva em consideração o uso e cobertura do solo, um atributo de grande importância ao município de Jaú, que apresenta 65,55% de sua área ocupada por cultivo de monocultura, especificamente por cana-de-açúcar. A prática da agricultura intensiva, com a utilização de agrotóxicos, tem potencial em causar impactos negativos nos recursos naturais, particularmente a contaminação da água dos aquíferos. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a susceptibilidade das unidades aquíferas do município de Jaú - SP, por meio do método de Índice de Susceptibilidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O município de Jaú encontra-se na região central do estado de São Paulo, a 296 km da capital, entre as coordenadas UTM e 7510010-7550010 Sul ; 740010-770010 Oeste, à 522 metros de altitude, numa área de aproximadamente 688 km², incluso na mesorregião de Bauru (BERNARDI FILHO, 2005; IBGE, 2019).

A área urbana do município constitui 82 km² de seu território. O município é um importante polo de desenvolvimento industrial e agrícola, sendo a produção de cana-de-açúcar uma importante fonte de renda da cidade, além do setor calçadista (IBGE, 2019).

De acordo com a classificação de Köppen, a região de Jaú encontra-se em clima mesotérmico, conhecido como Tropical de Altitude, caracterizado por um verão chuvoso e inverno seco. De novembro a março a precipitação média é de 150 mm ou mais, enquanto de abril a outubro a precipitação média decresce para 50 mm. As temperaturas médias da região variam de 21 a 23°C, sendo que janeiro apresenta as médias máximas entre 29 e 32°C, e julho apresenta as médias mínimas de 11 a 13°C (SARDINHA et al., 2012).

O município de Jaú é banhado pelo rio Tietê e pertence a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 13), que abrange a Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré, ao qual está inserido o município. A UGRHI 13 é gerenciada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré (CBH-TJ), apresentando uma área total de 11.672 km², abrangendo sub-bacias as bacias dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, além de áreas que são drenadas diretamente pelo Rio Tietê (CBH-TJ, 2016).

Nessa região, o principal aquífero é o Serra Geral, constituído por derrames basálticos e arenitos intertrapeanos, de idade jurássica-cretácea (CORDANI e VANDOROS, 1967). Lastoria et al., (2006) relata que a formação Serra Geral é a mais explorada da Bacia do Paraná. O Aquífero Serra Geral é uma unidade fraturada, ao qual dependerá da precipitação sobre os solos basálticos para a sua recarga, apresentando profundidade de poucos metros até 2.000 metros e é descrito como uma unidade que apresenta inter-relação com outros aquíferos (CETESB, 2015).

Quanto à geologia local, a região é caracterizada com a presença de rochas de sedimento clástico, do grupo São Bento, rochas do grupo Bauru, Formação Itaqueri e depósitos correlatos (CBH-TJ, 2016). Sua geomorfologia é caracterizada como pertencendo à Província Geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista e das Cuestas Basálticas (CBH-TJ, 2016). A pedologia do município apresenta maior predominância de Latossolos Vermelhos, com textura argilosa ou muito argilosa, os quais representam altos valores de óxido de ferro, sendo esse tipo de solo o mais utilizado na agricultura (EMBRAPA, 2019).

No município de Jaú (Figura 1), estão localizadas três unidades aquíferas: Bauru, Guarani e Serra Geral, com base nos dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 1989).



O Aquífero Serra Geral apresenta ocorrência descontínua, sendo o de maior ocorrência no município.

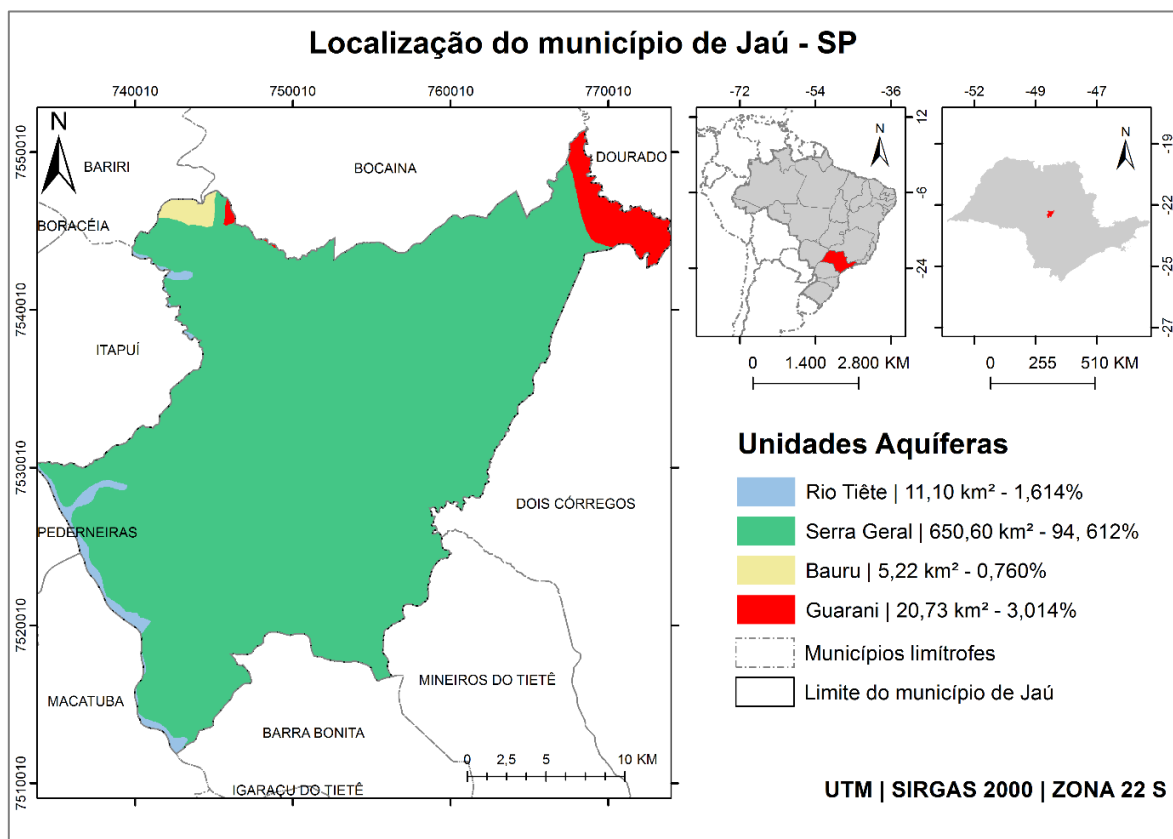


Figura 1. Localização do município de Jaú e das unidades aquíferas.

