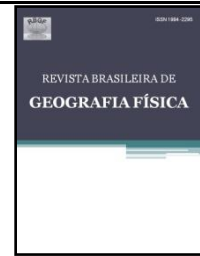




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge



Zoneamento Geoambiental para o uso sustentável de aquíferos no município de Pirassununga-SP

Josmila Fernandes da Silva¹, Isadora Haddad Ruiz², João Vitor Roque Guerrero³, Luiz Eduardo Moschini⁴

¹ Bacharel em Gestão e Análise Ambiental, Campus São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luiz, Km 235 – SP-310, s/n, CEP 13565-905, São Carlos, São Paulo. josmilafdasilva@gmail.com (autor correspondente). ² Graduanda em Gestão e Análise Ambiental, Campus São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luiz, Km 235 – SP-310, s/n, CEP 13565-905, São Carlos, São Paulo. isadora.rhaddad@gmail.com. ³ Doutorando em Ciências Ambientais, Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Campus São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luiz, Km 235 – SP-310, s/n, CEP 13565-905, São Carlos, São Paulo. jvguerrero2@gmail.com ⁴ Professor Dr. Adjunto, Departamento de Ciências Ambientais, Campus São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luiz, Km 235 – SP-310, s/n, CEP 13565-905, São Carlos, São Paulo (16) 3306-6527 lemoschini@ufscar.br.

Artigo recebido em 22/02/2019 e aceito em 16/06/2019

RESUMO

O avanço das atividades antrópicas no processo de ocupação do ambiente físico desencadeia impactos negativos na qualidade e disponibilidade de recursos naturais. Entre os recursos impactados estão os depósitos de águas subterrâneas que apresentam suscetibilidade a diferentes fontes de contaminação, natural ou antrópica, de acordo com características do meio, que apresenta capacidade de potencializar ou reduzir esse processo. Dentre as atividades com maior potencial a contaminação das unidades aquíferas está o cultivo de monocultura de cana-de-açúcar e áreas agrícolas com solo exposto, ambas identificadas no município de Pirassununga-SP. Neste sentido o objetivo do presente trabalho foi elaborar uma proposta preliminar de Zoneamento Geoambiental que visa o uso sustentável dos aquíferos em Pirassununga-SP, de modo a conservar a qualidade e disponibilidade das águas subterrâneas. Com base na análise do meio físico e antrópico da área e estudo, foi possível obter a caracterização geoambiental e interpretar as potencialidades à contaminação das unidades aquíferas presentes em Pirassununga-SP. Os resultados foram obtidos elaborando-se a cartografia geoambiental da área, e posterior aplicação das metodologias de Soma Ponderada e Lógica Fuzzy que relacionam os fatores geoambiental, no qual zonas com diferentes potenciais à contaminação foram geradas. Em sua maioria a área urbana, localizada na região central do município, demonstrou potencial baixo e médio a contaminação, enquanto zonas de alto e muito alto potencial encontram-se na área rural. A partir disso, o zoneamento demonstrou-se uma ferramenta potencial básica para o desenvolvimento de ações de gestores públicos, visando um planejamento territorial mais sustentável.

Palavras-chave: cartografia geoambiental, potencial de contaminação, sig, zoneamento.

Geoenvironmental Zoning for sustainable use of aquifers in the municipality Pirassununga-SP

ABSTRACT

The advancement of anthropogenic Activities in the occupation process of the physical environment triggers negative impacts on the quality and availability of natural resources. Among the impacted resources are groundwater deposits that present susceptibility to different sources of contamination, natural or anthropic, according to characteristics of the physical environment, which present capacity to enhance or reduce this process. Among the activities with the greatest potential the contamination of the aquifers units are contamination of the aquifers units is the cultivation of sugar cane monoculture and agricultural areas with exposed soil, both identified in the municipality of Pirassununga-SP. Hence the objective of this work was to draw up a preliminary proposal of geoenvironmental zoning aimed at the sustainable use of aquifers in Pirassununga-SP, in order to preserve the quality and availability of groundwater. Through the analysis of the physical and anthropic environment of the municipality, it was possible to obtain the characterization of the study area and interpret as potentialities contamination of the units aquifers presents in Pirassununga-SP. The results were obtained from the drawing up the geoenvironmental cartography of the area, and subsequent application of the methodology of Weighted Sum and Fuzzy Logic that related the geoenvironmental factors, in which, areas with different potentials to the contamination generated. Mostly the urban area, located in the central region of the municipality demonstrated low and medium potential for contamination and, how much the high and very high potential areas are in the rural area. From this, the zoning demonstrated a basic potential tool for the development of actions of public managers, aiming at a more sustainable territorial planning

Keywords: geoenvironmental cartography, contamination potential, gis, zoning.

Introdução

A água é amplamente reconhecida como o recurso natural essencial para a manutenção da qualidade dos ecossistemas terrestres, incluindo a sobrevivência humana (Tundisi, 2014). No entanto, este recurso vem sendo ameaçado diretamente pelas atividades antrópicas, devendo ainda ser continuamente afetado pelas mudanças climáticas antropogênicas (Dellamatrice; Monteiro, 2014).

Os serviços ecossistêmicos prestados pela água, tais como regulação climática, provisão de comida, habitat e água potável para abastecimento humano (Gjorup et al., 2016), controle de erosão e enchentes, dentre outros, reafirmam seu caráter imprescindível para o bem-estar das comunidades ao longo do globo. No entanto, principalmente na região intertropical do planeta, a qualidade da água vem sendo depurada por atividades antrópicas desenvolvidas sem planejamento baseado em metodologias técnico-científicas pouco compromissadas com a sustentabilidade ambiental (Barlow et al., 2018, Ross, 1994).

Entre os ecossistemas aquáticos mais impactados pelo avanço das modificações no ambiente físico estão os aquíferos, recursos primários para a utilização doméstica, agrícola e industrial no mundo todo e que correspondem a reservatórios subterrâneos de água onde suas formações geológicas apresentam como característica a relativa permeabilidade, e a capacidade de armazenar e transmitir água para a utilização humana (Santos e Lorandi, 2017; Iritani e Ezaki, 2009).

Nos últimos anos, a demanda por água subterrânea tem aumentado cada vez mais, tanto para abastecimento público e privado como para o uso na irrigação e na indústria, comprometendo sua qualidade (Villar, 2016). Nos casos onde há contaminação, a qualidade das águas subterrâneas é comprometida pelo descarte inadequado de agentes contaminantes gerados pelas atividades antrópicas (urbana, industrial, agrícola, mineradora), onde os componentes desses resíduos superam a capacidade das camadas do solo e dos aquíferos em amenizar os impactos (Foster et al., 2002).

Levando-se em consideração o aumento global da pressão sobre os recursos hídricos (principalmente os subterrâneos por serem fontes muito utilizadas para abastecimento humano) emerge a necessidade de realizar estudos embasados em critérios técnicos e científicos que permitam planejar a utilização da água de acordo

com as potencialidades e restrições de cada ambiente analisado.

Um instrumento de grande importância para o planejamento e a disposição de diferentes atividades sobre o território é o Zoneamento (Geo)ambiental (ZGA). Tal pode ser caracterizado como um instrumento estratégico de planejamento territorial que permite a inserção da variável ambiental durante vários processos de tomada de decisão por parte dos gestores, direcionando seu foco para o ordenamento do uso racional dos recursos naturais, manutenção da biodiversidade e dos serviços ambientais (IBAMA, 2013; Montañó et al., 2007)

Além disso, o ZGA tem o potencial de subsidiar planos diretores através de informações ambientais do município, as quais permitem maior conhecimento sobre a área em relação a aptidões e restrições quanto ao uso e ocupação da terra, contribuindo para a utilização mais sustentável dos recursos, da paisagem e para uma gestão ambiental municipal mais eficiente (Teixeira; Ribeiro; Mincato, 2018).

