



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

GABRIEL MERLINI TISSIANO

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCO DO
SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG)
CONSIDERANDO BACIA HIDROGRÁFICA URBANA**

Londrina
2021

GABRIEL MERLINI TISSIANO

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCO DO
SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG)
CONSIDERANDO BACIA HIDROGRÁFICA URBANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geociências – Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof^o Dr. Maurício Moreira dos Santos

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Tissiano, Gabriel Merlini .

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCO DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG) CONSIDERANDO BACIA HIDROGRÁFICA URBANA / Gabriel Merlini Tissiano. - Londrina, 2021.
86 f.

Orientador: Maurício Moreira dos Santos.
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Vulnerabilidade - Tese. 2. Risco - Tese. I. Santos, Maurício Moreira dos. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 91

GABRIEL MERLINI TISSIANO

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCO DO
SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG)
CONSIDERANDO BACIA HIDROGRÁFICA URBANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geociências – Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof^o Dr. Maurício Moreira dos Santos
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^o Dr. Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^o Dr. Edivando Vitor do Couto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Londrina, 18 de fevereiro de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que direta ou indiretamente auxiliaram para a construção desse trabalho, em especial:

A minha esposa Larissa, pelo amor e por sempre incentivar a buscar meu melhor.

Ao meu grande amigo Luck (*in memoriam*) pelo companheirismo e carinho incondicional.

Ao meu pai Paulo, minha mãe Suzi e irmã Julia pelo apoio.

Ao meu orientador Maurício Moreira dos Santos, pela atenção, cuidado, compreensão e sensibilidade em me ajudar a contornar os percalços que se impuseram durante o decorrer da pesquisa.

Aos professores do departamento de Geografia da Universidade Estadual de Londrina por toda atenção, paciência e conhecimento compartilhado.

A todos meus companheiros do programa de pós-graduação, pelas contribuições nas discussões pertinentes a pesquisa.

À CAPES pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

Obrigado!

TISSIANO, Gabriel Merlini. **Avaliação da vulnerabilidade e risco do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) considerando bacia hidrográfica urbana.** 2021. 85 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

A água subterrânea é um importante recurso natural, muitas vezes essencial para o abastecimento urbano. Estudos que visam a integridade de aquíferos é um dos objetivos na gestão dos recursos hídricos. Nesse sentido, diferentes ferramentas de gestão atuam na proteção dos recursos hídricos subterrâneos, destacando-se os índices de determinação da vulnerabilidade e risco à contaminação. A presente pesquisa tem como objetivo principal realizar análise da influência dos parâmetros intrínsecos do sistema aquífero Serra Geral e condicionantes de usos e ocupação do solo para avaliação e espacialização da vulnerabilidade e risco de contaminação em bacia hidrográfica urbana. A utilização de geotecnologias foi determinante para o desenvolvimento dos trabalhos, propiciando a geração de uma série de mapas temáticos que foram utilizados para embasar tomadas de decisão que resultaram na classificação do ocupação do espaço e na avaliação da vulnerabilidade e risco de contaminação aquífera. O trabalho é constituído por dois artigos, sendo que o primeiro trata da determinação da vulnerabilidade intrínseca do sistema aquífero Serra Geral utilizando metodologia GOD, sua espacialização e análise considerando a bacia hidrográfica do ribeirão Cambé-PR, trazendo como produto final mapa com as áreas mais susceptíveis a contaminação. O segundo artigo apresenta uma série de levantamentos do meio físico e antrópico para identificar fatores que determinam o Índice de Perigo (IP) e Índice de Risco (IR) para o sistema aquífero Serra Geral em bacia hidrográfica urbana. O trabalho produz resultados para a necessidade de estudos que envolvam a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão ambiental de uso e ocupação do solo urbano, especialmente no que tange a proteção das águas subterrâneas.

Palavras-chave: vulnerabilidade; risco; águas subterrâneas; GOD.

TISSIANO, Gabriel Merlini. **Assessment of vulnerability and risk of the Serra Seral Aquifer System (SASG) considering urban water basin**. 2021. 85 p. Thesis (Master's in Geography) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

Groundwater is an important natural resource and for supply in many cities in Brazil. Studies aimed at the natural integrity of aquifers is one of the goals in water resources management. In this sense, management tools are important in the protection of groundwater resources, especially the indices for determining vulnerability and risk to contamination. The main objective of this research is to carry out an evaluation of intrinsic parameters of the Serra Geral aquifer system and of land use and occupation to assess and spatialize the vulnerability and risk of contamination in an urban watershed. The use of geotechnologies was decisive for the development of the works, generating a series of thematic maps that resulted in the classification of the use of space and the assessment of the vulnerability and risk of aquifer contamination. The work consists of two articles, the first dealing with the determination of the intrinsic vulnerability of the Serra Geral aquifer system using GOD methodology, considering the Cambé-PR river basin, as a result presents a map with the areas most susceptible to contamination. The second article presents a series of surveys of the physical and anthropic environment to identify factors that determine the Hazard Index (PI) and Risk Index (RI) for the Serra Geral aquifer system in an urban watershed. The work produces results for the need for studies involving the hydrographic basin as a planning and environmental management unit for the use and occupation of urban land, especially considering the protection of groundwater.

Keywords: vulnerability; risk; groundwater; GOD.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1** - Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Cambé / Londrina-PR24
- Figura 2** - Fluxograma exibindo as etapas e distribuição de pesos para determinação do método GOD25
- Figura 3** - Localização dos poços na da bacia hidrográfica do ribeirão Cambé.....27
- Figura 4** – Mapa de Grau de confinamento (G) da bacia do ribeirão Cambé32
- Figura 5** - Mapa de Ocorrência litológica e de cobertura (O) da bacia do ribeirão Cambé.....33
- Figura 6** - Mapa de Profundidade de nível de água subterrânea (D) da bacia do ribeirão Cambé35
- Figura 7** – Mapa de vulnerabilidade natural GOD da bacia do ribeirão Cambé.....37

ARTIGO II

- Figura 1** – Importância da vulnerabilidade a diferentes cargas contaminantes.....46
- Figura 2** – Componentes da avaliação de riscos de poluição das águas subterrâneas usados para zoneamento e proteção aquífera47
- Figura 3** - Fluxograma exibindo as etapas e distribuição de pesos para determinação do método GOD49
- Figura 4** – Mapa mostrando a ocorrência litológica e a distribuição dos poços tubulares profundos na bacia do ribeirão Cambé50
- Figura 5** – Mapas com parâmetros e índice de vulnerabilidade natural GOD da bacia do ribeirão Cambé60
- Figura 6** – Mapa cobertura e uso do solo LANDSAT 8 da bacia do ribeirão Cambé.....63
- Figura 7** - Classes de uso e ocupação do solo da bacia do ribeirão Cambé em 201965
- Figura 8** – Mapa de zoneamento urbano da bacia do ribeirão Cambé.....67

| | |
|--|----|
| Figura 9 – Mapa de densidade de ocupação do solo da bacia do ribeirão Cambé..... | 69 |
| Figura 10 – Mapa de localização dos poços tubulares profundos, postos de combustíveis e cemitérios, e buffers de 100 e 200 metros de distanciamento, respectivamente na bacia do ribeirão Cambé | 71 |
| Figura 11 – Mapa índice de Perigo (IP) na bacia do ribeirão Cambé..... | 73 |
| Figura 12 – Mapa índice de Risco (IR) na bacia do ribeirão Cambé..... | 75 |

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Dados de classificação da Ocorrência litológica e de cobertura (O) da bacia do ribeirão Cambé | 33 |
|---|----|

ARTIGO II

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Índice de Perigo (IP) em função do uso do solo..... | 57 |
| Tabela 2 – Classificação do Índice de Perigo (IP) | 57 |
| Tabela 3 – Classificação do Índice de Risco (IR) | 58 |
| Tabela 4 – Dados de classificação do uso e ocupação do solo da bacia do ribeirão Cambé em 2019..... | 66 |
| Tabela 5 – Distribuição total e percentual em relação ao uso e ocupação do solo no perímetro urbano da bacia do ribeirão Cambé | 70 |
| Tabela 6 – Índice de Perigo (IP) e distribuição total e percentual na bacia do ribeirão Cambé..... | 74 |
| Tabela 7 – Dados de distribuição do Índice de Risco (IR) a contaminação aquífera na bacia do ribeirão Cambé | 76 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 | SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG) | 17 |
| 2.2 | CLASSIFICAÇÃO DOS AQUÍFEROS..... | 17 |
| 2.3 | ÁREA DE ESTUDO..... | 18 |
| 2.4 | HIPÓTESE DE TRABALHO | 19 |
| 3 | ARTIGO 1 - VULNERABILIDADE NATURAL DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAMBÉ (LONDRINA - PR) | 20 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 21 |
| 3.2 | ÁREA DE ESTUDO..... | 23 |
| 3.3 | METODOLOGIA | 24 |
| 3.4 | CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA | 28 |
| 3.4.1 | Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos | 28 |
| 3.4.2 | Classificação dos Solos..... | 30 |
| 3.6 | CONCLUSÕES | 37 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 39 |
| | ANEXOS | 41 |
| 4 | ARTIGO 2 - DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCO DE CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAMBÉ – LONDRINA (PR) | 44 |
| 4.1 | INTRODUÇÃO | 44 |
| 4.2 | METODOLOGIA | 47 |
| 4.2.1 | Índice de Vulnerabilidade GOD | 47 |
| 4.2.2 | Índice de Perigo (IP) | 50 |
| 4.2.3 | Atividades de Perigo..... | 51 |

| | | |
|-------|--|-----------|
| 4.2.4 | Classificação do Uso e Ocupação do Solo..... | 53 |
| 4.2.5 | Mapa de Densidade Urbana..... | 54 |
| 4.2.6 | Mapa de Zoneamento Urbano..... | 54 |
| 4.4 | CONCLUSÕES | 76 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 78 |
| | ANEXOS | 80 |

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são recursos naturais importantes, visto que a utilização dos recursos hídricos é essencial à sobrevivência humana, seja ela no consumo doméstico ou em outros ramos da vida social atual, como nas fábricas, empresas e nos setores públicos. Com o crescimento da população mundial, a tendência é o aumento do consumo de água, fato que requer especial atenção dos gestores públicos e da população em geral.

Os recursos hídricos subterrâneos possuem algumas vantagens em relação aos recursos superficiais, como a própria proteção que a camada de solo e/ou rochas exerce, isolando parcialmente os aquíferos de potenciais atividades contaminantes, porém, essa condição não garante que não haverá contaminação, e quando ocorre, a identificação e a recuperação dos impactos nesse meio é complexo e muitas vezes economicamente inviável, fazendo com que a pluma contaminante se espalhe espacialmente por extensas áreas.

A exploração de aquíferos representa um aumento a cada ano no território brasileiro. Segundo Foster e Hirata (1988), estimava-se, já na década de 1980, a existência de 80.000 poços tubulares ativos (além de outros milhares de poços rasos, escavados), que forneciam água para os mais diversos fins, sobretudo para abastecimento público. Grandes centros urbanos e polos agroindustriais e agropecuários são abastecidos por água subterrânea.

De acordo com Santos (2009), a análise da concentração populacional permitiu identificar importantes centros urbanos que utilizam o Sistema Aquífero Guarani (SAG) como fonte de abastecimento total ou parcial de suas populações. Algumas destas cidades já apresentam sinais de superexploração, como Ribeirão Preto, que é abastecida exclusivamente por água desse aquífero.

A maneira como esse recurso subterrâneo é explorado representa uma visão minimalista e imediatista. Segundo Sinelli (1984), nestas condições os aquíferos, em diferentes áreas do território nacional, estão sujeitos aos impactos da extração descontrolada por meio de poços e do uso e ocupação desordenada do solo, colocando em risco a qualidade de suas águas.

Existem vários aquíferos no território nacional brasileiro, dentre eles o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é de grande relevância para o abastecimento de muitos municípios no centro sul do país, incluído municípios do norte do estado do Paraná,

como a cidade de Londrina. Cabe destacar, o SASG é formado predominantemente por rochas ígneas basálticas, pertencentes aos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, o que lhe garante condições de heterogeneidade e anisotropia do ponto de vista hidrogeológico.

Dessa forma, a recarga hídrica e a circulação das águas subterrâneas no SASG ocorrem devido a existência de zonas de descontinuidades, formadas principalmente por fraturamentos e falhamentos presentes nas rochas basálticas, dando origem a um aquífero com características hidrodinâmicas do tipo fissural.

De acordo com as características hidrodinâmicas do SASG e sua enorme importância para o abastecimento das populações em sua área de ocorrência estudos e políticas públicas que visam a sensibilização da população da importância para proteção desse aquífero é de suma importância para o meio ambiente e sociedade.

Nesse sentido, os trabalhos ora elaborados visam contribuir para o conhecimento científico e disseminação de informações a respeito dos recursos hídricos subterrâneos, especialmente em se tratando de aquíferos fissurais, ou seja, que possuem o meio heterogêneo e anisotrópico, assim como se classifica o SASG, refletindo em desafios de compreensão hidrogeológica, quando se trata de seus condicionantes de armazenamento e circulação da água e hidrogeográfica, quando se têm condicionantes intrínsecos naturais e de uso e ocupação do solo.

Dessa forma, o primeiro artigo intitulado: “Vulnerabilidade natural do sistema aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé/ Londrina-PR” visa apresentar a avaliação da vulnerabilidade do SASG na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé e a importância dos estudos na determinação da vulnerabilidade de aquíferos contribuindo conceitualmente e com proposta para o plano de gestão de águas, pois o estudo dos sistemas aquíferos, a avaliação da vulnerabilidade é de extrema importância para criação de políticas e gestão dos recursos hídricos de uma região.

Nesse sentido, os resultados de estudos de vulnerabilidade de aquíferos permitem às autoridades municipais e estaduais gerir seus recursos hídricos de maneira mais eficiente, garantindo um desenvolvimento sustentável do meio.

A utilização dos sistemas de informações geográficas (SIG) são essenciais, pois imagens de satélite são utilizadas no estudo e o resultado pode ser uma representação cartográfica.

A aplicação destes métodos pode fornecer subsídios para a gestão dos recursos hídricos, podendo ser utilizado como ferramenta de política pública visando à conservação e proteção das águas subterrâneas.

Já no segundo artigo intitulado: “Determinação da vulnerabilidade e risco de contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé – Londrina/PR” tem por objetivo apresentar a avaliação da vulnerabilidade e o risco do SASG nesta bacia, com a finalidade de delimitar as áreas mais suscetíveis à contaminação.

Para tal, foi utilizado o método GOD (Groundwater occurrence, Overall litology of aquifer and Deph of water) (Foster et al. 2002; Foster e Hirata 1988), a avaliação da atividade de uso e ocupação no recorte espacial delimitado como meio de determinação das atividades de perigo e a classificação do uso do solo.

Dessa forma, será possível apontar áreas que apresentam características que as tornam mais susceptíveis à contaminação. A ocupação exerce papel importante, pois a atividade exercida pode representar o aumento do risco à contaminação do aquífero, tornando essa localidade um ponto de maior preocupação e maior monitoramento, visando à proteção das águas subterrâneas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O modo de viver do ser humano mudou com o passar do tempo, e a maneira de lidar com os recursos naturais também se alterou. A atual organização da sociedade, visando a ampliação do domínio sobre os espaços resulta em vários impactos ao meio ambiente e a intensificação da exploração desenfreada dos recursos naturais, fato que pode resultar em risco ao modo como vivemos atualmente e até mesmo a sobrevivência humana.

Considerando que a demanda total de água da humanidade, segundo Feitosa et al. (2008) é de 70% para irrigação, 20% para indústrias e 10% para o consumo doméstico, o ser humano vem exigindo demandas cada vez maiores dos recursos hídricos para diversos usos (ALMEIDA et al., 2006) para atingir níveis de sustentação compatíveis com as pressões da sociedade de consumo, a produção industrial e agrícola, causando grande pressão sobre os mananciais (TUNDISI, 2003).

Segundo Teixeira (2008, p. 114): “A água é a substância mais abundante na superfície do planeta, participando dos seus processos modeladores pela dissolução de materiais terrestres e do transporte de partículas”. Dessa maneira, a conservação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos faz-se extremamente importante, pois devido a melhor qualidade da água em relação aos mananciais superficiais, ocorre a sua exploração de maneira insustentável.

Neste contexto, as águas subterrâneas assume papel de extrema relevância para a sociedade, principalmente pelo fato de esta ser uma alternativa muitas vezes barata e de fácil captação graças à tecnologia cada vez mais avançada na construção de poços, nos sistemas de bombeamento e pela ausência de grandes investimentos para transporte ou tratamento prévio, pois a água ao ser transportada verticalmente através dos substratos, o meio não saturado funciona como um filtro e reator biogeoquímico de depuração, protegendo as águas subterrâneas de agentes de degradação. (FEITOSA et al., 2008).

Dentre os aspectos que influem na velocidade e deslocamento do poluente está a formação e constituição dos estratos geológicos, que de acordo com sua permeabilidade/porosidade, alteram a velocidade e deslocamento do poluente. Logo, quando as águas subterrâneas entram em contato com uma fonte poluidora, o seu transporte ocorre ao longo do seu deslocamento, gerando assim uma "pluma" poluente.

Foster et al. (2013) consideram que a vulnerabilidade do aquífero se destina a representar a variação do nível de proteção natural ou a capacidade de atenuação do contaminante na zona de solo insaturado ou zona de semi-confinamento da água, localizadas acima do aquífero. Essa contaminação advém de processos físicos e químicos (filtração, biodegradação, hidrólise, adsorção, neutralização, e volatilização dispersão)

A vulnerabilidade de um sistema aquífero depende das suas propriedades físicas bem como de sua sensibilidade a impactos naturais e àqueles causados por seres humanos. A ideia da vulnerabilidade baseia-se no fato de que o contexto físico dos aquíferos oferece um certo grau de proteção às águas subterrâneas contra contaminações de diversas origens. Desta forma, algumas áreas são mais vulneráveis à contaminações que outras.

A quantificação da vulnerabilidade é apenas relativa e com critérios muitas vezes subjetivos já que os resultados apresentados nos mapas de vulnerabilidade mostram apenas valores relativos uns aos outros e não valores absolutos, fazendo com que comparações entre áreas distintas seja às vezes difícil. A vulnerabilidade é determinada a partir das características de um dado sistema aquífero.

Os primeiros conceitos relativos à vulnerabilidade natural à poluição das formações aquíferas vêm sendo aplicados desde a década de 60, mas é a partir da década de 80 que começaram a ter uma maior divulgação (PUERARI et al. 2003).

A conferência Internacional "*Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*", realizada nos Países Baixos em 1987, definiu que a vulnerabilidade natural é "a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente em função apenas das características intrínsecas do aquífero".

A agência reguladora norte-americana ASTM (*American Society for Testing Materials*), define vulnerabilidade nas águas subterrâneas como a facilidade com a qual um dado contaminante pode migrar para as águas subterrâneas ou para um aquífero de interesse em determinadas situações de uso do solo, características do contaminante e condições da área.

Portanto, a vulnerabilidade depende tanto das características do aquífero (litologias, porosidade), da área (uso do solo, topografia) e do contaminante (mobilidade e densidade).

FOSTER e HIRATA (1988), definiram a vulnerabilidade natural como a susceptibilidade que um sistema aquífero tem de vir a ser degradado por uma carga

contaminante. É um processo relativo, adimensional e sua avaliação ocorre admitindo-se que a contaminação é um processo dinâmico e interativo.

Ribeiro (2005) discorre sobre índices de vulnerabilidade: “A grande maioria dos métodos de avaliação da vulnerabilidade possuem uma natureza empírica, o que é veículo para o surgimento de um vasto leque de diferentes interpretações por diferentes técnicos. Essa subjetividade vai repercutir forçosamente na atribuição de valores numéricos a entidades de natureza descritiva”. Segundo esse autor, a vulnerabilidade pode ser intrínseca (condicionada pelas características hidrogeológicas da área), sendo por isso independente do tipo de poluente gerado pelas ações antropogênicas, e específica (quando se considera o fator externo, como as propriedades de um poluente específico) e suas relações com os fatores intrínsecos.

Quanto ao perigo de contaminação, este é definido como fonte potencial de contaminação, resultado de atividades antrópicas na superfície do solo (MIMI e ASSI, 2009).

FOSTER (1987) sugere que a definição mais apropriada para o conceito de risco de contaminação das águas subterrâneas é estabelecê-lo a partir da interação entre a carga contaminante que foi, é ou será aplicada no solo, como resultado de uma ação antrópica e a vulnerabilidade do aquífero, entendida como a maior ou menor suscetibilidade à contaminação do material de subsuperfície a um evento contaminador.

Logo, o risco à contaminação pode ser entendido então como a interação entre a vulnerabilidade do aquífero e o perigo de contaminação ao qual o aquífero pode ser exposto.

Dessa forma, conclui-se que a definição de vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos é distinta de perigo de contaminação, pois é possível existir um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade, devido suas características intrínsecas, mas com baixo perigo de contaminação, caso não haja carga poluente disponível, ou de haver um perigo de contaminação excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo. Já o risco, depende não só da vulnerabilidade, mas também da existência de cargas poluentes significativas que possam entrar no ambiente subterrâneo, fato que a urbanização desordenada pode acentuar.

2.1 SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG)

Compreende as rochas basálticas da Formação Serra Geral abrangendo uma área de afloramento de aproximadamente 102.000 km². Devido às suas características litológicas de rochas ígneas, no SASG “o armazenamento e a circulação da água ocorrem segundo as descontinuidades físicas da rocha (juntas, falhas geológicas e superfícies interderrames), constituindo-se em um meio heterogêneo e anisotrópico” (REBOUÇAS, 1978 apud ROSA FILHO et al., 2006).

A recarga para este aquífero ocorre fundamentalmente por meio da precipitação pluvial sobre os solos de origem basáltica, que vão atingir as regiões fissuradas da rocha matriz. Existe possibilidade de ocorrências de trocas de água com outros aquíferos, como o Bauru, sobreposto, e também com o Sistema aquífero Guarani (SAG) localizado em estratos inferiores e constituído pelos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia.