2.2 Metodologia

É fundamental avaliar precisamente o nível de vulnerabilidade nos corpos hídricos, pois apoia adequadamente os gestores responsáveis pelas ações em regiões hidrográficas (RIBEIRO, et al. 2017). A avaliação da vulnerabilidade de águas subterrâneas pode ser feita por meio de métodos de índice, estatísticos e de processo como descrito por Focazio et al., (2002). Neste trabalho, definiu-se utilizar o método IS sendo um método de índice que adota ponderações ou classificação numérica aos diversos planos de informação dos meios físico e antrópico para definir os níveis de vulnerabilidade à contaminação.

Para a avaliação da suscetibilidade dos aquíferos do município de Jaú, foi utilizado o método IS, que foi desenvolvido por Ribeiro (2000), e consiste em uma adaptação do índice de vulnerabilidade DRASTIC, desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA), relatado por Aller et al., (1987), ao qual de acordo com Guiguer e Kohnke (2002), é um método desenvolvido para padronizar a avaliação de vulnerabilidade de aquíferos frente a eventos de poluição.

O IS tem por objetivo avaliar a vulnerabilidade de aquíferos, que se dá por meio da soma ponderada de vários parâmetros (CONDEÇA e CHAMBEL, 2015). Os parâmetros de avaliação do método IS são cinco: (1) Profundidade da zona não saturada (P); (2) Recarga Líquida (RL); (3)

Unidades Aquíferas (UA); (4) Declive do terreno (D); (5) Uso e Cobertura do Solo (UC) (Tabela 1). O método do IS foi calculado a partir da soma ponderada dos cinco parâmetros descritos anteriormente. As etapas realizadas para a confecção da carta de susceptibilidade à contaminação dos aquíferos estão apresentadas na Figura 2.

Tabela 1. Identificação e descrição dos atributos do Índice de Susceptibilidade (IS) de aquíferos.

Atributo	Descrição	Fonte	Escala
Uso e Cobertura do Solo	Classes de uso e cobertura atribuídas por meio da classificação visual	Trevisan et al., (2018)	1:50.000
Profundidade do Nível D'água	Nível estático dos poços cadastrados	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) (http://siagasweb.cprm.gov.br)	1:50.000
Declividade	Classes de declividade, por meio do Modelo Digital de Elevação, classificada em cinco classes	Vertex Alaska	1:50.000
Pedologia	Classificação da ordem e subordem das unidades pedológicas	Rossi (2017)	1:50.000
Unidades Aquíferas	Descrição e classificação das unidades aquíferas	CPRM (1989)	1:50.000



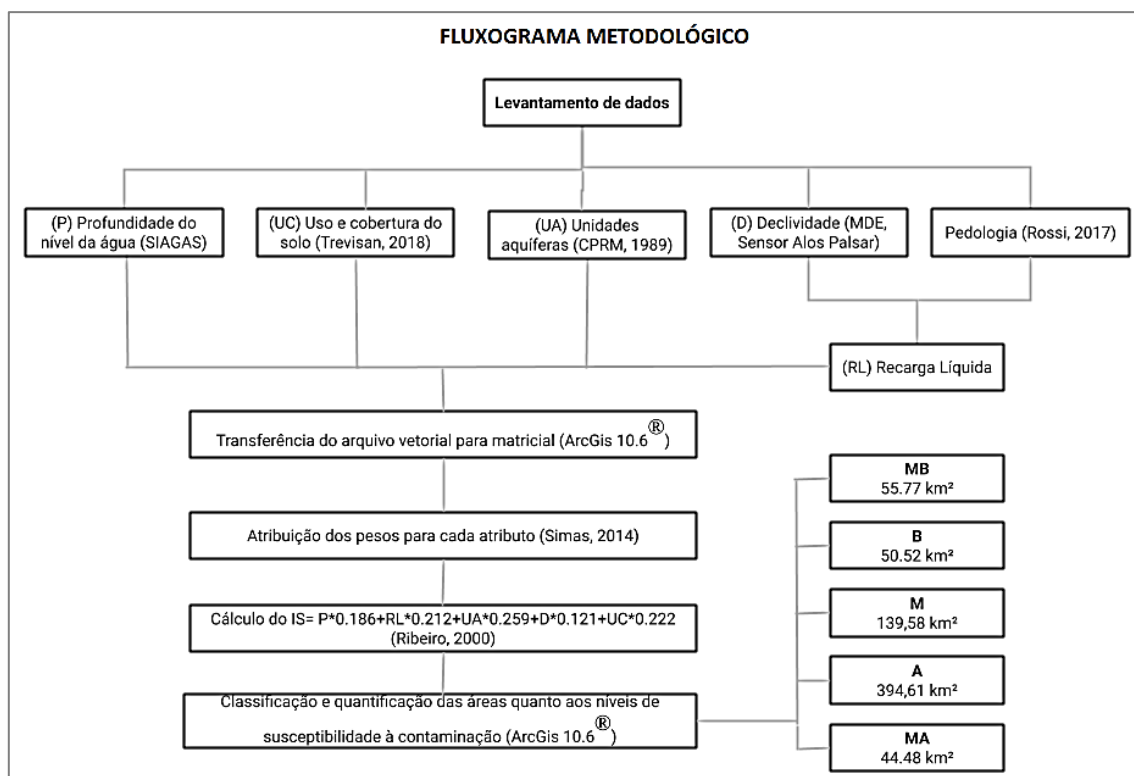


Figura 2. Fluxograma metodológico para aplicação do Índice de Suscetibilidade (IS) de aquíferos. Legenda: MB (Muito Baixa), B (Baixa), M (Média), A (Alta) e MA (Muito Alta).

2.2.1 Aquisição da base de dados

Todo o plano de informação foi realizado no software ArcGIS 10.6[®], dentro do sistema de projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) e Datum SIRGAS 2000. A Figura 3 apresenta os planos de informação utilizados para a elaboração da carta de susceptibilidade à contaminação dos aquíferos no município de Jaú.