Desta forma, Ross (1994) salienta que o zoneamento deve ser baseado nos processos de desenvolvimento que norteiam a ocupação, apropriação do território e uso dos recursos de diferentes áreas.

No que tange à necessidade de planejamento para conservação de recursos hídricos, o município de Pirassununga ganha especial destaque regional, pois está localizado sobre diferentes unidades aquíferas, tais como os Aquíferos Guarani, Tubarão e Serra Geral e o Aquífero Passa-Dois, as quais, de acordo com suas características geoambientais, apresentam potenciais de contaminação diversificados. Parte do consumo de água do município é proveniente de fontes subterrâneas, contribuindo desta forma para a iminente necessidade de realização de estudos que contemplem o planejamento e a gestão sustentável da água.

Nos últimos anos, diversos trabalhos têm utilizado o Zoneamento Geoambiental como um instrumento eficaz de planejamento do território, tais como: Das e Goswami, 2018; Liu, Li e Wang, 2018; Marchiwal et al., 2018; Guerrero et al., 2016; Kreitlow et al., 2014; e Rademann, Trentin, Robaina, 2018; Dias, Trentin, Scotti, 2015; demonstrando a relevância do tema para a academia.

Entretanto, o município de Pirassununga não apresenta planos de ação nem tampouco estudos

técnicos que avaliem o potencial de contaminação de águas subterrâneas, demonstrando o descaso do poder público com as águas subterrâneas que abastecem o município.

A partir das informações citadas, este trabalho teve o objetivo de elaborar um Zoneamento Geoambiental (ZGA), que visa o uso sustentável de aquíferos no município de Pirassununga-SP, a partir da análise da relação entre o atual padrão de ocupação antrópica e as características do meio físico local, a partir da aplicação de técnicas de cartografia geoambiental e sensoriamento remoto.

Espera-se que os materiais produzidos, bem como os pareceres apresentados possam ser utilizados como ferramentas básicas para o desenvolvimento de ações dos gestores públicos

visando um planejamento territorial sustentável, servindo de base para elaboração de diretrizes e ações a serem implementadas no território, através de programas e projetos.

Material e métodos

Caracterização Geoambiental da área de estudo

Fundado no ano de 1822 o município de Pirassununga se encontra na região centro-leste do Estado de São Paulo (Figura 1), compreende uma área de 727.118 km² e situa-se a uma altitude média de 627 metros e distancia-se aproximadamente 212 km da capital estadual, São Paulo.

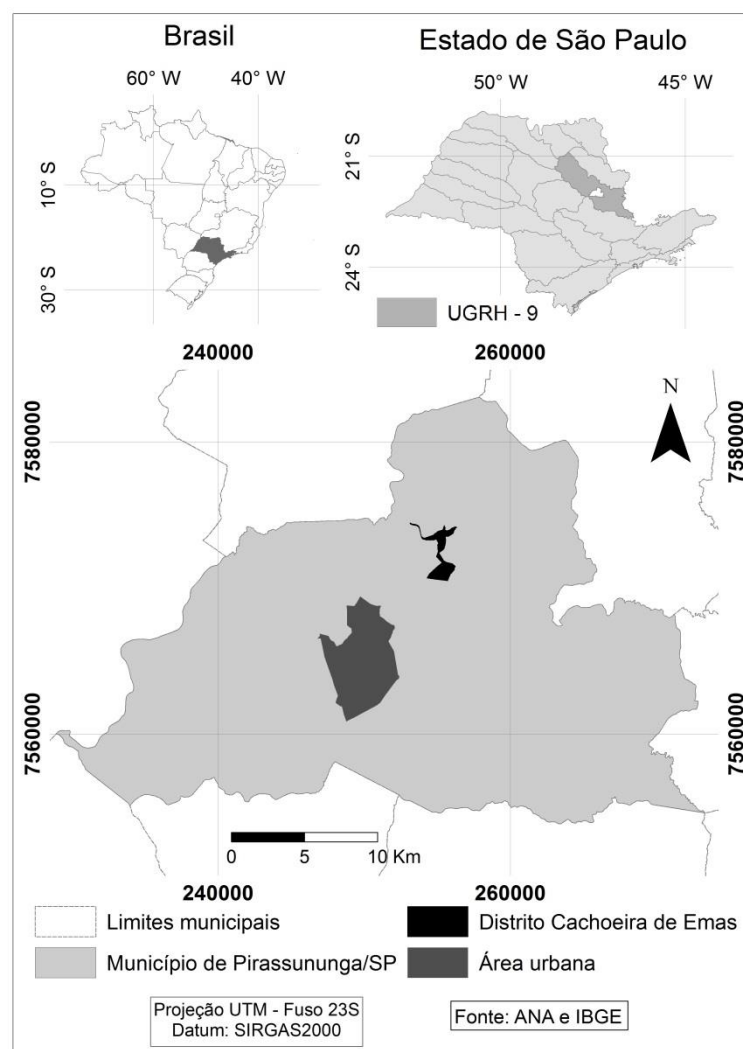


Figura 1. Localização Geográfica do Município de Pirassununga, São Paulo, Brasil

De acordo com os dados mais atualizados no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016), o município abriga uma população de 70.081 habitantes, com densidade demográfica de 96,38 hab./km² residentes na área urbana, rural e no distrito de Cachoeira de Emas. Com o aumento populacional, entre os anos de 2000 e 2010,

Pirassununga elevou sua urbanização de 88,79% para 91,63%, resultando em 3,1 hab./domicílio em média no município (IBGE, 2016).

Ainda de acordo com o IBGE (2016) a economia local baseia-se principalmente nas atividades derivadas do setor sucroalcooleiro, como as lavouras de cana-de-açúcar e as grandes

indústrias que produzem aguardente, atividades essas que demandam grande quantidade de água para sua atuação no município.

Localizado geologicamente sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, Pirassununga integra a Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – UGRH 9 (Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu) e, segundo Zaine (2000) possui geologia compota pelas seguintes formações:

- Aquidauana (Grupo Passa Dois), apresentando siltitos, argilitos, folhelhos, diamictitos, arenitos e ritmitos;
- Formação Corumbataí com argilitos, siltitos, folhelhos arroxeados e marrom avermelhados, com presença de arenitos e leitos carbonáticos;
- Pirambóia (Grupo São Bento) constituída por arenitos, de granulometria fina a média, com intercalações de camadas finas de argilitos e siltitos;
- Serra Geral (Grupo São Bento) com rochas de origem vulcânicas – ígneas – e Serra Geral Intrusivas Básicas com diques e soleiras de diabásio; e
- Unidades Depósitos Aluvionares e Depósitos Colúvio-Aluvionares de origem sedimentar de Depósitos Cenozóicos.

O limite administrativo do município se situa na área de unidades aquíferas do Guarani (granular), Serra Geral Intrusiva (confinado/fissural, Tubarão (granular) e Aquiclude Passa Dois (granular).