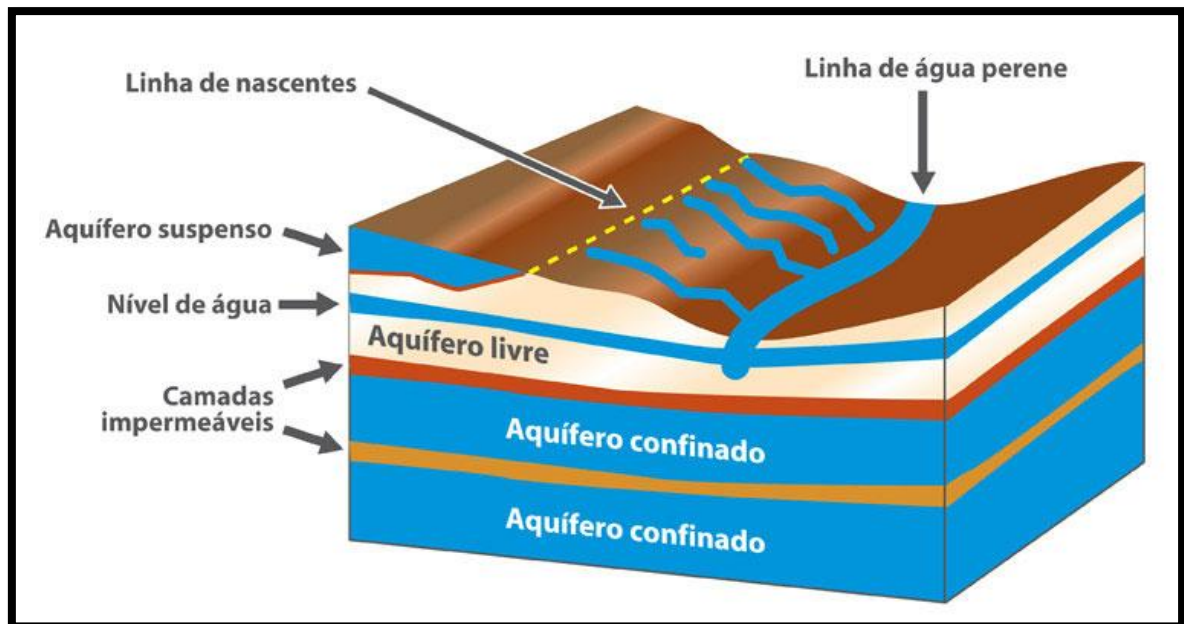
O elevado potencial hidrogeológico do SASG, como aponta Almeida et al. (2006), está condicionado a existência de fraturas de dois tipos principais: aquelas relacionadas ao resfriamento nas fases finais de cristalização dos derrames e aquelas devido ao fraturamento tectônico.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AQUÍFEROS

O conhecimento dos estratos geológicos é fundamental para o desenvolvimento da pesquisa voltada a vulnerabilidade de aquíferos, dada a diferenciação das rochas e dos seus aspectos intrínsecos, como a absorção de contaminantes, o tempo de percolação, as propriedades químicas dos componentes do solo dentre outros aspectos.

O reservatório de água subterrânea ou aquífero, como descreve Iritani e Ezaki (2012), é caracterizado por “camadas ou formações geológicas suficientemente permeáveis, capazes de armazenar e transmitir água em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos”. Eles podem ser classificados como livres ou confinados de acordo com as características hidráulicas e de conexão com outros corpos hídricos, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Aquíferos confinados e livres
 Fonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2015)



De acordo com Iritani e Ezaki (2012), os aquíferos livres são aqueles em que a superfície da zona saturada (nível freático ou nível d'água) entra em contato direto com a zona não saturada e, dessa forma, apresenta pressão igual à pressão atmosférica, enquanto que os aquíferos confinados são delimitados superior e inferiormente por formações total ou parcialmente impermeáveis, o que submete a água a uma pressão maior que a atmosférica (BOSCOV, 2008).

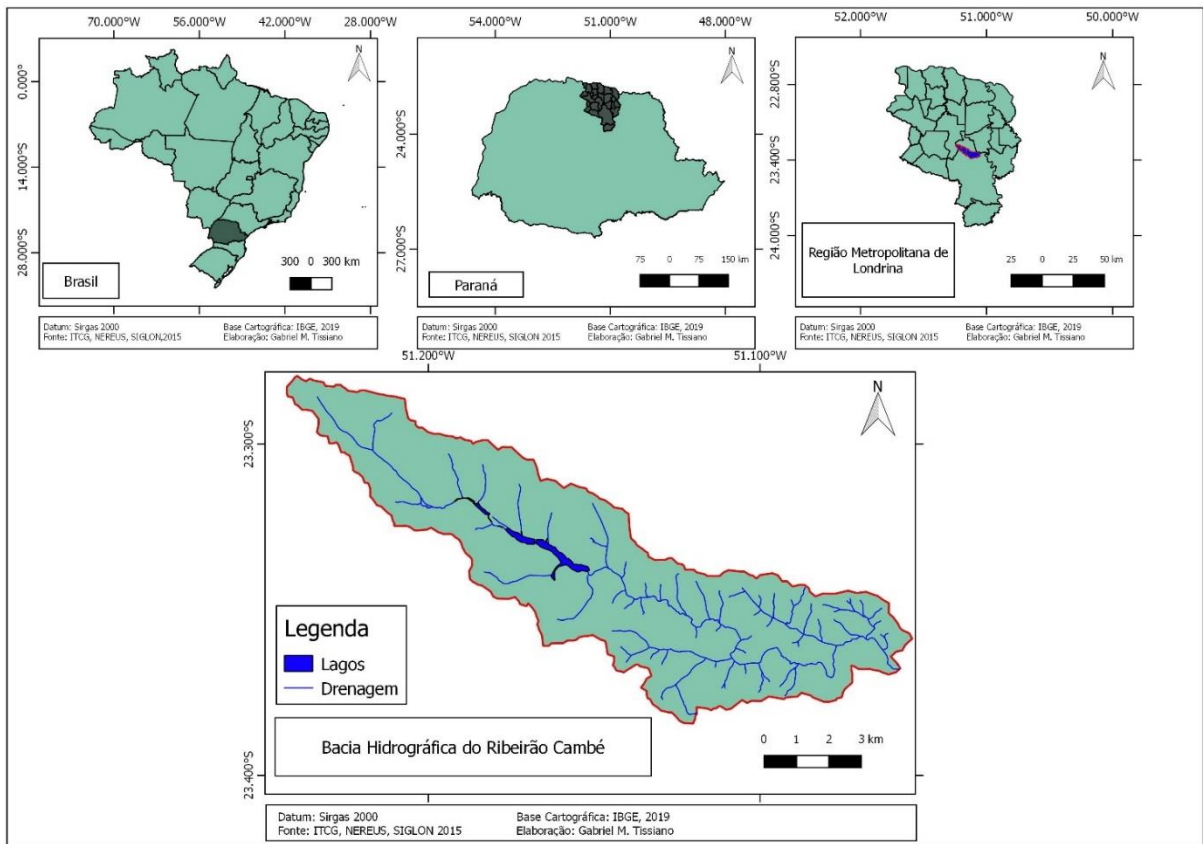
A preocupação da contaminação das águas subterrâneas está relacionada aos aquíferos livres, especialmente onde o nível freático é pouco profundo, pois torna-se mais vulnerável a cargas de contaminação.

A zona não-saturada merece especial atenção uma vez que representa a primeira e mais importante defesa natural contra a contaminação das águas subterrâneas (MATTHESS et al., 1985; FOSTER, 1985a).

2.3 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do ribeirão Cambé possui uma área de aproximadamente 73 km², dos quais 50 km² de drenagem urbana e 23 km² de drenagem em área rural. Encontra-se entre as coordenadas 23°16'50" e 23°23'02" de latitude sul e 51°14'70" e 51°02'56" de longitude oeste e situa-se na Região Metropolitana de Londrina (RML), no Norte do estado do Paraná, conforme Figura 2.

Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Cambé / Londrina-PR



A nascente localiza-se na região oeste da cidade de Londrina, às margens da BR 369, entre os municípios de Londrina e Cambé.

Segunda Ferreira (2002), a bacia do ribeirão Cambé desde a década de 1940/1950 foi alvo de ocupação por loteamentos, mas a partir do represamento de suas águas, para formar o lago Igapó, é que as grandes transformações ocorreram, principalmente a partir das décadas de 1960/1970, passando, a região dos lagos, ser uma das áreas mais valorizadas da cidade de Londrina.

2.4 HIPÓTESE DE TRABALHO

A hipótese de trabalho centra-se na possibilidade mapear o risco a contaminação no recorte espacial estudado para que seja utilizado na gestão sustentável para o SASG por meio da utilização dos materiais gráficos que serão produzidos, em diferentes cenários, considerando-se suas potencialidades hidrogeológicas, usos das águas, aspectos intrínsecos ao meio e a ação antrópica.

3 - ARTIGO 1 - VULNERABILIDADE NATURAL DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAMBÉ (LONDRINA - PR)

Gabriel Merlini Tissiano

RESUMO

O presente artigo apresenta estudo da vulnerabilidade natural do aquífero Serra Geral (SASG) na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé, na cidade de Londrina. Dentre as diversas metodologias para o cálculo do índice de vulnerabilidade, foi selecionado para este trabalho o modelo GOD, que pondera os parâmetros relacionados à ocorrência de aquífero (G); classificação de cobertura e litologia (O) e profundidade do nível de água subterrâneo (D). Os dados dos poços foram obtidos por meio do Sistema de informações de águas subterrâneas (SIAGAS). A utilização de geotecnologias foi determinante para o desenvolvimento dos trabalhos, propiciando a geração de uma série de mapas temáticos que podem ser utilizados para embasar tomadas de decisões que levem em consideração a vulnerabilidade do SASG na área de estudo. Os resultados mostraram que a região central do recorte espacial estudado, próximo ao Lago Igapó, predomina a vulnerabilidade baixa. Uma área considerável da bacia hidrográfica estudada encontra-se na zona de transição entre vulnerabilidade baixa e média, fato que não implica necessariamente em uma situação confortável, no que diz respeito a conservação do aquífero, pois os aspectos hidrogeológicos são passíveis de mudanças, fato que altera a classificação da vulnerabilidade do aquífero e devido a limitação do desenvolvimento da vulnerabilidade, que utiliza somente alguns parâmetros na sua determinação, como o uso e ocupação do solo e outros aspectos das atividades humanas. Porções a noroeste na bacia demonstram tendência a vulnerabilidade média, fato que revela a correlação com a profundidade do nível de água, pois são áreas com menor profundidade do aquífero, fato que o torna mais susceptível a contaminação.

PALAVRAS-CHAVE

Vulnerabilidade, aquífero, contaminação, Serra Geral

ABSTRACT

This article presents a study of the natural vulnerability of the Serra Geral aquifer (SASG) in the Cambé river basin, in the city of Londrina. Among the various methodologies for calculating the vulnerability index, the GOD model was selected for this work, which weights the parameters related to the occurrence of the aquifer (G); cover classification and lithology (O) and groundwater depth (D). The data from the wells were obtained through the Groundwater Information System (SIAGAS). The use of geotechnologies was crucial for the development of the works, providing the generation of a series of thematic maps that can be used to support decision making that considering the vulnerability of the SASG in the study area. The results showed that the central region of the studied space, close to Lake Igapó, is characterized by low vulnerability. A considerable area of the studied hydrographic basin is in the transition zone between low and medium vulnerability, a fact that does not necessarily imply a comfortable situation with regard to the conservation of the aquifer, as the hydrogeological aspects are subject to change, a fact that it alters the classification of the aquifer's vulnerability and due to the limitation of the development of vulnerability, which uses only some parameters in its determination, such as land use and occupation and other aspects of human activities. Portions to the northwest of the basin show a tendency to medium vulnerability, a fact that reveals the correlation with the depth of the water level, as they are areas with shallower aquifer depth, a fact that makes it more susceptible to contamination.

KEYWORDS

Vulnerability, aquifer, contamination, Serra Geral

3.1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são indispensáveis as atividades humanas, como exemplos se destacam o uso nas indústrias para o processo produtivo e o no cultivo de alimentos, que demanda grande quantidade de água, ou ainda o uso nobre, para o abastecimento humano em grandes centros urbanos. O uso desse bem natural deve ser feito com cautela e consciência, pois historicamente em algumas localidades, os cursos hídricos tornaram-se extremamente degradados, fato que deve ser repensado e avaliado pela sociedade atual.

O uso inapropriado dos recursos hídricos tem contribuído para o comprometimento da qualidade da água, sobretudo em consequência da sua contaminação. Para Foster et al. (2002), os principais indutores desse processo são a urbanização, a expansão industrial, a atividade agrícola e a extração mineral.

O declínio da qualidade da água tornou-se uma questão global, relacionado ao crescimento da população e, especialmente, à expansão das atividades industriais e agrícolas. As mudanças climáticas também causando importantes alterações no ciclo hidrológico (UM-Water, 2011).

O crescimento demográfico mundial e conseqüentemente a demanda por água está em ascensão, logo deve-se aprofundar os estudos e técnicas que visem proteger e preservar as águas. A utilização de águas subterrâneas tem se mostrado uma alternativa viável a utilização, porém é preciso seguir normas rígidas, que visam a conservação desse importante recurso.

Segundo Eckhardt et al. (2009), as águas subterrâneas vêm assumindo uma importância cada vez mais relevante como fonte de abastecimento, devido a uma série de fatores que restringem a utilização das águas superficiais.

Os reservatórios subterrâneos estão sob diversos riscos, pois a qualidade da água está relacionada a aspectos físicos do meio, ao uso e ocupação do solo, a quantidade e como é feita a exploração por meio dos poços, principalmente nas zonas de recarga, que são áreas mais suscetíveis a difusão de contaminantes.

Segundo Foster et al. (2006), no mundo inteiro, os aquíferos estão sob perigo cada vez maior de contaminação em decorrência da urbanização, do desenvolvimento industrial, das atividades agrícolas e de mineração. Os custos

para realizar a descontaminação de aquíferos são elevados tornando o processo inviável, assim é muito mais sensato preservar este recurso natural e renovável.

Além das preocupações voltadas para gestão das águas subterrâneas e como sua qualidade pode ser afetada por questões ligadas ao uso e ocupação do solo, a instalação dos poços deve ser feita de maneira correta, seguindo a legislação em vigor, pois os poços de captação mal construídos podem se transformar em focos de contaminação de aquíferos uma vez que as águas infiltradas que os reabastecem podem estar contaminadas (REBOUÇAS, 2004).

A contaminação dos recursos hídricos subterrâneos pode tornar-se um problema de saúde pública, pelo fato de habitantes utilizarem essa água para consumo, podendo contrair doenças. As consequências negativas de uma possível contaminação também provocam impactos econômicos, devido à impossibilidade de utilização da água nos seus mais diversos usos, desse modo, pesquisas que visam mecanismos de proteção dos aquíferos têm ganhado importância acadêmica.

De acordo com Foster et al. (2006), em hidrogeologia, o conceito de vulnerabilidade começou a ser usado intuitivamente na França, a partir da década de 1970. Embora se referisse à suscetibilidade relativa dos aquíferos à contaminação antropogênica, o termo inicialmente era usado sem nenhum objetivo de definição formal.

Atualmente o conceito de vulnerabilidade do aquífero à contaminação se refere ao conjunto de propriedades intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, zona vadosa. Essas propriedades determinam a suscetibilidade de um aquífero sofrer efeitos adversos de uma carga contaminante, aplicada na superfície.

De acordo com o Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2000b), o conceito de Risco, em hidrogeologia, é a “medida de danos ou prejuízos potenciais expressos em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências previsíveis” ou a “relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente [...] se concretize, com o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos”.

Dessa forma, é possível existir um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade, mas sem risco de contaminação caso não haja carga poluente em potencial, ou de haver um risco grande de contaminação apesar de o índice

de vulnerabilidade ser baixo. Logo, é relevante precisar a diferença entre vulnerabilidade e risco de poluição. O risco é causado não pelas características intrínsecas do aquífero, mas pela existência de atividades poluentes, fator dinâmico, que pode ser controlado (NANNI et al., 2005).

O mapa de vulnerabilidade representa as áreas que têm potencial para contaminação das águas subterrâneas, por meio da correlação de alguns dos principais fatores intrínsecos do meio físico, como propriedades geológicas e tipo de solo e aquífero da área a ser analisada.

Já o mapa de risco mostra as ameaças de que ocorram riscos de contaminação das águas subterrâneas, por meio do conhecimento e avaliação do uso e ocupação do solo no local a ser estudado.

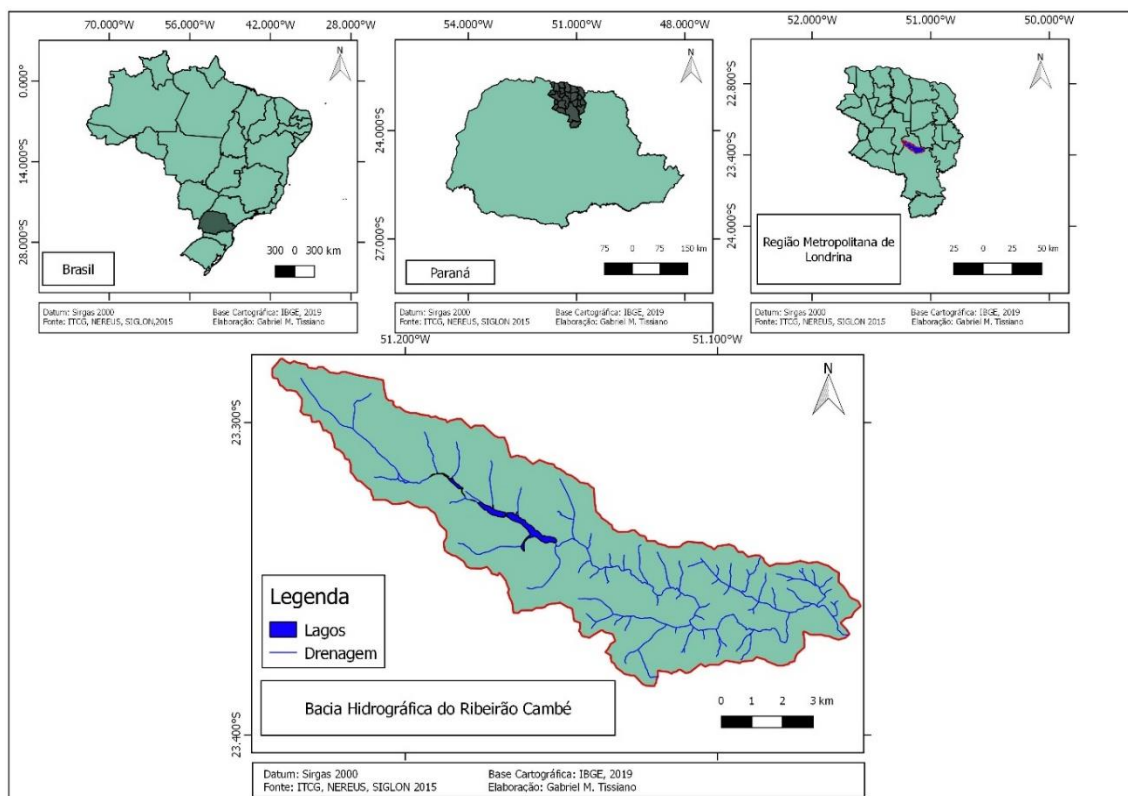
Com vistas a contribuir com estudos sobre esse tema, este artigo tem por objetivo apresentar a avaliação da vulnerabilidade do SASG na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé, no norte do Paraná, com a finalidade de delimitar as áreas mais suscetíveis à contaminação. Para tal, foi utilizado uma adaptação do método GOD (*Groundwater occurrence, Overall litology of aquifer and Deph of water*) (Foster et al. 2002; Foster e Hirata 1988).

3.2 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do ribeirão Cambé possui uma área de aproximadamente 73 km², dos quais 50 km² de drenagem urbana e 23 km² de drenagem em área rural. Encontra-se entre as coordenadas 23°16'50" e 23°23'02" de latitude sul e 51°14'70" e 51°02'56" de longitude oeste e situa-se na Região Metropolitana de Londrina (RML), no Norte do estado do Paraná, conforme Figura 1. A nascente localiza-se na região oeste da cidade de Londrina, às margens da BR 369, entre os municípios de Londrina e Cambé.

Segunda Ferreira (2002), a bacia do ribeirão Cambé desde a década de 1940/1950 foi alvo de ocupação por loteamentos, mas a partir do represamento de suas águas, para formar o lago Igapó, é que as grandes transformações ocorreram, principalmente a partir das décadas de 1960/1970, passando, a região dos lagos, ser uma das áreas mais valorizadas da cidade de Londrina.

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Cambé / Londrina-PR



Conseqüentemente, a paisagem dessa região foi alterada, grande parte devido a ocupação intensificada e a alteração do espaço por meio dos agentes imobiliários e grandes incorporadoras. A impermeabilização do terreno foi ampla, fato que pode resultar em alterações no ciclo natural das águas, devido ao aumento do escoamento superficial.

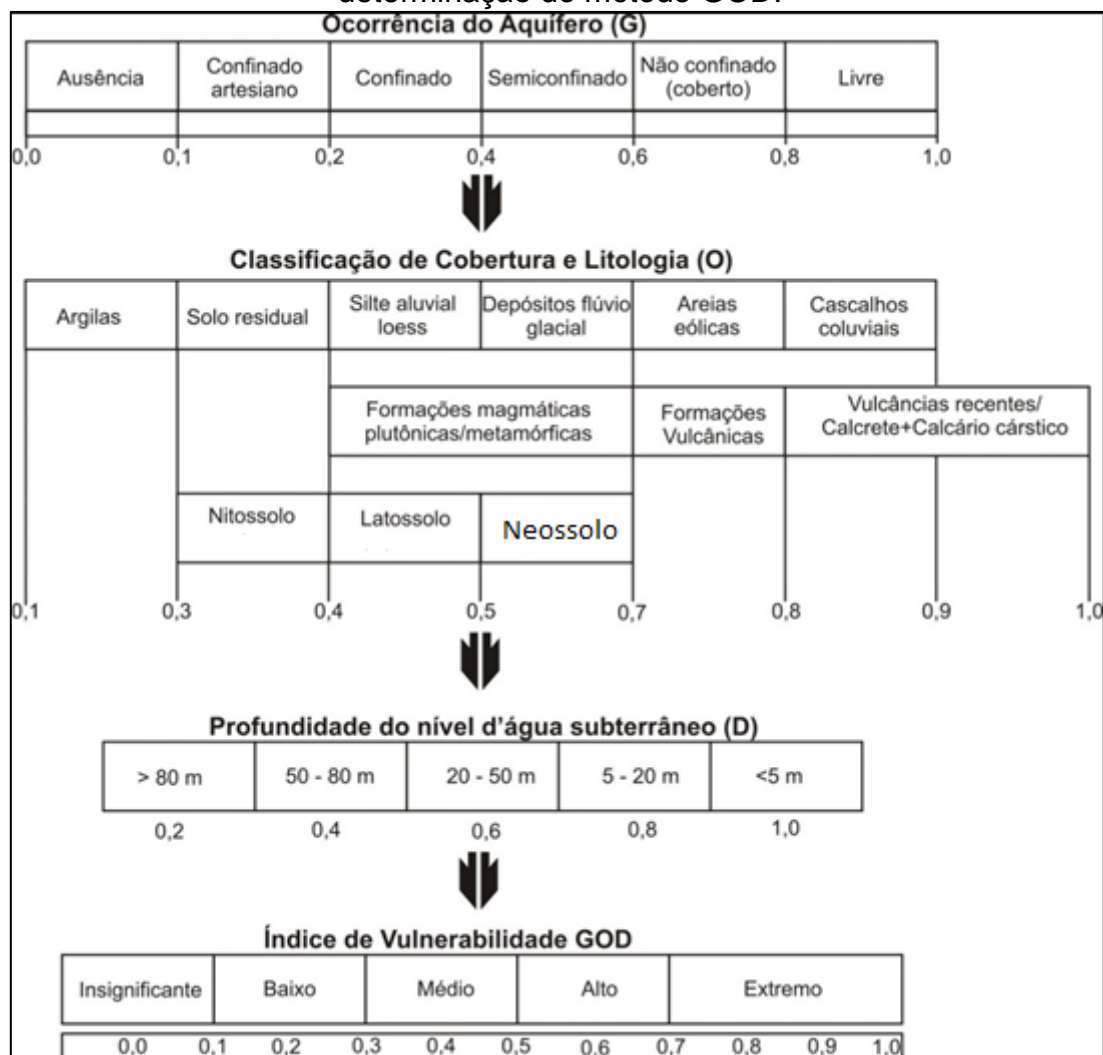
3.3 METODOLOGIA

Tomando como referência o método de caracterização da vulnerabilidade apresentado pelos autores Foster et al. (2006) e, denominado GOD, que pondera como parâmetros: Ocorrência de aquífero (G); Classificação de cobertura e litologia (O) e Profundidade do nível de água subterrâneo (D) algumas modificações foram realizadas, adaptada de acordo com a realidade física e político territorial da área de estudo. O GOD foi desenvolvido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e utiliza requisitos mínimos para determinar o índice de vulnerabilidade de aquíferos (GUIGUERI; KOHNKE, 2002).