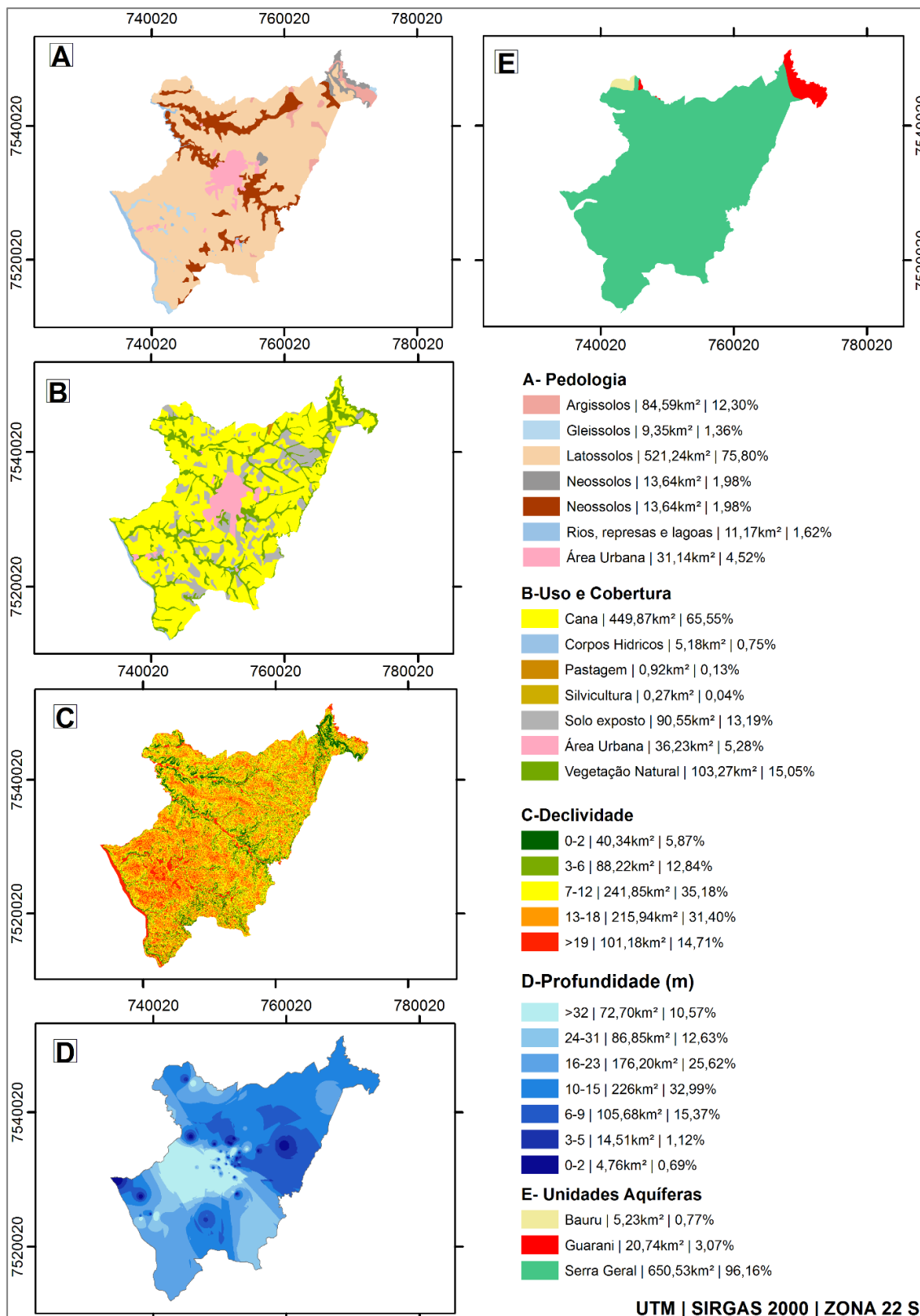


Figura 3. Planos de informação utilizados para a elaboração da carta de susceptibilidade à contaminação dos aquíferos no município de Jaú.

As obtenções das unidades aquíferas utilizadas no presente trabalho foram obtidas pelo portal Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 1989), que disponibiliza a

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.6024>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

caracterização das unidades aquíferas presentes em todo o estado de São Paulo. Para tanto, foi necessário o recorte dos cinco planos de informação utilizados neste trabalho.

Foi utilizado o mapa pedológico atualizado por Rossi (2017), na qual se tem a classificação das unidades pedológicas do estado de São Paulo, que foi recortada para a área de estudo. O mapa de uso e cobertura do solo foi elaborado na escala de 1:50.000 por Trevisan e Moschini (2018), o qual foi realizado por meio da classificação visual das imagens LandSat 8, disponíveis na plataforma do *United States Geological Survey* (USGS).

Para delimitação das classes de declividade foi utilizado o modelo digital de elevação do sensor Alos Palsar, coletado em 01/11/2010 e com resolução espacial de 12,5m. Após a obtenção das imagens realizou-se a correção das possíveis anomalias entre os pixels (*ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Fill*). Para a discriminação das classes e obtenção da declividade utilizou-se a ferramenta *Slope* (*ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*), que teve seus intervalos estabelecidos de acordo com o solicitado pelo método IS.

A profundidade do nível da água foi obtida por meio dos dados disponibilizados pelo Sistemas de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), responsável pelo cadastro e disponibilização dos poços legalizados no Brasil. Após inserção no software, houve a interpolação dos dados referentes ao nível estático de cada poço, o método de interpolação adotado foi o IDW (Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância). A interpolação pela distância inversa ponderada determina os valores da célula por meio de uma combinação linear ponderada de um conjunto de pontos de amostra, que no presente estudo, foram 87 pontos.

A recarga líquida da região foi realizada pela associação dos planos de informações (pedológico e unidades aquíferas) no software ArcGIS 10.6[®] (*Geoprocessing > Intersect*).

2.2.2 Atribuição de pesos

O IS foi calculado a partir da soma ponderada dos cinco parâmetros utilizados (Declividade, Recarga Líquida, Uso e Cobertura do Solo, Unidades Aquíferas e Profundidade do Nível da Água), os quais receberam diferentes pesos de acordo com sua caracterização e influência na susceptibilidade à contaminação das águas subterrâneas. Para a determinação dos pesos, foi utilizada a ponderação adotada por Simas (2014), possuindo alterações para melhor adequação com as características da área de estudo.

Declividade

As cinco classes apresentadas na carta de declividade possuem pesos diferentes devido a capacidade de infiltração e escoamento. Segundo Cordani et al. (2000), declives acentuados favorecem o escoamento superficial direto, desfavorecendo a infiltração. Portanto, nas áreas com declives elevados os pesos foram menores, enquanto as áreas mais planas, por apresentarem alta capacidade de retenção que favorece diretamente a percolação, receberam pesos maiores (Tabela 2).



Tabela 2. Pesos atribuídos a cada classe dos planos de informação para a elaboração da Carta de Susceptibilidade à Contaminação dos Aquíferos.