De origem sedimentar, o aquífero Tubarão é constituído por siltitos, argilitos, folhelhos, diamictitos, arenitos e ritmitos oriundos da Formação Aquidauana, formada a 250 milhões de anos em ambiente glacial, continental e marinho. Sua profundidade apresenta variações que vão de 800 a 2000 metros abaixo do nível do mar, como ocorre no município de Pirassununga. Além disso, na área de estudo esta unidade aquífera possui confinamento pelo Aquiclude Passa Dois, dificultando sua exploração (Iritani e Ezaki, 2009).

Com relação ao aquífero Guarani, considerado um dos maiores reservatórios de água subterrânea, ocorre sob a Formação Pirambóia proveniente de ambientes desérticos (depósitos de ação eólica) e em algumas regiões apresenta sedimentos arenosos de ambiente fluvial e lacustre (Iritani e Ezaki, 2009). Constituído por arenitos de granulação média, fina que apresentam elevada porosidade, o Guarani apresenta elevada capacidade de armazenar e fornecer grandes volumes de água. No município apresenta pequena parcela de

afloramento, facilitando, assim, o contato de efluentes líquidos com a água subterrânea (Lossardo, 2014).

De acordo com Lossardo (2014) no município de Pirassununga, além de pequena porção de afloramento da unidade Guarani ocorre áreas de afloramento da unidade aquífera Serra Geral Intrusiva (fraturado), contudo para identificação dessas são necessários maiores estudos. A unidade é natural da formação geológica Serra Geral, localmente, formada por rochas ígneas de diabásio, a qual apresenta fissuras resultantes da movimentação da crosta terrestre (Iritani e Ezaki, 2009) e baixa porosidade.

Diferente das unidades anteriores, o Aquiclude Passa Dois difere-se de aquíferos devido sua incapacidade de transmitir água, e apenas armazenar. Situa-se na região central do município sob a formação Corumbataí constituído por folhelhos, siltitos, argilitos, calcários e dolomitos, caracterizando, assim, um aquíclode sedimentar (Iratani e Ezaki, 2009).

A formação vegetacional da área de estudo é composta pelo bioma Cerrado e Mata Atlântica, entretanto o avanço das fronteiras agrícolas vem substituindo a ocupação do solo de áreas naturais para áreas cultivadas. De acordo com Câmara e Caldarelli (2016) o Estado de São Paulo é maior contribuinte nacional na produtividade de cana-de-açúcar, em decorrência da expansão do setor sucroenergético. Entretanto o aumento da produtividade baseia-se na ampliação das áreas cultivadas (expansão territorial) (Câmara e Caldarelli, 2016), intensificando o processo de eliminação da vegetação nativa que atualmente representa para o bioma Cerrado, por exemplo, uma perda de 88% da sua área de ocorrência original em quatro décadas (Rossato, Toniato e Durigan, 2008). Segundo dados do IBGE (2010) a temperatura média anual é de 21,5 °C com oscilação entre a mínima de 13,8 °C e 29,3 °C, com estações chuvosas de outubro a março e clima caracterizado por Köppen como tropical de altitude (Cwa).

Material

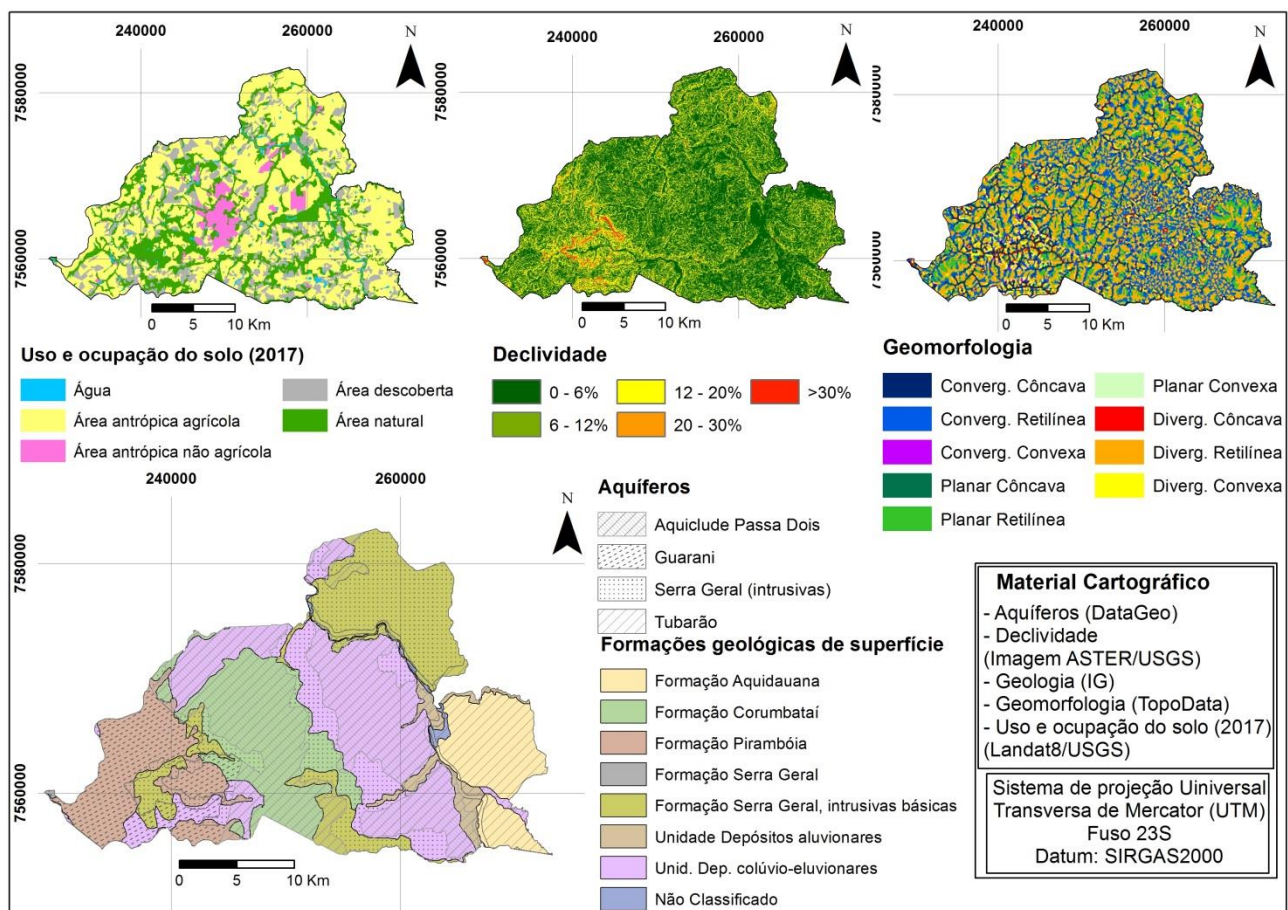
Para caracterização do meio físico foram utilizados materiais cartográficos de fontes primárias, demonstrados na tabela 1.

Os dados primários foram inseridos em um banco de dados georreferenciado com base no sistema de projeção SIRGAS 2000, no sistema de informações geográficas ArcGis 10.5®.

Posteriormente tais dados foram processados gerando os materiais cartográficos demonstrados na Figura 2. O processamento dos dados primários é descritos logo após a Figura 2.

Tabela 1. Material cartográfico e fonte primária de aquisição dos dados com seu respectivo ano de elaboração e obtenção da imagem.