O método GOD (FOSTER et al., 2002) foi selecionado para estabelecer o mapeamento de vulnerabilidade, e possui como característica a facilidade de aplicação em virtude do reduzido número de parâmetros.

O índice de vulnerabilidade foi calculado de acordo com o estabelecido na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma exibindo as etapas e distribuição de pesos para determinação do método GOD.



Fonte: modificado de Foster et al. (2002).

O levantamento dos dados relativos aos poços caracteriza-se em fase importante no desenvolvimento do trabalho. Um banco de dados confiável é a base para o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos. A inexistência de um banco de dados completo, que seja atualizado constantemente e que esteja disponível para o público é um dos principais empecilhos para o

desenvolvimento do conhecimento hidrogeológico e para a gestão dos recursos hídricos.

O mapa geológico do estado do Paraná (MINEROPAR, 2020) foi utilizado para a determinação do parâmetro classificação de cobertura e litologia (O). O mapeamento dos tipos de solo no Paraná realizado pela Embrapa (2020) e disponibilizado pelo Instituto de Terras, cartografia e Geologia do Paraná (ITCG, 2020) foi utilizado para a classificação do solo.

Para a determinação do tipo litológico, parâmetro D, foi definido um fator para o estabelecimento da geologia por meio da presença unicamente de rocha vulcânica, pertencente à Formação Serra Geral (Figura 5), sendo os tipos de solo categorizados em primeiro nível categórico: Latossolo, Nitossolo e Neossolo.

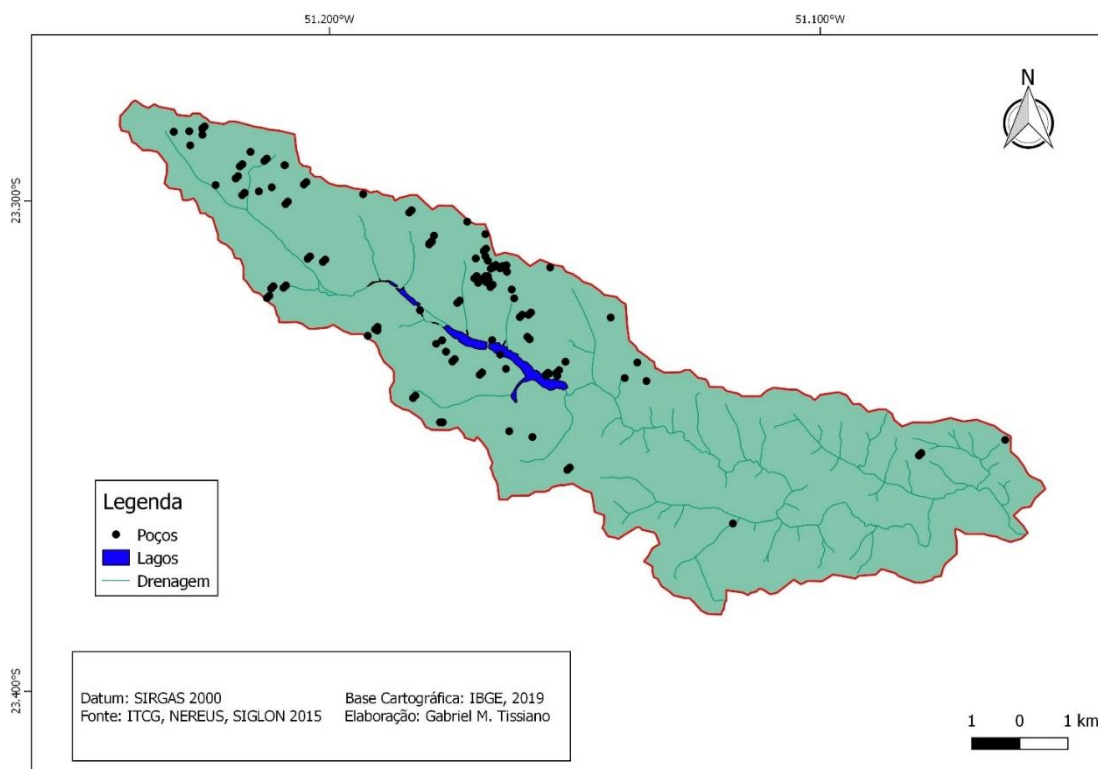
O parâmetro ocorrência de aquífero (G) foi definido por meio de consulta ao mapa geológico do estado do Paraná (MINEROPAR, 2020), sendo classificado como livre e recebendo o maior índice possível.

Já a definição da profundidade do nível d'água subterrâneo, bem como a localização dos poços, baseou-se no banco de dados dos poços (Anexo A), disponível do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), compondo uma base de dados extensa e atualizada.

Diante da crescente preocupação no que tange o setor de águas subterrâneas, o Serviço Geológico do Brasil desenvolveu, em 1997, o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), que coordena o Cadastro Nacional de Poços, possuindo por volta de 100.000 poços cadastrados. (PEIXINHO; OLIVEIRA, 2012)

A Figura 3, revela a distribuição dos 95 poços no recorte espacial estudado. Percebe-se que grande parte dos poços se concentram próximo aos e a margem esquerda lagos.

Figura 3 – Localização dos poços na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé



Cada parâmetro da metodologia GOD possui o mesmo peso. Sendo assim, o índice de vulnerabilidade final é o produto a partir dos fatores distribuídos para cada parâmetro. Para o parâmetro O, foi considerada o resultado da distribuição média simples da combinação dos fatores tipo litológica e classificação dos solos.

Após esta etapa, os resultados foram plotados em mapa produzido com o uso do software ArcGIS, o qual realiza a interpolação por meio de krigagem ordinária, permitindo estimar a vulnerabilidade natural do aquífero em toda a área da bacia do ribeirão Cambé.

A krigagem permite estimar o valor de um atributo em um local qualquer, apenas tomando o valor do atributo em alguns locais conhecidos e próximos ao local em que o atributo será estimado, Landim (2002) mostra que a equação 1 permite realizar a krigagem.

$$Z_{x_0}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{x_i} \quad \text{Eq. 1}$$

Com a condição de que:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Em que:

Z_{x0}^* = valor estimado do atributo no local x^0

λ = peso

I = indicador da amostra, $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

3.4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

3.4.1 Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos

A área de estudo está inserida geologicamente na Bacia Sedimentar do Paraná, que sofreu com intenso vulcanismo fissural, constituindo ampla província magmática, definindo no Fanerozóico a maior manifestação ígnea não oceânica e uma importante contribuição à geração da crosta ocidental do planeta.

Esse evento traduziu-se na bacia, como uma espessa cobertura de lavas, uma intrincada rede de diques contando a completa seção sedimentar. Hoje, após 100 milhões de anos de retrabalhamento erosivo, ainda restam $\frac{3}{4}$ da área total da bacia recoberta pelas rochas ígneas da Formação Serra Geral, com área de aproximadamente 1.200.000 km² abrangendo os estados do centro-sul do Brasil, partes do Uruguai, Argentina e Paraguai, com uma espessura remanescente que se aproxima dos 2000 metros na região do Pontal do Paranapanema-SP (Milani, 1997).

A cidade de Londrina encontra-se assentada sobre a Formação Serra Geral. Tal formação pertence ao Grupo São Bento, o qual compreende ainda as formações Botucatu e Pirambóia, porém de ocorrência limitada no extremo sul do município.

A Formação Pirambóia, datada do período Triássico é constituída de arenitos finos e muito finos de coloração esbranquiçada, amarelada ou rosada, com estratificações cruzadas e acanaladas de pequeno a grande porte. O ambiente de deposição é predominantemente eólico e subordinadamente fluvial (Caetano Chang, 1997).

Sobrepondo-se discordantemente à Formação Pirambóia está a Formação Botucatu, de idade Juro-Cretáceo, representado por arenitos avermelhados e acastanhados, de granulação média a grossa, com alta concentração de quartzo. Petri e Fúlfaro (1983) chamam a atenção para a presença de estratificações cruzadas de grande porte, com estratos de até 15 metros de altura, resultado da deposição em dunas eólicas.

De acordo com Celligoi (1993) área de estudo está situada na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, mais precisamente no terceiro planalto paranaense, onde existe a ocorrência de afloramentos de rochas basálticas pertencentes à Formação Serra Geral.

A Formação Serra Geral é constituída por rochas vulcânicas, resultado de sucessivos derrames continentais, que constituem, por sua vez, SASG (SCHEIBE; HIRATA, 2008).

A Formação Serra Geral, de maneira sintática, é composta principalmente por rochas vulcânicas básicas, toleíticas e andesitos basálticos ocorrendo subordinadas quantidades de riodacitos e riolitos, de textura afanítica, coloração cinza e negra. Os topos dos derrames é geralmente amigdaloidal, apresentando grande desenvolvimento de juntas verticais e horizontais com intrusões alcalinas e de pequenas lentes de arenito (Milani, 1997).

Na área de estudo há ocorrência dos Aquíferos Fissurais Serra Geral, associados aos derrames de rochas vulcânicas da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral (MACHADO e FREITAS, 2005). Conforme Reginato (2003), os aquíferos nessa região são fraturados e fazem parte do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

O condicionante geológico principal desses aquíferos corresponde às estruturas tectônicas (sistemas de fraturas e falhas). Os condicionantes secundários consistem na estruturação primária da rocha (zonas de brechas vulcânicas, vesiculares a amigdalóides e de disjunções e/ou diaclases), no relevo e tipo e espessura do solo. A circulação da água subterrânea está diretamente relacionada com a estruturação tectônica (presença de fraturas) e, em segundo plano, com a estruturação primária da rocha. Assim, esse aquífero é caracterizado por uma forte anisotropia responsável por vazões variáveis e por capacidades específicas baixas.

Esta base geológica, hoje exposta à ação do intemperismo e da erosão locais, constitui uma das bases físicas do meio ambiente na área. Compreender o essencial desta geologia se faz necessário, pois é sobre ela que os outros fatores ambientais têm agido no processo de modelagem da paisagem.

3.4.2 Classificação dos Solos

A zona não-saturada merece especial atenção uma vez que representa a primeira e mais importante defesa natural contra a contaminação das águas subterrâneas (MATTHESS et al., 1985; FOSTER, 1985a). Isso ocorre não somente por sua posição estratégica entre a superfície e o nível freático como também porque seu ambiente, em termos físicos, químicos e biológicos, é geralmente mais efetivo na atenuação e eliminação de contaminantes.

Dessa forma, o conhecimento dos materiais provenientes da alteração da rocha é de grande importância, pois sua estrutura e composição influem no tempo de percolação do contaminante até alcançar maiores profundidades e atingir a zona aquífera.

Neste contexto a classificação de um solo é de suma importância para compreensão de aspectos que interferem na vulnerabilidade das águas subterrâneas, pois as diferentes classes nos seus mais diversos níveis categóricos estão relacionadas as características morfológicas e a sua profundidade de ocorrência, afetando assim o deslocamento vertical de possíveis contaminantes.

Os principais tipos de solos de ocorrências na área de estudo são os Nitossolos e Latossolos vermelhos.

Nitossolos de cores vermelhas e vermelho-escuras, argilosos e muito argilosos, estrutura em blocos fortemente desenvolvidos, derivados de rochas básicas e ultrabásicas, com diferenciação de horizontes pouco notável. Corresponde ao que se denominava anteriormente de Terra Roxa Estruturada (EMBRAPA, 2020).

Os Nitossolos são solos bem desenvolvidos. Possui coloração que se assemelha ao Latossolo Vermelho, um horizonte B textural com espessura de mais ou menos 2 metros, sendo que sua importância para a agricultura é a mesma. Têm textura muito argilosa (60% ou mais de argila na maior parte dos horizontes) (Stipp, 2003). Classifica-se de estruturada devido a sua estrutura

subangular bem desenvolvida. Este solo tem por características principais o B nítico, cerosidade no horizonte B e, quando molhado, torna-se plástico e pegajoso.

A estrutura do horizonte subsuperficial dos Nitossolos é reconhecida no campo por blocos ou prismas bem definidos possuem disponibilidade hídrica muito maior do que os Latossolos da mesma textura devido a sua estrutura prismática ou em blocos ricamente constituído de micro poros (Embrapa, 2018). Nos aspectos da paisagem os Nitossolos ocorrem em locais mais declivosos do que os Latossolos.

Segundo a Spera et al (2000) os Latossolos são solos minerais, homogêneos, com pouca diferenciação entre os horizontes ou camadas, reconhecido facilmente pela cor quase homogênea do solo com a profundidade. Segundo Embrapa (2018) os Latossolos são profundos, bem drenados e com baixa capacidade de troca de cátions, com textura média ou mais fina (argilosa, muito argilosa), apresentando fração argila floclada no horizonte B latossólico o que lhe confere no seu perfil rápida permeabilidade da água, por isso são solos fortemente drenados ou excessivamente drenados (a água infiltra com velocidade muito rápida), lhe conferindo maior grau de vulnerabilidade se comparado aos nitossolos.

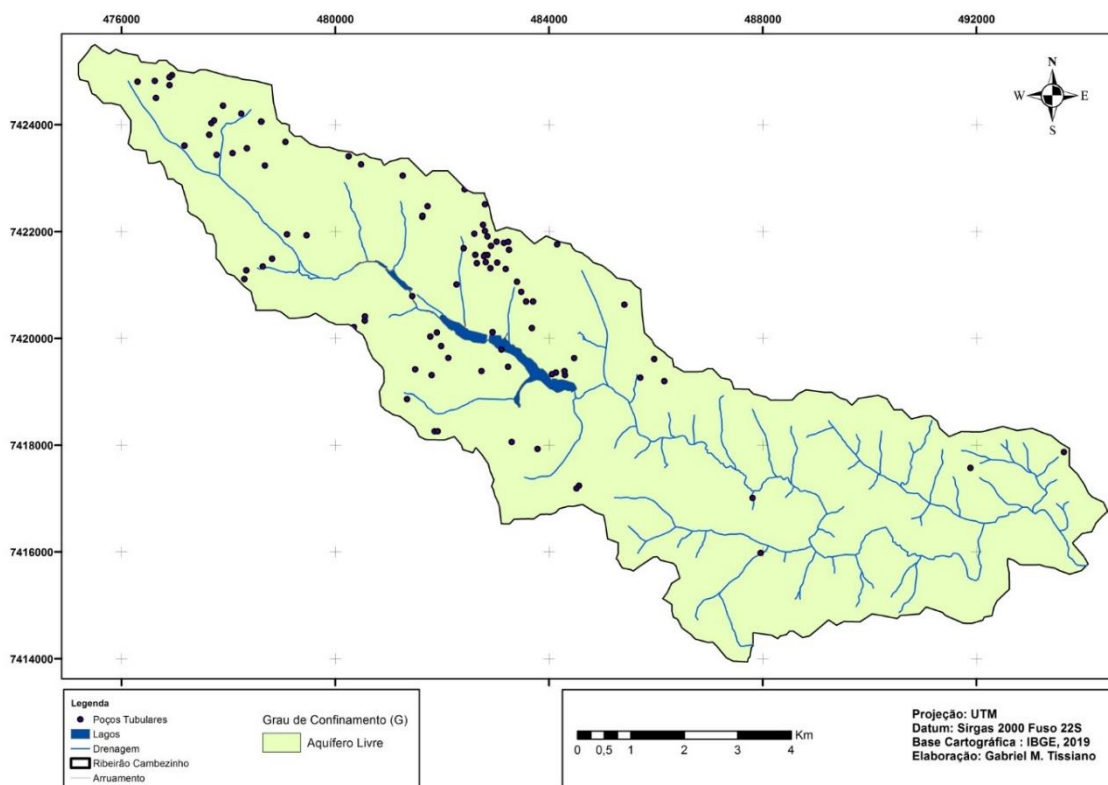
Segundo a Spera et al. (2000) os latossolos estão situados em relevo plano a suave-ondulado, com declividade que raramente ultrapassa 7%. São profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis mesmo quando muito argilosos, friáveis e de fácil preparo.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização da metodologia GOD (Figura 2) proporcionou a geração do mapa final, de vulnerabilidade natural (Figura 7). Foram gerados mapas para cada um dos parâmetros que compõem a metodologia.

A Figura 4 demonstra a ocorrência de aquífero na área de estudo, sendo classificado toda a área como livre, uma vez que não foram mapeados estratos sobrepostos a Formação Serra Geral que estabeleçam relações hidráulicas de confinamento ao SASG, já que os solos residuais de origem basáltica perfazem as únicas coberturas, ou seja, material intergranular poroso.

Figura 4 – Mapa de Grau de confinamento (G) da bacia do ribeirão Cambé.



Na Figura 5 são apresentadas as ocorrências litológicas e de cobertura na bacia. De acordo com a Tabela 1 os estratos de cobertura do aquífero demonstram que a maioria é composta por Latossolo, com potencial médio de susceptibilidade a contaminação, ocupando 44,9% da bacia hidrográfica do ribeirão Cambé. Somente 11,4% da ocorrência litológica é composta por Neossolo, localizado na porção sudeste do recorte espacial analisado. E 43,7% é composto por Nitossolo, sendo boa parte a jusante dos lagos.

Figura 5 – Mapa de Ocorrência litológica e de cobertura (O) da bacia do ribeirão Cambé.

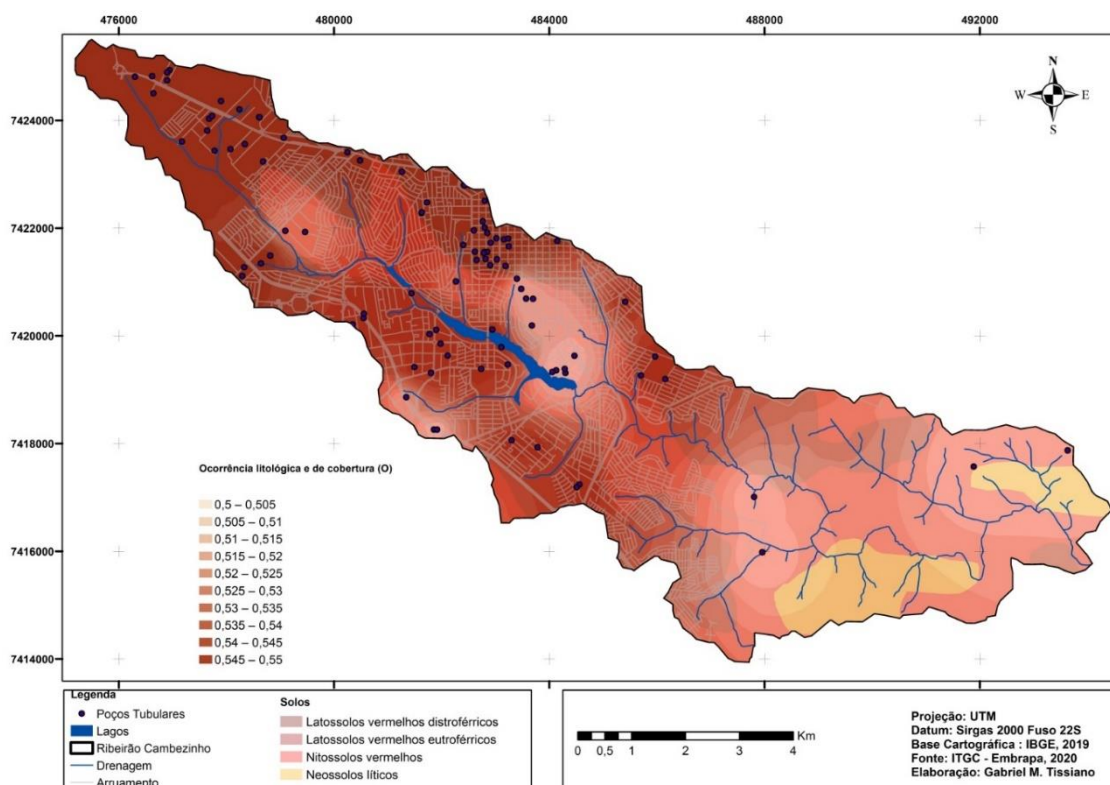
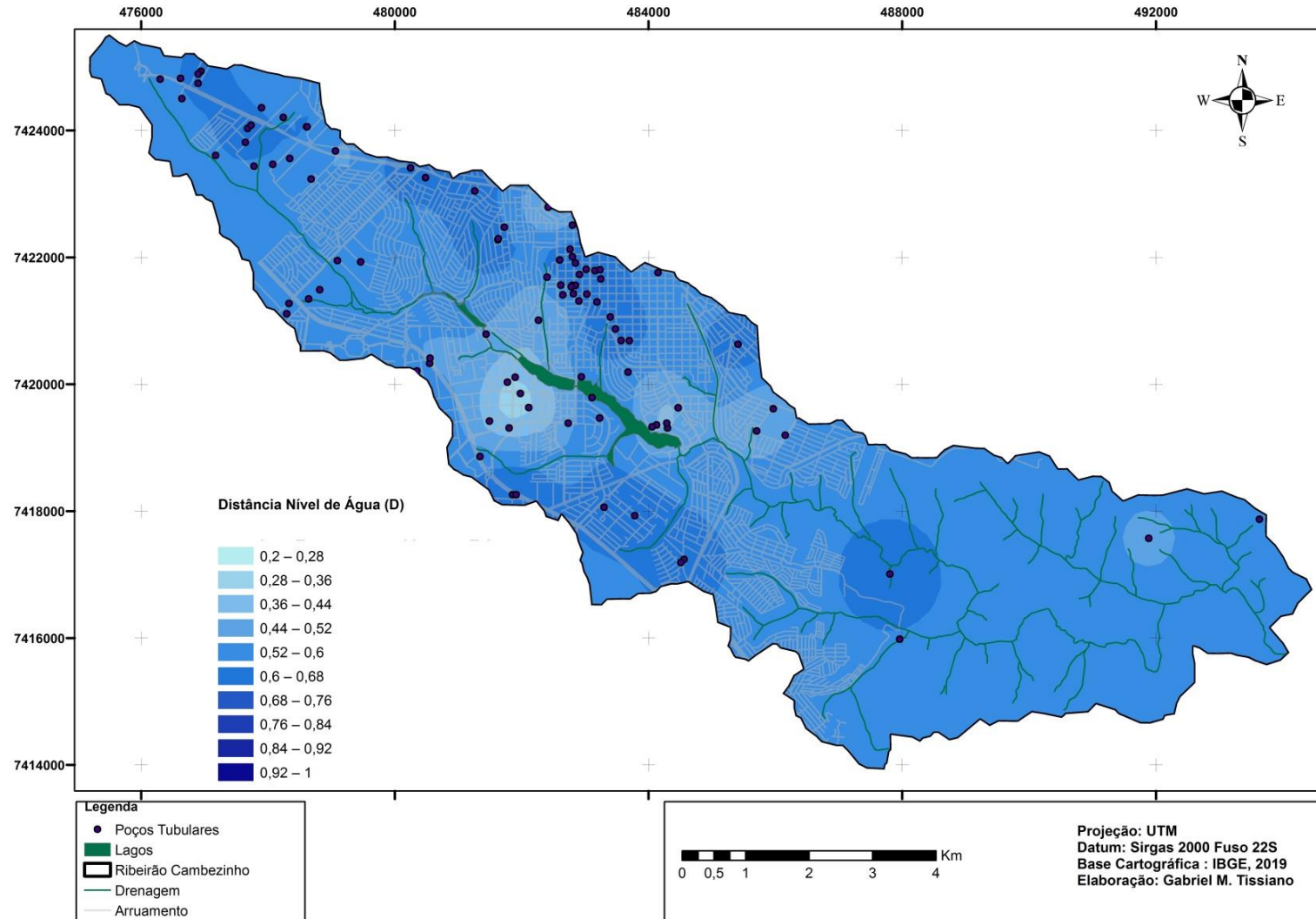


Tabela 1– Dados de classificação da Ocorrência litológica e de cobertura (O) da bacia do ribeirão Cambé.

| Ocorrência das classes de solo | Área (km ²) | Ocupação (%) |
|--------------------------------|-------------------------|--------------|
| Latossolo | 32,8 | 44,9 |
| Nitossolo | 31,9 | 43,7 |
| Neossolo | 8,3 | 11,4 |
| Total | 73,0 | 100 |

Conforme apresentado na Figura 6, é possível analisar o nível freático na bacia do ribeirão Cambé. Partes centrais e a noroeste da bacia apresentam poços com o nível de água menos profundo, fato que pode tornar essas áreas mais susceptíveis a contaminantes, conforme Reginato; Brancher; Schafer; Lanzer (2008) poços rasos com, com nível freático inferior a 5 metros, sem proteção sanitária e localizados próximo a fontes de contaminação são vetores de contaminação, comprometendo seriamente a qualidade da água, principalmente no que se refere à contaminação bacteriológica.