Declividade		Uso e Cobertura do Solo		Unidades Aquíferas		Profundidade do Nível D'água (m)	
Classes	Peso	Classes	Peso	Classes	Peso	Classes	Peso
<0-2%	5	Cana-de-Açúcar	90	Bauru	4	< 1,5	5
2-6%	4	Corpos Hídricos	50			1,5 - 4,6	5
6-12%	3	Pastagem	50	Serra Geral	2	4,6 - 9,1	4
12-18%	2	Silvicultura	70			9,1 - 15,2	3
		Solo Exposto	100			15,2 - 22,9	2
>18%	1	Urbano	75	Guarani	5	22,9 - 30,5	1
		Vegetação Natural	0			>30,5	1

Recarga Líquida*

Profundidade	Tipo de solo	Textura	Aquífero	Rocha Principal	Peso
PP	GH	Indiscriminada	Serra Geral	Basalto	3
PP	GH	Indiscriminada	Guarani	Arenito	5
MP	LV	Argilosa e muito argilosa	Serra Geral	Basalto	1
MP	LV	Argilosa e muito argilosa	Guarani	Arenito	3
MP	LV	Argilosa e muito argilosa	Bauru	Arenito, lamito	2
MP	LV	Média	Serra Geral	Basalto	2
MP	LV	Argilosa	Serra Geral	Basalto	2
MP	LV	Argilosa	Guarani	Arenito	3
MP	LVA	Média	Bauru	Arenito, lamito	3
MP	LVA	Média	Serra Geral	Basalto	2
MP	LVA	Média	Guarani	Arenito	4
P e R	NV	Argilosa e muito argilosa	Serra Geral	Basalto	2
P	NV	Argilosa e muito argilosa	Serra Geral	Basalto	2
P e R	NV	Argilosa e muito argilosa	Bauru	Arenito, lamito	3
P e R	NV	Argilosa e muito argilosa	Guarani	Arenito	4
P	AVA	Média, argilosa e média/argilosa	Serra Geral	Basalto	2
P	AVA	Média e média/argilosa	Serra Geral	Basalto	2
P e MP	AVA	Média/argilosa, arenosa/argilosa e arenosa/média	Serra Geral	Basalto	2
P e MP	AVA	Média/argilosa, arenosa/argilosa e arenosa/média	Guarani	Arenito	3
R	NL	Arenosa e média	Serra Geral	Basalto	3
R	NL	Arenosa e média	Guarani	Arenito	5
MP	NQ	Arenosa	Serra Geral	Basalto	2
MP	NQ	Arenosa	Guarani	Arenito	4
AU e Rios, Represas e Lagoas		-	Serra Geral	Basalto	0

* R - Raso; PP - Pouco Profundo; P - Profundo; MP - Muito Profundo; GH - Gleissolos Háplicos; LV - Latossolos Vermelhos; LVA - Latossolos Vermelhos-Amarelos; NV -Nitossolos Vermelhos; AVA - Argissolo Vermelho- Amarelos; NL - Neossolos Litólicos; NQ - Neossolos Quartzarênicos; AU - Área Urbana.



Recarga líquida

Como a recarga líquida consistiu na associação da pedologia com as unidades aquíferas, os pesos atribuídos foram a média das atribuições dadas a cinco características: (1) Textura do solo, (2) Rocha principal, (3) Tipo de solo e (4) Profundidade do solo.

A textura e o tipo de solo interagem diretamente na capacidade de permeabilidade e infiltração da água proveniente da precipitação no solo, que possuem efeitos diretos sobre a recarga dos aquíferos (RIBEIRO e MENDES, 2010). Segundo Cordani et al. (2000), solos argilosos ou muito argilosos, apesar de possuírem alta porosidade, são praticamente impermeáveis, portanto, foram atribuídas às classes de solos argilosos e muito argilosos baixos pesos, enquanto solos arenosos e médios, que possuem maior capacidade de permeabilidade e infiltração, os pesos foram maiores, devido à susceptibilidade de percolação de águas contaminadas (Tabela 2).

Conforme determinado por Rossi (2017), as espessuras dos solos são classificadas nas seguintes categorias: solos rasos com espessura inferior a 50 cm, solos poucos profundos entre 50 a 100 cm, profundos 100 a 200 cm e solos muito profundos com espessura igual ou superior à 200 cm. Nas profundidades elevadas há maior probabilidade de ocorrer depuração por parte do solo de possíveis poluentes percolados (RIBEIRO e MENDES, 2010), portanto, os solos com maiores profundidades tiveram baixos pesos atribuídos, enquanto que os solos com espessuras menores, devido à ausência da distância vertical, que favorece a depuração, o peso atribuído foi maior (Tabela 2).

As rochas predominantes também foram consideradas, sendo identificadas na área de estudo a predominância de três tipos principais de rochas: Basalto, Arenito e Arenito Lamito. Considerando que quanto mais permeável for a rocha maior serão as chances de susceptibilidade à contaminação, ao Basalto foi atribuído pesos menores, ao Arenito Lamito peso intermediário e ao Arenito peso elevado (Tabela 2).

Uso e cobertura do solo

Os pesos atribuídos às classes identificadas de uso e cobertura do solo variam de acordo com sua influência na permeabilidade e atividades possíveis de aumentar a susceptibilidade à contaminação das águas subterrâneas.

A vegetação natural recebeu peso 0 devido à ausência de ações humanas interferentes que possam causar danos ou alterar o fluxo normal de percolação, mantendo a integridade dos aquíferos. Áreas urbanas, solos expostos e áreas de cultivos como silvicultura e cana-de-açúcar foram classificados com pesos maiores devido à alteração existente no fluxo normal (Tabela 2).

Segundo Simas (2014), às áreas urbanas alteram as taxas de percolação, devido às estruturas criadas, por exemplo, áreas asfaltadas induzem ao aumento do escoamento superficial, interferindo de maneira direta na infiltração existente na área, além de possuir principais fontes potenciais de contaminação, como armazenamento, manuseio e descarte inadequado de resíduos (CETESB, 2015). Atividades agropecuárias também obtiveram grande pontuação devido ao uso de agrotóxicos e fertilizantes, fontes potenciais de poluição. O maior peso foi atribuído ao solo exposto, devido à inexistência de barreiras de proteção (Tabela 2).

Unidades aquíferas

Na área de estudo, foram identificados três diferentes tipos de unidades aquíferas: Aquífero Bauru, Serra Geral e Guarani. O aquífero Bauru constitui-se essencialmente por arenitos, arenitos



argilosos e siltitos com ou sem cimentação carbonática, caracterizando o aquífero como uma unidade hidrológica sedimentar (CETESB, 2015).