Dados	Fonte	Ano
Imagem de Radar ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)	USGS (United States Geological Survey)	2017
Imagem Satélite LandSat 8 – Sensor OLI (Operational Land Imager)	USGS (United States Geological Survey)	2017
Mapa Geológico	Instituto Geológico de São Paulo	2016
Mapa Unidades Aquíferas	Instituto Geológico de São Paulo	2007
Mapa Formas de Terreno	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)	2008



A carta de declividades, foi elaborada a partir de imagens ASTER de 1 arc/seg., obtidas pelo Serviço Geológico Americano (USGS).
 Figura 2. Materiais cartográficos utilizados para a elaboração da Carta de Zoneamento Geoambiental do município de Pirassununga-SP.

de imagens ASTER de 1 arc/seg., obtidas pelo Serviço Geológico Americano (USGS).

As unidades aquíferas do município de Pirassununga, foram extraídas a partir do arquivo *Shapefile* de Unidades Aquíferas do estado de São Paulo, disponível pelo Instituto de Geologia do estado de São Paulo.

Para a confecção do mapa de uso e ocupação do solo do município, foram utilizadas imagens do

satélite Landsat 8 referente ao ano de 2017

disponibilizadas pelo USGS. A partir dessas imagens realizou-se a composição RGB com as bandas 6, 5 e 4. Logo após, foi possível delimitar visualmente os polígonos, de forma manual, facilitando a identificação das seguintes classes de uso na área de estudo: pastagem, silvicultura, citricultura, cana-de-açúcar, solo exposto, área urbanizada e água.

O mapa geológico utilizado foi apoiado nas informações em formato *shapefile* sobre as unidades básicas de compartimentação do meio físico do estado de São Paulo (na escala 1:75.000), fornecidas pelo Instituto Geológico, vinculado à Secretaria do Meio Ambiente do estado.

O mapa referente à geomorfologia foi produzido a partir das formas de terreno disponibilizadas no Banco de Dados

Geomorfométricos do Brasil (Topo Data) em arquivo *raster*, com escala 1:50.000.

Métodos

Para o desenvolvimento da Carta de Zoneamento Geoambiental, foi necessário realizar uma combinação de dados primários e secundários, assim como a aplicação de procedimentos metodológicos específicos, como mostra a Figura 3.

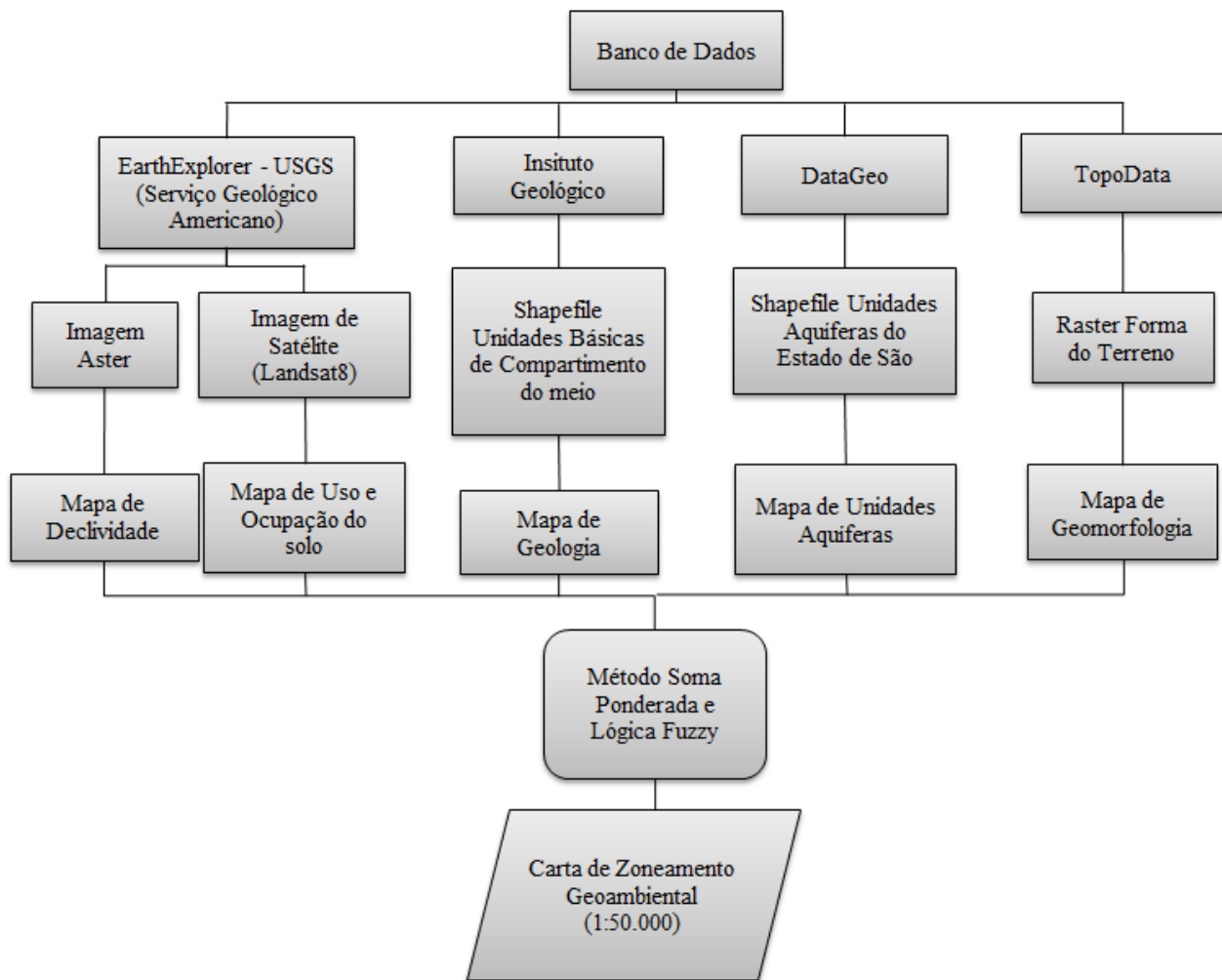


Figura 3. Fluxograma metodológico para obtenção da Carta de Zoneamento Geoambiental

A integração dos dados do meio físico obtidos para a análise do potencial de contaminação e consequentemente obtenção da carta de Zoneamento Geoambiental do município de Pirassununga foi realizada através da utilização de dois métodos principais: Soma Ponderada e Lógica Fuzzy.

O método de Soma Ponderada consiste na delegação de valores a cada classe de atributo analisado, de acordo com sua importância relativa para o objetivo a ser atingido e os dados obtidos (Moreira et al., 2001). Por meio da ferramenta Weighted Sum do software ArcGis 10.5®, aplica-

se o método matemático de soma ponderada, onde os planos de informação são sobrepostos e realiza-se a multiplicação das classes pelo fator de peso atribuído.

Para cada atributo de cada material cartográfico do meio físico foram atribuídos valores que variaram na escala de 1 a 5, sendo os atributos com valor 1 com potencial de contaminação muito baixo e 5 o de potencial muito alto, sendo realizada uma adaptação do trabalho de Tavanti et al. (2009).

Neste sentido, para os atributos relacionados a formações geológicas de superfície foram

atribuídos os valores a partir das características físicas das rochas, principalmente a proporção de areia, que facilita a infiltração. Atribui-se o valor de 5 aos materiais de composição arenosa e mais grosseiros, pois estes possuem maior potencial de infiltração nas rochas, enquanto os materiais argilosos receberam valor 1 (Costa et al., 2015).

O mesmo critério foi adotado nas unidades aquíferas, a partir de sua composição física foram determinados valores, formações de origem vulcânica, com menor porosidade e infiltração recebeu o valor 1, as de origem sedimentar ou com sedimentos constituintes evoluíram na escala até o valor 5 (maior porosidade e infiltração).