Parte da região centra de Londrina é caracterizada pela alta do parâmetro D, sendo um dos fatores decisivos na determinação do mapa final de vulnerabilidade.

Figura 6 – Mapa de Profundidade de nível de água subterrânea (D) da bacia do ribeirão Cambé

O mapa final de vulnerabilidade (Figura 7) foi gerado utilizando o método GOD que aglutina as informações dos três mapas anteriores, que representam os parâmetros ocorrência de aquíferos (G), classificação de cobertura e litologia (O) e profundidade do nível de água subterrâneo (D), revela que a bacia hidrográfica do ribeirão Cambé apresenta duas classes de vulnerabilidade natural à contaminação: baixa e média.

Porções que apresentam índices maiores de vulnerabilidade, possuem menor profundidade dos níveis de água subterrânea, parâmetro D na metodologia GOD, fato que pode ser agravado pelas características do aquífero ser livre no recorte espacial escolhido, desse modo essa correlação torna-se importante no entendimento do mapa.

Próximo ao Lago Igapó, na região central a vulnerabilidade predominante é baixa. Porém a sudeste do lago, próximo ao leito do ribeirão Cambé existe uma área com vulnerabilidade com tendência a média, fato que enfatiza a importância do parâmetro D na metodologia utilizada, pois nessa área, a profundidade do nível de água subterrânea é rasa.

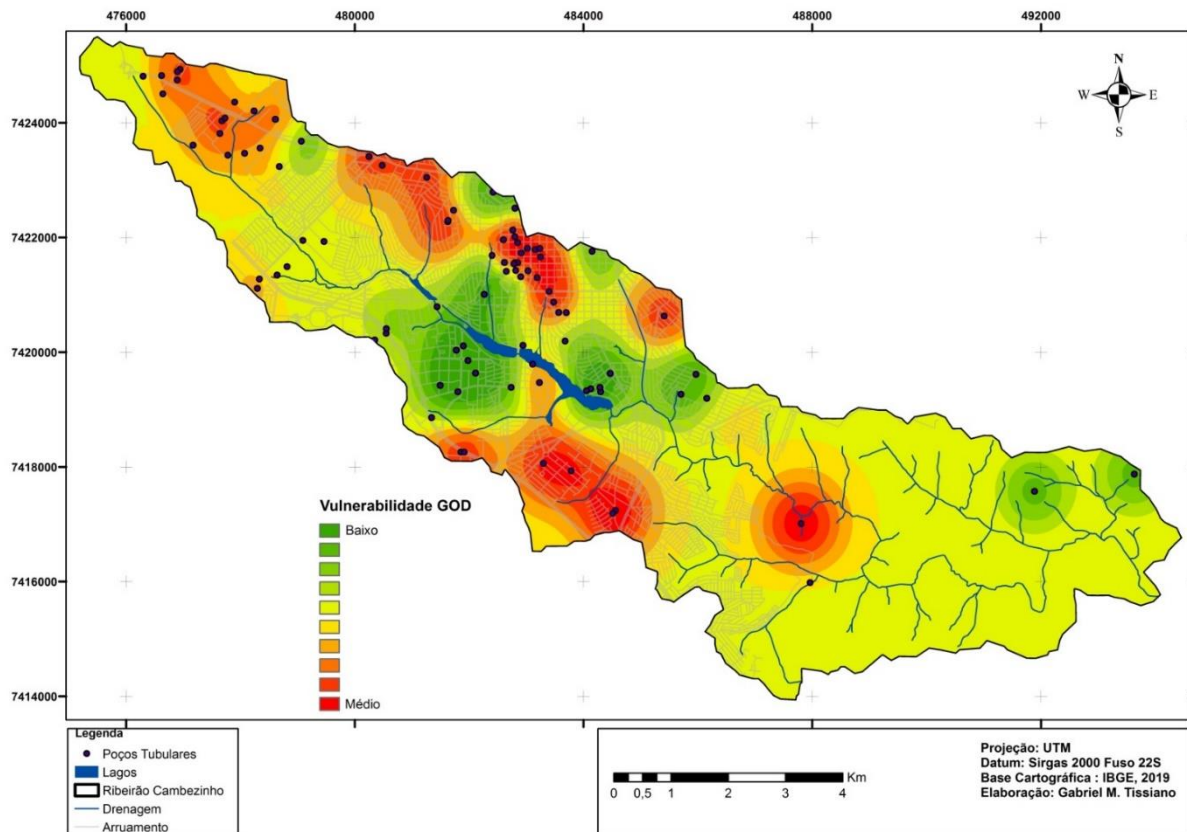
A tendência a vulnerabilidade média, é encontrada em porções a noroeste da bacia, pois são áreas com menor profundidade do nível de água do aquífero fato que o torna mais susceptível a contaminação.

No centro da bacia, a jusante dos lagos percebe-se outra porção com tendência a vulnerabilidade média, devido ao parâmetro D.

Uma área considerável da bacia hidrográfica do ribeirão Cambé encontra-se na zona de transição entre vulnerabilidade baixa e média, fato que não implica necessariamente em uma situação confortável, no que diz respeito a conservação do aquífero, pois os aspectos hidrogeológicos são passíveis de mudanças, fato que altera a classificação da vulnerabilidade do aquífero e devido a limitação do desenvolvimento da vulnerabilidade, que utiliza somente alguns parâmetros na sua determinação, como o uso e ocupação do solo e outros aspectos das atividades humanas.

A bacia estudada encontra-se em área urbanizada que exerce pressão nos recursos hídricos subterrâneos, devido a ações antrópicas e as atividades realizadas nesse espaço.

Figura 7 – Mapa de vulnerabilidade natural GOD da bacia do ribeirão Cambé.



Essas informações poderão servir de indicador para que sejam realizadas análises de qualidade da água no município, utilizando-se estes poços como ponto de partida, uma vez que os recursos não permitem análises de toda a área do aquífero.

3.6 CONCLUSÕES

O mapeamento da vulnerabilidade mostrou-se útil, pois propiciou a espacialização dos locais mais e menos vulneráveis na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé.

A metodologia utilizada apresentou-se adequada ao desenvolvimento do trabalho. O uso e ocupação da área estudada pode ser orientado por meio dos produtos cartográficos gerados, propiciando uma ocupação mais eficiente considerando aspectos de proteção das águas subterrâneas do SASG.

As geotecnologias foram essenciais para o êxito do trabalho, pois se mostrou eficiente como ferramenta de análise na espacialização e distribuição dos poços e no mapeamento da vulnerabilidade.

A utilização de um sistema de informação geográfica (SIG), no processamento de dados a partir das características físicas do recorte espacial escolhido, como os tipos de solos, profundidade do nível de água e o tipo de aquífero foi capaz de sintetizar e relacionar informações sobre a bacia.

A bacia hidrográfica foi utilizada como recorte espacial desse trabalho, porém sua importância se estende a uma unidade de planejamento e gestão ambiental e hídrica, na qual a sua ocupação seja ordenada de maneira mais orgânica e menos impactante.

Espera-se que as informações desse trabalho possam contribuir para a geração de novos mapas, a partir de novos cruzamentos, podendo orientar no processo de tomada de decisão e ou conhecimento das limitações e possibilidades de uma gestão integrada, de forma a subsidiar meios mais sustentáveis de exploração da terra.

AGRADECIMENTO

À CAPES, pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Defesa Civil. Política Nacional de Defesa Civil. Brasília: [s.n.], 2000b. Disponível em: <http://www.www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.
- FERREIRA, M.C. Análise espacial da densidade de drenagem em sistema de informação geográfica através de um modelo digital de distâncias interfluviais. *Geociências*, São Paulo, v. 18, n. 01, p. 7-22, 2002.
- FOSTER, S. HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies. World Bank, GWMATE. Washington, 2002.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D; D'ELIA, M; PARIS, M. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: Servmar – Serviços Técnicos Ambientais, Banco Mundial. Edição brasileira 2006.
- FOSTER, S. S. D. e R. HIRATA. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. Whopaho/hpe-cepis technical manual. Lima, Peru, 1988.
- GUIGUERI, N., & KOHNKEI, M. Métodos para Determinação da Vulnerabilidade de Aquíferos. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, 2002.
- MAACK, Reinhardt. Geografia Física Do Estado Do Paraná. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora S.A. 1981. 445 p.
- MINEROPAR. Mapa Geológico do Estado do Paraná. Governo do Paraná. 2020
- NANNI, A. S.; FREITAS, M. A.; TEDESCO, M. A.; BINOTTO, R. B. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero Serra Geral pela suinocultura na região das missões - RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. *Anais...* [S.l.: s.n.], 2005. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes/xvi_sbrh.pdf>. Acesso em: 12 mar 2020.
- NAKASHIMA, P.; NÓBREGA, M. T. Solos do Terceiro Planalto do Paraná – Brasil. In: **Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense**. Anais... Maringá, 2003. p. 67-85.
- PETRI, S., FULFARO, V. J., 1983. Geologia do Brasil (Fanerozóico) - São Paulo: T. A. Queiroz - Ed. da Universidade de São Paulo.

POPP, J. H. Geologia geral. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984. 283p

REBOUÇAS, A. C. Uso inteligente da água. São Paulo: Escrituras editora, 2004.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. CPRM, 2020.

SCHEIBE, L. F.; HIRATA, R. O contexto tectônico dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina: uma revisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. Anais... Natal: ABAS, 2008.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – SIAGAS. Pesquisa geral sobre poços. 2017. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php. Acesso em: 01 de abr. 2019.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SILVA, J. C. S. Características físicas de um Latossolo Vermelho–escuro no Cerrado de Planaltina, DF, submetido à ação do fogo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1817–1824, 2000.

ANEXOS

ANEXO A – Dados dos poços inseridos na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé
obtidos da plataforma do SIAGAS (Londrina – PR)

| Poços | Latitude | Longitude | ne (nível Estático) | nd (nível dinâmico) | q (vazão) |
|------------|------------|------------|---------------------|---------------------|-----------|
| 3500018636 | -23.316717 | -51.169697 | 94,80 | 147.53 | 4,00 |
| 3500018639 | -23.311748 | -51.170179 | 19,00 | 32,00 | 10,00 |
| 3500018651 | -23.31357 | -51.155022 | 80,00 | 106,00 | 11,00 |
| 3500018656 | -23.285925 | -51.231751 | 60,00 | 67,00 | 21,00 |
| 3500018674 | -23.292972 | -51.218268 | 22,00 | 35,00 | 14,00 |
| 3500018675 | -23.292521 | -51.217739 | 31,00 | 68,00 | 10,00 |
| 3500018679 | -23.285925 | -51.231751 | 35,00 | 55,00 | 32,00 |
| 3500018687 | -23.312202 | -51.167735 | 15,00 | 60,00 | 3,00 |
| 3500018688 | -23.328452 | -51.177048 | 101,00 | 113,00 | 4,00 |
| 3500018702 | -23.32753 | -51.192208 | 48,40 | 52.80 | 12,00 |
| 3500018704 | -23.315363 | -51.168228 | 21,00 | 73,00 | 6,00 |
| 3500018711 | -23.315364 | -51.167739 | 27,00 | 86,00 | 5,00 |
| 3500018714 | -23.319886 | -51.162365 | 21,00 | 87,00 | 8,00 |
| 3500018718 | -23.311299 | -51.168223 | 22,00 | 90,00 | 3,00 |
| 3500018721 | -23.314465 | -51.163825 | 22,00 | 53,00 | 9,00 |
| 3500018753 | -23.365797 | -51.117784 | 26,00 | 62,00 | 50,00 |
| 3500018757 | -23.298624 | -51.193144 | 25,40 | 75,00 | 2,00 |
| 3500018778 | -23.290012 | -51.216112 | 38,00 | 56,00 | 45,00 |
| 3500018780 | -23.335703 | -51.15358 | 65,20 | 89,00 | 20,00 |
| 3500018792 | -23.285925 | -51.231751 | 64,00 | 72,00 | 30,00 |
| 3500018811 | -23.326449 | -51.19025 | 33,40 | 61.40 | 5,00 |
| 3500018826 | -23.292732 | -51.209173 | 21,00 | 66,00 | 4,00 |
| 3500018827 | -23.332814 | -51.151914 | 81,50 | 85,00 | 4,00 |
| 3500018828 | -23.31663 | -51.16598 | 28,00 | 136.83 | 1,00 |
| 3500018831 | -23.306782 | -51.168217 | 107,00 | 136,00 | 3,00 |
| 3500018838 | -23.335249 | -51.155243 | 58,00 | 76,00 | 3,00 |
| 3500018840 | -23.346984 | -51.163376 | 18,00 | 27,00 | 5,00 |
| 3500018847 | -23.321585 | -51.161584 | 7,90 | 61.82 | 7,00 |
| 3500018859 | -23.304249 | -51.17193 | 105,30 | 186,00 | 15,00 |
| 3500019086 | -23.331356 | -51.165216 | 46,10 | 90,00 | 4,00 |
| 3500019102 | -23.307088 | -51.178702 | 110,20 | 127.32 | 6,00 |
| 3500019150 | -23.328401 | -51.166855 | 55,00 | 75,00 | 7,00 |
| 3500019450 | -23.330756 | -51.176249 | 81,00 | 107,00 | 8,00 |
| 3500020961 | -23.34875 | -51.062278 | 106,00 | 126,00 | 2,00 |
| 3500021000 | -23.336131 | -51.139827 | 79,30 | 104,00 | 9,00 |
| 3500021001 | -23.332972 | -51.137261 | 103,00 | 157,00 | 4,00 |
| 3500021153 | -23.322304 | -51.181549 | 52,00 | 76,00 | 3,00 |
| 3500021407 | -23.345167 | -51.177472 | 24,20 | 36,00 | 6,00 |
| 3500021427 | -23.28653 | -51.225904 | 34,10 | 45.20 | 5,00 |
| 3500021834 | -23.288694 | -51.228392 | 44,80 | 51,00 | 15,00 |
| 3500021855 | -23.33674 | -51.135406 | 40,00 | 103,00 | 3,00 |
| 3500021918 | -23.323778 | -51.142694 | 25,00 | 55,00 | 3,00 |

| | | | | | |
|------------|------------|------------|--------|--------|-------|
| 3500022371 | -23.345167 | -51.176917 | 24,20 | 36.18 | 6,00 |
| 3500034261 | -23.320344 | -51.173457 | 116,50 | 117.03 | 3,00 |
| 3500034430 | -23.334256 | -51.164026 | 21,10 | 34.70 | 1.65 |
| 3500034645 | -23.299999 | -51.190868 | 41,00 | 220.06 | 6.90 |
| 3500034666 | -23.29495 | -51.218633 | 28,00 | 44.70 | 6.50 |
| 3500034813 | -23.354394 | -51.151038 | 22,10 | 36.26 | 50,00 |
| 3500035308 | -23.284823 | -51.225452 | 35,00 | 49,00 | 9.37 |
| 3500036316 | -23.291389 | -51.212778 | 55,10 | 61.54 | 8.80 |
| 3500036318 | -23.296179 | -51.204719 | 108,00 | 149.36 | 4,00 |
| 3500036456 | -23.311983 | -51.200861 | 41,50 | 49.04 | 6.50 |
| 3500037675 | -23.351448 | -51.079372 | 100,70 | 104.70 | 4.50 |
| 3500037962 | -23.300167 | -51.208481 | 28,20 | 90,00 | 2.50 |
| 3500038027 | -23.31329 | -51.164743 | 74,20 | 174.69 | 3.25 |
| 3500038187 | -23.301905 | -51.183262 | 16,50 | 69.19 | 6,00 |
| 3500038188 | -23.323221 | -51.160716 | 16,20 | 94.24 | 10,00 |
| 3500038237 | -23.335 | -51.168898 | 93,00 | 107,00 | 5.40 |
| 3500038292 | -23.325717 | -51.1902 | 102,00 | 145,00 | 18,00 |
| 3500038303 | -23.32773 | -51.159655 | 56,00 | 108,00 | 4,00 |
| 3500038334 | -23.315553 | -51.168394 | 26,90 | 70.21 | 5,00 |
| 3500038501 | -23.317257 | -51.208889 | 27,00 | 53.92 | 28,00 |
| 3500038758 | -23.313137 | -51.163941 | 21,50 | 42.84 | 7.90 |
| 3500039511 | -23.298357 | -51.217299 | 32,80 | 34.97 | 20,00 |
| 3500039558 | -23.313098 | -51.166093 | 39,50 | 39.88 | 2.40 |
| 3500040251 | -23.315334 | -51.169998 | 25,50 | 67.20 | 3.50 |
| 3500041121 | -23.319357 | -51.212267 | 43,00 | 62.30 | 10.20 |
| 3500041140 | -23.339737 | -51.182502 | 31,00 | 68,00 | 20,00 |
| 3500041369 | -23.297245 | -51.211772 | 42,20 | 76.14 | 6,00 |
| 3500043409 | -23.348163 | -51.158643 | 23,40 | 40.37 | 4.40 |
| 3500060018 | -23.317585 | -51.167219 | 87,90 | 125.38 | 6.50 |
| 3500060046 | -23.335535 | -51.155969 | 94,00 | 147,00 | 2.50 |
| 3500060525 | -23.354865 | -51.151529 | 22,10 | 36.26 | 5,00 |
| 3500060620 | -23.356505 | -51.119279 | 4,90 | 40.26 | 56.50 |
| 3500060961 | -23.314205 | -51.172119 | 132,90 | 188,00 | 3,00 |
| 3500062174 | -23.332755 | -51.174959 | 110,00 | 133,00 | 5,00 |
| 3500062176 | -23.313825 | -51.167129 | 36,30 | 86,00 | 3,00 |
| 3500062192 | -23.311805 | -51.204459 | 40,30 | 95,00 | 8,00 |
| 3500062314 | -23.316575 | -51.168069 | 36,60 | 54.48 | 4.95 |
| 3500062321 | -23.315935 | -51.207189 | 54,20 | 95.48 | 52,00 |
| 3500062335 | -23.308875 | -51.179689 | 16,50 | 84.60 | 4.60 |
| 3500062399 | -23.292728 | -51.209104 | 28,80 | 52.50 | 3,00 |
| 3500062427 | -23.335015 | -51.153689 | 72,10 | 94.93 | 3,00 |
| 3500062450 | -23.296785 | -51.22321 | 45,70 | 46.61 | 10,00 |
| 3500062494 | -23.334675 | -51.181019 | 152,10 | 153.30 | 2.50 |
| 3500062647 | -23.323245 | -51.159429 | 71,30 | 96.60 | 8.50 |
| 3500063007 | -23.310235 | -51.168569 | 27,10 | 61.90 | 6.60 |
| 3500063446 | -23.317895 | -51.211919 | 40,10 | 54.40 | 7.20 |
| 3500063452 | -23.317725 | -51.164439 | 20,30 | 25.29 | 8.20 |
| 3500063591 | -23.308695 | -51.179649 | 17,80 | 64.65 | 2.20 |
| 3500063677 | -23.285814 | -51.22859 | 34,00 | 39.46 | 5.50 |

| | | | | | |
|------------|------------|------------|--------|--------|-------|
| 3500063901 | -23.329145 | -51.178249 | 85,00 | 106,00 | 8,00 |
| 3500064659 | -23.335665 | -51.177989 | 130,40 | 264,00 | 54,00 |
| 3500064813 | -23.298065 | -51.214399 | 49,70 | 72.45 | 4.90 |
| 3500064916 | -23.285183 | -51.225891 | 22,00 | 43,00 | 5,00 |

4 - ARTIGO 2 - DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCO DE CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO CAMBÉ – LONDRINA (PR)

Gabriel Merlini Tissiano

RESUMO

O presente artigo apresenta um estudo da vulnerabilidade natural do aquífero Serra Geral (SASG) na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé, na cidade de Londrina/PR, por meio da utilização da metodologia GOD (Foster et al., 2006). O risco à contaminação também foi determinado, por meio da sobreposição dos mapas GOD de vulnerabilidade natural intrínseca aquífera e do índice de perigo (IP), que foi obtido por meio da adaptação dos valores apresentados nos trabalhos de Milek, Kish e Gomes (2014) e Entezari, Yamani e Agdam (2016), que consideram o uso do solo como o principal fator para a definição IP. Além desses fatores, foi possível ainda identificar pontualmente atividades de grande potencial de perigo, sendo eles cemitérios, postos de revenda de combustíveis e uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Grande parte da bacia encontra-se na transição entre risco médio e moderadamente alto, sendo isso, subsídio para o ordenamento do território. O desenvolvimento urbano, sem que haja o devido planejamento, pode contribuir para o aumento do índice de risco.

PALAVRAS-CHAVE:

Serra Geral, vulnerabilidade, contaminação, risco

ABSTRACT:

The article presents a study of the natural vulnerability of the Serra Geral aquifer (SASG) in the Ribeirão Cambé hydrographic basin, in the city of Londrina / PR, using the GOD methodology (Foster et al., 2006). The risk of contamination was also determined, by overlapping the GOD maps of intrinsic aquifer natural vulnerability and the hazard index (IP), which was obtained by adapting the values presented in the works of Milek, Kish and Gomes (2014) and Entezari, Yamani and Agdam (2016), who consider land use as the main factor for defining IP. In addition to these factors, it was also possible to occasionally identify activities of great potential for danger, such as cemeteries, fuel resale stations and a Sewage Treatment Station (ETE). A large part of the basin is in the transition between medium and moderately high risk, which is a subsidy for land use planning. Urban development, without proper planning, can contribute to the increase in the risk index.