O aquífero Serra Geral, segundo o Relatório das Águas Subterrâneas (CETESB, 2015), é uma unidade hidrológica fraturada e descontínua, constituída por basaltos. Sua recarga é realizada por meio da precipitação pluvial em zonas fraturadas expostas. Devido às suas características físico-químicas, a taxa de percolação é extremamente baixa, o que permite-lhe atribuir baixo peso na classificação dos aquíferos por não possuir grandes influências no processo de percolação.

O aquífero Guarani é granular e homogêneo, podendo ocorrer livremente ou confinado. Em sua composição encontram-se arenitos de granulação média a fina, arenitos eólicos com grande grau de esfericidade (CETESB, 2015). Devido à sua importância e composição propícia às altas taxas de percolação, este aquífero recebeu maior peso dentre os três aquíferos.

Profundidade do nível d'água

Por meio dos dados obtidos sobre os poços cadastrados na região, obteve-se o nível estático da água em cada poço. Este parâmetro influencia diretamente na distância que um possível contaminante teria que percorrer até alcançar o aquífero e seu contato com o meio geológico acima da unidade.

Poços que apresentaram maior distância vertical, ou seja, profundidade, foram classificados como de baixo peso, enquanto que as menores distâncias tiveram maiores pesos atribuídos, por apresentarem menor tempo em contato com o meio geológico da região (Tabela 2).

2.2.2 Carta de susceptibilidade à contaminação

Para a elaboração da álgebra de mapas, foi necessário transformar o formato dos arquivos, de vetoriais para matriciais, por meio das ferramentas (*ArcToolbox > Conversion Tools > To Raster > Polygon to Raster*).

Após a conversão, os atributos existentes em cada plano de informação foram reclassificados (*ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*) para que os pesos fossem atribuídos. Em seguida, por meio da ferramenta *Weight Sum* foi realizada a sobreposição dos planos de informações (*ArcToolbox > Overlay > Weight Sum*). Cada parâmetro teve atribuído seu peso para o cálculo do índice IS, conforme proposto por Ribeiro (2000), (Tabela 3).

Tabela 3. Peso dos parâmetros para o cálculo do Índice de Susceptibilidade.

Parâmetro	UA	UC	R	D	P
Fator de ponderação	0,259	0,222	0,212	0,121	0,186
IS = P*0,186 + R*0,212 + UA*0,259 + D*0,121 + UC*0,222					

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Carta de Susceptibilidade à Contaminação dos Aquíferos (CSCA) foi elaborada com base no método IS, vale ressaltar que este método permite obter uma avaliação relativa quanto a vulnerabilidade dos aquíferos, pois por meio dele se consegue verificar os locais onde os contaminantes tendem a fluir verticalmente até atingir o lençol freático, mas não considera o fluxo dos poluentes em águas subterrâneas, porque o método IS não possibilita definir o caminho que os poluentes percorrerá no sistema hidrogeológico, desse modo, essa característica do método pode



ser considerada como uma desvantagem (GHOULI et al., 2021). Porém não inviabiliza a sua utilização, quando usado para uma análise preliminar pois indica eficazmente as potenciais áreas que podem ser contaminadas.

A classificação da CSCA foi definida em cinco classes: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta (Figura 4). A Tabela 4 apresenta as áreas em km² e percentuais correspondentes a cada classe.

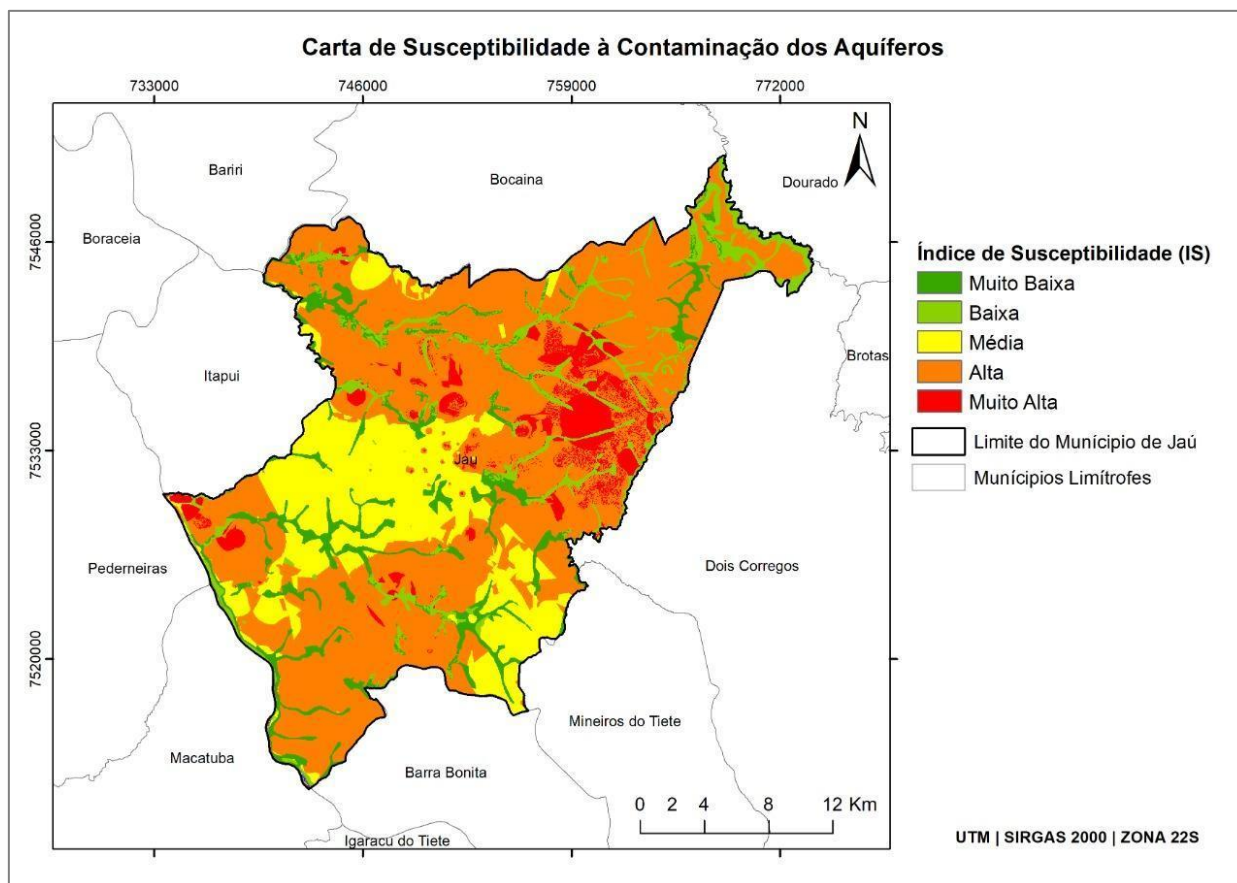


Figura 4. Carta de susceptibilidade à contaminação dos aquíferos do município de Jaú.