As diferenças de valores entre as formações geológicas de superfície e das unidades aquíferas se dá por seu posicionamento e sua estrutura. As formações geológicas de superfície estão mais expostas ao intemperismo, alterando suas características de acordo com o clima local.

As diferenças de valores entre as formações geológicas de superfície e das unidades aquíferas se dá por seu posicionamento e sua estrutura. As formações geológicas de superfície estão mais expostas ao intemperismo, alterando suas características de acordo com o clima local. As unidades aquíferas estão posicionadas em regiões mais profundas (com alguns casos de afloramento), apresentando características e estrutura diferentes da rocha localizada imediatamente acima. Uma caracterização mais específica das formações geológicas de superfície e sua relação estrutural com as unidades aquíferas demandam estudos estratigráficos mais específicos.

Para a declividade e geomorfologia levaram em consideração os efeitos do escoamento superficial que propiciam maior ou menor infiltração. Assim, para as maiores declividades o valor atribuído foi 1, enquanto áreas mais planas, que aumentam o efeito da infiltração (menor declividade), receberam o valor 5. Já a geomorfologia com maior capacidade de propagação de fluxos como as convexas (maior escoamento superficial) recebera o valor 1, enquanto para as formas que concentram fluxos, ou

seja, as côncavas (maior infiltração) foram atribuídas o valor 5.

A atribuição de valores para as classes de uso do solo foi feita estabelecendo critérios de acordo com a relação de cada tipo de uso com seu potencial de contaminação. Apesar das áreas de vegetação nativa facilitarem a infiltração da água até os aquíferos, estas áreas apresentam muito pouco risco quanto à materiais e fluidos possivelmente contaminantes, além de servirem como filtro natural, recebendo assim valor 1.

O mesmo critério citado acima é aplicado às áreas de silvicultura e pastagens, no entanto o a falta de manejo, ou o manejo inadequado pode gerar condições desfavoráveis à qualidade dos aquíferos, recebendo assim o valor 2.

As monoculturas são reconhecidas academicamente pelo uso de defensivos agrícolas que são rapidamente absorvidos para as águas subterrâneas e por seu manejo pouco sustentável, expondo o solo a problemas como erosão e contaminação. Sendo assim, essas culturas na área de estudo receberam valores 3 (Citricultura, por ser uma cultura de ciclo longo) e 4 (Cana-de-açúcar, por ser cultura de ciclo curto).

Por fim, os maiores valores de potencial de contaminação (5) foram atribuídos aos usos relacionados a solo exposto e áreas urbanas. Mesmo apresentando alto grau de impermeabilização do solo, as áreas urbanas promovem fluidos e materiais altamente contaminantes, que entram em contato com o solo por meio de vazamentos, vazios urbanos, áreas degradadas, etc. Já as áreas de solo exposto são regiões altamente vulneráveis por não conterem nenhum tipo de proteção ao solo, sendo geralmente relacionadas à áreas de entre safra de monoculturas agrícolas.

Por meio dessa valoração os dados matriciais de entrada podem ser reclassificados/ponderados dada sua importância e juntos produzir um *raster* de saída. Os valores foram atribuídos levando-se em conta a avaliação integrada e criteriosa por parte de uma equipe multidisciplinar. Os valores empregados a cada atributo são demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores adotados aos atributos

Atributo	Valores				
	1 - Muito Baixo	2 - Baixo	3 - Médio	4 - Alto	5 - Muito Alto
Geologia	Serra Geral e Corumbataí	Pirambóia		Aquidauana	Unidades Depósitos Aluvionares, Depósitos Colúvio-Aluvionares e não classificado
Uso do Solo	Vegetação Nativa e Corpo Hídrico	Pastagem e Silvicultura	Citricultura	Cana-de-açúcar	Solo Exposto Área Urbana
Geomorfologia	Divergente Convexa	Convergente Convexa, Planar Convexa	Planar Retilínea, Convergente Retilínea, Divergente Retilínea	Planar Côncava, Divergente Côncava, Convergente Côncava	Convergente Côncava
Declividades	> 30%	20% a 30%	12% a 20%	6% a 12%	< 6%
Unidades Aquíferas	Aquífero Serra Geral Intrusiva	Aquífero Tubarão		Aquiclude Passa Dois	Aquífero Guarani

O cruzamento das matrizes com os valores propostos na tabela 2 foi realizado através da ferramenta denominada *Weighted Sum* também disponível no ArcGis 10.5. A fim de analisar qual

a importância de cada atributo do meio físico durante os cruzamentos das matrizes foram propostos valores diferentes para cada matriz (Tabela 3).

Tabela 3. Atribuição dos pesos

Uso do Solo	Geologia	Formas de Relevo	Declividades	Unidades Aquíferas
1	10	100	1000	10.000
2	20	200	2000	20.000
3	30	300	3000	30.000
4	40	400	4000	40.000
5	50	500	5000	50.000

A fim de não enviesar a análise com pesos muito diferentes e ainda sim conseguir identificar os atributos em cada cruzamento foi aplicado um peso inverso aos valores propostos ainda na ferramenta de soma ponderada, equalizando os valores em uma base 10.000, como mostra a Tabela 4:

Tabela 4. Atribuição dos pesos para as variáveis utilizadas

Matriz	Valores	Peso
Uso do Solo	x 1	x 10000
Geologia	x 10	x 1000
Geomorfologia	x 100	x 100

Declividades	x 1000	x 10
Unidades Aquíferas	x 10000	x 1

Resultados e discussão

Como resultado desse trabalho foi obtido a Carta de Zoneamento Geoambiental do município de Pirassununga-SP, onde cada zona representa o potencial de contaminação diagnosticado a partir da integração de diversos condicionantes geoambientais, por meio de modelagem em geoprocessamento.

A apresentação dos resultados se dá primeiramente com a descrição dos resultados obtidos por meio da carta de uso do solo, tendo em

vista que o padrão de ocupação tem influência determinante na identificação do potencial de contaminação local.

Por fim, é apresentada a descrição de cada zona geoambiental, bem como suas principais características e proposições de ações que podem mitigar os problemas encontrados.

Uso do solo

A produção da carta de uso do solo do município de Pirassununga para o ano de 2017 permitiu analisar a dinâmica de ocupação territorial, identificando as principais forças motrizes que alteram a paisagem natural e impactam direta ou indiretamente no potencial de contaminação do local. Foi identificado que a principal atividade antrópica do município é voltada à produção agrícola, principalmente no plantio de cana-de-açúcar que ocupa cerca de 37% da área total. Se somarmos as áreas de solo exposto (que em sua maioria são provenientes da entressafra da cana), o total ocupado por essa cultura pode chegar a 54%. Ressalta-se que a cana não é o único cultivo agrícola encontrado, estando presente também a citricultura com uma representatividade de 7%.

A cobertura de vegetação nativa identificada é de 179 km² (25% do total), área considerada pequena que causa preocupação quanto à estabilidade ambiental de diferentes bacias hidrográficas contidas no município, tendo em vista que a vegetação protege os solos de erosão e da infiltração excessiva, além de servirem como filtro natural de possíveis agentes contaminantes (Tambosi et al. 2015).

As demais classes de uso foram: Campos/Pastagens, silvicultura, área urbanizada, e corpos hídricos. A tabela 5 apresenta

proporcionalmente os usos e suas porcentagens de ocupação em relação à área total do município.