KEYWORDS:

Serra Geral, vulnerability, contamination, risk

4.1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas preocupantes referentes a gestão de recursos hídricos subterrâneos é a contaminação de aquíferos, pois são considerados recursos estratégicos para a população, visto que são amplamente utilizados em determinadas regiões.

Visando evitar possíveis contaminações, medidas são adotadas, para isso é preciso conhecer a vulnerabilidade à contaminação do aquífero, por meio de suas características intrínsecas, e os riscos à contaminação, do qual é resultado das ações antrópicas.

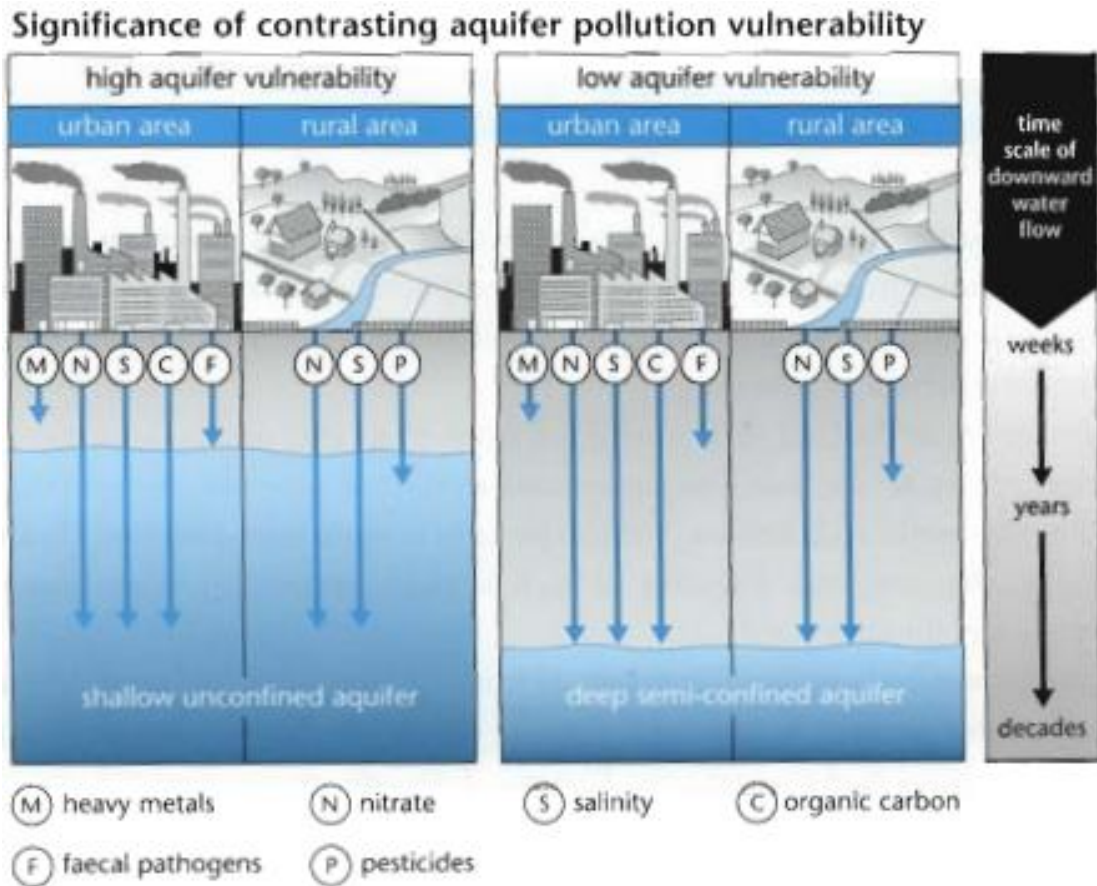
O presente artigo tem por objetivo apresentar a avaliação da vulnerabilidade e o risco do SASG na bacia do Ribeirão Cambé, com a finalidade de delimitar as áreas mais suscetíveis à contaminação.

Foster et al. (2002) consideram que o risco de poluição das águas subterrâneas pode ser entendido como a interação entre a vulnerabilidade à poluição do aquífero e as atividades humanas, sendo a primeira ligada as características naturais dos estratos que separam às águas subterrâneas da superfície terrestre, onde ocorre o uso e a ocupação do solo.

Os autores consideram ainda outras características, como a carga contaminante que poderá ser aplicada no ambiente subterrâneo como resultado dessas atividades humanas. Ao adotar essa condição, é possível encontrar alta vulnerabilidade, mas nenhum risco de poluição, devido à ausência de carga significativa de contaminantes no subsolo e vice-versa. Ambos são perfeitamente consistentes na prática. Além disso, a carga de contaminantes pode ser controlada ou modificada, mas a vulnerabilidade do aquífero é essencialmente corrigida pelo cenário hidrogeológico natural.

O termo vulnerabilidade à poluição do aquífero representa a sensibilidade das águas subterrâneas a ser afetado de maneira indireta por uma carga contaminante imposta (Figura 1). Com efeito, é o inverso da capacidade de assimilação de poluentes de um corpo de água receptor.

Figura 1 – Importância da vulnerabilidade a diferentes cargas contaminantes



Fonte: Foster et al. (2002)

Segundo Foster et al. (2002), a vulnerabilidade à poluição aquífera pode ser rapidamente mapeada. Em tais mapas, os resultados de pesquisas de carga potencial de contaminantes subterrâneos podem ser sobrepostos, para facilitar a avaliação do risco de poluição das águas subterrâneas. O termo poluição da água subterrânea está relacionado à probabilidade de que a água subterrânea em um aquífero fique contaminada com concentrações acima do valor de referência da Portaria do Ministério da Saúde 2914 de 2011 (Brasil, 2011) para a qualidade da água potável.

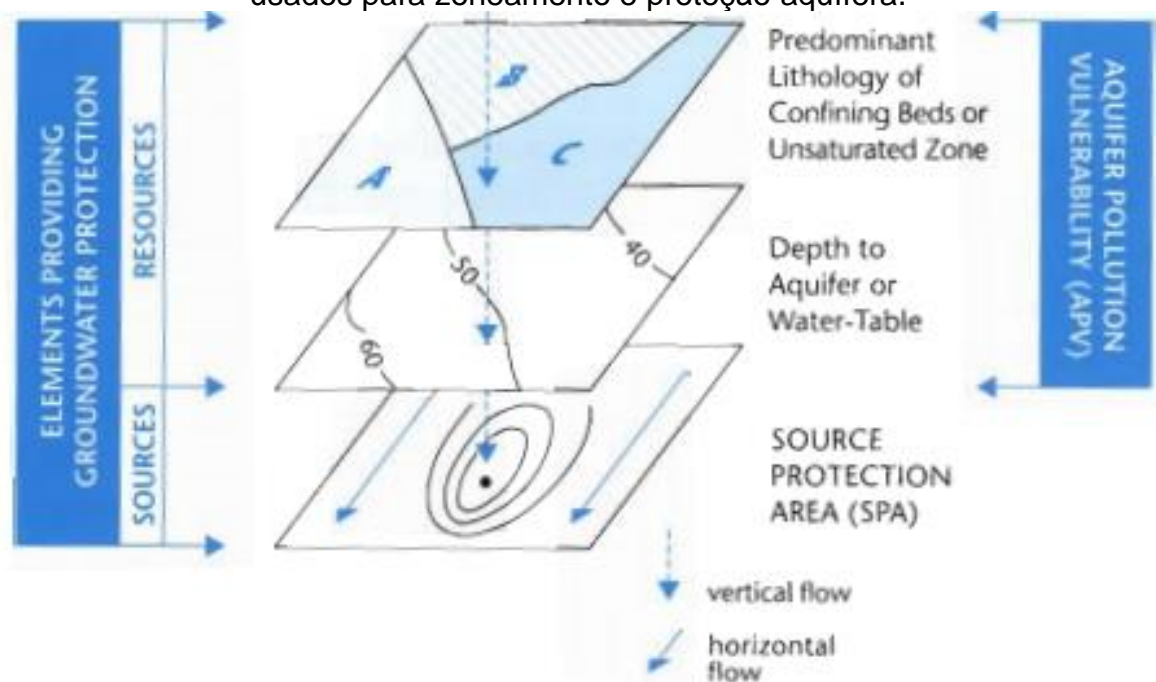
Cabe destacar que mesmo existindo risco, é necessário avaliar se resultará em uma ameaça à qualidade da água subterrânea em um determinado suprimento para a sociedade. A fonte de contaminação depende principalmente da sua localização em relação à área de captação de água subterrânea e, secundariamente, da mobilidade

e dispersão dos contaminantes envolvidos no regime local de fluxo de água subterrânea.

A avaliação do risco de poluição do suprimento de água subterrânea pode ser realizada sobrepondo o mapeamento da vulnerabilidade aquífera (Figura 2) e, subsequentemente, ao inventário resumido derivado do mapeamento do potencial da carga potencial de contaminantes. Por fim, deve-se avaliar o risco em termos da exposição resultante de contaminantes para usuários de água.

Desse modo, as escalas nas quais o levantamento e o mapeamento dos vários componentes necessários para avaliar o risco de poluição das águas subterrâneas são realizados variam significativamente, porém com o foco principal na proteção do abastecimento de água para a sociedade ou a proteção de recursos aquíferos (Figura 2).

Figura 2 - Componentes da avaliação de riscos de poluição das águas subterrâneas usados para zoneamento e proteção aquífera.



Fonte: Foster et al. (2002)

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Índice de Vulnerabilidade GOD

Para este estudo foi realizado uma série de levantamentos para identificar os parâmetros e fatores para o mapeamento dos índices de vulnerabilidade GOD, Índice

de Perigo (IP) e Índice de Risco (IR), todos eles em versões modificadas, adaptadas de acordo com a realidade física e político territorial de ocupação e uso do solo da área de estudo.

O método GOD (FOSTER et al., 2002) foi selecionado para estabelecer o mapeamento de vulnerabilidade, e possui como característica a facilidade de aplicação em virtude do reduzido número de parâmetros.

O GOD foi desenvolvido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e utiliza requisitos mínimos para determinar o índice de vulnerabilidade de aquíferos (GUIGUER; KOHNKE, 2002). Guiguer; Kohnke (2002) pontuam algumas informações sobre índice GOD e seus parâmetros, sendo eles: tipo de ocorrência aquífera em relação ao seu armazenamento hidráulico ou grau de confinamento (*Groundwater occurrence*), Classificação dos estratos acima da zona saturada do aquífero em termos de ocorrência litológica e/ou tipo de cobertura de material inconsolidado (*Overall aquifer class*) e por fim, a profundidade do nível de água subterrânea (*Depth to groundwater table*).

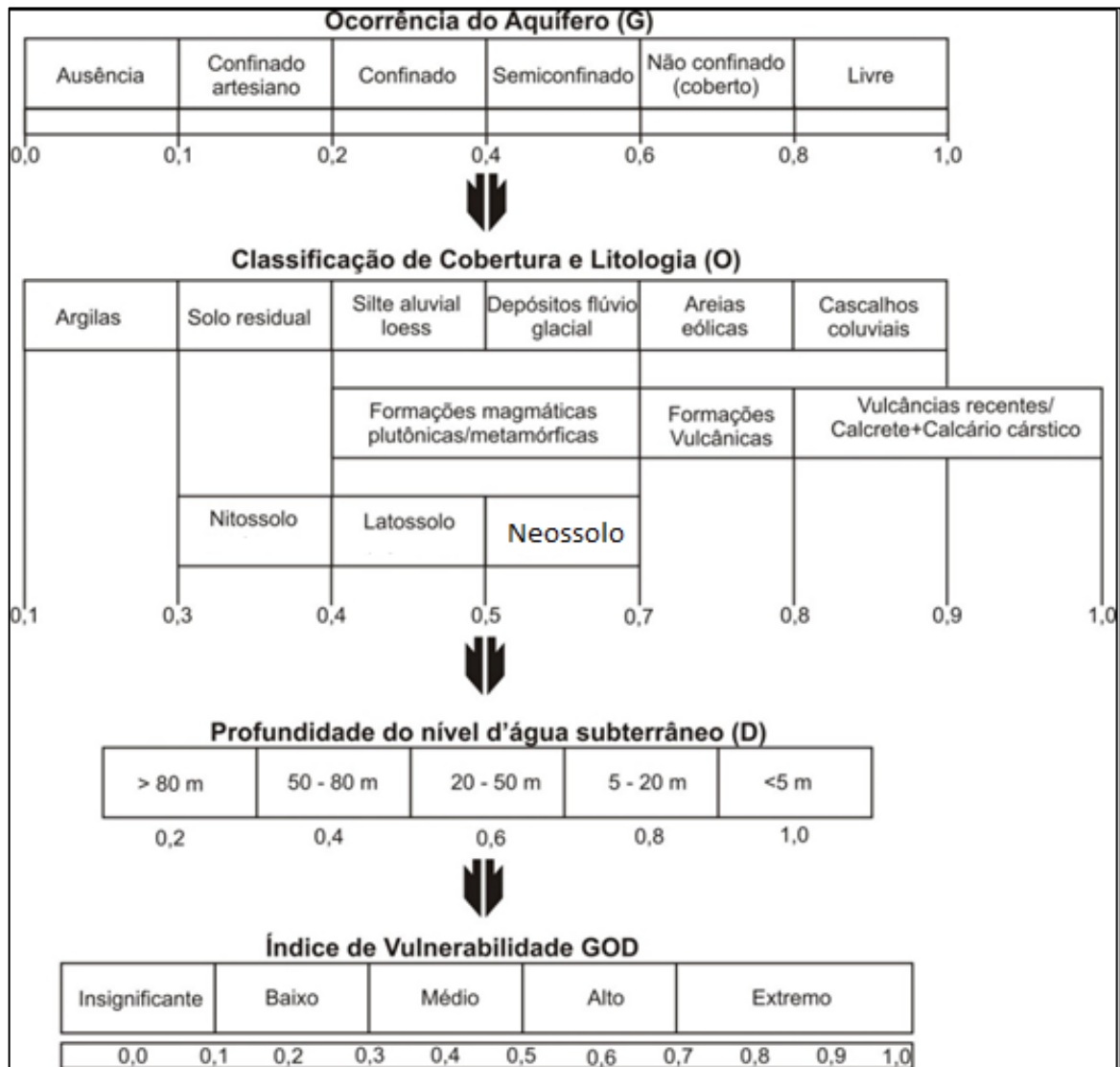
Os pesos distribuídos em cada parâmetro GOD possuem o mesmo nível de importância. Sendo assim, o índice de vulnerabilidade final é o produto a partir dos fatores distribuídos para cada parâmetro. Para o parâmetro O, foi considerado o resultado da distribuição média simples da combinação dos fatores tipo litológica e classificação dos solos.

Pode-se observar na Figura 3 a caracterização das componentes da vulnerabilidade geral do aquífero e suas respectivas escalas.

Para a determinação da ocorrência do tipo litológico (O), foi consultado o mapa geológico do estado do Paraná (MINEROPAR, 2020) e para classificação do solo foi utilizado mapeamento realizado pela Embrapa (2020) dos tipos de solos do estado do Paraná e disponibilizado pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG, 2020).

Em relação ao tipo litológico, na área de estudo afloram apenas rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral, conforme apresentado na Figura 4 definindo assim apenas um fator para estabelecimento do parâmetro em relação a geologia. Para os tipos de solos, foram compiladas 3 classificações de primeiro nível categórico, assim estabelecidos por ordem de grandeza de ocorrência: Latossolo Vermelho; Nitossolo Vermelho e Neossolo ou Nitossolo.

Figura 3 - Fluxograma exibindo as etapas e distribuição de pesos para determinação do método GOD.



Fonte: modificado de Foster et al. (2002).

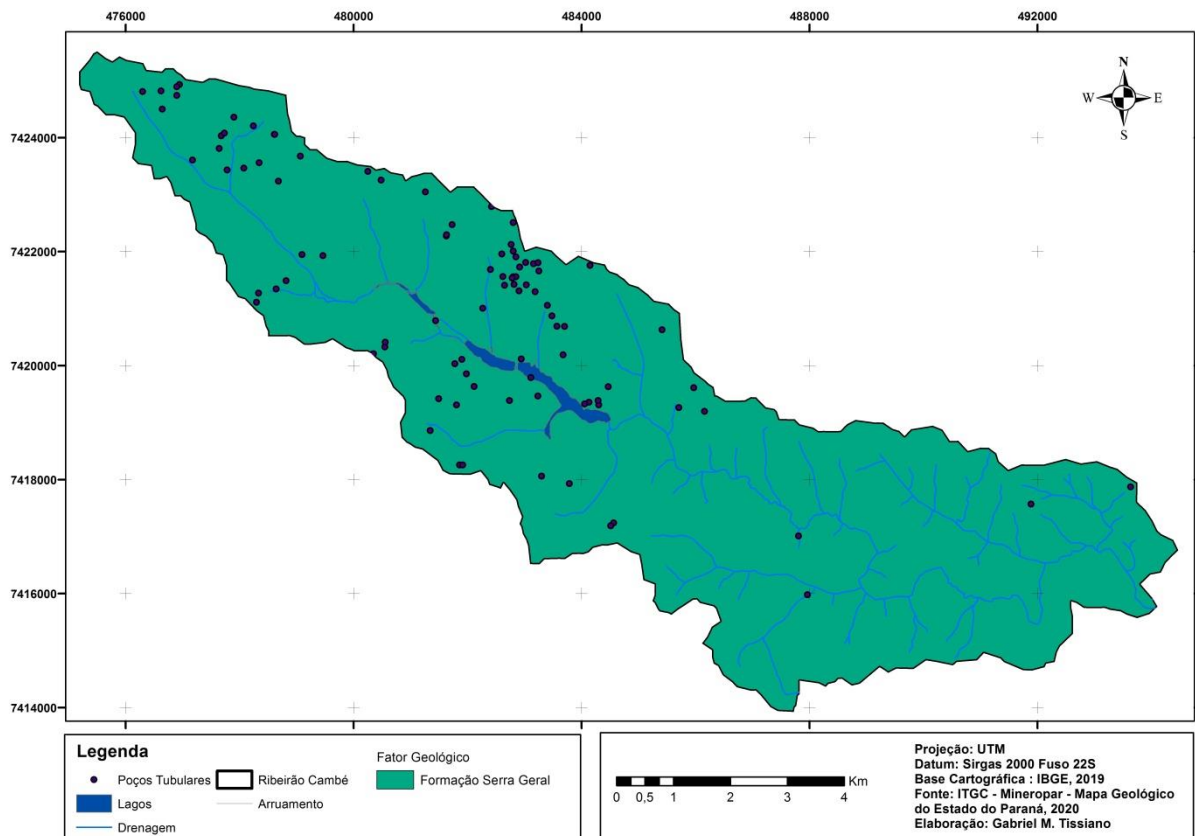
A definição da condição hidráulica do sistema aquífero na área de estudo também foi realizada a partir de consultas ao mapa geológico do estado do Paraná (MINEROPAR, 2020), definindo desse modo como **livre** para toda sua extensão na bacia, uma vez que não foram mapeados estratos sobrepostos a Formação Serra Geral que estabeleçam relações hidráulicas de confinamento ao SASG, já que os solos residuais de origem basáltica perfazem as únicas coberturas, ou seja, material intergranular poroso.

Para determinação do parâmetro D, foi utilizado dado de profundidade de nível de água contidos no banco dos poços tubulares profundos. O cadastramento dos poços bem como o seu georrefenciamento na área de estudo foi uma das principais etapas desta pesquisa, e para sua realização foi consultado o Sistema de Informações

de Águas Subterrâneas (SIAGAS) desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), composto por uma base de dados de poços permanentemente atualizados e de módulos capazes de realizar consulta, pesquisa e extração de produtos (SIAGAS, 2020). A Figura 4, além da ocorrência litológica, mostra a distribuição espacial dos 95 poços na bacia do ribeirão Cambé.

Após esta etapa, os resultados foram plotados em mapa produzido com o uso do software ArcGIS, o qual realiza a interpolação por meio de krigagem ordinária, permitindo estimar a vulnerabilidade natural do aquífero em toda a área da bacia do ribeirão Cambé.

Figura 4 – Mapa mostrando a ocorrência litológica e a distribuição dos poços tubulares profundos na bacia do ribeirão Cambé.



4.2.2 Índice de Perigo (IP)

Segundo Sanders e McCormick (1993, p. 675) perigo “é uma condição ou um conjunto de circunstâncias que têm o potencial de causar ou contribuir para uma lesão ou morte”. No caso da aplicação deste conceito para o objeto de estudo, a condição de perigo tem relação com determinadas atividades ou tipo de ocupação do solo, que

em diferentes graus, podem produzir a contaminação das águas subterrâneas, sem levar em consideração a vulnerabilidade intrínseca do meio.

Dessa forma, foi atribuído um índice de perigo às águas subterrâneas IP para cada ponto da área de estudo, representado nessa condição pelo posicionamento dos poços tubulares profundos na bacia do ribeirão Cambé em decorrência da ameaça que uma determinada atividade, uso e ocupação do solo ou conjunto dessa relação, exercem sobre a qualidade das águas subterrâneas.

A atribuição desses índices foi feita a partir da adaptação dos valores apresentados nos trabalhos de Milek, Kish e Gomes (2014) e Entezari, Yamani e Agdam (2016), que consideram o uso do solo como o principal fator para a definição IP.

Diferentemente desses autores, o presente estudo apresenta recorte espacial considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão, além disso, a dinâmica de atividades humanas com diferentes índices de perigo considerou-se a combinação de dois fatores fundamentais: classificação de uso e ocupação do solo e zoneamento urbano para a bacia do ribeirão Cambé, sendo esse último fator, contido no Plano Diretor de Londrina (LONDRINA, 2019), e que estabelece leis e diretrizes de ordenamento do território do município.

4.2.3 Atividades de Perigo

Além desses fatores, foi possível ainda identificar pontualmente atividades de grande potencial de perigo, sendo eles cemitérios, postos de revenda de combustíveis e uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

Os dados de geolocalização dos cemitérios foram disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina (IPPUL) (SIGLON, 2020) em formato vetorial (*shapefile*), enquanto a ETE foi identificada pelo mapeamento de classificação e uso do solo.

Os postos de combustíveis foram geocodificados a partir de seu endereço físico que pode ser obtido através de consulta no *site* da ANP (2019), na plataforma Consulta *Posto Web* que permite acesso à planilha eletrônica contendo os dados cadastrais e a situação dos postos em operação no município de Londrina.