Tabela 4. Área (km² e %) das classes de susceptibilidade à contaminação dos aquíferos no município de Jaú (SP).

Classe de susceptibilidade	Área (km ²)	Área (%)
Muito Baixa (MB)	55,72	8,14
Baixa (B)	50,52	7,38
Média (M)	139,58	20,38
Alta (A)	394,62	57,61
Muito Alta (MA)	44,48	6,49

- Muito Baixa e Baixa: As áreas com menor índice de susceptibilidade são as que possuem vegetação natural, aquelas que margeiam os corpos hídricos. Ribeiro et al. (2017) em trabalho desenvolvido no Equador também encontraram na área com menor susceptibilidade, áreas de floresta e vegetação nativa, além dos corpos hídricos.

Esta classe de susceptibilidade foi identificada em todas as unidades aquíferas da região. As baixas susceptibilidades também estão associadas às propriedades dos solos, em certos casos, o

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.6024>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

solo pode atuar como uma barreira de proteção contra a poluição, porém isto poderá ocorrer em função das características do solo e do contaminante (ABDELWAHEB et al., 2019). Desta forma, estas regiões apresentam extensa profundidade de Nitossolos Vermelho, argiloso e muito argiloso, o que causa maior dificuldade de percolação de possíveis contaminantes, que podem estar localizados próximos aos corpos hídricos.

Outro fator também que pode contribuir nas áreas de baixa e muito baixa susceptibilidade é a declividade. Na porção sudoeste da região de estudo, observa-se que não apresenta relevante cobertura por vegetação nativa. No entanto, há pequenas porções com alta declividade, podendo influenciar em uma menor infiltração de água e por consequência, menor peso na susceptibilidade. Ayed et al. (2017) e Denizman (2018) também destacam a importância da declividade na aplicação do índice, sendo quanto menor a declividade maior a susceptibilidade, uma vez que pode aumentar a infiltração de contaminantes.

Dentre os fatores para a classificação dessa categoria, o que mais se destacou foi a ocupação e cobertura do solo, que condicionam áreas com pouca vegetação natural. As áreas com Muito Baixa e Baixa susceptibilidade à contaminação dos aquíferos correspondem a 106,24 km², sendo apenas 15,52% da área total do município. Em comparação com outros trabalhos, o município de Jaú apresentou uma das maiores porcentagens de área nessas categorias, sendo encontrado na literatura valores variando entre 9 % (GHOULI et al., 2021) e 12,1 % (AYED, 2017).

- Média: As áreas com média susceptibilidade abrangem majoritariamente áreas de cultivo de cana-de-açúcar, silvicultura e parcela da área urbana. Ghouili et al. (2021) também encontraram média susceptibilidade nos mesmos tipos de uso e cobertura da terra, dando destaque para as áreas agrícolas irrigadas. As ocorrências destas áreas se concentraram ao sul e oeste do município, predominantemente sobre o aquífero Serra Geral e sobre a composição de Latossolo Vermelho com textura argilosa. Costa et al. (2019) relatam também que as unidades que apresentaram em sua área de estudo menor potencialidade de recarga e maior possibilidade de escoamento superficial foram as unidades de solo residual da Formação Serra Geral.

Possuem o nível dos aquíferos em grande profundidade, moderada importância frente à recarga dos aquíferos e declives mais acentuados, diminuindo as chances de contaminação, mas não as tornando isentas. Esta classe corresponde a 20,38% da área total do município, sendo 139,58 km². Em comparação com outras regiões onde o mesmo índice foi aplicado, o município de Jaú apresenta porcentagens menores na categoria de média susceptibilidade. Em algumas regiões da África são encontrados valores em torno de 41 % (GHOULI et al., 2021), 46 % (AYED et al., 2017), 61.5 % na Oceania (SHIRAZI et al., 2013) e 24% da Ásia (HUAN et al., 2016).

- Alta: Os fatores que condicionam as áreas com alta susceptibilidade são caracterizados principalmente por possuírem nível de água do aquífero pouco profundo, ocupação do solo predominantemente por plantação de cana-de-açúcar e abrangendo quatro unidades pedológicas: Latossolo Vermelho, Nitossolo Vermelho, Neossolos e Latossolo Vermelho-Amarelo. São áreas com elevada importância para a recarga dos aquíferos e abrange todas as três unidades aquíferas, inclusive o Guarani, caracterizado pela grande importância devido sua abrangência e área de recarga na região. Esta classe apresenta maior predominância no município, ocorrendo em 57,61% (394,62km²) da área de estudo. Outros trabalhos também indicam o predomínio dessa categoria, com 41,9 % (AYED et al. 2021) e 50 % (incluindo a classe muito alta) (GHOULI et al., 2021)

- Muito Alta: Como observado, a predominância de áreas classificadas como Muito Alta, localizam-se na porção leste do município, caracterizado também pela ocorrência de plantações de cana-de-açúcar e grandes fragmentos de solos expostos, que reduzem a proteção destas áreas. A área norte do município é caracterizada por possuir uma extensa área de recarga de grande importância. Os níveis do lençol freático nestas regiões encontram-se em baixas profundidades,



desse modo, quanto menor a profundidade do aquífero, maior será a suscetibilidade às alterações nas águas subterrâneas em decorrência de ações antrópicas (LUNARDI et al., 2021), o que associado com a ausência de vegetação (solo exposto) e cultivo de cana-de-açúcar, onde pode ocorrer o uso de agrotóxicos e fertilizantes, torna a região com alta suscetibilidade à contaminação dos aquíferos. Esta classe corresponde a 6,49% da área total do município.