Tabela 5. Percentual de uso do solo no município de Pirassununga-SP.

Uso do solo	Percentual
Área urbanizada	4,25%
Cana-de-açúcar	37,48%
Citricultura	7,15%
Pastagem	5,45%
Silvicultura	2,15%
Solo exposto	17,10%
Vegetação	24,66%

Zonas Geoambientais

Aplicando a metodologia proposta, foi possível realizar o cruzamento de cinco atributos do meio físico (Declividade, Geologia, Geomorfologia, Unidades Aquíferas e Uso e Ocupação do Solo) os quais determinaram classes com potencial de contaminação dos aquíferos.

A partir disso, a área de estudo foi compartimentada em cinco unidades homogêneas com classes denominadas de 1 a 5, classificadas em: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto potencial de contaminação.

As cinco unidades homogêneas originaram as zonas (Zona 1, Zona 2, Zona 3, Zona 4 e Zona5, respectivamente) que geraram a carta de Zoneamento Geoambiental. Esta carta consiste na compartimentação do meio físico de acordo com aspectos que potencializam a contaminação dos aquíferos no município de Pirassununga, SP.

As Zonas definidas são descritas a seguir, de acordo com suas características, quantificação e porcentagem representadas em todo município (Figura 4).

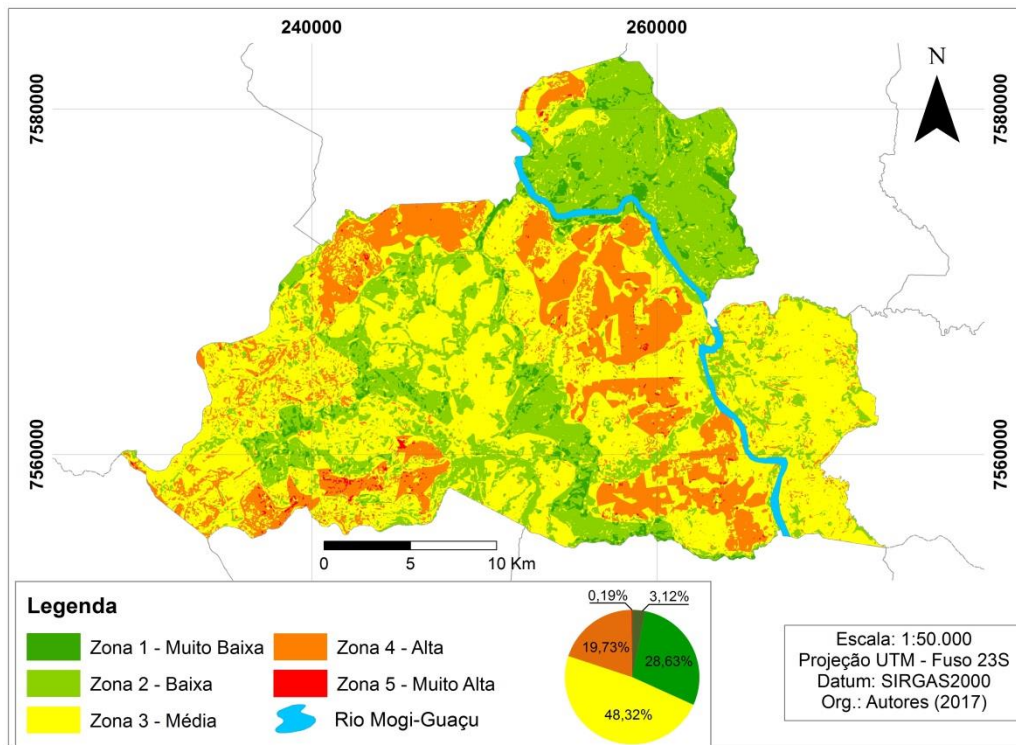


Figura 4. Carta de Zoneamento Geoambiental do município de Pirassununga-SP

Zona 1 – Potencial Muito Baixo

Esta zona apresenta muito baixo potencial de contaminação (cor verde escura na carta), como classificada na carta de zoneamento elaborada, pois possui uma área composta por rochas ígneas e solos argilosos, com baixa porosidade o que a torna impermeável e com menor suscetibilidade a erosão (Guerra, 1999). No entanto, o armazenamento e circulação de água ocorre devido ao sistema de fraturas existente no aquífero. Além disso, a maior parte da área representado pela zona 1 está mais associada a presença de vegetação nativa, o que a torna mais protegida. De acordo com Lima et al. (2013) a vegetação desempenha grande importância para o controle de erosão, aporte de sedimentos e sobre parâmetros físico-químicos da água. Junto a isso, é determinante para direção dos fluxos preferenciais da água no contexto de uma bacia, tanto nos processos superficiais (fluxo vertical) precipitação e evapotranspiração, assim como no escoamento para os corpos d'água superficial e escoamento subterrâneo (fluxo longitudinal) (Tucci, Clarke, 1997; Rodrigues et al., 2015).

A composição geológica dessa zona é caracterizada pelas Formações Corumbataí e Serra Geral na unidade aquífera Serra Geral, ocupando o percentual de 3,12% da área total do município. Sobre a área predomina-se a geomorfologia Convergente Retilínea, Convergente Convexa, Divergente Retilínea e Divergente Convexa com declividade muito forte (>30%), que propicia

maior escoamento superficial e reduz a infiltração no solo. O uso e cobertura do solo estão associados à vegetação nativa.

Constituída por altas declividades e com elevado potencial de preservação, esta zona é caracterizada como “muito baixo” quanto à propensão a contaminação, contudo deve ser preservada de forma a não alterar a situação ambiental atual. As áreas de vegetação nativa devem ser preservadas, pois as áreas são caracterizadas por alta declividade o que a torna suscetível a outros processos, como a erosão, caso ocorra à retirada da vegetação. Esse processo contribui para a contaminação das unidades, devido à perda de solo e a falta de proteção pela vegetação, assim, a vegetação deve ser conservada e recuperada, atividades agrícolas não devem ser implementadas, tampouco a ocupação urbana.

Zona 2 – Potencial Baixo

Esta zona perfaz 28,64% (cor verde clara na carta) da área total do município, e caracteriza-se por estar sobre o Aquiclude Passa Dois e em regiões de fronteiras com o aquífero Serra Geral e Tubarão, os quais são formados por sedimentos finos, pouco porosos e com baixa permeabilidade. O aquífero Tubarão é caracterizado como sedimentar, no entanto, é confinado pelo Aquiclude o que o torna de baixa produtividade. A zona 2 é formada por unidades geológicas da Formação de Serra Geral, Corumbataí e poucas áreas sobre a Formação Pirambóia e Unidades de Depósitos

Aluvionares, os quais apresentam sedimentos finos e permeabilidade baixa.

Além disso, a área apresenta expressivo potencial de escoamento com declividade entre muito média a alta (20% a 30%) e formas de relevo que vão desde Convergente Retilínea e Convergente Convexa a Divergente Retilínea e Divergente Convexa. Nota-se que o tipo de uso do solo mais recorrente nesta zona é o cultivo de cana-de-açúcar. Desta forma, a zona 2 apresenta-se como “Baixa” em relação a propensão a contaminação.