Para definição do índice para esses fatores de perigo adotaram-se os seguintes critérios:

- Cemitérios – tanto Milek, Kish e Gomes (2014) como Entezari, Yamani e Agdam (2016), não estabelece índice para este parâmetro, porém, a carga contaminante dessa atividade está condicionada a liberação de solutos inorgânicos (Nitrato (NO₃-), por exemplo) de origem da decomposição de compostos orgânicos, semelhantes a depósitos de resíduos sólidos ou lixões, mas, com menor volume por m² de lixiviação, desse modo estabeleceu índice 60, índice menor que lixões como proposto por Milek, Kish e Gomes (2014). Ao mesmo tempo, adotou-se índice igual a 30, para cemitérios construídos após resolução nº 002/2009 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos SEMA (2009) que estabelece condições e critérios rígidos para o estabelecimento de licenciamento ambiental, como por exemplo, distanciamento mínimo do lençol freático e impermeabilização da sepultura.
- Postos de revenda de combustíveis – adotou-se índice 60, assim como adotado por Entezari, Yamani e Agdam (2016), embora a carga contaminante de origem de combustíveis possui menor poder de espacialização como pluma de contaminação quando comparado a outras fontes, a toxicidade de elementos como o BTEX, por exemplo, é muito elevada.
- ETE - adotou-se índice 60, assim como adotado por Entezari, Yamani e Agdam (2016).

Além disso, para cemitérios e postos de combustíveis foi adotado critérios de raio mínimo de distanciamento de fontes de abastecimento de água potável. No caso de cemitérios a existência de poucas referências quanto à área necessária para sua implantação e até mesmo a inexistência de normas técnicas que tratam especificamente desse assunto, desse modo, para o presente trabalho, adotou-se norma técnica número 13.869 de 1997 (NBR, 1997) utilizado como parâmetro de implantação de aterros, que determina o distanciamento mínimo de 200 metros de qualquer corpo hídrico, incluso os poços tubulares profundos.

Para postos de combustíveis adotou-se a resolução do CONAMA nº 273/2000, que para emissão de licença prévia e de sua instalação, é necessário identificar as áreas de recarga e a localização de poços de captação de águas subterrâneas, que deve encontrar-se em um raio mínimo de 100 metros.

Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento para o mapeamento da localização dessas fontes de perigo e seu distanciamento das zonas de captação das

águas subterrâneas, empregando método *buffers* o qual, através de utilização de *software*, cria-se vetores de dimensões específicas no entorno de feições cartográficas representativas do meio, em seguida, estabelece intersecções para identificar as sobreposições entre *buffers*, e as camadas de interesse (nesse caso: poços tubulares *intersec.* cemitérios; poços tubulares *intersec* postos de gasolina).

Além disso, os valores IP finais para cemitérios e postos de combustíveis não foram fixados em relação ao tipo de atividade, mas foram somados aos valores IP das classes de densidade urbana, pois, entende-se que a existência de raio de distanciamento os perigos se somam.

4.2.4 CLASSIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A proposta do mapeamento de uso e ocupação do solo é baseada na interpretação visual da imagem de satélite buscando identificar a espacialização de atividades humanas e sua relação com perigo de contaminação das águas subterrâneas.

Para a classificação do uso e ocupação do solo utilizou-se imagens de satélites LANDSAT8 de quinze de setembro de 2019 obtidas no site do *U.S. Geological Survey* (2020), utilizando como critérios de seleção as mais recentes e com menor cobertura possível de nuvens sobre a área alvo, ou seja, a bacia do ribeirão Cambé.

O arquivo de imagem LANDSAT contém bandas multiespectrais na faixa do visível: vermelho, azul e verde que possibilitam através de suas composições a obtenção de imagens coloridas com resolução em pixels de 30m por 30m. Porém, para melhor resolução, o que permite a obtenção de dados espectrais mais precisos e de forma rápida, foi realizada a combinação destas bandas, com a banda 8 LANDSAT pancromática de resolução pixel de 15m por 15m, com renderização em TIFF de composição colorida com a mesma resolução pancromática.

Para geração do mapeamento de do uso e ocupação do solo utilizou-se técnicas de geoprocessamento para classificação supervisionada. Nesse tipo de classificação, o usuário define em primeiro lugar as assinaturas espectrais das categorias classificadas. Em segundo lugar, o processamento digital de imagem, associa-se a cada pixel a assinatura espectral mais similar.

Dessa forma, foram definidas cinco classes de uso e suas respectivas relações de IP:

- área construída (para pontuação utiliza-se densidade urbana);

- vegetação arbórea – IP 20. (Obs não há poços localizados nessa condição)
- vegetação rasteira ou plantada (Classe Campo) – IP 25;
- solo exposto – IP 30.

4.2.5 Mapa de Densidade Urbana

A relação de perigo e densidade urbana está no fato de que quanto maior a concentração do ambiente construído urbano produz maior pressão sobre os equipamentos urbanos, com destaque para a rede coletora de esgoto, no caso da cidade de Londrina é 100% servida.

Milek, Kish e Gomes (2014) estabelecem IP para relações entre o uso e ocupação do solo e densidade urbana, nesse último utilizou-se como referência mapeamento constante no Plano Diretor de Londrina (PREFEITURA DE LONDRINA, 2019), estabelecendo as seguintes classes, seguidas de algumas de suas características predominantes e valor IP (MILEK, KISH E GOMES, 2014):

- 0 a 120 unid/ha: baixa densidade urbana - condomínios e loteamentos fechados de grande porte, áreas residenciais em expansão urbana ou de especulação imobiliária – IP 30;
- 121 a 240 unid/ha: média densidade urbana – predominam bairros residenciais horizontais e condomínios tipo vila, com zonas comerciais adjacentes – IP 40;
- Acima de 240 unid/ha: Alta densidade urbana – principalmente alta verticalização – IP 50.

4.2.6 Mapa de Zoneamento Urbano

Para o zoneamento urbano a referência para realização do mapeamento foi utilizada a Lei nº 12.236, de 29 de janeiro de 2015 (PREFEITURA DE LONDRINA, 2015) que dispõe sobre o uso e a ocupação do solo no município de Londrina estabelecendo diretrizes para o zoneamento urbano de Londrina com estabelecimento das seguintes categorias de usos consideradas para o estudo:

- Residencial (R): destinado à moradia permanente;
- Comercial (C): destinado aos estabelecimentos comerciais e
- Industrial (IND): destinados às atividades de produção e transformação.

O zoneamento residencial está dividido 9 (nove) Zonas Residenciais (ZR) distribuídas pela zona urbana, segundo critérios que visam adequar a densidade

demográfica à infraestrutura e à superestrutura ou edificação urbana existentes e ao sítio natural acessível, bem como às condições preexistentes ou a serem criadas na zona ou em sua vizinhança, com as seguintes denominações:

- I. Zona Residencial 1 (ZR-1);
- II. Zona Residencial 2 (ZR-2);
- III. Zona Residencial 3 (ZR-3);
- IV. Zona Residencial 4 (ZR-4);
- V. Zona Residencial 5 (ZR-5);
- VI. Zona Residencial 6 (ZR-6);
- VII. Zona Residencial 7 (ZR-7);
- VIII. Zona Residencial 8 (ZR-8) e
- IX. Zona Residencial 9 (ZR-9).

As ZRs não foram estabelecidas

Enquanto a Zona Comercial (ZC) destina-se, predominantemente, às atividades comerciais e de serviços divididas em sete zonas comerciais, diferenciadas pela especialização e localização, com as seguintes denominações:

- I. Zona Comercial 1 (ZC-1);
- II. Zona Comercial 2 (ZC-2);
- III. Zona Comercial 3 (ZC-3);
- IV. Zona Comercial 4 (ZC-4);
- V. Zona Comercial 5 (ZC-5);
- VI. VI.Zona Comercial 6 (ZC-6) e
- VII. VII.Zona Comercial 7 (ZC-7).

Para as relações entre zoneamento ZR, ZC e IP, estabeleceu-se agrupamento entre as zonas bem como de suas divisões, portanto, o critério adotado para os valores de IP foram considerados os mapeamentos da densidade urbana e da classificação do uso e ocupação do solo sobre essas zonas.

Critério diferente foi utilizado para categoria IND ou Zona Industrial (ZI), pois seu perigo de contaminação das águas subterrâneas independe de sua densidade espacial, mas sim do tipo de atividade exercida e o potencial de sua carga contaminante. Mesmo para solo exposto mapeado na classificação do solo nesta zona, por exemplo, no futuro essa área pode vir a ser ocupada por determinada

atividade industrial, e isso deve ser considerado para fins de planejamento e desenvolvimento sustentável.

A Lei 12.236 (PREFEITURA DE LONDRINA, 2015) estabelece que as industriais fiquem classificadas conforme os critérios de tipo de atividade, por ordem decrescente de restrição, ou seja, diante desta condição o potencial de perigo é interpretado como também orientado da mesma forma, em categorias denominadas:

- I. Indústria A (IND-A);
- II. Indústria B (IND-B);
- III. Indústria C (IND-C); e
- IV. Indústria D (IND-D).

A Lei 12.236 (PREFEITURA DE LONDRINA, 2015) determina que as ZIs sejam classificadas de acordo com esse critério de restrição, assim os índices para cada zoneamento industrial seguiu o perigo para cada ZI classificada assim distribuída seguida do índice IP:

- I. Zona Industrial 1 (ZI-1): destinada à implantação de indústrias de categoria IND-D – IP 40;
- II. Zona Industrial 2 (ZI-2): destinada à implantação de indústrias de categorias IND-D e IND-C – IP 50;
- III. Zona Industrial 3 (ZI-3): destinada à implantação de indústrias de categorias IND-D, IND-C e IND-B - IP 60; e
- IV. Zona Industrial 4 (ZI-4): destinada à implantação de indústrias de categorias IND-D, IND-C, IND-B e IND-A – IP 70.

Para determinação do IP para as ZIs foi utilizado como referência o trabalho de Entezari, Yamani e Agdam (2016) que estabelece para as atividades industriais índices entre 40 e 85 pontos, mas, por exemplo, índice máximo nesta categoria para Refinaria de Petróleo, nesse caso não previsto na lei de ocupação do solo do município, mas apresenta índice 70 para indústria de couro, atividade prevista que poderia se instalar para a ZI 4, isto é a zona de maior diversidade das categorias industriais e maior restrição a ocupação urbana (Anexo A).

Dessa forma, a combinação desses critérios e parâmetros possibilitou a formulação da Tabela IP (Tabela 1) para a área de estudo, resultando, por sua vez na classificação do IP, como mostra a Tabela 2.

Tabela 1 – Índice de Perigo (IP) em função do uso do solo

| Índice de Perigo (IP) | Índice | Referência |
|---------------------------------------|---------------|---------------------------------|
| Área urbana baixa densidade | 30 | |
| Área urbana média densidade | 40 | Milek, Kish e Gomes (2014) |
| Área urbana alta densidade | 50 | |
| Campo | 25 | Entezari, Yamani e Agdam (2016) |
| Cemitério d=< 200m e < 2009 | 60 | Adaptado Milek, Kish e |
| Cemitério d=< 200m e > 2009 | 30 | Gomes (2014) |
| Posto de Gasolina d=<100 | 60 | Entezari, Yamani e Agdam (2016) |
| Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) | 60 | Entezari, Yamani e Agdam (2016) |
| Solo exposto | 30 | Milek, Kish e Gomes (2014) |
| Zona Industrial 1 | 40 | |
| Zona Industrial 2 | 50 | Adptado de Entezari, |
| Zona Industrial 3 | 60 | Yamani e Agdam (2016) |
| Zona Industrial 4 | 70 | |

Fonte: Adaptado de Milek, Kish e Gomes (2014) e Entezari, Yamani e Agdam (2016).

Tabela 2 – Classificação do Índice de Perigo (IP)

| Categoria | Intervalo de IP |
|--------------------|------------------------|
| Extremo | 90 — 100 |
| Alto | 70 -90 |
| Moderadamente Alto | 50 -70 |
| Médio | 30 -50 |
| Baixo | 20 -30 |
| Mínimo | < 20 |

Fonte: Milek, Kish e Gomes (2014) e Entezari, Yamani e Agdam (2016).

4.2.7 Índice de Risco (IR)

Morris e Foster (2000) definiram o risco de poluição das águas subterrâneas como a probabilidade de que as águas subterrâneas sejam contaminadas a um nível inaceitável por atividades localizadas na superfície terrestre imediatamente sobreposta aos aquíferos, desse modo, o mapa IR é resultado da sobreposição dos mapas GOD de vulnerabilidade natural intrínseca aquífera e IP.

Com o objetivo de representar os índices de vulnerabilidade GOD em uma mesma escala que IP e com isto poder comparar os mapas de IR provenientes de mapeamentos sobrepostos distintos, efetuou-se conversão de escala do índice GOD, multiplicando o valor do índice final por 100.

O IR foi então estimado a partir do índice de vulnerabilidade modificado (GOD) e do IP modificado, utilizando-se a Equação 1 expressa a seguir:

$$IR = \sqrt{(GOD * IP)} \text{ eq. 1}$$

Para os valores de classificação aplicados ao IR, foram adotadas as faixas de variação de perigo apresentadas na Tabela 2, tendo por base as categorias utilizadas conforme expressas na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do Índice de Risco (IR)

| Categoria | Intervalo de IR |
|--------------------|------------------------|
| Extremo | 90 — 100 |
| Alto | 70 -90 |
| Moderadamente Alto | 50 -70 |
| Médio | 30 -50 |
| Baixo | 20 -30 |
| Mínimo | < 20 |

Fonte: Milek, Kish e Gomes (2014) e Entezari, Yamani e Agdam (2016).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização da metodologia GOD (Figura 3) propiciou a geração do mapa de vulnerabilidade natural (Figura 5). A aglutinação dos parâmetros utilizados na metodologia, como a ocorrência de aquífero (G); classificação de cobertura e litologia (O) e profundidade do nível de água subterrâneo (D) demonstra a presença de duas classes de vulnerabilidade natural à contaminação: baixa e média.

Na região central do recorte espacial estudado, próximo ao Lago Igapó, predomina a vulnerabilidade baixa. Porções a noroeste na bacia demonstram tendência a vulnerabilidade média, fato que revela a correlação com a profundidade do nível de água, pois são áreas com menor profundidade do aquífero, fato que o torna mais susceptível a contaminação.

A sudeste do Lago Igapó, próximo ao leito do ribeirão Cambé existe uma área com vulnerabilidade com tendência a média, fato que enfatiza a importância do

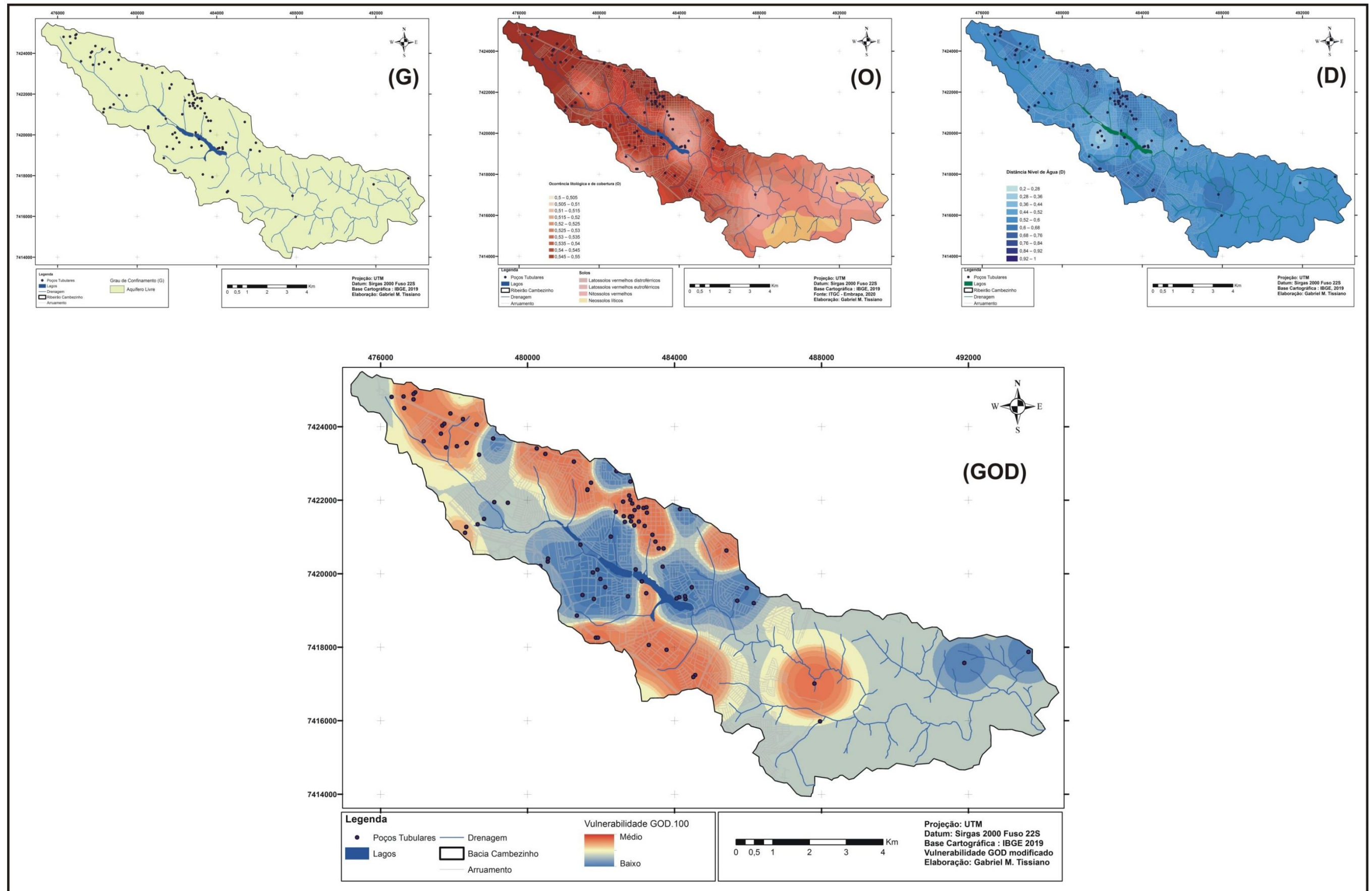
parâmetro D na metodologia utilizada, pois nessa área, a profundidade do nível de água subterrânea é rasa.

A correlação dos parâmetros envolvidos na definição da vulnerabilidade intrínseca do SASG no mapa final aponta para uma relação: quanto menor a distância do reservatório de água subterrânea, mais vulneráveis se tornaram essas áreas, que serão mais susceptíveis a contaminação, fato que pode ser agravado pelas características do aquífero ser livre no recorte espacial escolhido.

Uma área considerável da bacia hidrográfica do ribeirão Cambé encontra-se na zona de transição entre vulnerabilidade baixa e média, fato que não implica necessariamente em uma situação confortável, no que diz respeito a conservação do aquífero. Não foi registrado índice de vulnerabilidade muito alta na área de estudo.

A bacia estudada encontra-se em área urbanizada que exerce pressão nos recursos hídricos subterrâneos, devido a ações antrópicas e as atividades realizadas nesse espaço.

Figura 5 – Mapas com parâmetros e índice de vulnerabilidade natural GOD da bacia do ribeirão Cambé.



O município de Londrina possui cinco estações de tratamento de esgoto (ETEs), sendo que uma encontra-se na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé, a ETE Sul. Localizada na região sul do município de Londrina, e na porção sudeste da bacia hidrográfica, atende uma população de aproximadamente 172.928 habitantes (ANA, 2017).

Utilizado como parâmetro nas atividades de perigo, a ETE Sul apresenta nível de água subterrânea relativamente baixo, comparado com os outros poços do recorte espacial utilizado, fato que favorece no aumento da vulnerabilidade natural do SASG nesse ponto de estudo.

A bacia do ribeirão Cambé, apresenta aproximadamente 65% de área urbanizada, ou seja, parte considerável da bacia está localizada no perímetro urbano de Londrina (ÁGUAS PARANÁ, 2015).

De acordo com a Figura 6 observa-se as proximidades do Lago Igapó são intensamente ocupadas, sendo que existe uma concentração de poços nessa região.

Na década de 1980, o processo de urbanização em direção aos lagos ganhou destaque, sendo ampliado o uso das margens e melhorando o acesso ao público. O aterro do Lago Igapó II, realizado sobre importante área de inundação do Ribeirão Cambé, foi construído em 1985 abrindo uma área de lazer importante para a cidade. (ECOMETROPOLE, 2009 apud LORENZO 2011), (ÁGUAS PARANÁ, 2015).

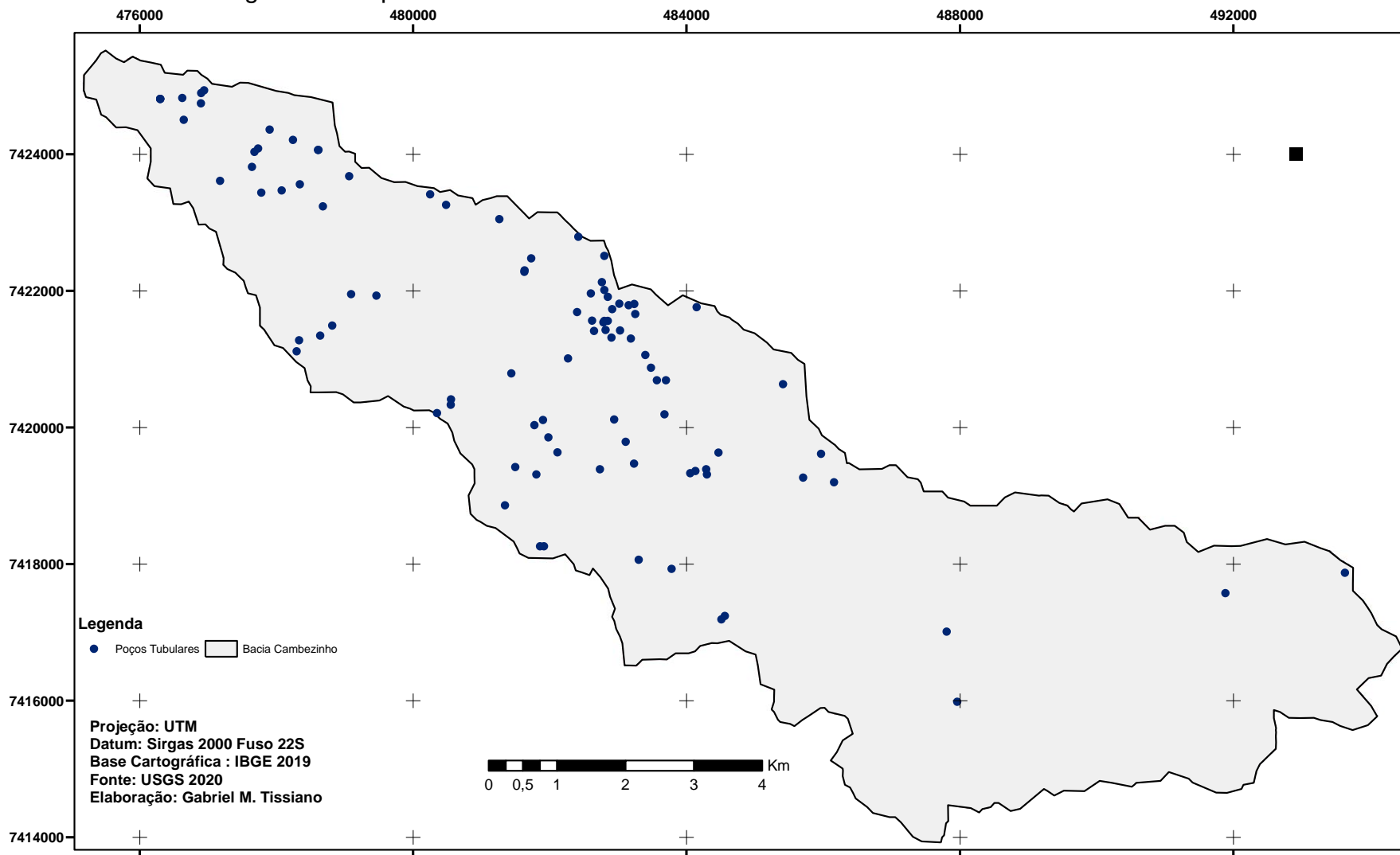
A implantação destas melhorias e de toda a infraestrutura nas proximidades dos lagos contribuiu para que as áreas próximas ao ribeirão fossem ocupadas ao longo dos anos que se seguiram. As propriedades rurais na vertente direita do lago, deram espaço, principalmente a partir dos anos 1990, aos grandes edifícios, da região conhecida como Gleba Palhano.

Assim, a região passou por um processo de verticalização, um perfil característico da cidade, que mantém essa singularidade desde épocas anteriores. Fresca (2002, p. 249) discute essa característica da verticalização de Londrina.

A vertente esquerda da bacia foi a primeira a ser ocupada, uma vez que se localiza parte do centro da cidade. A vertente direita teve sua ocupação iniciada entre os anos de 1960-1970 com o Parque Guanabara, o Bela Suíça e o Jardim Cláudia. A abertura das avenidas em direção a esta área foi um facilitador dessa ocupação, destaca-se aqui as avenidas Higienópolis e Ayrton Senna. (VACARIO,2018)

O crescimento da ocupação urbana na área trouxe mudanças significativas para o ambiente, dentre estas destaca-se a pavimentação do solo e a conseqüente impermeabilização do mesmo, o que resultou na ocorrência de maior escoamento superficial. Tucci (2001, p. 623) destaca alguns dos elementos que causam a impermeabilização da superfície nas áreas urbanizadas, tais como “telhado, ruas e pisos”, que trazem como resultado a aceleração no escoamento, através da canalização e da drenagem superficial”.

Figura 6 – Mapa cobertura e uso do solo LANDSAT 8 da bacia do ribeirão Cambé em 2019.



Para o mapeamento do perigo, conforme mencionado anteriormente, os valores de IP em função do uso e ocupação do solo, foram adaptados para os usos na bacia em estudo, sendo expressos na Tabela 4. O resultado da classificação quanto as classes de uso e ocupação do solo na Figura 7.

Na área foram identificadas três fontes potenciais pontuais de contaminação, postos de combustível, cemitério e ETE (Figura 7).

A maior parte da área, 47,3% corresponde a área construída. A classe vegetação rasteira ocupa 28,7% da bacia. Vegetação arbórea 14,7%, solo exposto 8,3% e água 0,9%.

É possível observar que grande parte dos poços tubulares se encontram em área construída, sendo a densidade urbana um fator que pode exercer pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos.

Observando a Figura 7, nota-se que potenciais fontes contaminantes, como postos de combustíveis e cemitérios localizam-se próximos, contribuindo para uma possível elevação do perigo elevado nessa porção. A jusante do Lago Igapó, nota-se menor concentração de potenciais fontes contaminantes pontuais, fato que pode resultar na diminuição do risco nessa área.

Figura 7 – Classes de uso e ocupação do solo da bacia do ribeirão Cambé em 2019.

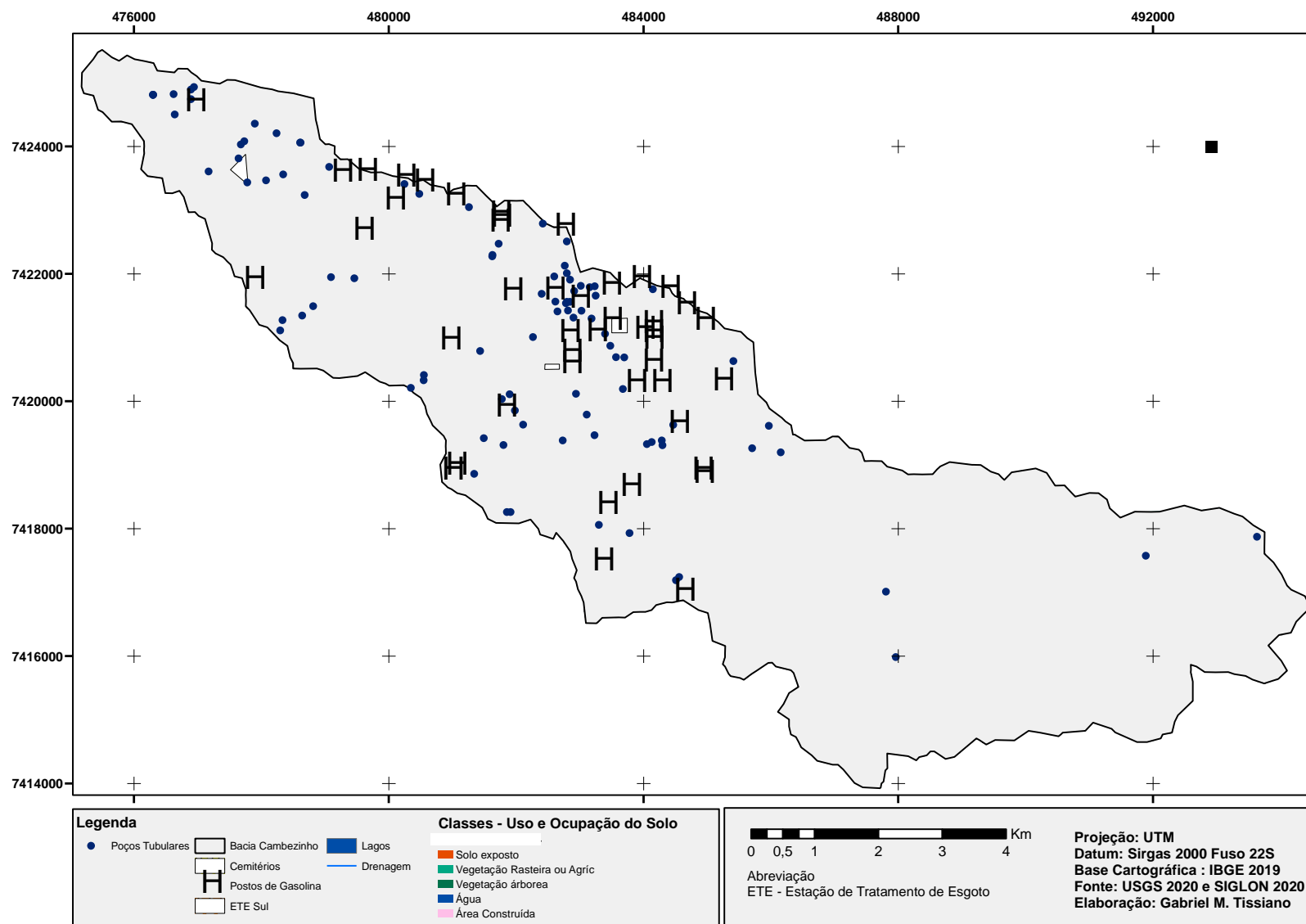


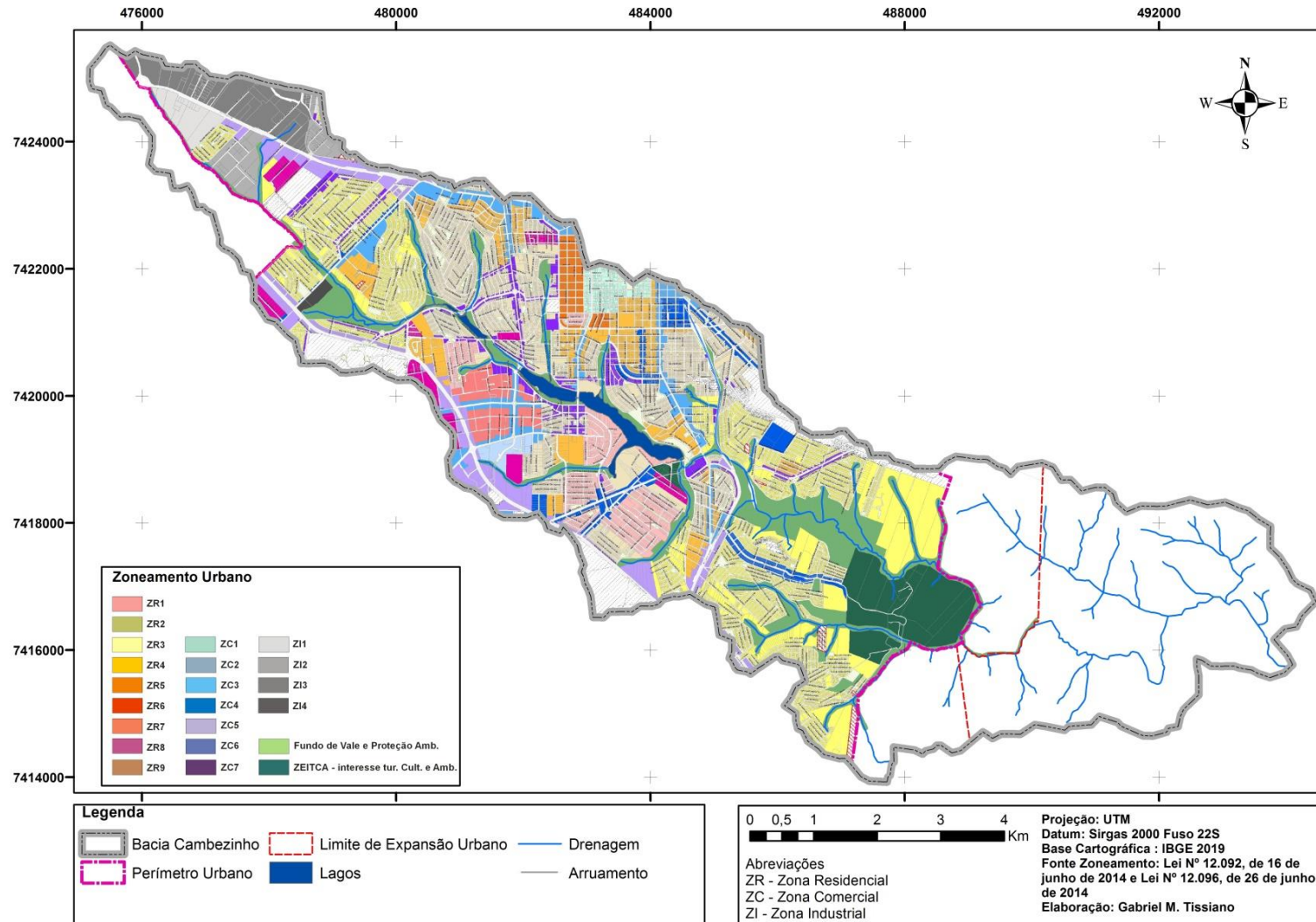
Tabela 4 – Dados de classificação do uso e ocupação do solo da bacia do ribeirão Cambé em 2019.

| Classificação Uso e Ocupação | Área (km²) | Ocupação (%) |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Área Construída | 34,5 | 47,3 |
| Vegetação Arbórea | 10,8 | 14,7 |
| Vegetação rasteira | 20,9 | 28,7 |
| Solo exposto | 6,1 | 8,3 |
| Água | 0,7 | 0,9 |
| Total | 73,0 | 100 |

Analisando o mapa de zoneamento urbano da bacia apresentado na Figura 8, observa-se que o recorte espacial estudado apresenta diversidade de zonas, destacando que grande parte se destina a zonas residenciais, nas quais seu peso para a determinação do risco é menor (30 a 50 de acordo com a densidade urbana), se comparado a zonas industriais, que se encontram próximas aos limites da bacia hidrográfica.

Próximo a nascente do Ribeirão Cambé, na margem esquerda é possível observar concentração de zonas industriais, que possuem valor mais elevado (60 a 70) na determinação do IP, conforme Tabela 1.

Figura 8 – Mapa de Zoneamento urbano da bacia do ribeirão Cambé.



A partir da interpretação da Figura 9, que representa a densidade de ocupação do solo na bacia e a análise da Tabela 5, verificou-se que 89,3% da área do perímetro urbano encontra-se na classificação de baixa densidade urbana, sendo menor o seu valor, em comparação as outras densidades urbanas, na composição do IP.

A baixa densidade urbana é caracterizada por condomínios e loteamentos fechados de grande porte. O maior percentual de poços do recorte espacial estudado localiza-se nessa faixa de classificação, totalizando 61,1% dos poços.

Já a densidade urbana média se faz presente em 7,2% do perímetro urbano. O percentual de poços presente nessa área é de 16,8%. Residenciais horizontais e condomínios tipo vila são característicos dessa classificação.

Já a alta densidade urbana está presente em 1,7%, sendo que 22,1% dos poços encontram-se nessa área. O seu valor no cálculo do IP é o mais elevado entre as classes de densidade urbana, podendo ser fator determinante na elevação do IP na área em que se encontra, que são edifícios verticais.

Figura 9 – Mapa de densidade de ocupação do solo da bacia do ribeirão Cambé.

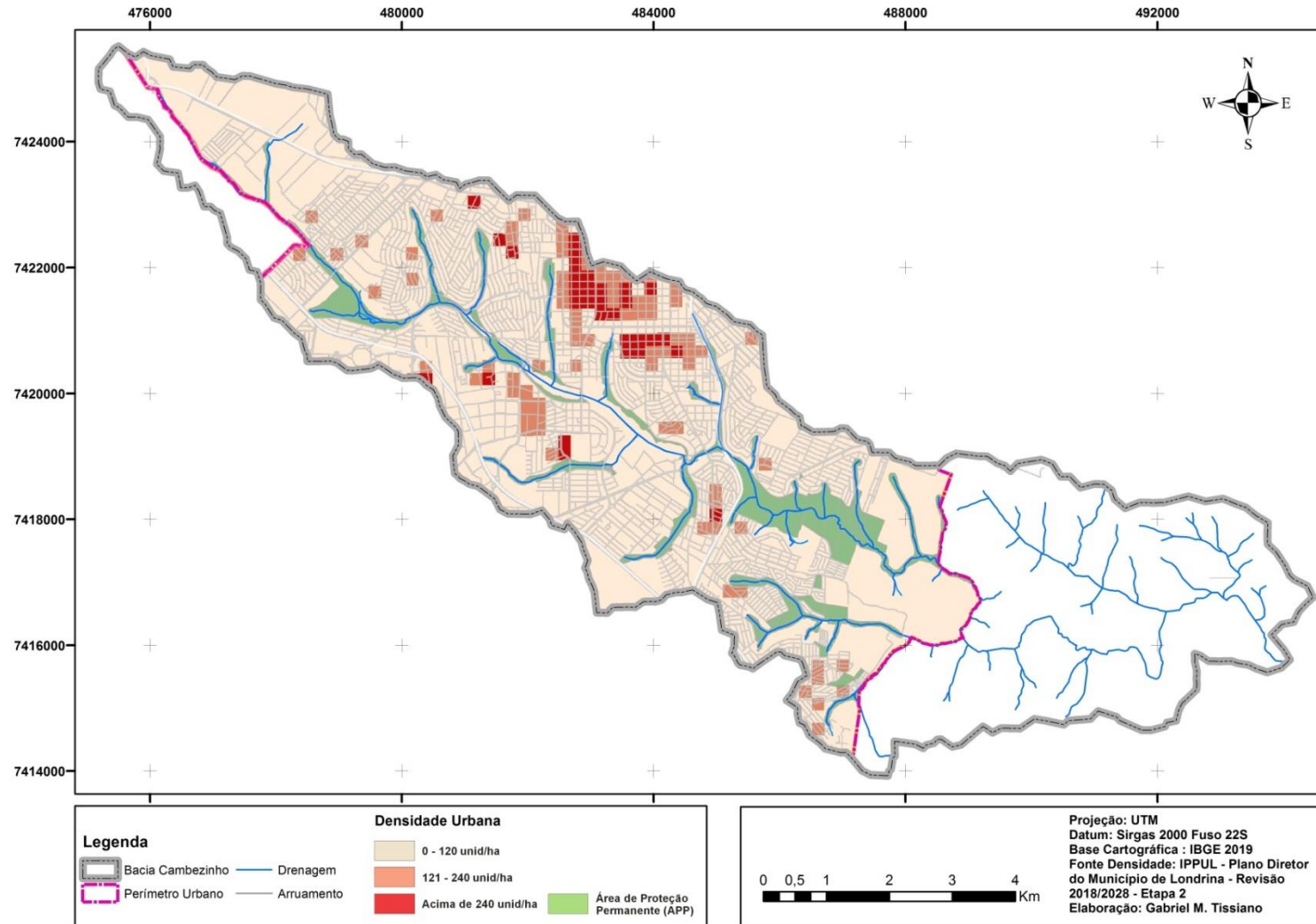


Tabela 5 - Distribuição total e percentual em relação ao uso e ocupação do solo no perímetro urbano da bacia do ribeirão Cambé em 2019

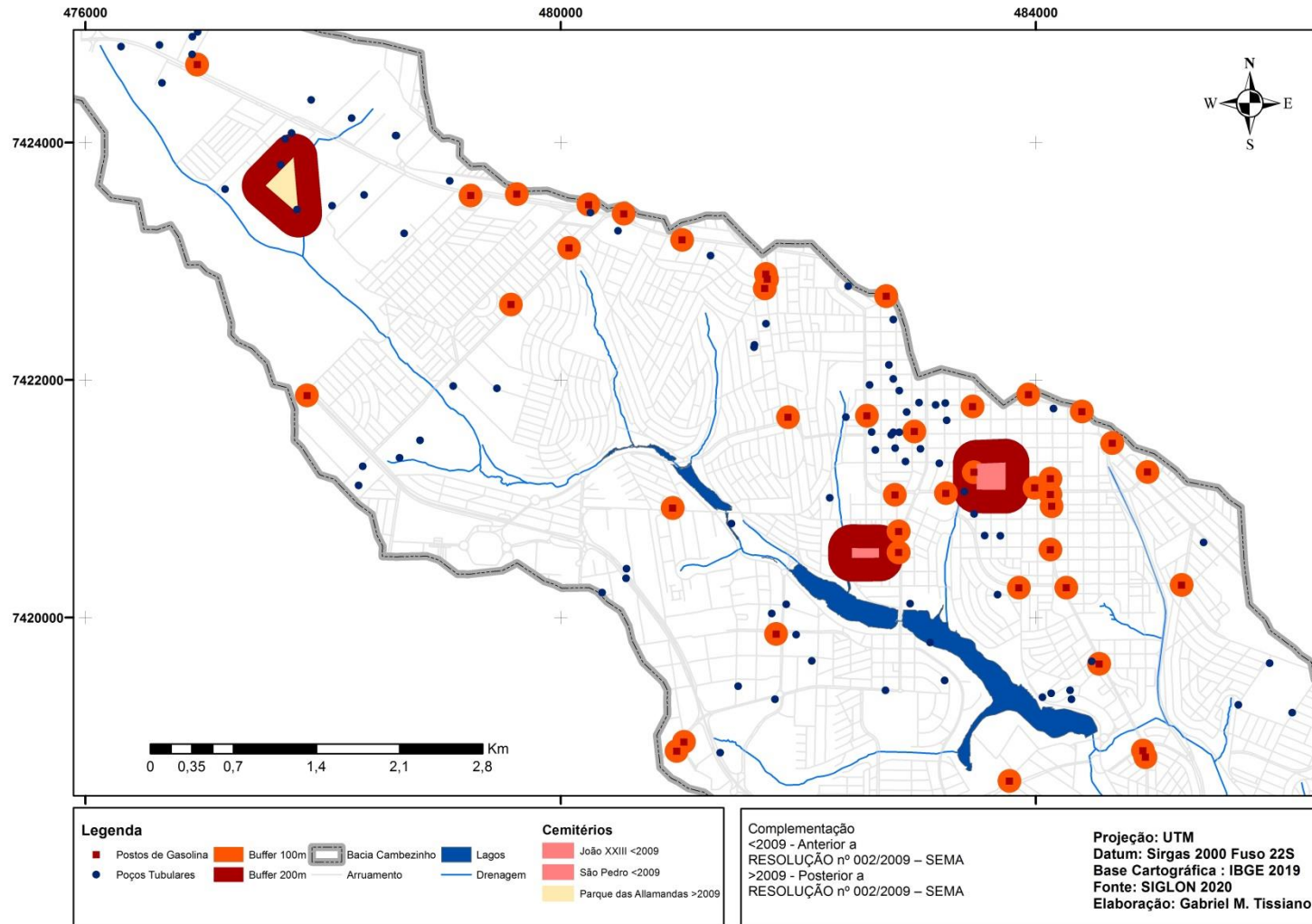
| Classificação Densidade Urbana | Área (km²) | Percentual Perímetro Urbano (%) | Total de Poços | Percentual Poços (%) |
|---|----------------------------------|--|---------------------------|---------------------------------|
| Alta | 1,7 | 3,4 | 21 | 22,1 |
| Média | 3,6 | 7,2 | 16 | 16,8 |
| Baixa | 44,3 | 89,3 | 58 | 61,1 |
| Total | 49,6 | 100,0 | 95 | 100,0 |

Na Figura 10 são apresentados os raios mínimos de distanciamento de fontes de abastecimento de água potável a partir de postos de combustível (100m) e cemitérios (200m), que são fatores na composição do IP. Os raios dos cemitérios Parque das Allamandas e São Pedro abrangem poços tubulares, sendo acrescido valor na determinação do IP.

Vale ressaltar que os cemitérios João XXIII e São Pedro foram construídos antes da resolução nº 002/2009 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos SEMA (2009) que estabelece condições e critérios rígidos para o estabelecimento de licenciamento ambiental, como por exemplo, distanciamento mínimo do lençol freático e impermeabilização da sepultura, logo receberam índice maior, diferentemente do Cemitério Parque das Allamandas.

Quatro raios de postos de combustíveis abrangem poços tubulares, sendo isso condicionante para possível aumento no IP nessas localidades, já que a resolução do CONAMA nº 273/2000, prevê que para emissão de licença prévia e de instalação, é necessário identificar as áreas de recarga e a localização de poços de captação de águas subterrâneas, que deve encontrar-se em um raio mínimo de 100 metros.

Figura 10 – Mapa de localização dos poços tubulares profundos, postos de combustíveis e cemitérios, e buffers de 100 e 200 metros de distanciamento, respectivamente na bacia do ribeirão Cambé.



O IP da bacia (Figura 11) foi confeccionado considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão, além disso, a dinâmica de atividades humanas com diferentes índices de perigo considerou-se a combinação de dois fatores fundamentais: classificação de uso e ocupação do solo e zoneamento urbano para a bacia do ribeirão Cambé.

Observa-se na Tabela 6, que a maior parte da área, aproximadamente 36,5%, apresentou IP classificado como perigo médio. 35,5% da área do perímetro urbano foi classificado como moderadamente alto. O índice considerado baixo corresponde a 19,5% do recorte espacial estudado. Já em menor porcentagem estão as classes extremo e alto, que correspondem na sequência por 4,2% e 4,6% da área estudada. Destaca-se regiões com índice elevado próximas ao centro e em zonas industriais.

Figura 11 – Mapa do IP na bacia do ribeirão Cambé.

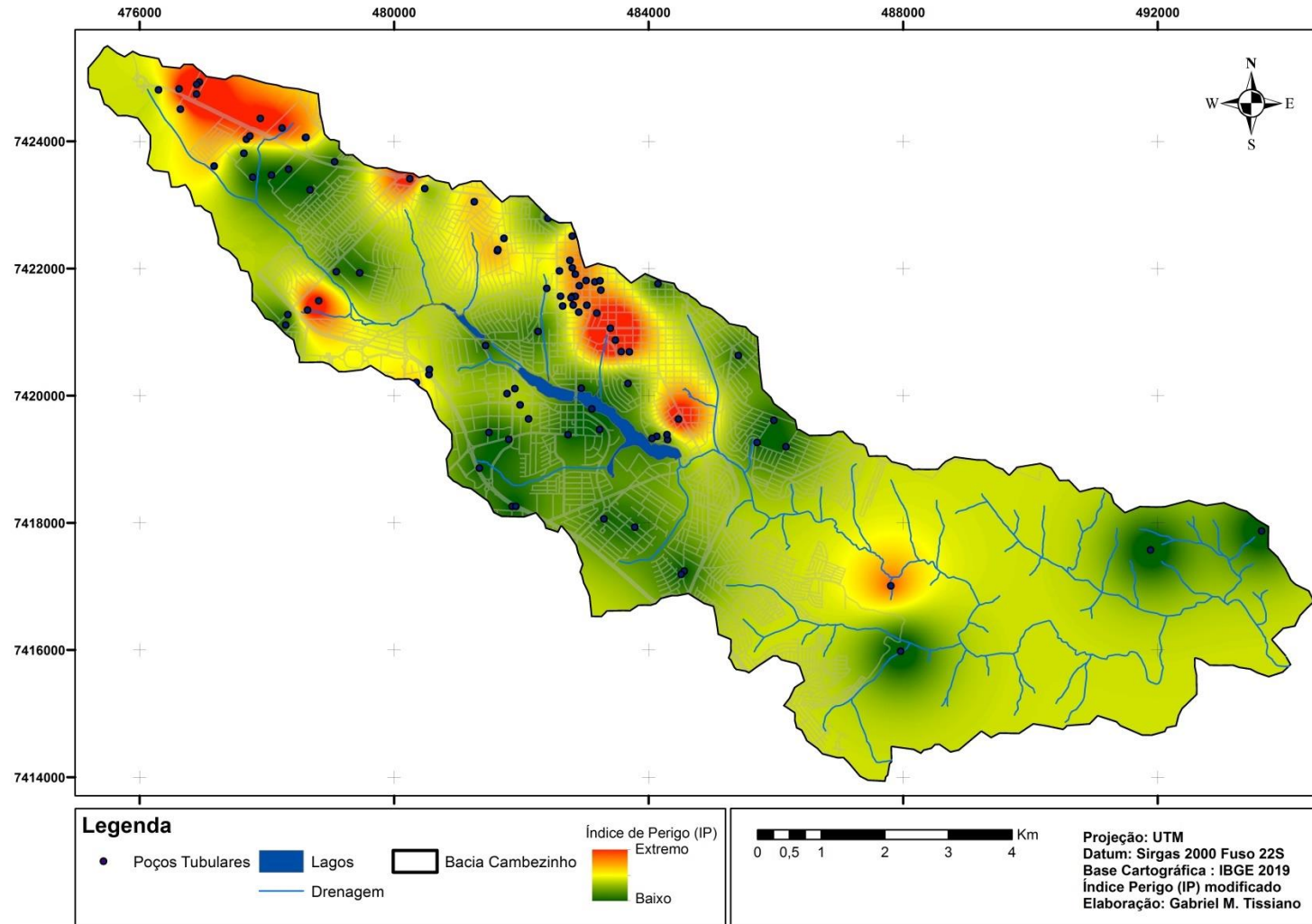


Tabela 6 - IP e distribuição total e percentual na bacia do ribeirão Cambé.

| Índice de Perigo (IP) | Classes em Cores | Área (km ²) | Percentual Perímetro Urbano (%) |
|------------------------|------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Extremo | 4 | 3,1 | 4,2 |
| Alto | 3 | 3,4 | 4,6 |
| Moderadamente | | | |
| Alto | 2 | 25,9 | 35,5 |
| Médio | 1 | 26,3 | 36,1 |
| Baixo | 0 | 14,3 | 19,5 |
| Total =====> | | 73,0 | 100,0 |

O mapeamento do risco (Figura 12) foi obtido pela combinação dos mapas de índice de vulnerabilidade, por meio da metodologia GOD e de IP. Na classificação quanto ao risco (Tabela 7), aproximadamente 70,3% da área foi classificada como risco baixo; 16,9% como risco médio; 8,4% como risco mínimo; e 4,4% como risco moderadamente alto. Não ocorreram áreas classificadas como risco extremo ou alto.

As áreas nas quais estão localizadas a ETE e os cemitérios, possuem IR mais elevados, devido ao valor do índice (Tabela 1), que representa o potencial contaminante de ambas atividades de perigo, devido as características dessas atividades, nas quais a carga contaminante está condicionada a liberação de solutos inorgânicos, como o Nitrato (NO₃⁻) provenientes de compostos orgânicos.

As zonas industriais e a densidade de ocupação influenciaram em áreas com perigo médio a moderadamente alto, como na vertente esquerda do ribeirão, próximo a nascente e no centro da cidade de Londrina.

Figura 12 – Mapa do IR na bacia do ribeirão Cambé.

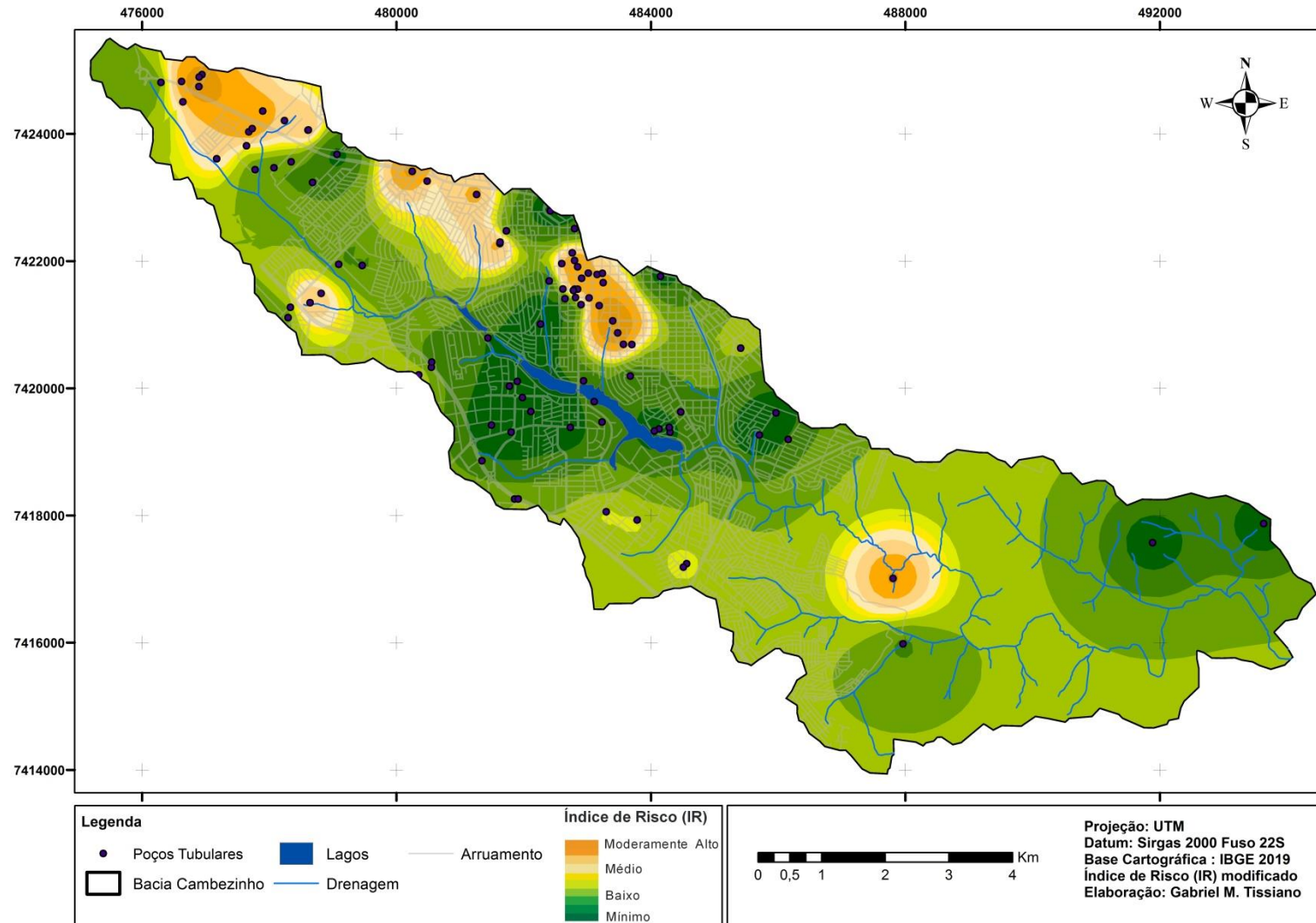


Tabela 7 - Dados de distribuição do Índice de Risco (IR) a contaminação aquífera na bacia do ribeirão Cambé.

| Índice de Risco (IR) | Classes em Cores | Área (km ²) | Percentual Perímetro Urbano (%) |
|------------------------|------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Moderadamente | | | |
| Alto | 7 - 9 | 3,2 | 4,4 |
| Médio | 4 - 7 | 12,4 | 16,9 |
| Baixo | 1 - 3 | 51,3 | 70,3 |
| Mínimo | 0 | 6,1 | 8,4 |
| Total =====> | | 73,0 | 100,0 |

4.4 CONCLUSÕES

A avaliação do IR no SASG na bacia hidrográfica do ribeirão Cambé, que se baseia na combinação da vulnerabilidade do sistema, por meio da metodologia GOD e no IP é um método que fornece informações espaciais das fragilidades do sistema, importante para a tomada de decisão, assim como para direcionar medidas de gestão para fins de proteção do sistema aquífero.

O bom desempenho do método GOD, associado ao baixo custo e tempo de determinação dos seus três parâmetros justificam sua aplicação. Sua utilização é especialmente importante em áreas urbanas, nas quais grande parte do abastecimento é feito por água subterrânea com risco efetivo de contaminação, cenários que necessitam do conhecimento da vulnerabilidade de aquífero para proposição de medidas preventivas e corretivas apropriadas.

Parte da bacia encontra-se na zona de transição entre vulnerabilidade baixa e média, sugerindo-se atenção especial dos órgãos gestores em relação ao uso e à ocupação dos solos, na implantação de empreendimentos que possam causar algum tipo de contaminante no meio subterrâneo, e monitoramento dos já existentes.

A área da bacia que encontra-se na transição entre risco médio e moderadamente alto é representada por 16,9 %, sendo isso, subsídio para o ordenamento do território. O desenvolvimento urbano, sem que haja o devido planejamento, pode contribuir para o aumento do IR.

Logo, os resultados obtidos podem servir como norteamento da ocupação de áreas mais apropriadas para o desenvolvimento urbano, bem como, da

definição de ações para a mitigação dos efeitos da poluição, tais a remoção de atividades potencialmente perigosas, a fim de manter o de contaminação baixo.

Nas áreas onde o risco à contaminação do aquífero é maior (4,4% da área de estudo) devem ser adotadas medidas preventivas, envolvendo monitoramento da qualidade de água e a implantação de área de proteção de poços. Nos locais de vulnerabilidades moderada e alta devem ser criadas áreas de proteção de qualidade de água, o que permitirá um controle rigoroso sobre as fontes potenciais de contaminação já existentes e impedirá a instalação de novas fontes.

A pesquisa contribuiu para a ampliação dos conhecimentos relativos às captações de água subterrânea no Município de Londrina, subsidiando assim a sua preservação ambiental e seu gerenciamento. Portanto, tanto a metodologia GOD quanto a adaptação dos valores apresentados nos trabalhos de Milek, Kish e Gomes (2014) e Entezari, Yamani e Agdam (2016), que consideram o uso do solo e atividades pontuais de grande potencial de contaminação como o principal fator para a definição IP, apresentaram resultados aproveitáveis para a área estudada.

AGRADECIMENTO

À CAPES, pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Consulta Posto Web, 2019. Disponível em: < <https://postos.anp.gov.br/>>. Acesso em: 23 de novembro de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Relatório de esgotamento sanitário municipal, 2017. Disponível em: < http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Atlas_Esgoto/Paran%C3%A1/Relatorio_Geral/Londrina.pdf>. Acesso em 20 de dezembro de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13.896**: Aterros de resíduos não perigosos- Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 273 de 29 de novembro de 2000. Acesso 15 de dezembro de 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano. Brasília: SVS, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.

ENTEZARI, M., YAMANI, M.; AGHDAM AGDAM, M. Evaluation of intrinsic vulnerability, hazard and risk mapping for karst aquifers, Khorein aquifer, Kermanshah province: a case study. Environ Earth Sci 75, 435 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5258-5>.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. World Bank, GWMATE. Washington, 2002, 101 p.

GUIGUER, N.; KOHNKE, M. W. Métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002. São Paulo. Anais Eletrônicos... Disponível em: < <file:///C:/Users/Mar%C3%ADlia/Downloads/22314-80539-1-PB.PDF>>. Acesso em: 8 de jun. 2020.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOLOGIA DO PARANÁ. Dados e informações geoespaciais temáticos: Solos. 2020. Disponível em:< itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9#>. Acesso em: 5 de março de 2020.

MILEK, C. B. KISHI, R. T. GOMES, J. Avaliação do Risco de Contaminação da Água Subterrânea do Aquífero Cárstico no Município de Almirante Tamandaré/PR com o Uso de Mapa de Índices de Risco. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol 19 n. 2. Abr/Jun, p. 89-100, 2014

MINEROPAR. Mapa Geológico do Estado do Paraná. Governo do Paraná. 2020

MORRIS, B. L. FOSTER, S. S. D. Cryptosporidium contamination hazard assessment and risk management for British groundwater sources. *Water Sci Technol*, 2000, pp. 67–77.

PREFEITURA DE LONDRINA. Lei nº 12.236, de 29 de janeiro de 2015. Uso e ocupação do solo no município de Londrina. Acesso 11 de dezembro de 2019.

PREFEITURA DE LONDRINA. Mapa de densidade urbana do município de Londrina. Plano Diretor do Município de Londrina revisão 2018/2028 etapa 2. Acesso em 10 de dezembro de 2019.

PREFEITURA DE LONDRINA. Plano Diretor do Município de Londrina revisão 2018/2028 etapa 2. Acesso em 10 de dezembro de 2019.

PREFEITURA DE LONDRINA. Sistema de Informação Geográfica de Londrina - SIGLON. Acesso em 5 de janeiro de 2020.

SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J. Human Error, Accidents, and Safety. In: SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J. *Human Factors in Engineering and Design*. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1993. chap. 20, p. 655 - 695.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS - SEMA. Resolução nº 002 de 23 de abril de 2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios, estabelece condições e dá outras providências. Acesso 19 de dezembro de 2019.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. CPRM, 2020.

ANEXOS

ANEXO A - Listagem das categorias industriais e comerciais

Indústria A (IND-A)

- 101 Abate e fabricação de produtos de carne
- 102 Preservação do pescado e fabricação de produtos do pescado
- 105 Laticínios (exceto classe 1053-8 – Fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis)
- 106 Moagem, fabricação de produtos amiláceos e de alimentos para animais
- 107 Fabricação e refino de açúcar
- 1099-6/04 Fabricação de gelo comum (caso seja utilizada amônia como refrigerante)
- 151 Curtimento e outras preparações de couro
- 171 Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel
- 172 Fabricação de papel, cartolina e papel-cartão
- 191 Coquearias
- 192 Fabricação de produtos derivados do petróleo
- 193 Fabricação de biocombustíveis
- 201 Fabricação de produtos químicos inorgânicos
- 202 Fabricação de produtos químicos orgânicos
- 203 Fabricação de resinas e elastômeros
- 204 Fabricação de fibras artificiais e sintéticas
- 209 Fabricação de produtos e preparados químicos diversos
- 232 Fabricação de cimento
- 234 Fabricação de produtos cerâmicos
- 241 Produção de ferro-gusa e de ferroligas
- 245 Fundição
- 272 Fabricação de pilhas, baterias e acumuladores elétricos
- 274 Fabricação de lâmpadas e outros equipamentos de iluminação

Indústria B (IND-B) 103 Fabricação de conservas de frutas, legumes e outros vegetais

- 104 Fabricação de óleos e gorduras vegetais e animais
- 108 Torrefação e moagem de café
- 111 Fabricação de bebidas alcoólicas
- 112 Fabricação de bebidas não-alcoólicas
- 121 Processamento industrial do fumo
- 122 Fabricação de produtos do fumo
- 131 Preparação e fiação de fibras têxteis
- 205 Fabricação de defensivos agrícolas e desinfetantes domissanitários
- 207 Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins
- 211 Fabricação de produtos farmoquímicos
- 221 Fabricação de produtos de borracha
- 231 Fabricação de vidro e de produtos do vidro
- 239 Aparelhamento de pedras e fabricação de outros produtos de minerais não-metálicos
- 242 Siderurgia
- 243 Produção de tubos de aço, exceto tubos sem costura
- 244 Metalurgia dos metais não-ferrosos
- 301 Construção de embarcações
- 303 Fabricação de veículos ferroviários
- 304 Fabricação de aeronaves
- 305 Fabricação de veículos militares de combate
- 309 Fabricação de equipamentos de transporte não especificados anteriormente

Indústria C (IND-C) 132 Tecelagem, exceto malha

- 133 Fabricação de tecidos de malha
- 134 Acabamentos em fios, tecidos e artefatos têxteis
- 135 Fabricação de artefatos têxteis, exceto vestuário
- 141 Confeção de artigos do vestuário e acessórios
- 142 Fabricação de artigos de malharia e tricotagem
- 152 Fabricação de artigos para viagem e de artefatos diversos de couro
- 153 Fabricação de calçados
- 154 Fabricação de partes para calçados, de qualquer material
- 161 Desdobramento de madeira

- 162 Fabricação de produtos de madeira, cortiça e material trançado, exceto móveis
- 206 Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal
- 222 Fabricação de produtos de material plástico
- 233 Fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes
- 251 Fabricação de estruturas metálicas e obras de caldeiraria pesada
- 252 Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras
- 253 Forjaria, estamparia, metalurgia do pó e serviços de tratamento de metais
- 254 Fabricação de artigos de cutelaria, de serralheria e ferramentas
- 255 Fabricação de equipamento bélico pesado, armas de fogo e munições
- 259 Fabricação de produtos de metal não especificados anteriormente
- 261 Fabricação de componentes eletrônicos
- 262 Fabricação de equipamentos de informática e periféricos
- 263 Fabricação de equipamentos de comunicação
- 264 Fabricação de aparelhos de recepção, reprodução, gravação e amplificação de áudio e vídeo
- 265 Fabricação de aparelhos e instrumentos de medida, teste e controle; cronômetros e relógios
- 266 Fabricação de aparelhos eletromédicos e eletroterapêuticos e equipamentos de irradiação
- 267 Fabricação de equipamentos e instrumentos ópticos, fotográficos e cinematográficos
- 268 Fabricação de mídias virgens, magnéticas e ópticas
- 271 Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos
- 273 Fabricação de equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica
- 275 Fabricação de eletrodomésticos
- 279 Fabricação de equipamentos e aparelhos elétricos não especificados anteriormente
- 281 Fabricação de motores, bombas, compressores e equipamentos de transmissão
- 282 Fabricação de máquinas e equipamentos de uso geral

- 283 Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos para a agricultura e pecuária
- 284 Fabricação de máquinas-ferramenta
- 285 Fabricação de máquinas e equipamentos de uso na extração mineral e na construção
- 286 Fabricação de máquinas e equipamentos de uso industrial específico
- 291 Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários
- 292 Fabricação de caminhões e ônibus
- 293 Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores
- 294 Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores
- 295 Recondicionamento e recuperação de motores para veículos automotores
- 310 Fabricação de móveis
- 383 Recuperação de materiais

Indústria D (IND-D) 1053-8 Fabricação de sorvetes e outros gelados
comestíveis

- 109 Fabricação de outros produtos alimentícios (exceto a subclasse 1099-6/04 – Fabricação de gelo comum caso seja utilizada amônia como refrigerante)
- 173 Fabricação de embalagens de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado
- 174 Fabricação de produtos diversos de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado
- 181 Atividade de impressão
- 182 Serviços de pré-impressão e acabamentos gráficos
- 183 Reprodução de materiais gravados em qualquer suporte
- 212 Fabricação de produtos farmacêuticos
- 321 Fabricação de artigos de joalheria, bijuteria e semelhantes
- 322 Fabricação de instrumentos musicais
- 323 Fabricação de artefatos para pesca e esporte
- 324 Fabricação de brinquedos e jogos recreativos
- 325 Fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico e de artigos ópticos
- 329 Fabricação de produtos diversos
- 331 Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos

332 Instalação de máquinas e equipamentos
9601-7 Lavanderias, tinturarias e toalheiros

Notas à Listagem

1. Ficarão enquadrados na categoria IA os estabelecimentos industriais nos quais houver processos de: I - redução de minérios de ferro; II - beneficiamento e preparação de minerais não-metálicos não associados em sua localização às jazidas minerais; III - qualquer transformação primária de outros minerais metálicos não associados em sua localização às jazidas minerais excetuado o caso de metais preciosos.
2. Ficarão enquadrados na categoria IA os estabelecimentos industriais nos quais houver processo de regeneração de borracha.
3. Ficarão enquadrados na categoria IA os estabelecimentos industriais que liberarem ou utilizarem gases e/ou vapores que possam, mesmo acidentalmente, colocar em risco a saúde pública. O risco à saúde será verificado em razão da toxicidade da substância, da quantidade de gases e/ou vapores que possam ser liberados e da microlocalização do estabelecimento industrial.
4. Ficarão enquadrados na categoria IB os estabelecimentos industriais nos quais houver processo de fundição de metais, ferrosos ou não-ferrosos, sejam estes processos necessários ou não ao desempenho da atividade (caracterizada pelo gênero e subgênero do código da SRF) no qual está classificado o estabelecimento.

Farmácia conveniência.

LISTAGEM DAS CATEGORIAS DE USO I - Uso Comercial

a) CL - Comércio Local

1 - CL-1 - Comércio Local Básico

armazém, empório, mercearia, casas de carne, açougue, avícolas, peixaria, quitanda, frutaria, padaria, panificadora,

2 - CL-2 - Comércio Local Ocasional

bar, lanchonete, pastelaria, aperitivos petiscos, sucos e refrescos, restaurante, pizzaria, churrascaria, cantina, bazar, armarinhos, aviamentos, casa lotérica, charutaria, tabacaria, confeitaria, doceria, chocolates, sorveteria, casa de

massas e pratos prontos quentes ou congelados, drogaria, perfumaria, cosméticos, floricultura, jornais, revistas, livraria, papelaria

b) CG - Comércio em Geral

1 - CG-1 - Comércio Ocasional