Uma vez que o IS se diferencia por integrar o parâmetro do uso da terra na sua análise, observa-se que as atividades agrícolas se destacam principalmente nas categorias média, alta e muito alta. Esses resultados são condizentes com a validação do índice pelo trabalho de Stigter et al. (2006) no quesito da avaliação do impacto provindo da agricultura. Nesse sentido, uma das maiores atenções é relacionado à contaminação provinda dos agrotóxicos e fertilizantes. Segundo a FAO (2014) grande parte das áreas agrícolas que não apresentam boas práticas na agricultura, apresentam grande risco de contaminação. Na região de Jaú, uma das fontes de fertilização das áreas de cana é o uso da vinhaça, a qual é um subproduto da produção sucroalcooleira. Alguns estudos destacam o impacto da vinhaça nas águas subterrâneas por meio da lixiviação (SILVA et al., 2007), ultrapassando valores de referência para a potabilidade da água (LOFRANO et al., 2016). Deve-se ressaltar que esse impacto está diretamente relacionado com outros fatores, como as propriedades físicas e químicas do solo (HUAN et al., 2016), profundidade do lençol freático e a quantidade de aplicação (MEURER et al., 2000).

Dessa maneira, a utilização do IS apresenta-se altamente recomendada para regiões como grande predomínio das atividades agrossilvipastoris, esses mesmos resultados foram citados em trabalhos desenvolvidos no Iran (ASADI et al., 2017), na Tunísia (AYED et al., 2017) e na Malásia (SHIRAZI et al., 2013).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método aplicado para obtenção da suscetibilidade à contaminação dos aquíferos mostra-se satisfatório e condizente para a adequada gestão ambiental no município de Jaú, pois possibilitou a identificação de áreas que apresentam alta suscetibilidade à contaminação e que necessitam de controle e manejos adequados das atividades exercidas sobre estes locais, principalmente a atividade predominante no município: cultivo da cana-de-açúcar. Neste sentido, recomenda-se o monitoramento dos solos, recuperação de áreas expostas e uso racional de agrotóxicos e fertilizantes.

Além da usualidade para o auxílio do ordenamento territorial, os resultados obtidos também poderão ser utilizados para auxiliar na delimitação de áreas adequadas para a implementação de poços de monitoramento, poços de abastecimento e alocação de construções que podem vir a ser potenciais poluidores, dentre outras atividades, de forma, a contribuir com o manejo adequado das atividades exercidas no município, assegurando assim, a qualidade ambiental e social conciliada ao desenvolvimento.

Como sugestões para futuros trabalhos, indicamos a necessidade de identificação das principais áreas de recarga do aquífero do município e a proteção destas, além da realização de um plano de monitoramento da qualidade da água subterrânea, considerando a suscetibilidade à contaminação do aquífero e também áreas com maior vulnerabilidade ambiental.

5. REFERÊNCIAS

ABDELWAHEB, M.; JEBALI, K.; DHAOUADI, H.; DRIDI-DHAOUADI, S. Adsorption of nitrate, phosphate, nickel and lead on soils: Risk of groundwater contamination. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.179, p. 182-187, 2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.6024>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R. J.; HACKETT G. **DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings**, Chigado, NWWA/EPA. 1987.

ASADI, P.; ATAIE-ASHTIANI, B.; BEHESHTI, A. **Vulnerability assessment of urban groundwater resources to nitrate: the case study of Mashhad, Iran**. Environmental Earth Sciences, vol. 76, nº 1, 30 dez. 2016. DOI 10.1007/s12665-016-6357-z. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-016-6357-z>

AYED, B.; JMAL, I.; SAHAL, S.; BEN BRAHIM, F.; BOUGHARIOU, E.; MOKADEM, N.; BOURI, S.. **Comparison between an intrinsic and a specific vulnerability method using a GIS tool: case of the Smar aquifer in Maritime Djefara (southeastern Tunisia)**. Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua, vol. 66, nº 3, p. 186–198, 2 mar. 2017. DOI 10.2166/aqua.2017.081. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2166/aqua.2017.081>.

BATISTA, M. O. **O Abastecimento de Água na Cidade de Vierópolis: A Importância dos Aquíferos Fissurais**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Campina Grande. Cajazeiras.

BERNARDI FILHO, N. A. **Subsídios Bibliográficos para a Utilização de Lixão Desativado para a Disposição Final de Resíduos Sólidos do Setor Calçadista do Município de Jaú- SP**. 2005. 94p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

BEVILACQUA, R. H. **Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas na área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani na Sub-bacia do rio Jacaré-Guaçu, UGRHI 13- Tietê-Jacaré, com a aplicação do método DRASTIC (Normal e Pesticidas)**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

BORBA, W. F.; da SILVA, J. L. S.; ALLASIA, D. G.; da ROSA, C. N.; FAVARETTO, J. R.; RIBEIRO, L. F. T. Geoprocessamento Aplicado à Determinação do Índice de Susceptibilidade das Captações por Poços Tubulares do Sistema Aquífero Serra Geral em Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 39-3, p. 78-88, 2016.

BRASIL, Ministério da Agricultura AGEITEC - **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Disponível em:< http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html > Acesso em: 05 de jun. de 2019.

CBH-TJ (Comitê das Bacias Hidrográficas do Tietê-Jacaré). **Elaboração do Plano de Bacias da UGRHI 13-Relatório I**. 2016.



CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo. 2015.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa de unidades aquíferas**. 1:50.000. 1989.

CONDEÇA, J.; CHAMBEL, A. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação no sistema aquífero Évora-Montemor-Cuba. In: **X SEMINÁRIO SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 2015, Évora. p. 53.

CORDANI, U. G; VANDOROS, P. Basaltics rocks of the Paraná Basin: Problems in Brazilian gondwana geology. Plate LXXVIII, CNPq, **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, v. 21, 1967.

CORDANI, U. G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; BASEI, M. A. S. Crustal evolution of the South American platform. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro, p. 19-40. 2000.

COSTA, C. W.; LORANDI, R.; LOLLO, J. A.; SANTOS, V. S. Potential for aquifer contamination of anthropogenic activity in the recharge area of the Guarani Aquifer System, southeast of Brazil. **Groundwater for Sustainable Development**, v.8, p. 10-23, 2019.

COSTA, C. W.; LORANDI, R.; DI LOLLO, J. A.; SERIKAWA, V. de S. Combinação de atributos naturais e antrópicos na definição do potencial de contaminação de aquíferos, sudeste do Brasil. **Sociedade & Natureza**, v.32, p. 657- 673, 2020.

DENIZMAN, C. **Land use changes and groundwater quality in Florida**. Applied Water Science, vol. 8, nº 5, 6 ago. 2018. DOI 10.1007/s13201-018-0776-9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-018-0776-9>

FAO. **The State of Food and Agriculture**. Rome: E-Isbn 978-92-5-108537-0, 2014.