Devido ao seu baixo potencial de contaminação favorecido pelas formações geológicas e a média/alta declividade que constituem essa zona, ela torna-se apta para o desenvolvimento de diferentes culturas que devem ser implementadas com auxílio de técnicas de modo a não comprometer a qualidade das águas subterrâneas e ocasionar outros processos como erosão. Entre as técnicas a serem aplicadas estão às curvas de nível que reduzem a velocidade do escoamento superficial, minimiza processos erosivos e favorece o desenvolvimento de culturas como a cana-de-açúcar em terrenos com média/alta declividade. Deste modo, esta zona pode ser ocupada por diferentes atividades, entretanto devem-se levar em consideração seus aspectos físicos para não desencadear outros impactos.

Zona 3 – Potencial Médio

Esta zona, considerada como de médio potencial de contaminação (cor amarela na carta), compreende a maior porcentagem da área de estudo, com 48,32%. Encontra-se sobre os aquíferos Serra Geral, Guarani, com predominância do Aquicludo Passa Dois e Tubarão, sendo em sua maioria caracterizados como aquíferos sedimentar, exceto o Serra Geral.

Quanto às formações geológicas destacam-se a Formação Corumbataí, Pirambóia, Aquidauana e em pequenas porções nos Depósitos Aluvionares, compostos por sedimentos com textura arenosa e permeabilidade de baixa a média. A declividade varia de muito fraca a média (até 20%), com formas de relevo Planar Côncava e Divergente Retilínea, o que resulta em pouco escoamento.

Com relação ao uso e cobertura, nota-se a ocorrência de áreas com solo exposto, cultivo de cana, citricultura, vegetação nativa (pequenas porções) e área urbanizada, sendo esta de maior predominância.

Nesta zona pode-se implementar atividades agrícolas e a expansão urbana, pela sua baixa declividade e forma do relevo mais plana. Contudo o desenvolvimento das atividades deve

ocorrer a partir de práticas conservacionistas que melhorem a qualidade ambiental a fim de evitar danos futuros para as unidades aquíferas.

Por abranger a maior parte do município apresenta uma pequena área sob o aquífero Guarani, o qual é apontado como de alta produtividade e, com isso, necessita de cuidados quanto aos tipos de uso para essa localidade. Em especial nesta área sobre o aquífero Guarani, usos como o de solo exposto e cultivo de culturas devem ser evitados, pois estes apresentam alta propensão à contaminação.

Zona 4 – Potencial Alto

A zona 4 abrange 19,73% da área do município e representa um alto potencial de contaminação (cor laranja na carta). Localiza-se sob sobre Aquicludo Passa Dois e o Aquífero Guarani, os quais possuem sedimentos arenosos com média permeabilidade. Possui formação geológica associada aos Depósitos colúvio-aluvionares cujos sedimentos são de texturas mais arenosas com permeabilidade média, alta capacidade de percolação de fluidos e poucas áreas sobre a Formação Pirambóia.

A declividade dessa zona caracteriza-se como muito fraco a fraco (<6% e 6% a 12%) com formas de relevo que vão desde convergente retilínea a divergente retilínea, o que resulta em baixo escoamento e maior acumulação. Quanto ao uso e ocupação do solo, a área está mais associada ao cultivo de cana-de-açúcar e solo exposto, o que acaba influenciando na contaminação da água subterrânea. Portanto, a zona 4 é considerada como de “alto” potencial de contaminação.

Sobre essa zona é recomendado cuidados quanto ao cultivo de cana-de-açúcar e solo exposto, pois esses elevam os riscos de contaminação da área, associado às baixas declividades que acumulam e contribuem para a percolação de possíveis contaminantes. Nessa zona é indicado à recuperação de áreas naturais com a implementação de vegetação nativa, ou cobertura do solo exposto por gramíneas ou cultura temporária que evite a exposição do solo.

Zona 5 - Potencial Muito Alto

Classificada como “muito alta”, em relação ao potencial de contaminação (cor vermelha na carta), devido à predominância sobre o Aquífero Guarani, essa zona deve ser utilizada levando em conta o aspecto que essa unidade aquífera é de potencial produtividade, apresenta alta permeabilidade, o que condiciona a percolação e a infiltração, associado às baixas declividades.

Além disso, o uso deve ser substituído por vegetação nativa, pois solo o exposto e áreas

urbanizadas podem potencializar a contaminação do aquífero. Vale ressaltar que a área apresenta baixa porcentagem, referente a totalidade do município, e ocorre fragmentada na porção oeste, e em pequenas porções sobre o Aquífero Passa-Dois.

De modo geral, esta zona representa a menor área do município com 0,19%. Com a geologia caracterizada por Depósitos Colúvio-Aluvionares, com sedimentos de texturas arenosas, a geomorfologia, ou seja, as formas do terreno são Convergente Côncava e Convergente Retilínea, Planar Retilínea e Divergente Retilínea com declividades média e baixa (6 a 12%). As unidades aquíferas correspondentes são Guarani e o Aquífero Passa Dois, os quais apresentam maior permeabilidade; e o uso do solo sobre essa área é, em sua maioria, solo exposto e com pequenas áreas urbanizadas.

Sendo assim, sobre nessa zona deve-se evitar qualquer tipo de uso que não seja vegetação nativa, pois a propensão a contaminação nesta é muito alta. O desenvolvimento de atividades distintas a essa pode ocasionar a contaminação do aquífero que está entre os mais importantes do mundo, devido a sua alta capacidade de armazenamento de água, sua localização estratégica e sua dimensão., Sua má gestão e uso podem comprometer a qualidade desse recurso hídrico.

Conclusões

Os resultados obtidos a partir da geração da carta de Zoneamento Geoambiental proposta para o município de Pirassununga permitiram determinar espacialmente zonas geoambientais de acordo com o potencial de contaminação dos aquíferos presentes na área. Notou-se, então, que, apesar de práticas pouco conservacionistas de uso do solo no município, na maior parte de seu território são encontradas zonas de potencial muito baixo (3,12 % do total), baixo (28,64 % do total) e médio (48,32%), ressaltando que os a combinação espacial entre os condicionantes do meio físico é naturalmente favorável à proteção das unidades aquíferas.

Entretanto, as zonas de Potencial Alto e Muito alto, representam a expressiva quantia de 19,92 % do total da área municipal, necessitando de atenção especial. Os gestores municipais devem dar prioridade à estas localidades, tendo em vista que os seus altos potenciais degradadores colocam em risco os ecossistemas de recursos hídricos subterrâneos. Assim, recomendam-se ações que coloquem em prática políticas conservacionistas, visando ordenar minimamente as ações antrópicas

em busca de uma maior sustentabilidade ambiental nestes locais.

Ao utilizarmos a Inferência Fuzzy com auxílio da Soma Ponderada no ArcGis para a geração da carta final, notou-se que esta metodologia é adequada para estudos ambientais que contemplem a vulnerabilidade de aquíferos e o planejamento territorial, já que possibilita integrar em ambiente computacional as características do meio físico e analisar sua relação com as atividades de origem humana ali aplicadas. A partir deste relacionamento, foi possível a determinação das áreas que apresentam maior ou menor potencial a contaminação de aquíferos, facilitando a caracterização dos fatores que influenciam nesse processo.

Pode-se concluir, ainda, que, a metodologia, os conceitos utilizados como apoio, bem como todo material produzido neste estudo se mostraram eficientes, pois tornaram possível uma discussão envolvendo diversas informações, permitindo propor ações e diretrizes para ordenamento da gestão territorial, além da possibilidade de replicação em diversas áreas de estudo.

Desta forma, a Carta de Zoneamento Geoambiental de Pirassununga – SP atua como instrumento na tomada de decisão para alocação de atividades e diferentes usos do solo, visando o uso sustentável dos aquíferos e, assim, promovendo a qualidade e disponibilidades deste em longo prazo.