FOCAZIO, M. J.; REILLY, T. E.; RUPERT, M.G.; HELSEL, D. R. 2002. Assessing ground-water vulnerability to contamination: providing scientifically defensible information for decision makers, **USGS report c. 1224 p. 33**.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988. 81p.

GHOULI, N. Groundwater vulnerability mapping using the Susceptibility Index (SI) method: Case study of Takelsa aquifer, Northeastern Tunisia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 173, n. September 2020, p. 104035, 2021.

GUIGUER, N.; KONHKE, N. W. Métodos para a determinação da vulnerabilidade de aquíferos. In: **XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 2002, Florianópolis, p.1.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.6024>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. Instituto Geociências, São Paulo: Universidade Federal de São Paulo, 2019. Disponível em https://igc.usp.br/igc_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf

HUAN, Huan; WANG, Jinsheng; ZHAI, Yuanzheng; XI, Beidou; LI, Juan; LI, Mingxiao. **Quantitative evaluation of specific vulnerability to nitrate for groundwater resource protection based on process-based simulation model**. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 550, p. 768-784, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.144>.

IBGE. **Área da unidade territorial: Área territorial brasileira**. Rio de Janeiro. 2019.

LASTORIA, G.; SINELLI, O.; CHANG, H. K.; HUTCHEON, I.; PARANHOS FILHO, A. C.; GASTMANS, D. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 20, p. 139-150, 2006.

LOFRANO, R. C. Z. et al. **Revisão sobre a toxicidade e impactos ambientais relacionados à vinhaça, efluente da indústria sucroalcooleira**. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, n. 32, p. 27-34, dez., 2016.

LUNDQVIST, J.; APPASAMY, P.; NELLIYAT, P. Dimensions and approaches for Third World city water security. **Biological Sciences**, v.358, n.1440, p.1985–1996, 2003. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/14728793>>. Acesso em: 3 jun. 2021

LUNARDI, Samuel et al. Contamination susceptibility of Serra Geral Aquifer at municipal scale in Brazil. **Social Sciences & Humanities Open**, v. 4, n. 1, p. 100144, 2021.

MAZZUCO, G. G.; LIONI, A. B.; TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Avaliação da efetividade das políticas públicas voltadas para a proteção das áreas de captação de água: estudo de caso no município de São Carlos-SP. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v.32, p. 154-161, 2018.

MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A. **Poluentes do solo edo ambiente**. In: Meurer, E. J. (ed.). Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Genesis, 2000, v.1, p.151-168.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: Cartilha MMA. 2007.

ONU. United Nations. **World urbanization prospects the 2014 revision**. 2015, 514p. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wup/>>. Acesso em: 24 jun. 2021

PALMIER, L. R. Mananciais Subterrâneos: Aspectos Quantitativos. In: HELLER, L.; PÁDUA, W. L. de. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859p, p.275-299.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.6024>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

PINTO-COELHO, R. M HEAVENS, K.; **Crise nas águas: educação, ciência e governança juntas evitando conflitos gerados pela escassez e pela perda da qualidade das águas.** Belo Horizonte: Editora Recóleo, 2014. 238p.

REBOUÇAS, A. C. Águas Subterrâneas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006, 768p., p. 111-144.

RIBEIRO, L. F. **Development of a susceptibility index to be used in agricultural diffuse pollution.** International report: ERSHA- CVRM. 2000. 9p.

RIBEIRO, L.; MENDES, M. P. **Recursos hídricos subterrâneos.** Instituto superior técnico. 2010. 42p.

RIBEIRO, D. M.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V. Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos na sub-bacia do Rio Siriri, Sergipe. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 91-102. 2011.

RIBEIRO, L.; PINDO, J. C.; DOMINGUEZ-GRANDA, L. Assessment of groundwater vulnerability in the Daule aquifer, Ecuador, using the susceptibility index method. **Science of the Total Environment**, v. 574, p. 1674–1683, 2017.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado.** São Paulo: Instituto Florestal, v.1, 118p, 2017.

SARDINHA, D. S.; BONOTTO, D. M.; GODOY, L. H.; CONCEIÇÃO, F. T.; MORENO, M. M. T. Denucação Química e Implicações na Composição das Águas Superficiais da Bacia do Rio Jaú (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Curitiba, v. 13, n. 3, jul-set, p. 337-349, 2012.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL- CPRM. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS.** São Paulo, 2019. Disponível em: < <http://siagasweb.cprm.gov.br> >. Acesso em: 20 jul. 2019.

SHIRAZI, S. M.; IMRAN, H. M.; AKIB, S.; YUSOP, Zulkifli; HARUN, Z. B. **Groundwater vulnerability assessment in the Melaka State of Malaysia using DRASTIC and GIS techniques.** Environmental Earth Sciences, vol. 70, nº 5, p. 2293–2304, 10 abr. 2013. DOI 10.1007/s12665-013-2360-9.

SILVA, M. A. S. da *et al.* **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático.** Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, Pb, v. 11, n. 1, p. 108-114, set. 2007.

SIMAS, L. S. B. **Índices de Vulnerabilidade à Contaminação de Massas de Água Subterrânea: aplicação à delimitação da Rede Ecológica Nacional no Concelho de Almada (Portugal).** 2014. 71 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Aplicada) - Universidade de Lisboa.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v19i1.6024>

Vol. 19, N. 1 (2022)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

STIGTER, T.Y., RIBEIRO, L., CARVALHO DILL, A.M.M., **Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal.** *Hydrogeol.* 2006. J. 14 (1–2), 79–99.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, C. M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra.** São Paulo: COMPANHIA EDITORA NACIONAL, 2007. 624p.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Análise da Conectividade dos Fragmentos na Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 1-19, 2018.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO-PHI. 2011. **IX Meeting of National Committees and Focal Points of the International Hydrological Program of UNESCO for Latin America and the Caribbean (IHP-LAC)**, Dominican Republic, 28-29 June 2011 REPORT. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244867_eng?posInSet=2&queryId=753b23d9-3dea-4fb4-854d-58442c182a49>. Acesso em: 19 de jan. 2021.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO-PHI. 2021. **Hidrologia (PHI)**. Disponível em: <<https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia>>. Acesso em: 19 de jun. 2021.

VIANNA, P. C. G. **Contribuição ao Conhecimento do Sistema Aquífero Serra Geral no Oeste Paranaense Para Fins de Abastecimento Público e Outros.** 1995. 93p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina.

ZANATTA, L. C.; COITINHO, J. B. L. Utilização de Poços Profundos no Aquífero Guarani para Abastecimento Público em Santa Catarina. In: **XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.** São Paulo. 2002.