Cabe ressaltar que a Carta de Zoneamento Geoambiental apresentada através deste trabalho, pode servir como um instrumento que permite orientar ações de gestores públicos ao definir zonas homogêneas de potencial de contaminação. Através desta é possível direcionar os diferentes usos do solo no município a fim de assegurar a qualidade e disponibilidade da água subterrânea nas unidades aquíferas presente na área de estudo, proporcionando auxílio para tomada de decisões.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsas de iniciação científica para Isadora Haddad Ruiz aportada pelo processo 2017/25579-2 e de doutorado para João Vitor Roque Guerrero aportado pelos processos 2016/19202-0 e 2018/02836-2.

Referências

- Câmara, M. R. G., Caldarelli, C. E., 2016. Expansão canavieira e o uso da terra no estado de São Paulo. *Estudos Avançados* 30, 93-116.
- Costa, C. W., Moraes, M. C. P., Caçado, C. J., Guerrero, J. V. R., Marangon, F.; M., Lorandi, R., Lollo, J. A., Moschini, L. E., 2015. Potencial de Contaminação de Aquíferos por Atividades Antrópicas da Bacia do Ribeirão no Meio - Município de Leme - SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 20, 218-225.
- Das, N., Goswami, D. C., 2018. A Geo-Environmental Study on Groundwater Recharge Zones and Groundwater Management in the Guwahati Municipal Area. In: SARMA et al. (Org). *Urban ecology, water quality and climate change*. Springer, Cham, 389-400.
- Dellamatrice, P.M; Monteiro, R.T.R., 2014. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. *Rev. Bras. de Eng. Agri. e Amb* 18, 1296-1301.
- Dias, D.; Trentin, R.; Scoti, 2015. A. Zoneamento Geoambiental para o município de Mata/RS: síntese das potencialidades e fragilidades. *Revista do Departamento de Geografia*, 30, 132-148, 2015.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute, 2017. WEIGHTED SUM. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/weighted-sum.htm>>. Acesso em: setembro de 2017.
- Foster, S, Hirata, R., Gomes, D., D'elia, M., Paris, M. 2002. *Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*. The word Bank, The International Bank for Reconstruction and Development, 01-11.
- Guerra, A.J.T. 1999. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: Guerra, A.J.T. et al. (Org). *Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações*: Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999, 17-50.
- Guerreiro, J.V.R., Lollo, J.A., Lorandi, R., 2016. Cartografia geoambiental como base para planejamento territorial na bacia do Rio Clarinho, Sp. *Revista Brasileira de Cartografia* 68, 313-326.
- Gjorup, A.F. et al. 2016. Análise de procedimentos para seleção de áreas prioritárias em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos. *Rev. Ambient. Água* 11, 225-238.
- Hirata, R., 2009. Recursos Hídricos. In: TEIXEIRA, W. (Org). *Decifrando a Terra*. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 448-444.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística, 2016. *Cidades*, 2016. [online] Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 jul. de 2017.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) - Formas do terreno. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 19 jul. de 2017.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2013. *Zoneamento Ambiental*. Disponível em: <www.ibama.gov.br/areas-tematicas/zoneamento-ambiental>. Acesso em: 19 jul. de 2017.
- IG. Instituto Geológico. Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://igeologico.sp.gov.br/publicacoes/mapas/shapefile-das-unidades-basicas-de-compartimentacao-do-meio-fisico-do-estado-de-sao-paulo/>>. Acesso em: 19 jul. de 2017.
- Iritani, M. A., Ezaki, S., 2009. *As águas subterrâneas do Estado de São Paulo*. 2. ed. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 20-51.
- Kreitlow, J.P., Neves, S.M.A.S., Neves, R.J., Serafim, M.E., 2014. Avaliação geoambiental das terras do município brasileiro de Cáceres para o cultivo da teca. *Revista Ra'eGa* 31, 53-68.
- Lima, W. de P. et al. 2013. Interações bióticas e abióticas na paisagem: uma perspectiva eco-hidrológica. In: CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D. G F. (Ed.) *Engenharia ambiental conceitos tecnologia e gestão*. Rio de Janeiro: Elsevier, 215-44
- Liu, S., Li, W., Wang, Q., 2018. Zoning method for environmental engineering geological patterns in underground coal mining areas. *Science of The Total Environment* 634, 1064-1076.
- Lossardo, L.F., 2014. Proposta de zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão do Ouro no município de Pirassununga (SP). 159p. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Marchiwal, D., Jha, M. K., Singh, V. P., Mohan, C., 2018. Assessment and mapping of groundwater vulnerability to pollution: Current status and challenges. *Earth-Science Reviews* 185, 901-927.
- Montaño, M, Oliveira, I.S.D, Ranieri, V.E.L, Fontes, A.T, Souza, M.P., 2007. O zoneamento ambiental e sua importância para a localização de atividades. *Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção* 6, 49-64.
- Moreira, F. R., Câmara, G., Filho, R. A., 2001. *Técnicas de Suporte à Decisão para Modelagem*

- Geográfica por Álgebra de Mapas. Relatório Técnico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 03-40. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_suporte_decisao.pdf>. Acesso em: 20 jul. de 2017.
- Teixeira, G.C.; Ribeiro, A.S.; Mincato, R.L., 2018. Zoneamento Geoambiental da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Mandu, Sul de Minas Gerais, pela Geoecologia das Paisagens. São Paulo, Unesp, Geociências 37, 315-330.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Pesquisas Espaciais (INPE), 03-40. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_suporte_decisao.pdf>. Acesso em: 19 jul. de 2017.
- Rademann, L.K.; Tretin, R.; Robaina, L.E.S., 2018. Zoneamento Geoambiental do município de Cacequi, Rio Grande do Sul. Geosul, Florianópolis 33, 85-104.
- Rodrigues, V.A.; Román, R. M. S.; Tarjuelo, J. M.; Sartori, M. M. P; Ruiz Canales, A., 2015. Avaliação do escoamento e interceptação da água das chuvas. Irriga, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, 1-13.
- Rossatto, D. R., Toniato, M. T. Z., Durigan, G., 2008. Flora fanerogâmica não arbórea do cerrado na Estação Ecológica de Assis, Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Botânica 31, 409-424.
- Ross, J. L. S. 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia 8, 64-66.
- Santos, V. S., Lorandi, R., 2017. Características Hidrogeológicas e Vulnerabilidade à Contaminação das Unidades Aquíferas da Bacia Hidrográfica dos Córregos Amaral e Brilhante - Jaciara (MT). Revista Brasileira de Geografia Física 10, 1624-1637.
- USGS. Serviço Americano Geológico, 2017. Earth Explorer. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: julho de 2017.
- Tambosi, L.R. et al. 2015. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. Estudos Avançados 29, 151-162.
- Tavanti, D. R., Moura, S., Azevedo, F. Z., Medvedchikoff, T. G., Deus, L. R., Moreira, M. A. A., Lorandi, R., Caçado, C. J., Martins, M. M. R., 2009. Estudo da Vulnerabilidade de Contaminação de Aquífero por Agrotóxicos, na Região de Descalvado e Analândia (SP). Revista Brasileira de Recursos Hídricos 14, 53-61.
- Tucci, C. E. M.; Clarke, R. T., 1997. Impactos das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 2, 135-152.
- Tundisi, J. G., 2014. Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 76.
- Villar, P. C., 2016. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. Ambiente & Sociedade 19, 83-102.
- Zaine, J.E., 2000. Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). 189p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Universidade Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro.