



**Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"**

Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

CLAUDINEI GARCIA

**AVALIAÇÃO DO PERIGO À POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA SP**

Bauru
2018



CLAUDINEI GARCIA

**AVALIAÇÃO DO PERIGO À POLUIÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA SP**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de Concentração Geotecnia.

Orientador: Profº Dr. Fabiano Tomazini da Conceição
Coorientadora: Profª Dra. Anna Silvia Palcheco Peixoto

Bauru
2018

Garcia, Claudinei.

Avaliação do perigo à poluição das águas
subterrâneas no município de Piracicaba, SP /
Claudinei Garcia, 2018
117 f.: il.

Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição
Coorientadora: Anna Silvia Palcheco Peixoto

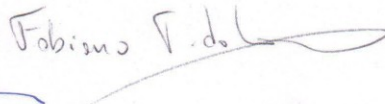
Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Rio Claro, 2018

1. Águas subterrâneas. 2. Vulnerabilidade
intrínseca. 3. Vulnerabilidade específica. 4. Perigo à
poluição I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade
de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de CLAUDINEI GARCIA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

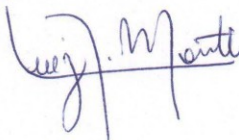
Aos 04 dias do mês de junho do ano de 2018, às 09:00 horas, no(a) IGCE / Rio Claro, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. FABIANO TOMAZINI DA CONCEIÇÃO do(a) Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento - DEPLAN / UNESP/ Rio Claro (SP), Prof. Dr. RODRIGO BRAGA MORUZZI do(a) Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento - DEPLAN / UNESP/ Rio Claro (SP), Prof. Dr. LUIZ ROBERTO MORETTI do(a) Departamento de Águas e Energia Elétrica / Piracicaba (SP), sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de CLAUDINEI GARCIA, intitulada **DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE E PERIGO À POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA - SP**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. FABIANO TOMAZINI DA CONCEIÇÃO



Prof. Dr. RODRIGO BRAGA MORUZZI

Prof. Dr. LUIZ ROBERTO MORETTI





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru



PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A BANCA EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO
ALUNO: **CLAUDINEI GARCIA**

DE: "DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE E PERIGO À POLUIÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA - SP"

PARA:

Avaliação do perigo à poluição das águas subterrâneas
no município de Piracicaba (SP)

Bauru, 04 de junho de 2018.

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição
Orientador

DEDICATÓRIA

À quem me deu a vida, a base de uma educação familiar amorosa e exigente, e exemplos sempre imaculados: Marino Garcia (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Aos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho, fica registrado meus sinceros agradecimentos.

À minha incansável e paciente esposa, que compartilha comigo a vida, com exemplar companheirismo, cumplicidade e apoio sempre incondicional.

Registro também o meu agradecimento especial ao orientador deste trabalho, Prof^o Dr. Fabiano Tomazini da Conceição, que com paciência e presteza incomparável, dedicou horas valiosas de seu tempo para a concretização deste trabalho.

De igual modo, fica meu agradecimento sincero e carinhoso à coorientadora Prof^a Dra. Anna Silvia Palcheco Peixoto, que deu contribuição inestimável ao produto que se apresenta neste texto.

Deixo também meu sincero agradecimento ao Prof. Dr. Luiz Roberto Moretti, pelo apoio dado à minha pessoa, desde a época da graduação, onde tive a honra de ser seu aluno, e no que diz respeito à este trabalho, na disponibilização de dados importantes para sua efetivação.

Finalmente, faço especial agradecimento à todo corpo docente e outros profissionais envolvidos no Programa de Pós-Graduação Interunidades da UNESP, pela valiosa oportunidade oferecida, cujo ponto culminante se realiza através desta Dissertação e por tudo o que ela representa.

Resumo

Este trabalho buscou a avaliação do perigo à poluição das águas subterrâneas no município de Piracicaba, através da interação entre os índices de vulnerabilidade intrínseca e vulnerabilidade específica dos aquíferos aflorantes no município de Piracicaba, motivado pela importância estratégica destas fontes, pela ausência de estudos específicos locais e pela crescente demanda de exploração de cunho econômico da área de estudo. Para a análise dos índices de vulnerabilidade intrínseca, que define-se como a capacidade de atenuação natural do meio local à contaminação de determinado aquífero imposta por uma carga contaminante, utilizou-se do método GOD - *groundwater hydraulic confinement; overlaying strata; depth to groundwater table* (FOSTER, 1987; FOSTER; HIRATA, 1988), e para a avaliação da vulnerabilidade específica que considera a probabilidade de determinado sistema aquífero ser exposto a um contaminante, classe de contaminantes ou atividade contaminante, utilizou-se do método POSH - *pollutant origin, surcharge hydraulically* (FOSTER, et al., 2006) e da análise do potencial de contaminação das áreas urbanas e rurais por fontes de nitrato. A manipulação de dados envolveu informações de poços profundos outorgados, pedologia e litologia da área de estudo, informações de uso do solo e de fontes potenciais de contaminação local, obtidos de fontes públicas e privadas. A avaliação do perigo à poluição das águas subterrâneas, que pode ser definido como a interação entre a vulnerabilidade intrínseca e a vulnerabilidade específica, se deu pela interação dos resultados obtidos de vulnerabilidade intrínseca e da vulnerabilidade específica, cujos produtos finais se apresentam em forma de mapas situacionais ilustrativos. Embora a análise da vulnerabilidade intrínseca tenha produzido classes predominantes de baixa vulnerabilidade natural, a avaliação da vulnerabilidade específica para o município revelou, ao contrário, índices significativos de fontes potenciais contaminantes difusas e pontuais. Esta particularidade resultou em situação de médio perigo de poluição dos recursos subterrâneos locais para aproximadamente 74% dos pontos avaliados. Os resultados auferidos, embora contextuais objetivam em síntese identificar os locais onde é pertinente se intensificar recursos e esforços para estudos complementares e conclusivos, e constituem primeiro passo importante para a caracterização e avaliação dos riscos aos recursos hídricos subterrâneos locais, frente às novas imposições de demanda de usos de águas subterrâneas, oriundos do crescimento econômico e populacional, atrelados ao esgotamento das fontes de água superficiais.

Palavras chave: Águas Subterrâneas, Vulnerabilidade Intrínseca, Vulnerabilidade Específica, Perigo à Contaminação.

Abstract

This work sought to evaluate the danger to groundwater pollution in the municipality of Piracicaba through the interaction between intrinsic vulnerability indexes and specific vulnerability of outlying aquifers in the city of Piracicaba, motivated by the strategic importance of these sources due to the absence of specific local studies and by the growing demand for economic exploration of the study area. For the analysis of the intrinsic vulnerability indexes, which is defined as the natural attenuation capacity of the local environment to the contamination of a given aquifer imposed by a contaminant load, the GOD method was used - groundwater hydraulic confinement; overlaying strata; depth to groundwater table (FOSTER, HIRATA, 1988), and for the assessment of the specific vulnerability that considers the probability of a certain aquifer system being exposed to a contaminant, class of contaminants or contaminant activity, the POSH method - pollutant origin, surcharge hydraulically (FOSTER, et al., 2006) and the analysis of the potential of contamination of urban and rural areas by nitrate sources. Data manipulation involved information from deep wells, pedology and lithology of the study area, land use information and potential sources of local contamination obtained from public and private sources. The groundwater hazard assessment, which can be defined as the interaction between intrinsic vulnerability and specific vulnerability, was the interaction of the results obtained from intrinsic vulnerability and specific vulnerability, the final products of which are presented in the form of maps illustrative situations. Although the analysis of intrinsic vulnerability has produced predominant classes of low natural vulnerability, the assessment of specific vulnerability to the municipality revealed, on the contrary, significant indices of potential diffuse and point source contaminants. This particularity resulted in a situation of average danger of pollution of the local underground resources to approximately 74% of the assessed points. The results obtained, although contextual, aim in a synthesis to identify the places where it is pertinent to intensify resources and efforts for complementary and conclusive studies, and constitute important first step for the characterization and evaluation of the risks to the local groundwater resources, in face of the new impositions of demand of groundwater uses, derived from economic and population growth, linked to the depletion of surface water sources.

Key words: Groundwater, Intrinsic Vulnerability, Specific Vulnerability, Danger to Contamination.

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização da área de estudo.	19
Figura 2 - Conformação do relevo em 3D do município de Piracicaba.	21
Figura 3 - Mapa geológico do município de Piracicaba.	22
Figura 4 - Mapa pedológico do município de Piracicaba.	24
Figura 5 - Mapa de uso do solo para o município de Piracicaba.	26
Figura 6 - Unidades aquíferas aflorantes no município de Piracicaba.	28
Figura 7 - Perfil hidrogeológico no município de Piracicaba.	28
Figura 8 - Distribuição dos poços cadastrados no DAEE utilizados na determinação da vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos locais.	44
Figura 9 - Esquema do método GOD de determinação da vulnerabilidade de aquíferos 45	45
Figura 10 - Esquema conceitual dos dispositivos do método POSH.	48
Figura 11 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O do método GOD para o aquífero Diabásio no município de Piracicaba.	52
Figura 12 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquífero Diabásio no município de Piracicaba - Método GOD.	53
Figura 13 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O do método GOD para o aquífero Guarani, no município de Piracicaba.	55
Figura 14 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquífero Guarani no município de Piracicaba - Método GOD.	56
Figura 15 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O do método GOD para o aquífero Tubarão.	58
Figura 16 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquífero Tubarão no município de Piracicaba - Método GOD.	59
Figura 17 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O do método GOD para o aquíclde Passa Dois, no município de Piracicaba.	61
Figura 18 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquíclde Passa Dois no município de Piracicaba - Método GOD.	62
Figura 19 - Gráfico representativo das classes de vulnerabilidade intrínseca encontradas para o município de Piracicaba, com base nos poços cadastrados analisados.	63
Figura 20 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o município de Piracicaba - Método GOD.	64

Figura 21 - Áreas contaminadas por fontes pontuais de poluição no município de Piracicaba.	68
Figura 22 - Localização das fontes potenciais pontuais de poluição no município de Piracicaba.	74
Figura 23 - Mapa da Vulnerabilidade Específica para o município de Piracicaba.....	75
Figura 24 - Mapa representativo da determinação do perigo à poluição das águas subterrâneas no município de Piracicaba.	78

Índice de Quadros

Quadro 1 - Formações geológicas do município de Piracicaba.....	22
Quadro 2 - Dados socioeconômicos atrelados à demanda por água no município de Piracicaba.	30
Quadro 3 - Organização dos dados de base para a determinação da vulnerabilidade intrínseca no município de Piracicaba.	42
Quadro 4 - Possíveis classes de vulnerabilidade resultantes do método GOD (FOSTER et al., 2006).....	45
Quadro 5 - Organização dos dados de base para a avaliação da vulnerabilidade específica por fontes potenciais pontuais das águas subterrâneas no município de Piracicaba.....	47
Quadro 6 - Organização dos dados de base para a avaliação da vulnerabilidade específica por fontes potenciais difusas das águas subterrâneas no município de Piracicaba.....	47
Quadro 7 - Método POSH de classificação das fontes potenciais difusas de poluição (FOSTER et al., 2006).....	49
Quadro 8 - Método POSH de classificação das fontes potenciais pontuais de poluição (FOSTER et al., 2006).....	50
Quadro 9 - Determinação do potencial de contaminação no município de Piracicaba por cargas potenciais pontuais.	72
Quadro 10 - Determinação do potencial de contaminação no município de Piracicaba por cargas potenciais difusas.	73
Quadro 11 - Escores adotados para a determinação do perigo à contaminação pela interação da vulnerabilidade intrínseca e vulnerabilidade específica - Métodos GOD e POSH, respectivamente.	76
Quadro 12 - Representatividade do perigo à poluição das águas subterrâneas para o município de Piracicaba.....	77

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tipos de solo e sua ocorrência no município de Piracicaba.....	23
Tabela 2 - Principais usos do solo no município de Piracicaba, elaborado a partir da base de dados vetoriais disponibilizados pela SMA – SP.	25
Tabela 3 - Vazões outorgadas por unidade aquífera no município de Piracicaba.	31
Tabela 4 - Exploração de águas subterrâneas na sub-bacia do Rio Piracicaba.....	32
Tabela 5 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquífero Diabásio em Piracicaba com a pontuação preconizada pelo método GOD.....	52
Tabela 6 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquífero Guarani no município de Piracicaba com a pontuação preconizada pelo método GOD.....	55
Tabela 7 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquífero Tubarão no município de Piracicaba com a pontuação preconizada pelo método GOD.....	58
Tabela 8 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquífero Passa Dois no município de Piracicaba com a pontuação preconizada pelo método GOD.....	61
Tabela 9 - Pontuação do perigo de poluição das águas subterrâneas por nitrato atrelado ao uso dos solos.	67
Tabela 10 - Fontes pontuais de contaminação registrados no município de Piracicaba.....	68
Tabela 11 - Atividade industrial por gênero no município de Piracicaba - Base 2012.	70
Tabela 12 - Tipologia pedológica dominante na área rural do município de Piracicaba - análise método POSH.....	71

SUMÁRIO

RESUMO.....	I
ABSTRACT	II
1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVO	18
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	19
3.1 RELEVO, GEOLOGIA E SOLOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
3.2 USO DO SOLO E HIDROGEOLOGIA	25
3.3 INFORMAÇÕES SOCIOECONÔMICAS E DEMANDA HÍDRICA	30
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
4.1 AQUÍFEROS	33
4.2 PROCESSOS HIDROGEOLÓGICOS	35
4.3 VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS	35
4.4 DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS.....	36
4.5 PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	38
4.6 GEOPROCESSAMENTO APLICADO À DETERMINAÇÃO DAS VULNERABILIDADES INTRÍNSECAS E ESPECÍFICAS DE AQUÍFEROS	39
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
6 DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE ÍNTRINSECA - MÉTODO GOD51	51
6.1 AQUÍFERO DIABÁSIO	51
6.2 AQUÍFERO GUARANI.....	54
6.3 AQUÍFERO TUBARÃO	57
6.4 AQUICLUDE PASSA DOIS	60
6.5 VULNERABILIDADE INTRÍNSECA NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA.....	63
7 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE ESPECÍFICA.....	66
7.1 AVALIAÇÃO DAS FONTES POTENCIAIS DIFUSAS E PONTUAIS ATRELADAS AO USO DO SOLO.....	66
7.2 AVALIAÇÃO DAS FONTES POTENCIAIS PONTUAIS DE POLUIÇÃO	67
7.3 AVALIAÇÃO DAS FONTES POTENCIAIS DIFUSAS EM ÁREAS URBANAS	70

7.4 AVALIAÇÃO DAS FONTES POTENCIAIS DIFUSAS EM ÁREAS RURAIS	71
7.5 ELABORAÇÃO DO MAPA DE VULNERABILIDADE ESPECÍFICA PARA O MUNICÍPIO DE PIRACICABA.....	72
8 AVALIAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA.....	76
9 CONCLUSÃO.....	80
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
11. APÊNDICES	93

1 INTRODUÇÃO

A importância da água, tanto como elemento de sustentação da vida na Terra, ou como agente condicionante do desenvolvimento econômico e social, é de percepção notória e evidente. Parcela importante do ciclo hidrológico, as águas subterrâneas constituem variável determinante da perenidade dos cursos d'água superficiais, bem como se apresentam como fonte estratégica de água potável. Sua disponibilidade volumétrica estimada é de $8,34 \times 10^6$ Km³, representando 0,61% da disponibilidade total de água e aproximadamente 66 vezes o volume de água doce superficial do planeta (FEITOSA; FEITOSA, 2008).

Embora sua importância, existe, porém, certa indiferença à adoção de medidas de proteção a esses recursos, principalmente em países subdesenvolvidos, localizados em regiões da Ásia e também da América Latina e do Caribe. A incidência constante e persistente de contaminantes no solo causa impactos de difícil remediação, que podem, por vezes, inviabilizar a utilização destas fontes para fins potáveis (FOSTER; HIRATA, 1988). De igual modo, o aumento da demanda por águas subterrâneas culmina frequentemente em situações de superexploração, tendo como consequência o esgotamento da capacidade de recuperação dos aquíferos, bem como a redução da qualidade de suas águas (EBRAHIMI et al., 2016).

As ações protecionistas dos recursos hídricos iniciam-se na gestão eficiente que busque conciliar as demandas domésticas e as decorrentes do desenvolvimento econômico, atreladas ao interesse ambiental e voltadas à preservação e ao uso racional. Nestes termos, Vaux (2011), argumenta que a intensificação da demanda por recursos hídricos subterrâneos em termos gerais, tende a um excepcional aumento em função de três fatores principais: o crescimento populacional, o crescimento econômico e a necessidade de se proteger o patrimônio ambiental. Tal situação sugere que haverá uma migração de fontes de abastecimento para as águas subterrâneas, cuja pressão por usos, culminará para estes recursos, a imposição de uma situação de *stress*.

Assim sendo, a crescente contaminação atual destes recursos subterrâneos, tende a ter um inevitável aumento futuro, demandando ações de caráter urgente de gerenciamento eficaz das águas subterrâneas a nível mundial. Em termos de Brasil, a legislação Federal e Estadual é ampla e engloba aspectos relevantes à proteção dos recursos hídricos. No Estado de São Paulo, a subdivisão das principais bacias do Estado em unidades de gerenciamento e a disponibilidade de um fundo estadual de financiamento voltado à proteção dos recursos hídricos, constituem estratégias que dividem com a sociedade organizada a responsabilidade de gestão e proteção destes recursos.

Adicionalmente, como instrumento da Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, a outorga de direito de uso ou interferência de recursos hídricos constitui "ato administrativo, de autorização ou concessão, mediante o qual o Poder Público faculta ao outorgado fazer uso da água por determinado tempo [...] " (DAEE, 2017). Este mecanismo de controle, também previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, objetiva delimitar diretrizes de utilização, visando garantir disponibilidade qualitativa e quantitativa da água para os diversos usos impostos pela sociedade (ANA, 2017).

Finalmente, a avaliação das condições de vulnerabilidade intrínseca e específica, bem como do perigo de contaminação de aquíferos constituem ferramentas de gestão, que visam a identificação de áreas de vulnerabilidade, onde determinadas atividades devem ser evitadas (FOSTER et al., 2006).

Nestes termos, o conceito de vulnerabilidade intrínseca de aquíferos, considera a capacidade de atenuação natural do meio local à contaminação imposta por uma carga contaminante (FOSTER, 1987).

Assim sendo, dado a premissa que em uma eventual exposição à contaminação a estrutura constituinte da camada não saturada acima do aquífero, pode oferecer maior ou menor proteção natural dependendo de sua conformação local, o mapeamento da vulnerabilidade intrínseca aparece como solução para embasar subsídios para a gestão dos recursos hídricos, proteção das águas subterrâneas, e gestão do uso do solo (BAALOUSHA, 2016).

O conceito de vulnerabilidade específica, por sua vez, considera a probabilidade de determinado sistema aquífero ser exposto a um contaminante, classe de contaminantes ou atividade contaminante (HIRATA; FERNANDES, 2008).

Nestes termos, a avaliação de variáveis ligadas ao uso do solo, fornecem subsídios para a avaliação da probabilidade de contaminação local por fontes pontuais ou difusas, necessárias à determinação da vulnerabilidade específica.

Por fim, o conceito de perigo à poluição pode ser definido como a interação entre a vulnerabilidade intrínseca e a vulnerabilidade específica. Neste âmbito, deve-se ter em mente que a vulnerabilidade intrínseca não é passível de controle externo, pois está diretamente ligada ao contexto natural, ao contrário da vulnerabilidade específica, que pode ser submetida a controle ou modificação (FOSTER et al., 2006).

A determinação da vulnerabilidade e do perigo à contaminação de aquíferos, em termos gerais, é feita através de métodos que avaliam aspectos de conformação natural do local em estudo, bem como, respectivamente, a análise de probabilidade destas águas

subterrâneas serem negativamente impactadas por fontes potenciais contaminantes de origem humana.

Gogu e Dassargues, (2000) consideram que os procedimentos de determinação de vulnerabilidade de aquíferos utilizados pelos denominados métodos paramétricos, englobam a seleção de parâmetros representativos, subdivididos em intervalos hierárquicos com valores pertinentes que reproduzem o grau de contaminação relativo. A utilização de um ou outro método depende de uma série de condicionantes, onde se considera principalmente a facilidade de obtenção dos dados exigidos para alimentar o sistema, e as características do local de estudo.

Os vários métodos de determinação de vulnerabilidade intrínseca utilizados no mundo inteiro defendem, em sua grande maioria, a importância da zona vadosa, que constitui elemento de transição entre o meio externo e o aquífero, bem como também a profundidade do lençol freático.

Considerando os parâmetros utilizados para avaliação de vulnerabilidade, Ruiliang et al. (2014) concluíram que, quanto menor as partículas constituintes da zona vadosa, menos poluentes atingirão o aquífero e menor será a vulnerabilidade das águas subterrâneas. De igual modo, quanto maior a profundidade do lençol freático, mais tempo os poluentes estarão em contato com a zona vadosa, fazendo contato com as partículas de rochas, oxigênio e micro-organismos, e, portanto, maior a possibilidade destes contaminantes serem absorvidos, diluídos e degradados antes de terem contato com a água subterrânea.

A adoção de medidas de intervenção e/ou mitigação como instrumento de gestão dos recursos hídricos, deve, portanto, ser precedida de análise de sua vulnerabilidade intrínseca e do perigo à contaminação, com vistas a se garantir a alocação pertinente de recursos em locais onde os riscos de contaminação por fontes pontuais e difusas, exigem reações mais prementes.

Para tanto a priorização de investimentos em locais cuja contaminação é decorrente de fontes pontuais, aparece como medida que busca privilegiar ações onde o perigo de contaminação de caráter cumulativo em áreas de menor abrangência irá afetar de forma global a qualidade das águas subterrâneas (OVERHEU et al., 2016).

Por outro lado, fica também a consideração de que a representatividade do perigo de poluição das águas subterrâneas por fontes não pontuais se apresenta como variável de igual modo significativa, dada a dificuldade em se quantificar a sua carga contaminante, tanto em nível de concentração de poluentes no solo, como na significância da exportação destes contaminantes para os aquíferos (LEONE, et al., 2007).

Adicionalmente, tendo como base o exposto, é imperativo que se tenha em mente que as ferramentas de determinação de vulnerabilidade e de perigo à contaminação, fornecem resultados essencialmente contextuais, que visam oferecer subsídios primários para o direcionamento de estudos complementares e definitivos, que podem ou não ratificar os resultados obtidos pelas ferramentas estatísticas de determinação.

Os resultados obtidos pela aplicação destes métodos determinísticos, portanto, constituem uma primeira informação sobre o situacional de vulnerabilidade de determinado aquífero, e não devem ser tratados como verdades absolutas, mas como indicadores estatísticos de situação local.

2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi o de se avaliar o perigo à poluição dos aquíferos no município de Piracicaba, de forma que os produtos auferidos possam constituir base inicial para o aprofundamento de estudos direcionados relacionados ao tema, nas áreas onde os resultados se apresentam mais significativos para as determinações realizadas.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos pretendidos se apresentam:

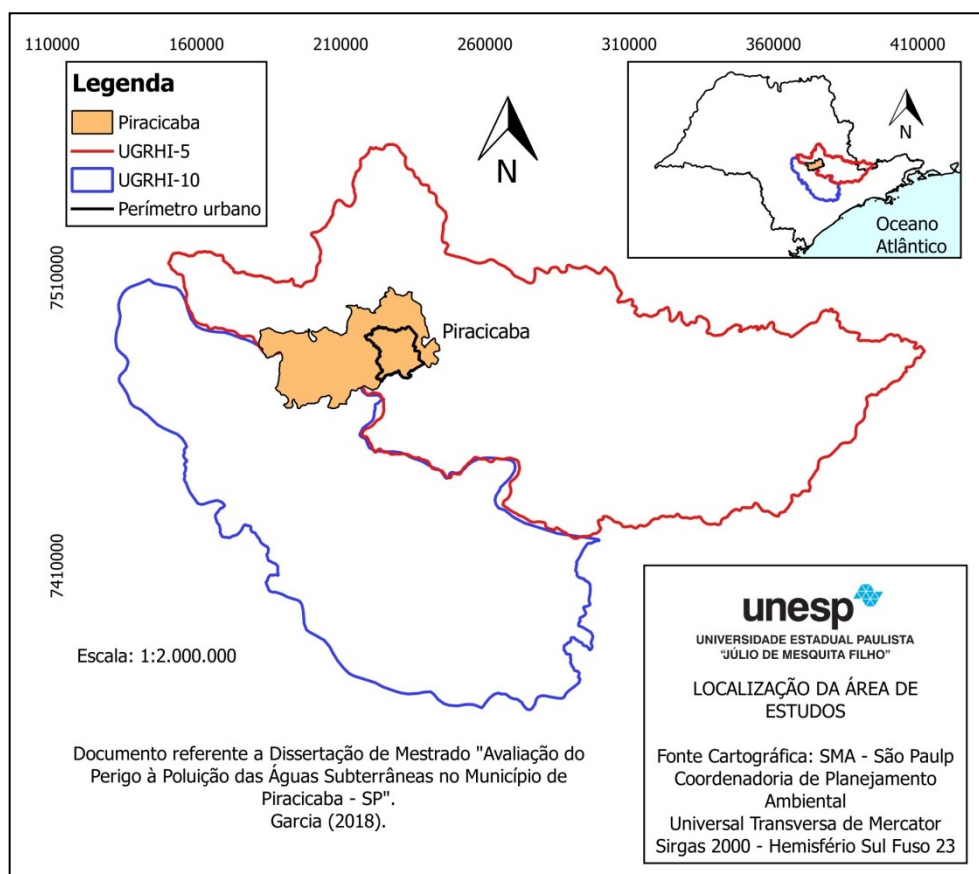
- Avaliar através do método GOD (*Groundwater hydraulic confinement; Overlaying strata; Depth to groundwater table*), proposto por Foster e Hirata (1988), as classes de vulnerabilidades intrínseca dos aquíferos aflorantes no município de Piracicaba.
- Avaliar através do método POSH (*Pollutante Origin, Surcharge Hydraulically*), proposto por Foster *et al.* (2006), a vulnerabilidade específica da área de estudo.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudos concentra os limites políticos do município de Piracicaba, cuja sede se insere na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - UGRHI – 5, ou seja, as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Figura 1).

Esta UGRHI localiza-se geograficamente na porção sudoeste do Estado de São Paulo e engloba 73 municípios, sendo que destes, 44 encontram-se totalmente inseridos geograficamente dentro de seus limites, e outros 29 possuem áreas de drenagem parcialmente insertas nos seus limites geográficos (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2008).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor

O município de Piracicaba possui área total de 1.378,07 km², população estimada para 2016 de aproximadamente 395.000 habitantes e IDHM de 0,785. A concessionária de água local é uma autarquia pública (SEMAE – Serviço Municipal de Água e Esgoto), responsável pela captação, tratamento e distribuição de água.

Os serviços relativos ao esgotamento sanitário são realizados pela empresa Águas do Mirante, através de uma parceria público-privada. Os dados relativos a esses serviços, referentes ao ano de 2015, disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações de Saneamento são:

- Índice de atendimento total de água: 99,97%;
- Participação das economias residenciais na distribuição total: 87,57%;
- Consumo médio *per capita* de água: 187,78 L/hab.dia;
- Índice de perdas na distribuição: 54,43%;
- Índice de coleta de esgoto urbano: 99,19%;
- Índice de tratamento de esgoto coletado: 100%.

3.1 Relevo, geologia e solos da área de estudo

Inserida na Depressão Periférica do Estado de São Paulo, o relevo local apresenta conformação característica de "suave ondulado a ondulado, com presença de pequenas escarpas" (VIDAL-TORRADO; LEPSCH, 1999).

O Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos de Piracicaba considera para o município três principais formas de relevo reinantes (IRRIGART, 2010): planícies aluviais, relevo colinoso e de morrotes e mesas basálticas.

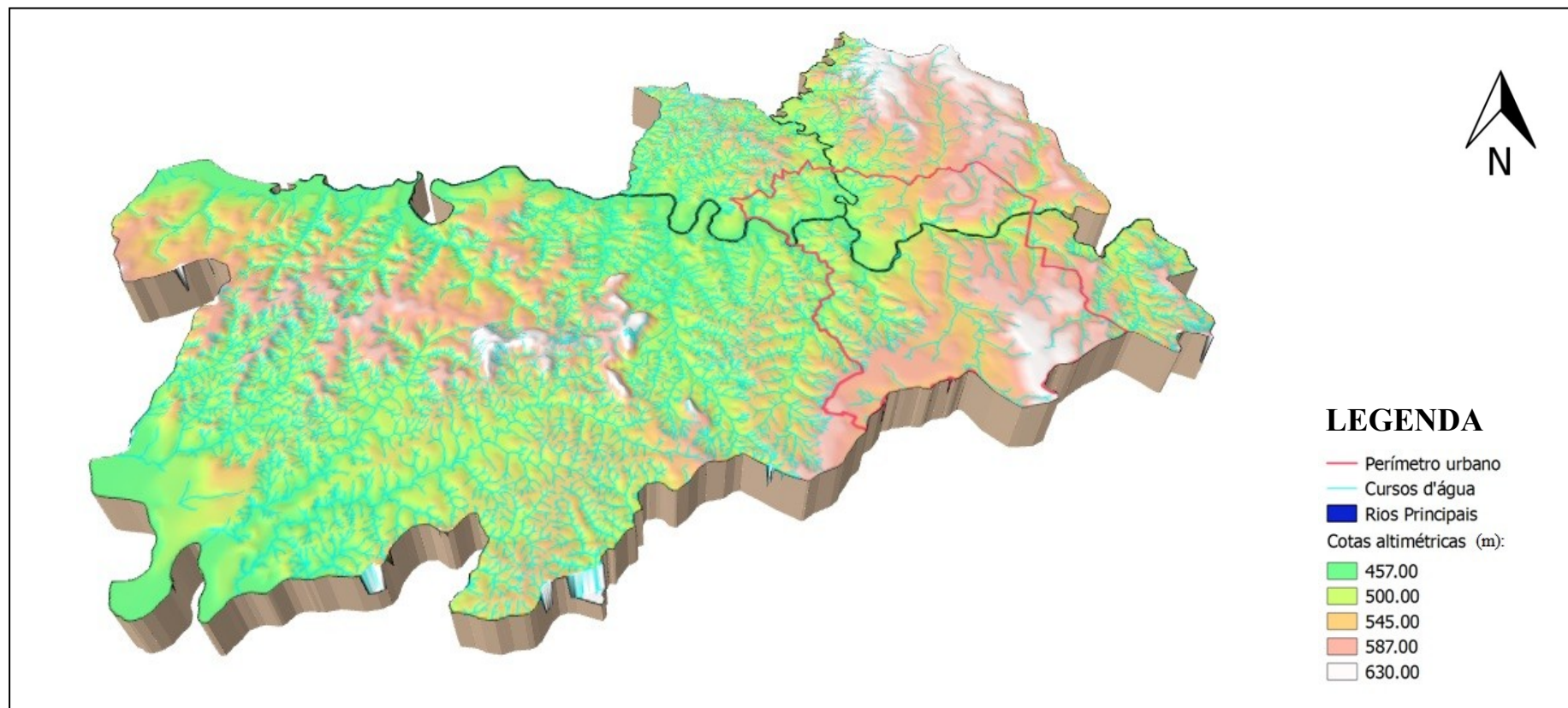
O Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba- IPLAP, considera a cota de 554,00 m, como a altitude média para o município, tendo como referencial o nível do mar.

A determinação das amplitudes das cotas altimétricas para o município, geradas em ambiente SIG através de modelo de elevação digital disponibilizado pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, ilustra a amplitude mínima - máxima que vai de 457,00 m a 630,00 m.

O município de Piracicaba encontra-se alocado na Bacia Sedimentar do Paraná, especificamente em sua porção centro-leste. A sua conformação geológica apresenta formação de litologias variáveis representadas por agrupamento em três domínios geológicos, a saber: as rochas sedimentares, as rochas ígneas e as coberturas Cenozóicas (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2008).

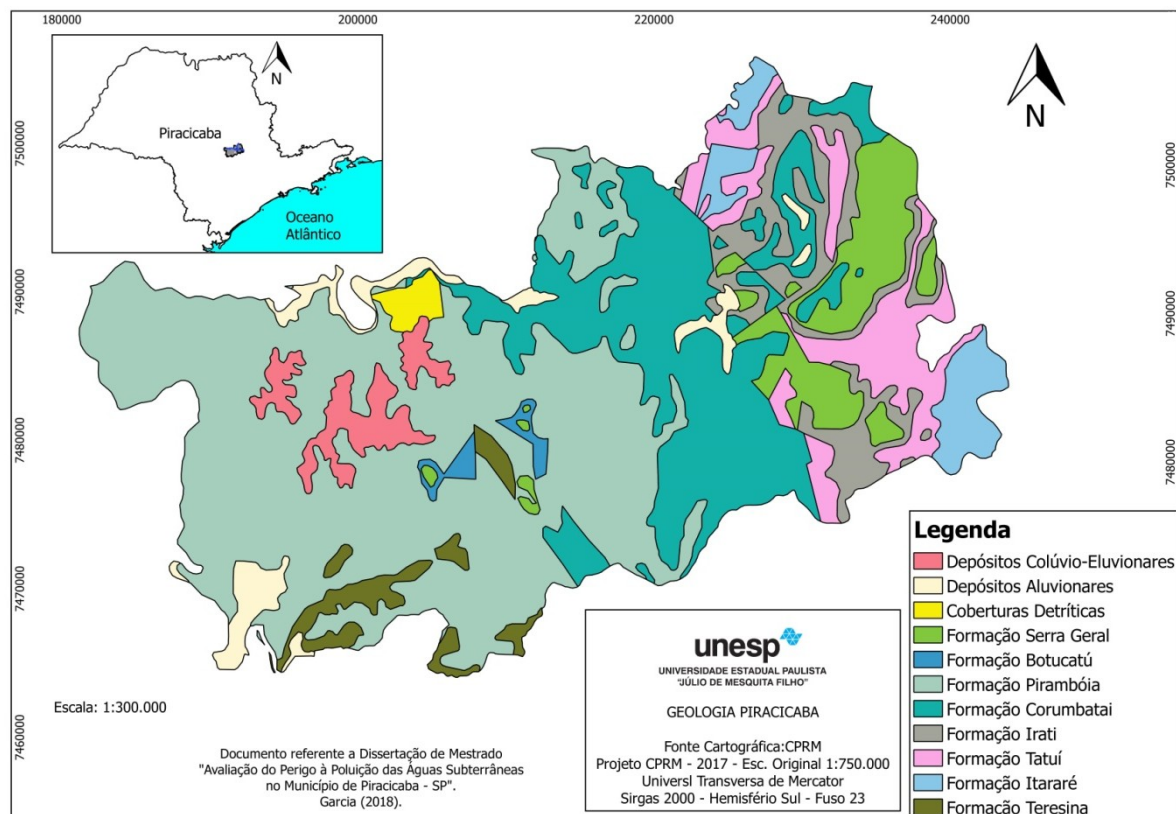
A Figura 2, ilustra a conformação de relevo do município de Piracicaba. Subsequentemente, a Figura 3, ilustra e o Quadro 1 descreve as principais unidades geológicas aflorantes em Piracicaba.

Figura 2 - Conformação do relevo em 3D do município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado a partir da base de dados vetoriais e matriciais disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Figura 3 - Mapa geológico do município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado à partir da base de dados vetoriais disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Quadro 1 - Formações geológicas do município de Piracicaba.

Grupo	Formação	Litologia
Depósitos coluvionares	Materiais de cobertura inconsolidados	Areias, silte e argilas em frações que dependem da natureza do substrato rochoso que lhe deu origem.
Grupo São Bento	Formação Serra Geral	Rochas vulcânicas básicas em derrames basálticos.
	Formação Botucatu	Arenitos eólicos de granulação fina a média com estratificações cruzadas de médio a grande porte.
	Formação Pirambóia	Arenitos finos a médios, siltico-argilosos, de estratificação cruzada ou plano-paralela; níveis de folhelhos e arenitos argilosos.
Grupo Passa Dois	Formação Corumbataí	Argilitos, folhelhos e siltitos com intercalações de bancos carbonáticos, silicíticos, e camadas de arenitos finos.
	Formação Irati	Siltitos, argilitos e folhelhos silticos, folhelhos pirobetuminosos, localmente em alternância rítmica com calcários, silicificados e restritos níveis conglomeráticos.

Grupo	Formação	Litologia
Grupo Tubarão	Formação Tatui	Siltitos, arenitos finos em parte concrecionados, calcários e sílex.
	Formação Itararé	Arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcósios, conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos folhelhos ritmitos, raras camadas de carvão.

Fonte: Adaptado de Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos de Piracicaba, 2010

A determinação da tipologia dos solos que ocorrem no município de Piracicaba tem como fontes de dados o Mapa pedológico do Estado de São Paulo 1:500.000 (OLIVEIRA et al., 1999), as informações do Plano de Bacias PCJ 2010-2020, os dispositivos do Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos do Município de Piracicaba e as determinações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - EMBRAPA e do Manual Técnico de Pedologia do IBGE.

A manipulação da base de dados disponibilizadas em arquivos *shapefile*, em ambiente SIG, identificou dezesseis feições distintas de solos com ocorrência dentro do ambiente geográfico do município de Piracicaba, cujos dados quantitativos se ilustram na Tabela 1. A Figura 4, ilustra o mapa pedológico do município de Piracicaba.

As classes de profundidade do solo ilustradas na Tabela 1 embasam-se no Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015), que qualifica os termos raso (menor ou igual a 0,50 m), pouco profundo (maior que 0,50 m e menor ou igual a 1,00 m), profundo (maior que 1,00 m e menor ou igual a 2,00 m) e muito profundo (maior que 2,00 m).

Estes termos são empregados para designar condições de solos que a partir de um limite de profundidade, passam a ter um contato lítico. Desta forma, considera-se que até esse limite de profundidade, a camada vadosa em estudo seria composta apenas pela camada de solo, e a partir destes limites, por esta camada em contato com material litológico.

Tabela 1 - Tipos de solo e sua ocorrência no município de Piracicaba.

(Continua)

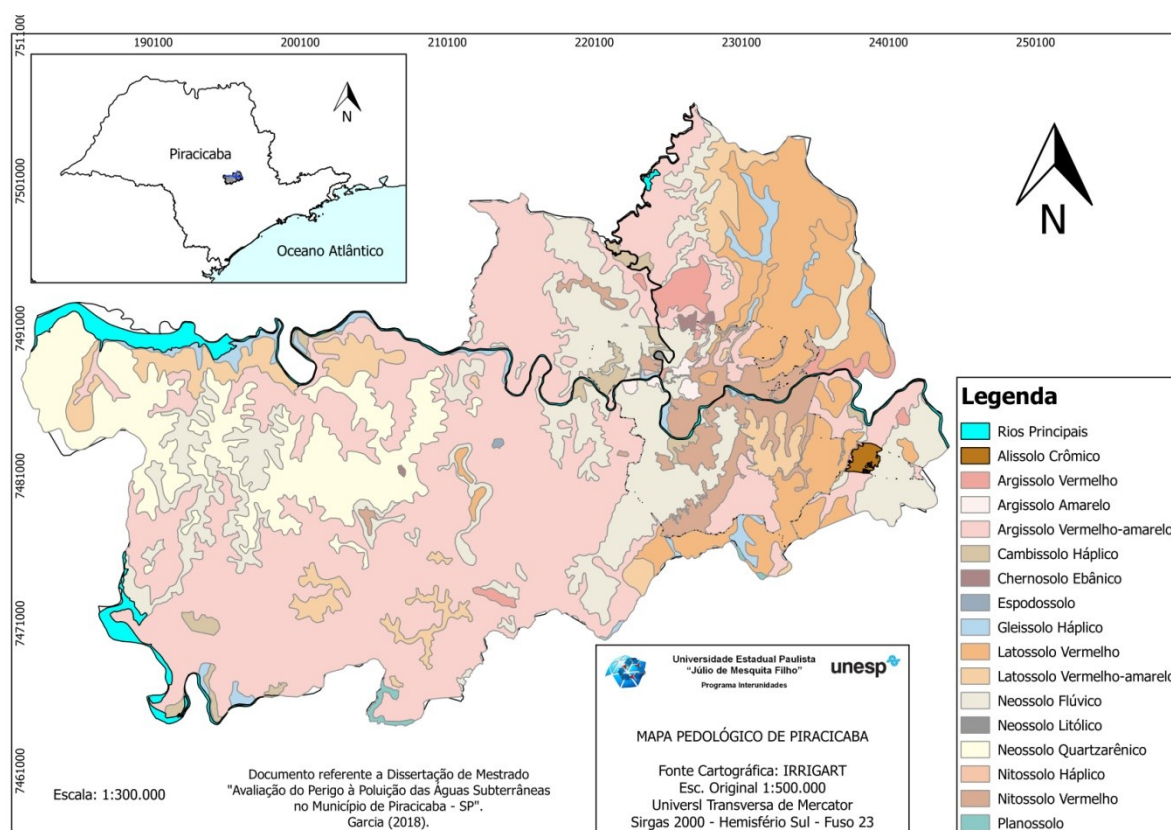
Ordem	Classificação	Área de Abrangência		Classes de profundidade
		Km ²	Representatividade %	
1	Alissolo Crômico	3,14	0,23%	0,5 a 2,0 m
2	Argissolo Amarelo	4,02	0,29%	
3	Argissolo Vermelho	18,09	1,33%	1,0 a 2,0 m
4	Argissolo Vermelho-Amarelo	594,22	43,53%	
5	Cambissolo Háplico	19,03	1,39%	0,5 a 1,0 m
6	Chernossolo Ebânico	2,02	0,15%	0,5 a 1,0 m
7	Corpos D' água	29,62	2,17%	
8	Gleissolo Háplico	24,37	1,79%	Não determinado

(Conclusão)

9	Latossolo Vermelho	119,56	8,76%	1,0 a 2,0 m
10	Latossolo Vermelho-Amarelo	113,67	8,33%	
11	Neossolo Flúvico	227,98	16,70%	< 0,5 a 2,0 m
12	Neossolo Litólico	0,35	0,03%	
13	Neossolo Quartzarênico	149,75	10,97%	1,0 a 2,0 m
14	Nitossolo Háplico	0,15	0,01%	
15	Nitossolo Vermelho	57,59	4,22%	0,5 a 1,0 m
16	Planossolos	1,47	0,11%	
TOTAL		1.365,01	100,00%	-

Fonte: Adaptado de IRRIGART, 2010 - PMGRH, 2010 e Manual Técnico de Pedologia - IBGE 2015

Figura 4 - Mapa pedológico do município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado à partir da base de dados vetoriais disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Os argissolos apresentam-se como material constituído por minerais com argilas que possuem baixa capacidade de troca de cátions (OLIVEIRA, 1999). Os argissolos vermelho-amarelo caracterizam-se por apresentar frequentemente textura média/argilosa ou arenosa (SILVA; OLIVEIRA NETO, 2017). Este tipo de solo tem como característica frequente sua erodibilidade, e mudança textural abrupta. Representam a cobertura de superfície mais abundante no território do município de Piracicaba (45,15% da área do município).

A segunda maior representatividade de ocorrência para o território municipal é de neossolos com cobertura de aproximadamente 27,70% da área territorial de Piracicaba.

Os neossolos litólicos, constituem subordem dos neossolos que se caracterizam por possuírem elevado teor de matéria orgânica, de baixa espessura e assentados diretamente sobre rocha ou horizonte de solo constituído de desagregados da rocha mãe com fragmentos de rocha predominantemente maiores que 2 mm (OLIVEIRA, 1999).

Os neossolos quartzênicos, caracterizam-se por possuírem camada superficial de baixa resistência à penetração mecânica e textura arenosa, de espessura mínima de 1,50 m, com sobreposição sobre camada de material desagregado de maiores dimensões, representados por elementos quartzosos e com frações de areia grossa e fina (OLIVEIRA, 1999). Este material tem ocorrência em aproximadamente 11% do território do município de Piracicaba.

Os latossolos vermelho e vermelho-amarelo, tem representatividade de 8,76% e 8,33% respectivamente, como material de cobertura dentro dos limites geográficos do município de Piracicaba.

Os latossolos definem-se como solos minerais e caracterizam-se por serem profundos contendo horizontes A, B e C pouco diferenciados (SOUSA; LOBATO, 2018). Trata-se de solo com boa drenagem interna, mesmo nos casos onde há predominância de textura argilosa.

Finalmente, os nitossolos com pouco mais de 4% de ocorrência sobre o território em estudo, caracteriza-se por sua erodibilidade frequentemente alta e textura argilosa. Apresentam boa drenagem interna, e espessa zona de aeração (OLIVEIRA, 1999).

3.2 Uso do solo e hidrogeologia

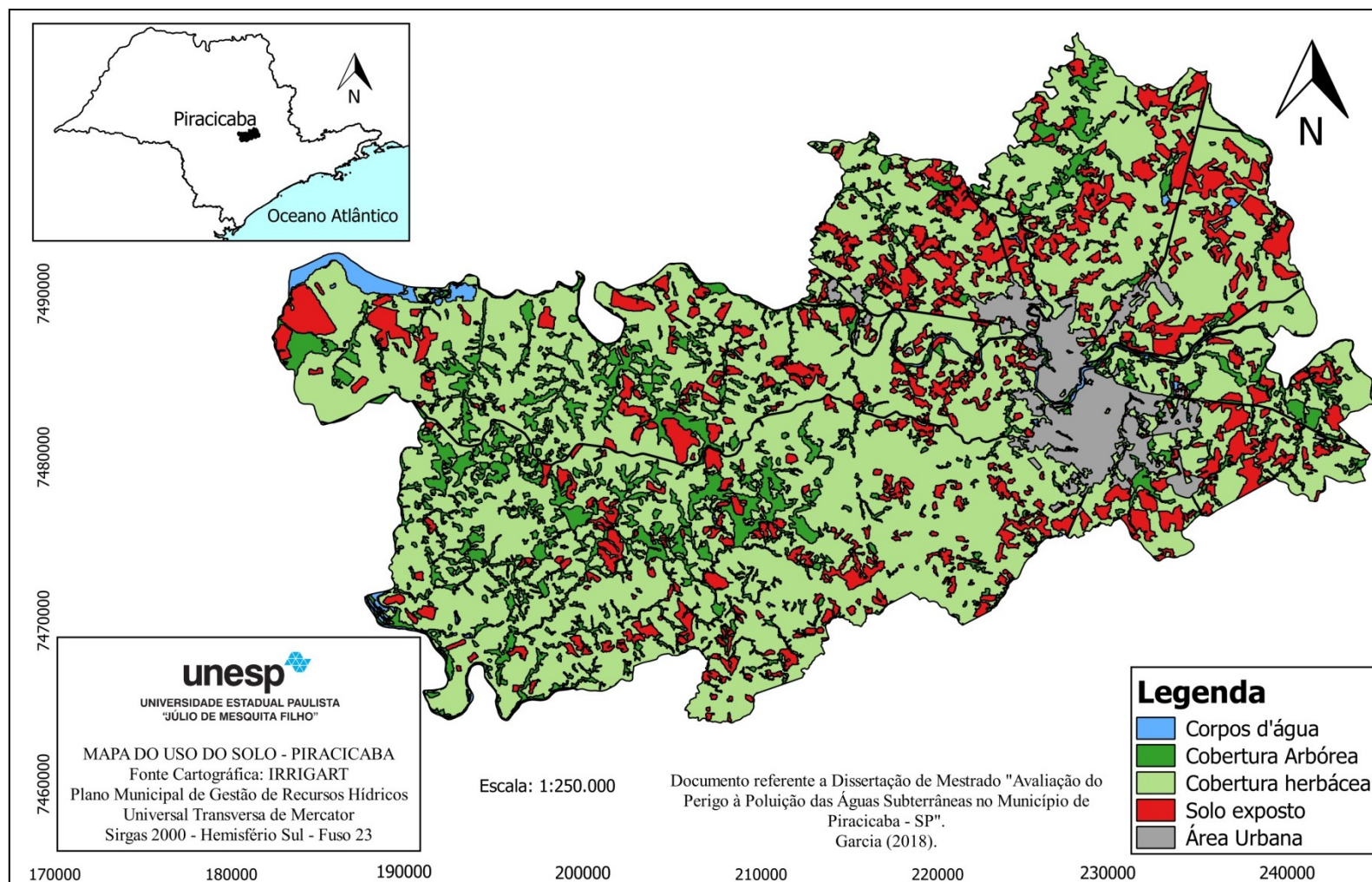
A Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo identificou para o município as feições que se referem ao tipo de ocupação, dispostas na Tabela 2 e a Figura 5.

Tabela 2 - Principais usos do solo no município de Piracicaba, elaborado a partir da base de dados vetoriais disponibilizados pela SMA – SP.

Cursos d'água	Cobertura arbórea	Cobertura herbácea	Solo exposto	Áreas edificadas
20,53 km ²	172,37 km ²	916,08 km ²	196,48 km ²	72,62 km ²
1,49%	12,51%	66,48%	14,26%	5,27%

Fonte: Elaborado pelo autor - Base: Dados vetoriais - SMA - SP

Figura 5 - Mapa de uso do solo para o município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado à partir da base de dados vetoriais disponibilizados por IRRIGART e pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

O uso dado ao solo, em adição à sua característica de formação, é determinante às ocorrências de infiltração e recarga. O tipo de ocupação de solo tende a influir na sua permeabilidade e, conseqüentemente, nos processos de disponibilização e mobilização de contaminantes para dentro do aquífero.

Eshtawi, et al., 2016, consideram que fatores relacionados ao uso do solo, crescimento populacional, infraestrutura deficiente e mudanças climáticas constituem ameaças significativas para a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Nestes termos, consideram ainda, que a expansão urbana impõem uma relação dinâmica e de comportamento não linear com as águas subterrâneas e constitui fator de diminuição da quantidade de recarga que adentraria os aquíferos, dado a conseqüente impermeabilização do solo local.

Inserem-se no tópico cobertura herbácea da Figura 5, as culturas agrícolas exploradas economicamente, que representam mais de 66% da cobertura total do solo da área de estudo.

O Relatório Diagnóstico do Plano Municipal de Gestão dos Recursos Hídricos do Município de Piracicaba considera que a cultura da cana-de-açúcar representa o montante de 42,38% da cobertura do solo do município, seguida pela área de pastagem com representativo aproximado de 23,00% da área total de Piracicaba. As outras culturas agrícolas possuem representatividade pouco significativa.

As áreas edificadas, com conformação urbana, inseridas essencialmente no perímetro urbano, representam pouco mais de 5,00% do total da área do município de Piracicaba.

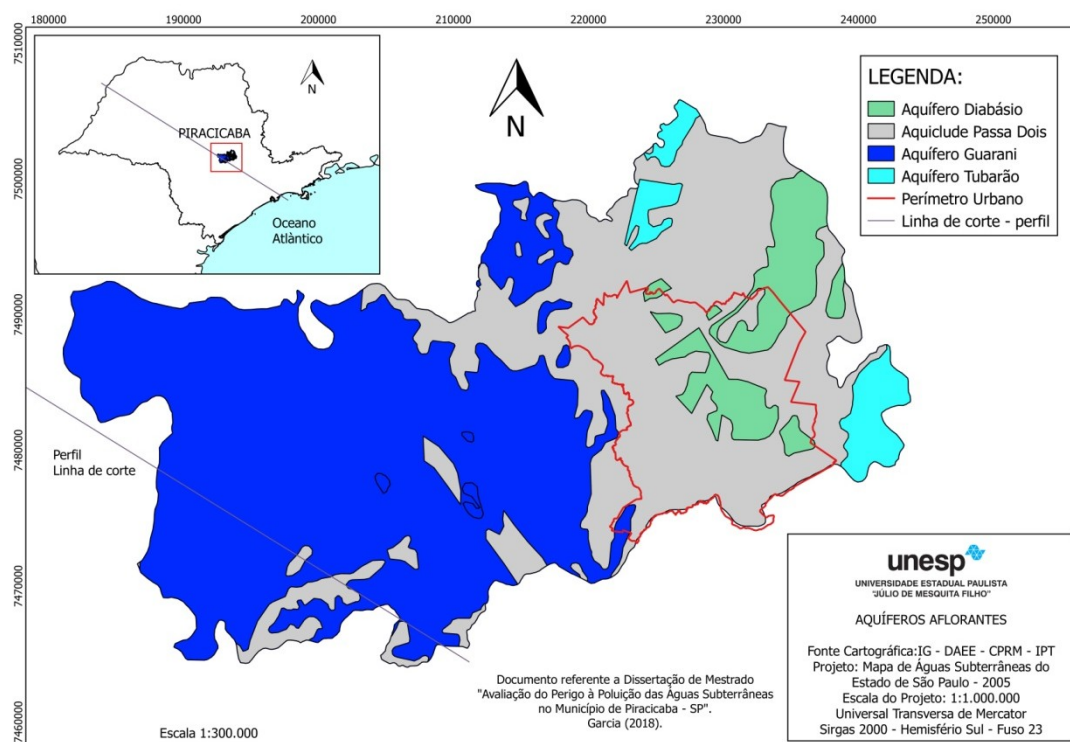
Conclusivamente, aproximadamente 95,00% da área total do município possui cobertura de característica permeável, representada por vegetação nativa, solo exposto ou culturas agrícolas.

No que concerne à hidrogeologia da área de estudo, a ocorrência de águas subterrâneas é representada essencialmente pelos aquíferos Diabásio, Guarani e Tubarão, bem como o aquífero Passa Dois. Essas ocorrências estão profundamente ligadas às feições geológicas locais, dado a estreita relação entre os aquíferos com as unidades geológicas de sua ocorrência (IRITANI; EZAKI, 2009)

Estas unidades hidrogeológicas com afloramento dentro dos limites municipais, portanto, apresentam características distintas, bem como produtividades que variam de acordo com as características geológicas do meio aquífero.

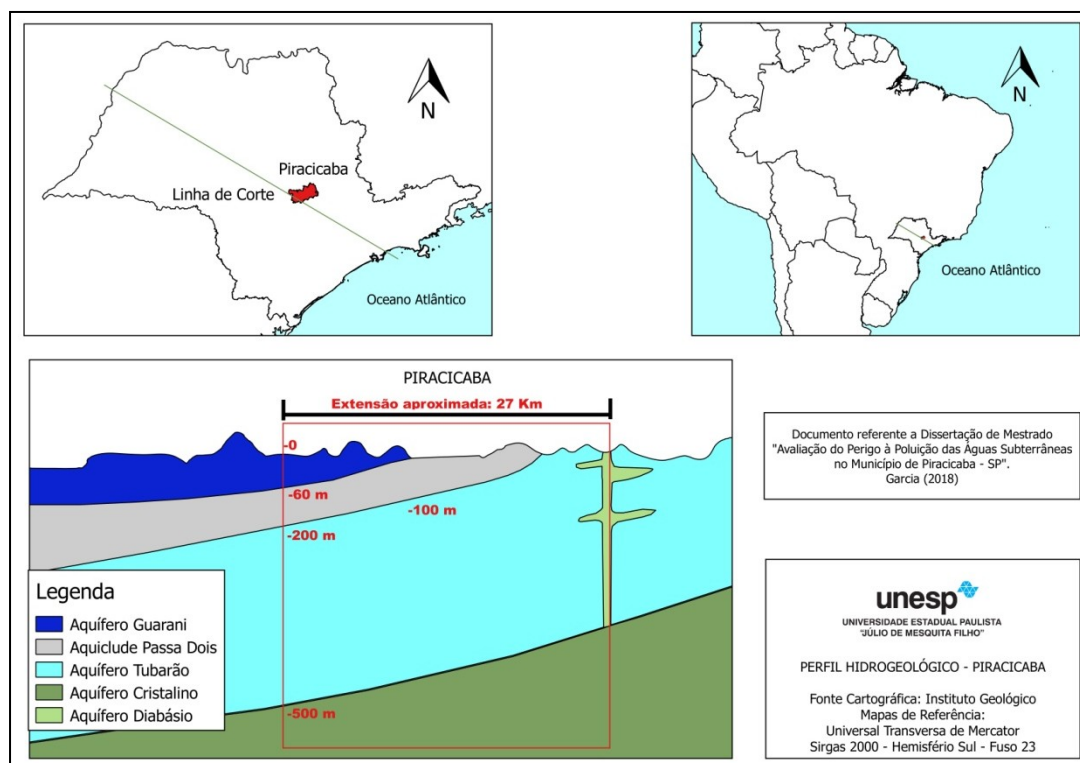
A Figura 6 e a Figura 7, ilustram em planta e perfil, os aquíferos com ocorrência dentro do município de Piracicaba.

Figura 6 - Unidades aquíferas aflorantes no município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da base de dados vetoriais - IG - DAEE - CPRM - IPT - 2005

Figura 7 - Perfil hidrogeológico no município de Piracicaba



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da base de dados vetoriais - IG - DAEE - CPRM - IPT - 2005

Com localização restrita em meio aos aquíferos Tubarão e o aquíclode Passa Dois, o aquífero Diabásio aflora notadamente na Bacia do Rio Piracicaba, em área de aproximadamente 497 km², cujas maiores áreas aflorantes acontecem no município de Piracicaba com 89,55 km².

Sua disponibilidade hídrica para a sub-bacia do Rio Piracicaba é de 0,216 m³/s, representando 6,60% da disponibilidade total desta sub-bacia (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2008).

O Diabásio, caracteriza-se por ser um aquífero fraturado, com produtividade baixa e vazões de exploração com amplitudes que se apresentam entre 1 e 12 m³/h (FERNANDES et al., 2005).

A ocorrência do aquífero Guarani no município de Piracicaba acontece como área de recarga de aproximadamente 733,95 km² dentro dos limites geográficos do município.

Devido à essa ocorrência em condições freáticas, políticas de planejamento e restrições relativas ao uso do solo em sua área de afloramento são essenciais, com vistas à minimização de riscos de contaminação local. Segundo o Plano de Bacias PCJ 2010-2020, sua disponibilidade hídrica para a sub-bacia do Rio Piracicaba é de 1,518 m³/s, o que corresponde a 46,60% da disponibilidade total da sub-bacia.

O aquífero Tubarão ocorre na Bacia do Rio Piracicaba em faixa de aproximadamente 2.435 km², e aflora no município de Piracicaba em área de aproximadamente 48 km². A exploração do aquífero Tubarão, para o município de Piracicaba, considerando-se todos os poços cadastrados, consoante os dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, representam 95,68% das explorações totais locais.

Estas cifras enfatizam a importância deste aquífero, que constitui fonte local significativa para o consumo industrial, preponderante para as explorações citadas.

Em situação de confinamento atinge profundidades superiores a 200 m, onde em Piracicaba mergulha abaixo do aquíclode Passa Dois (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2008). As vazões predominantes para este aquífero, vão de 0 a 10 m³/h, e os valores de mediana do nível estático de poços tem amplitude entre 18m e 152m (ODA, 2005).

A disponibilidade hídrica do aquífero Tubarão para a sub-bacia do Rio Piracicaba se apresenta como 0,86 m³/s, com representatividade de 26,44% sobre o total disponível hídrico subterrâneo para esta sub-bacia (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2008).

O Aquíclode Passa Dois, embora classifique-se como unidade hidrogeológica com baixa permeabilidade, pode apresentar esporadicamente classificação local de aquitarde por

conter fraturas com certa produtividade. Devido a esta particularidade esta unidade é pouco explorada com poucos estudos hidrogeológicos disponíveis (IRITANI; EZAKI, 2009).

O afloramento no município de Piracicaba, determinado através de manipulação de feições vetoriais, revela que esta unidade hidrogeológica possui área de ocorrência aproximada de 506 km², com significativa representatividade dentro do perímetro urbano.

Dado sua característica de função passiva em relação à transmissividade, o aquíclode Passa Dois, também apresenta a mesma característica em relação a outros efluentes, constituindo barreira natural à percolação de substâncias estranhas às camadas mais profundas locais.

3.3 Informações socioeconômicas e demanda hídrica

O município de Piracicaba, no âmbito da sub-bacia do Rio Piracicaba, composta por 16 municípios, projeta os dados socioeconômicos que se apresentam no Quadro 2, subsequente:

Quadro 2 - Dados socioeconômicos atrelados à demanda por água no município de Piracicaba.

ITEM	VALORES REPRESENTATIVOS
População	17,09% da população da sub-bacia do Rio Piracicaba ⁽¹⁾
Território	40,11% do território total da sub-bacia do Rio Piracicaba ⁽¹⁾
Índice de Perdas	Índice de perdas no sistema de abastecimento de água: 50% ⁽²⁾
Demandas	Demanda média per capita de água: 404,00 l/hab.dia ⁽²⁾ (16,81% de variação em relação à média da sub-bacia do Rio Piracicaba);
	Captação Superficial: 2,81 m ³ /s ^(2 e 3) (34% da disponibilidade hídrica superficial da sub-bacia do Rio Piracicaba);
	Captação subterrânea: 0,201 m ³ /s ⁽³⁾ .
Disponibilidade Hídrica ⁽²⁾	Disponibilidade hídrica superficial da sub-bacia do Rio Piracicaba: 8,16 m ³ /s
	Disponibilidade hídrica subterrânea da sub-bacia do Rio Piracicaba: 3,26 m ³ /s
Emprego e Renda	25ª Cidade no ranking de emprego e renda do Estado de São Paulo (FIRJAN 2013)

Fonte: (1) Cálculo matemático com base nas informações disponibilizadas pelo IBGE, 2018; (2) Fundação Agência das Bacias PCJ, 2008; (3) Base de dados públicos DAEE, 2017.

As informações mostram que a demanda por água superficial para o município já compromete, nos dias atuais, 1/3 da disponibilidade da sub-bacia do Rio Piracicaba como um todo, evidenciando um provável aumento futuro das demandas de água provenientes de fontes subterrâneas.

O município explora vazões subterrâneas da ordem de 0,201 m³/s, oriundos dos aquíferos locais, cujo uso predominante se dá para fins de produção e consumo comercial e industrial. As explorações por unidade aquífera são apresentadas na Tabela 3, com base no cadastro de poços outorgados do DAEE, utilizados neste trabalho.

Tabela 3 - Vazões outorgadas por unidade aquífera no município de Piracicaba.

Aquíferos/ Índices	Diabásio	Tubarão	Tubarão Confinado	Guarani	Passa Dois	Total
Exploração Média (l/s)	75,47	37,56	11,42	22,45	53,84	200,75
Percentual por Aquífero	37,60%	18,71%	5,69%	11,18%	26,82%	100,00%

Fonte: Elaborado à partir da base de dados dos poços cadastrados - DAEE, 2017.

Aproximadamente 50% dos usos consuntivos das vazões exploradas representadas na Tabela 3, tem como finalidade os usos para fins industriais e comerciais. O município possui baixa representatividade de utilização de águas subterrâneas para abastecimento público, cujas explorações para este fim são utilizadas essencialmente como solução alternativa em localidades onde a rede pública de abastecimento não está disponível.

Especificamente para as demandas e disponibilidades de água subterrâneas no município, a base de dados se apoia no Plano de Bacias PCJ - 2010 -2020, cuja síntese de dados revela que o município explora atualmente pouco mais de 6,17% da disponibilidade total de águas subterrâneas no contexto geográfico da sub-bacia do Rio Piracicaba. A Tabela 4, apresenta os volumes explorados e o percentual representativo de cada município da sub-bacia do Rio Piracicaba, onde se observa que o município de Piracicaba possui a quarta maior exploração de águas subterrâneas.

Tabela 4 - Exploração de águas subterrâneas na sub-bacia do Rio Piracicaba.

Ordem	Local	Volume explorado	% Representativo
1	Águas de São Pedro	0,001 m³/s	0,04%
2	Americana	0,216 m³/s	6,67%
3	Campinas	0,354 m³/s	10,95%
4	Charqueada	0,010 m³/s	0,30%
5	Hortolândia	0,088 m³/s	2,73%
6	Limeira	0,390 m³/s	12,07%
7	Monte Mor	0,152 m³/s	4,69%
8	Nova Odessa	0,148 m³/s	4,58%
9	Paulínia	0,233 m³/s	7,21%
10	Piracicaba	0,201 m³/s	8,76%
11	Rio das Pedras	0,046 m³/s	1,43%
12	Saltinho	0,007 m³/s	0,20%
13	Santa Bárbara D'Oeste	0,070 m³/s	2,17%
14	Santa Maria da Serra	0,012 m³/s	0,36%
15	São Pedro	0,069 m³/s	2,13%
16	Sumaré	0,295 m³/s	9,13%
TOTAL		2,291 m³/s	100,00%

Fonte: Elaborada à partir da Base de dados do Plano de Bacias 2010-2020 - UGRHI-5.

Embora as demandas por uso de água subterrânea para abastecimento público no município sejam praticamente inexistentes, o aumento do consumo de água ocasionado pelo desenvolvimento econômico e crescimento populacional deve exercer pressão significativa sobre os recursos hídricos subterrâneos, como fonte alternativa de abastecimento.

A previsão para o município espera um aumento nas captações totais de aproximadamente 6% até o ano de 2035, cuja vazão total captada se projeta como 3,21 m³/s (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2008).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Aquíferos

"Um aquífero é definido como qualquer unidade que possua geologia que permita a transmissividade de água e sua acumulação, e que tenha uma espessura saturada de pelo menos 0,6 m, e tenha pelo menos um poço de água instalado" (VAN STEMPTVOORT; EWERT; WASSENAAR, 2013).

A variabilidade da forma de ocorrências das águas subterrâneas determina a sua caracterização. Por definição, um aquífero confinado, constitui-se entre duas camadas impermeáveis situadas acima e abaixo do meio poroso, cujas condições de contorno dessas duas faces são de fluxo inexistente ou não, dependendo da conformação de permeabilidade das camadas confinantes, (PEREIRA CABRAL, 2008).

No que se refere aos aquíferos livres, são aqueles cujo limite superior é a superfície freática, onde todos os pontos estão sob pressão atmosférica. Assim sendo, as áreas de recarga dos aquíferos confinados correspondem a aquíferos livres. Nestes locais é que ocorre a infiltração de parcela da chuva para a manutenção dos aquíferos (MANOEL FILHO, 2008).

Acharya, Jawitz e Mylavarapu (2012), argumentaram que para os aquíferos livres em condições de proximidade à superfície, os fluxos de entrada e saída de água são controlados por dois parâmetros de armazenamento distintos: a porosidade drenável e a porosidade preenchível que controlam, respectivamente, as condições de rebaixamento e aumento do nível de água.

Conceitualmente, define-se porosidade drenável, a parcela do volume do solo por onde a água se movimenta e drena depois de excedida a capacidade de retenção deste solo sob regime de chuva ou irrigação (COSTA, 2008).

A porosidade preenchível pode ser definida como o volume de água que um aquífero não confinado tem capacidade de armazenar por unidade de ascensão e por unidade de área (SOPHOCLEOUS, 1991).

Um aquíclode, por sua vez, define-se como rochas sedimentares submetidas a intensos processos de compactação/cimentação ou processos diagenéticos, que embora possam apresentar porosidade total muito elevada, possuem porosidade efetiva e condutividade hidráulica muito baixa, de forma que o volume de água que flui sob a ação do gradiente hidráulico natural é praticamente nulo (REBOUÇAS, 2008).

A dinâmica dos processos de recarga e consequente descarga dos aquíferos estão intimamente ligadas à precipitação e, de modo geral ao clima. A quantificação destes

processos constitui ferramenta valiosa para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, no tocante à disponibilidade de exploração, bem como na adoção de medidas protecionistas que visem evitar a sua exaustão.

Hornero et al. (2016), consideraram, porém, que a estimativa precisa de recarga natural para águas subterrâneas é difícil, principalmente porque os processos envolvidos são complexos e dependem de inúmeros fatores que atuam em diferentes escalas espaciais. No entanto, aspectos locais são os mais influentes neste processo estimativo. De igual modo consideraram que os diferentes métodos de estimação de recarga de água subterrânea que incorporam os efeitos das perturbações locais e regionais (exploração intensiva, a interrupção da qualidade natural, ou mudanças de uso da terra), muitas vezes resultam em diferenças espaciais e temporais elevadas, que geram uma incerteza considerável sobre os valores estimados.

As mudanças climáticas, por sua vez, devem afetar o comportamento do ciclo hidrológico e conseqüentemente os processos de recarga, ocasionando mudanças nos níveis e nos processos de fluxo das águas subterrâneas (STUART et al., 2011).

Também a influência das mudanças climáticas deve trazer como consequência mudanças nos níveis de precipitação, que em particular no Brasil, podem acarretar uma severa redução dos valores de recarga de aquíferos da região nordeste (na faixa de 70%) e uma redução de 30% a 70% na região norte. Nestes termos, embora as previsões para as regiões sul e sudeste sejam mais otimistas, com previsões de aumento de recargas para algumas áreas, prevê-se também a diminuição da recarga relativa em até 30% para parte dos Estados de São Paulo e Paraná. A variação prevista na recarga dos corpos d'água subterrâneos, afeta de modo mais particular os aquíferos freáticos, devido à particularidade de sua dinâmica de fluxo mais lento (HIRATA; CONICELLI, 2011).

No outro extremo, a superexploração das águas subterrâneas provoca um declínio contínuo no nível do lençol freático. Para estimar o grau de sobre-exploração, deve-se conhecer a tendência da superfície das águas subterrâneas, que pode ser determinada pelos dados disponíveis integrados em vários métodos de interpolação. A escolha do melhor método para estimar as variações temporais e espaciais de níveis de água subterrânea, tem um significado estratégico e importante para a razoável gestão e desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos (XIAO et al., 2016).

4.2 Processos hidrogeológicos

Os processos de reservação natural de águas subterrâneas se iniciam com as recargas, que ocorrem principalmente nas estações chuvosas em climas tropicais. No outro extremo, o afloramento ocorre através de nascentes e leitos de rio, quando a pressão da água subterrânea é maior que a pressão atmosférica na proximidade da superfície do solo. A maioria das águas subterrâneas ocorre em reservatórios clásticos inconsolidados ou em rochas carbonáticas, cujas estimativas de quantidade destes recursos são de aproximadamente 22,6 milhões de km³ considerando-se apenas os 2 km superiores da superfície da Terra (RAFFERTY; TIKKANEN; AUGUSTYN, 2015).

Vários fatores que interagem entre si, influenciam os processos hidrológicos. Entre eles, incluem-se as propriedades físico-químicas e o desenvolvimento da estrutura do solo, o conteúdo inicial de água no solo, a precipitação, o uso da terra, a inclinação do terreno e as interações decorrentes de fragmentos de rochas no solo (ZHANG et al., 2016).

A capacidade de drenagem e movimentação de água no solo são regidos pela condutividade hidráulica (K), cuja definição conceitual pode ser expressa como a vazão que atravessa uma área unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário.

Adicionalmente, segundo Salako e Adepelumi (2016), as infiltrações de águas subterrâneas também estão diretamente relacionadas à porosidade. Assim sendo, em locais onde há uma elevada condutividade hidráulica associada a uma alta porosidade, os fenômenos associados à infiltração são facilitados. Também os processos hidrogeológicos estão particularmente ligados à caracterização geoquímica das águas subterrâneas, ao equilíbrio mineral do sistema, e a qualidade das águas decorrentes destes processos (YURTERI; SIMSEK, 2017).

4.3 Vulnerabilidade dos aquíferos

Vulnerabilidade de aquíferos baseia-se na ideia de que a conformação local interfere no quanto as águas subterrâneas são naturalmente susceptíveis a um agente contaminante. Nestes termos, fontes contaminantes depositadas no solo sobrejacente podem ou não chegar com mais facilidade às águas subterrâneas, dependendo da estrutura da camada que recobre estas águas. Elementos que interferem na qualidade da composição química da água dependem da interação água-rocha/solo natural da região e de elementos/compostos provenientes de ações antrópicas (DEVIC; DJORDJEVIC; SAKAN, 2013).

Shrestha, Semkuyu e Pandey (2016), consideraram a necessidade premente de se integrar os índices de vulnerabilidade em função das condições de entorno local com os fatores intervenientes que contribuem para o perigo de poluição das águas subterrâneas, como é o caso da determinação do risco de poluição destas águas por nitrato, que constitui parâmetro indicador de poluição de origem antrópica dado a natureza de suas fontes.

Por outro lado, Ouedraogo, Defourny e Vanclooster (2016), consideraram que a determinação das vulnerabilidades intrínseca e específica constitui na verdade uma determinação indireta, dado que fornecem valores da probabilidade de um sistema de águas subterrâneas vir a ser degradado no presente ou no futuro, baseados nos parâmetros da conformação local.

Além disso, faz-se informação importante que a extração de águas subterrâneas em grandes quantidades coloca em xeque a capacidade de sustentabilidade de fornecimento do aquífero para demandas atuais e futuras (LAPWORTH et al., 2015). Nestes termos, considera-se como áreas em regime de superexploração de águas subterrâneas àquelas onde a captação destes recursos excede em quantidade a recarga líquida (SHAHID, et al, 2015). Portanto, a disponibilidade deste recurso, deve ser entendida como a quantidade de água subterrânea que pode ser continuamente explorada, sob certas condições limitadas, que não tragam como consequência problemas ambientais e geológicos advindos desta exploração (SHI, et. al., 2011).

4.4 Determinação da vulnerabilidade de aquíferos

A determinação da vulnerabilidade das águas subterrâneas constitui ferramenta importante para tomada de decisões, tanto do poder público, como da sociedade organizada, no que diz respeito à adoção de políticas embasadas em dados sobre possível fragilidade de determinada área para usos atuais ou futuros, visando à proteção dos recursos hídricos. Tais determinações frequentemente são obtidas com o auxílio de ferramentas estatísticas e de geoprocessamento e sistemas de informações geográficas, através de produção de mapas contextuais significativos dos elementos sob análise no contexto da vulnerabilidade.

As técnicas, porém, possuem limitações que devem ser consideradas na avaliação do produto final almejado e no detalhamento das informações que se busca. Segundo Hirata e Fernandes (2008), dificilmente poderia se representar de forma integral, em um único mapa de vulnerabilidade o conjunto de variáveis que representam a complexidade dos sistemas aquíferos em interação com o comportamento de diferentes contaminantes. Tal questão

considera que seria mais realista a análise individual de cada uma das atividades potencialmente contaminantes locais.

Esses autores reiteram que a elaboração de um atlas de vulnerabilidade em contraposição a um único mapa apareceria como proposta para se representar a vulnerabilidade específica para cada agente contaminante, ou para cada tipo de atividade antrópica sobre o ambiente de estudo. À vista destes propositivos, enfatizam que a elaboração de produtos cartográficos de vulnerabilidade não deve se apresentar como substituto de um estudo aprofundado, mas um primeiro passo na identificação dos maiores perigos ambientais de determinado local.

Guardo e Finizio (2015), apresentaram a proposição de um software-produto com multifunções para estimar a vulnerabilidade de águas subterrâneas, como ferramenta útil de geração de dados para tomadas de decisão e gerenciamento de recursos hídricos. O referido produto viria para satisfazer a legislação europeia direcionada a políticas de preservação destes recursos, no que diz respeito, neste caso, especificamente à probabilidade de contaminação dos aquíferos por pesticidas. Neste contexto, tais diretivas consideram a suposição de que as águas subterrâneas são susceptíveis de serem afetadas negativamente por pesticidas em concentrações superiores a 0,1 g/L.

Diversos métodos desenvolvidos em todo o mundo são utilizados para a determinação da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas. Entre estes citamos os denominados métodos paramétricos, representados pelo DRASTIC, desenvolvido pela Agência Ambiental Americana, o GOD (FOSTER, 1987; FOSTER; HIRATA, 1988), o método AVI (VAN STEMPTVOORL et al., 1992), além dos métodos EPIK (DOERFLIGER et al., 1999), SINTACS (CIVITA, 1994) e ISIS (CIVITA; DE REGIBUS, 1995). Estas ferramentas, caracterizadas como métodos de sobreposição e índice, têm como base o processamento de dados mapeados em escala quantitativa, ou semiquantitativa, onde algumas premissas se enfatizam (GOGU; DASSARGUES, 2000):

- A consideração de que a "vulnerabilidade das águas subterrâneas é uma propriedade relativa, não mensurável e sem dimensão";
- Nestes métodos, em geral, o valor de recarga, propriedades do solo e características da zona vadosa e do meio aquífero, constituem atributos primários para a avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas, seguidos por parâmetros secundários que incluem a topografia, as interações entre as águas subterrâneas e superficiais e a conformação da unidade que embasa o aquífero.

A utilização de um ou outro método depende de uma série de condicionantes, onde se considera principalmente a facilidade de obtenção dos dados exigidos para alimentar o sistema, e as características do local de estudo em contraposição ao melhor método a ser utilizado para esta conformação. Para os vários métodos disponíveis encontram-se na literatura críticas positivas e negativas, bem como a adição de variâncias em relação a essas determinações com a inserção de parâmetros que visem enriquecer os resultados em a serem obtidos.

Guastaldi et al. (2014), consideraram que o método GODS, derivado do método GOD com o acréscimo do parâmetro S - capacidade de atenuação de contaminantes pelo meio solo - atribui acentuada importância à zona insaturada para a determinação da vulnerabilidade de aquíferos, bem como demonstra forte ligação entre a vulnerabilidade atrelada ao fator geológico, por conta especialmente do número limitado de parâmetros de determinação que utiliza.

Ainda neste sentido, Polemio, Casarano e Limoni (2009), consideraram que o método GOD, constitui sistema em que "as classificações de vulnerabilidade resultantes, estão ligadas a intervalos fixos para cada parâmetro selecionado". Segundo os autores, este método é recomendado em situações onde o mapeamento da vulnerabilidade atinge áreas de grande extensão, representadas em pequenas escalas (1:100.000- 200.000), ou ainda em áreas com altos contrastes de vulnerabilidade.

4.5 Perigo de contaminação das águas subterrâneas

Manoel Filho (2008) considerou que os principais tipos de contaminantes da água subterrânea podem ser classificados por inorgânicos, orgânicos e biológicos. A exemplo disso, lista como principais poluentes inorgânicos o nitrogênio agrícola, elementos radioativos, nitritos, nitratos e metais pesados. Os contaminantes orgânicos estariam representados por pesticidas, BTEX (benzeno, tolueno, eteno e xileno) e os contaminantes biológicos, representados por bactérias e vírus. Decorrente consequência dos processos de urbanização e desenvolvimento econômico, a contaminação das águas subterrâneas por lixiviados oriundos de depósitos de resíduos sólidos, também constitui ameaça significativa em termos de qualidade destes recursos.

Jing et al. (2014), argumentaram que aspectos de conformação local, como diferenças de terreno e elevação, relevo e escala, e diferentes estruturas de armazenamento, influem sobre os diferentes aspectos relativos à hidrodinâmica das águas subterrâneas, bem como nas

distintas intensidades de migração de substâncias, e forças de interação ar-água-rocha. Os relevos e paisagens controlam a migração de substâncias na água, a litologia do extrato fornece os componentes químicos para a água, o clima, pela evaporação decide o acúmulo de substâncias, e as atividades humanas provocam certo grau de mudança desta a acumulação, levando à ocorrência um produto final caracterizado pela mistura hidroquímica de vários componentes.

No tocante ao perigo da contaminação das águas subterrâneas, a interação entre as variáveis vulnerabilidades e probabilidades de contaminação rege as condições de risco de que um aquífero venha a ser afetado negativamente por uma carga contaminante. Nestes termos as características de uso da terra consiste em variável significativa das condições de sua sujeição ou não a contaminantes, bem como as condições de vulnerabilidade local.

Para a determinação dos riscos potenciais de contaminação dos meios aquíferos em questão, o método POSH, preconizado por Foster et al. (2006), aparece como ferramenta de fácil aplicação e disponibilização de dados, classificando as fontes potenciais de contaminação em três categorias (baixo, moderado ou alto), para fontes potenciais de poluição difusas e pontuais.

Complementarmente, em menção à vulnerabilidade atrelada ao perigo da poluição de aquíferos, Foster e Hirata (1988), consideraram:

- "A vulnerabilidade geral de um aquífero para um contaminante universal em um cenário típico de poluição é um conceito indeterminado";
- "Todos os aquíferos são vulneráveis a contaminantes persistentes móveis, em longo prazo";
- "Mesmo os aquíferos vulneráveis não são facilmente contaminados, mas uma vez poluído eles são mais difíceis de restaurar".

4.6 Geoprocessamento aplicado à determinação das vulnerabilidades intrínsecas e específicas de aquíferos

Segundo Câmara e Davis (2001), geoprocessamento pode ser definido como disciplina que trata informações geográficas, através da utilização de técnicas matemáticas e computacionais. Esses sistemas têm origem na década de 1960, com significativo desenvolvimento na década de 1980, cujos processos de aperfeiçoamento tecnológico destas ferramentas perduram até os dias atuais.

O uso de ferramentas de geoprocessamento constitui forma atual e eficiente de armazenamento de dados espaciais, que dentre outras possibilidades, disponibilizam informações rápidas e possibilitam simulações e sobreposições de dados, gerando produtos que fornecem visibilidade e embasamento valiosos (FEITOSA E.; FEITOSA F., 2008).

A utilização da tecnologia de Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIG), no âmbito das pesquisas relacionadas a águas subterrâneas apresenta sensível crescimento, dado suas características de versatilidade e utilidade, cujos sistemas congregam a possibilidade de visualização, análise e interpolação de informações, bem como um conjunto de benefícios relacionados à automatização de tarefas e geração de dados que fornecem a visão macro dos elementos estudados (GOMES, 2008).

A apresentação de um produto gráfico em ambiente SIG pode ser feita através de representação vetorial ou *raster*. O primeiro, representado por elementos como pontos, polígonos ou linhas, caracteriza-se pelo armazenamento da localização e feição por meio de vértices definidos por um par de coordenadas.

No modelo *raster* ou matricial, o ambiente é representado através de uma matriz que identifica células denominadas *pixels*. Neste conceito de representação, "a superfície é concebida como contínua, onde cada *pixel* representa uma área no terreno, definindo a resolução espacial", cuja qualidade visual varia de acordo com o tamanho do *pixel* da figura (FRANCISCO, 2014).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A determinação da vulnerabilidade e perigo à poluição das águas subterrâneas para o local em proposição compreendeu respectivamente a utilização das ferramentas propostas pelo método GOD (FOSTER; HIRATA, 1988) e do método POSH, (Foster, et al., 2006).

Utilizou-se para a geração dos mapas, o *software* livre Quantum GIS, versão estável 2.14.5 que constitui ferramenta de geoprocessamento que possibilita as interpolações e sobreposições necessárias ao trabalho proposto.

As bases de dados para determinação da vulnerabilidade intrínseca e vulnerabilidade específica, bem como o perigo à poluição, que são escopo deste trabalho, tiveram como fonte de informações aquelas disponibilizadas pelas instituições públicas de pertinência (Quadro 3, Quadro 5 e Quadro 6).

Descrevem-se como fontes de dados e arquivos vetoriais listados no Quadro 3, Quadro 5 e Quadro 6, subsequentemente:

- As instituições ligadas à Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (CETESB, Instituto Geológico),
- O Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE,
- O Instituto Agrônomo de Campinas - IAC,
- O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE,
- As coordenadorias, secretarias e autarquias ligadas ao poder público municipal de Piracicaba (SEMAE, IPLAP, Secretaria de Finanças),
- O Serviço Geológico do Brasil - CPRM,
- Os Comitês de Bacias e a Agência de Bacias PCJ pertencentes à UGRHI-5,
- O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE,
- A Fundação SEADE,
- O Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico - SNIS

Adicionalmente, aponta-se a contribuição da empresa IRRIGART - Engenharia e Consultoria em Recursos Hídricos e Meio Ambiente, signatária de trabalhos significativamente importantes junto ao SEMAE - Piracicaba, Agência das Bacias PCJ e DAEE - Piracicaba, com conteúdo de extensa investigação de dados pedológicos, geológicos e hidrogeológicos e outros correlatos, para o município de Piracicaba, que se afirmam como fonte importante de informações aqui pretendidas.

5.1 Vulnerabilidade intrínseca.

Foster, Hirata e Andreo (2013), consideram que é inevitável a simplificação de condições geológicas e dos processos hidrogeológicos, ambos naturalmente complexos, para a produção de mapas de vulnerabilidade de aquíferos.

Optou-se, portanto, para a determinação da vulnerabilidade intrínseca, a análise individual de cada uma das quatro unidades hidrogeológicas que se manifestam no município de Piracicaba, como estratégia de investigação pormenorizada, que envolva a o estudo dos parâmetros propostos pelo método GOD, atrelado às características próprias destas unidades.

As unidades hidrogeológicas estudadas são os aquíferos Diabásio, Guarani, Tubarão e o aquíclode Passa Dois. Portanto, os produtos aqui gerados, se apresentam inicialmente por mapas de vulnerabilidade segmentados a cada unidade, que culminam no produto final representado pelo mapa de vulnerabilidade que abrange o município como um todo.

O Quadro 3, descreve as fontes utilizadas para a determinação da vulnerabilidade intrínseca com base no método GOD, no município de Piracicaba:

Quadro 3 - Organização dos dados de base para a determinação da vulnerabilidade intrínseca no município de Piracicaba.

AÇÃO	BASE DE DADOS	OBJETIVOS
Caracterização da hidrogeologia da área de estudo	Dados hidrogeológicos locais com detalhamento das características de ocorrência dos aquíferos no município.	Identificação e caracterização dos aquíferos aflorantes no município. Determinação das condições de afloramento, áreas de abrangência, identificação das características de confinamento, perfis e condições de sobreposição das unidades aquíferas locais e profundidades de ocorrência
Levantamento de dados característicos de ocorrência de aquíferos e seu grau de confinamento.	Base de dados de poços outorgados	Determinação das características de ocorrência das águas subterrâneas com vistas a se quantificar o grau de confinamento local para alimentar o método GOD. Dados cadastrais de outorga fornecem a identificação dos aquíferos explorados e níveis estáticos e dinâmicos de cada poço cadastrado, possibilitando a caracterização do grau de confinamento local.

Quadro 3 - Organização dos dados de base para a determinação da vulnerabilidade intrínseca no município de Piracicaba.

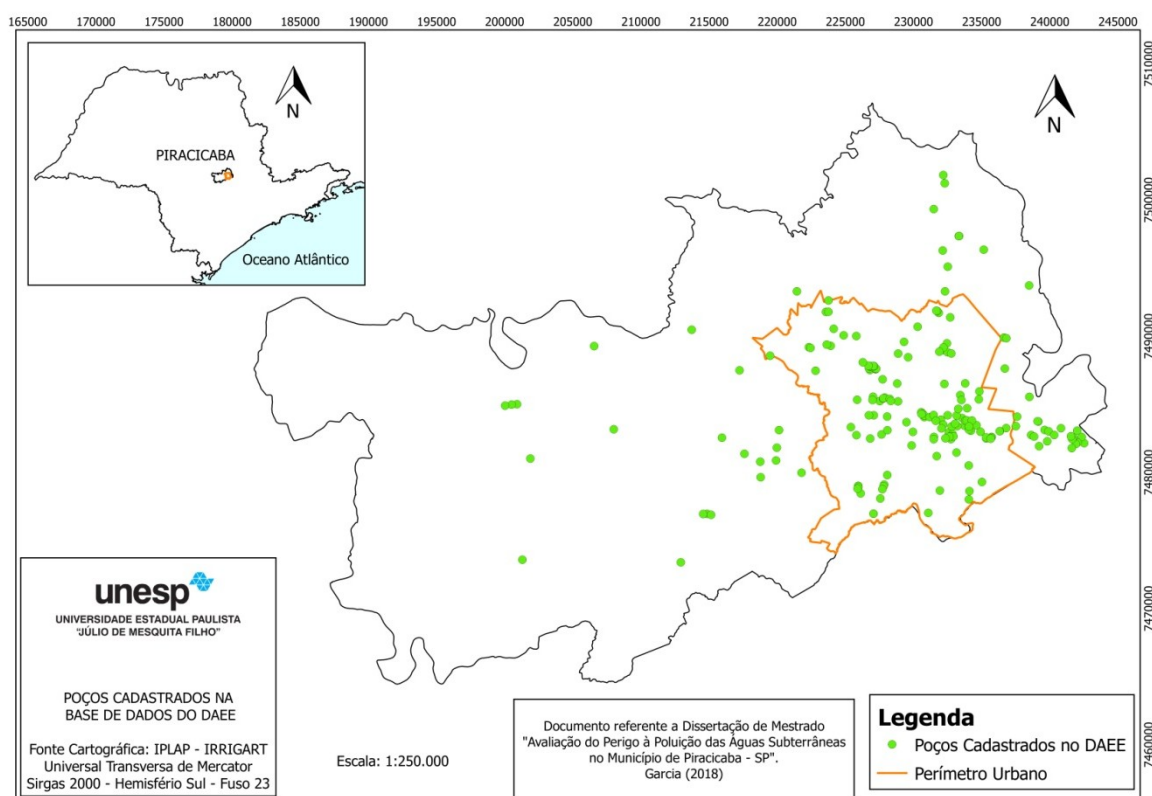
AÇÃO	BASE DE DADOS	OBJETIVOS
Caracterização dos solos	Dados dos solos e suas caracterizações, áreas e condições de ocorrência no município.	Caracterização da camada vadosa alocada acima do nível freático, objetivando a determinação da capacidade de atenuação de eventos contaminantes, bem como do isolamento do aquífero proporcionado por esta camada em conjunto com o solo superficial que a recobre
Caracterização da geologia local	Dados da geologia e litologia local, caracterizações das feições litológicas, áreas e condições de ocorrência no município.	
Determinação dos níveis estáticos e dinâmicos de poços existentes no município	Dados de poços contendo informações relativas aos níveis estático e dinâmico, localização georreferenciada, vazões e cotas do local de alocação.	Determinação da profundidade dos níveis estáticos dos aquíferos em estudo com vistas a se obter a pontuação que o parâmetro previsto no método GOD fornece, cujo resultado integra o sistema de determinação de vulnerabilidade intrínseca eleito para este trabalho.
Produção mapas-base para as determinações de vulnerabilidade proposta pelo trabalho.	Arquivos vetoriais de feições locais: Geologia, litologia, Pedologia, Hidrologia, Hidrogeologia, Pluviômetros, Fluviômetros, Evaporímetros	Caracterização da conformação geológica e litológica, características pedológicas e complementação da caracterização da hidrogeologia local.
	Modelos de elevação digital para compor feições de declividade e topografia local	Geração de produtos gráficos para a caracterização da topografia e declividade da área de estudo.

Fonte: Elaboração própria.

Os índices de vulnerabilidade intrínseca foram obtidos através de cálculos matemáticos embasados nos dados auferidos pela manipulação das feições vetoriais com os respectivos dados das unidades aquíferas, da pedologia e litologia local, bem como do

conjunto de dados obtidos dos poços cadastrados no Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE, cujas informações de cadastro possuíam informações mínimas para a utilização neste trabalho (Figura 8).

Figura 8 - Distribuição dos poços cadastrados no DAEE utilizados na determinação da vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos locais.

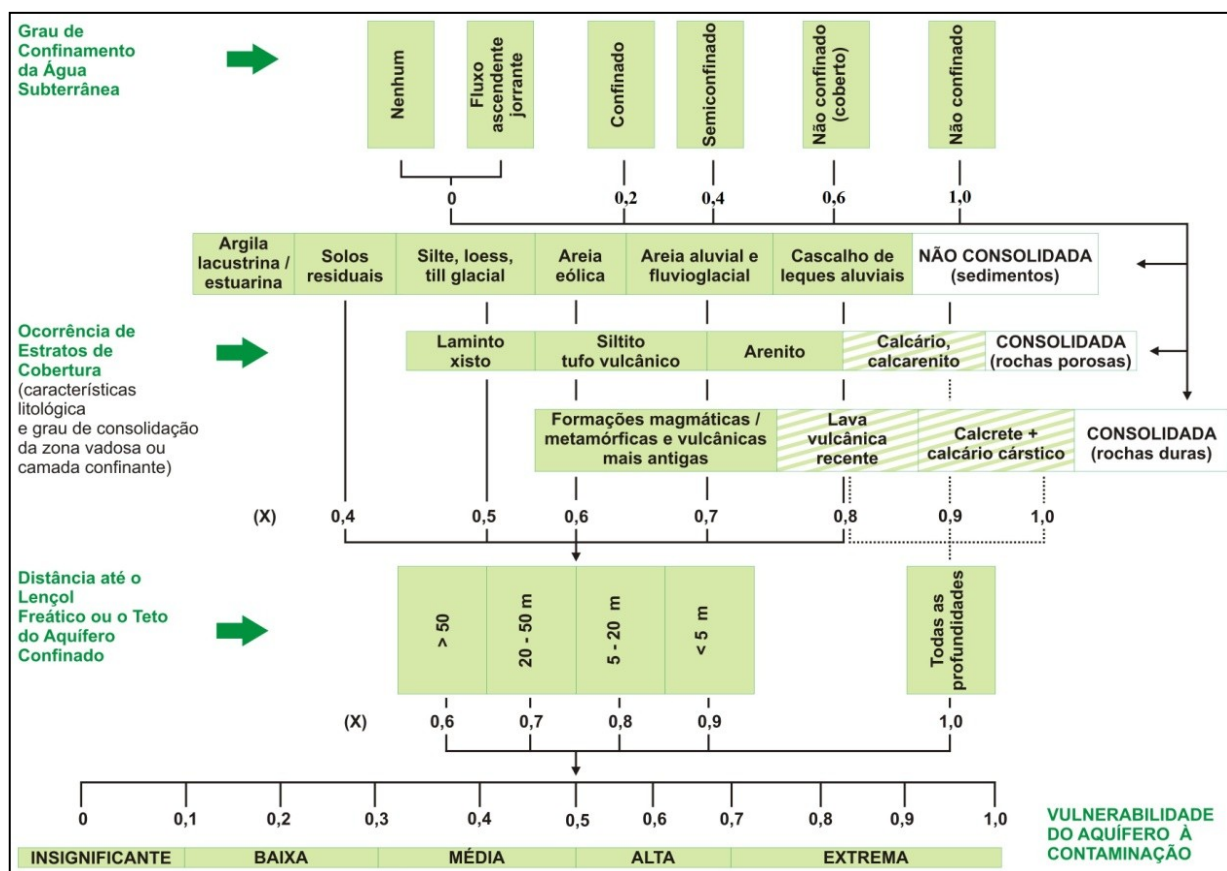


Fonte: Produzido a partir de arquivos Vetoriais disponibilizados pelas instituições: IG - DAEE - CPRM - IPT.

O método GOD - *groundwater hydraulic confinement; overlaying strata; depth to groundwater table* (FOSTER, 1987; FOSTER; HIRATA, 1988), caracterizado na Figura 9, é amplamente utilizado na América Latina e Caribe e consagra-se pela sua simplicidade e fácil obtenção dos parâmetros necessários à sua utilização (CUTRIM; CAMPOS, 2010). O método se baseia na interação sucessiva de três fases, com sistema de pontuação para a determinação do índice de vulnerabilidade dos aquíferos:

- **G** - Grau de confinamento do aquífero, considerando-se intervalo imposto de 0-1,0.
- **O** - Especificação dos tipos litológicos e pedológicos acima da linha saturada do aquífero, representada numa escala de 0,4-1,0;
- **D** - Estimativa da profundidade do nível estático, num intervalo de 0,6-1,0.

Figura 9 - Esquema do método GOD de determinação da vulnerabilidade de aquíferos



Fonte: Adaptado de Foster et. al., 2006.

O produto destes três parâmetros preconizados pelo método GOD indicará o índice de vulnerabilidade expresso numa escala de variação 0-1,0, em termos relativos, variando de insignificante a extremo, conforme se apresenta no Quadro 4.

Quadro 4 - Possíveis classes de vulnerabilidade resultantes do método GOD (FOSTER et al., 2006).

CLASSES	Valor	DEFINIÇÃO
Extrema	< 0,7-1,0	Vulnerável à maioria dos poluentes da água com rápido impacto em muitos cenários de poluição.
Alto	< 0,5-0,7	Vulnerável a vários poluentes (exceção para os fortemente absorvidos) em muitos cenários de poluição.
Moderado	< 0,3-0,5	Vulnerável a alguns poluentes, porém somente quando continuamente descartado ou em situação de vazamento.
Baixo	< 0,1-0,3	Somente vulnerável a poluentes conservativos (baixa mobilidade) quando continuamente e largamente descartados ou em situação de vazamento.
Insignificante	0,0-0,1	Presente em camadas confinadas com insignificante fluxo subterrâneo vertical.

Fonte: Adaptado de Foster et. al., 2006.

Conforme preconiza o método GOD, a pontuação do parâmetro G, associado à conformação de ocorrência do aquífero para a área de estudo, considerou a pontuação 0,2 para os pontos onde a ocorrência de águas subterrâneas em estado confinado, como acontece em alguns poços analisados no aquífero Tubarão.

Para os locais onde não há ocorrência de confinamento, a pontuação adotada para o parâmetro G, considerou o método adotado por Borba, Descovi Filho e Kemerich (2014) que adotaram em seu trabalho, pontuação de 0,60 para profundidades dos níveis estáticos (NE) próximos ou maiores que 50,00 metros e pontuação 1,00 para profundidades de NE menores que estes valores.

Dado a grande variabilidade de profundidades encontradas nos poços estudados, este trabalho considerou a adoção de um gradiente de pontuação para os valores entre 0,60 e 1,00, com base na profundidade apresentada pelo nível estático, que se baseia nos próprios intervalos preconizados pelo método GOD para o parâmetro D - Profundidade do nível estático. Os valores de pontuação adotados se ilustram:

- Profundidade do NE até 5,00 metros: $G = 1,00$;
- Profundidade do NE entre 5,01 e 10,00 metros: $G = 0,95$;
- Profundidade do NE entre 10,01 e 20,00 metros: $G = 0,90$;
- Profundidade do NE entre 20,01 e 40,00 metros: $G = 0,80$;
- Profundidade do NE entre 40,01 e 50,00 metros: $G = 0,70$;
- Profundidade do NE acima de 50,00 metros: $G = 0,60$.

O valor característico atribuído ao parâmetro O, segue a proposta de (CUTRIM; CAMPOS, 2010), que considera esta pontuação como o produto do peso atribuído ao solo, pelo peso atribuído a litologia local, atrelados à representatividade de suas áreas de ocorrência.

Para o parâmetro D - Profundidade do nível estático, os valores preconizados pelo método GOD são autoexplicativos e foram pontuados em sintonia com os pesos propostos pelo método, sem a necessidade de ajuste para a realidade local.

5.2 Vulnerabilidade específica e perigo à poluição das águas subterrâneas

Para a determinação da vulnerabilidade específica por fontes potenciais pontuais e difusas, o Quadro 5 e Quadro 6, fornecem as fontes utilizadas, respectivamente, com base no método POSH, para o município de Piracicaba:

Quadro 5 - Organização dos dados de base para a avaliação da vulnerabilidade específica por fontes potenciais pontuais das águas subterrâneas no município de Piracicaba.

CLASSIFICAÇÃO DE FONTES POTENCIAIS PONTUAIS - MÉTODO POSH		
AÇÃO	BASE DE DADOS - INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS	OBJETIVOS
Determinação do potencial de cargas contaminantes no subsolo por fontes pontuais	Informações sobre gestão de resíduos sólidos, áreas contaminadas no município, atividade industrial e de mineração, gestão de efluentes urbanos, informações sobre fontes pontuais de interesse: cemitérios, lagoas de resíduos, outros de pertinência, pluviometria e clima.	Identificação de fontes potenciais pontuais de contaminação, através de conjunto de informações e análise de gerenciamento de riscos.
Elaboração de mapas-base para a determinação da vulnerabilidade específica no município	Arquivos vetoriais das feições presentes no local: Uso do solo, áreas contaminadas, cemitérios, aterros, sistemas de tratamento de efluentes, culturas agrícolas.	Geração de produtos gráficos determinísticos, como subsídios e ferramentas de determinação do perigo de poluição das águas subterrâneas locais.

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 6 - Organização dos dados de base para a avaliação da vulnerabilidade específica por fontes potenciais difusas das águas subterrâneas no município de Piracicaba.

CLASSIFICAÇÃO DE FONTES POTENCIAIS DIFUSAS - MÉTODO POSH		
AÇÃO	BASE DE DADOS	OBJETIVOS
Determinação do potencial de cargas contaminantes no subsolo por fontes difusas	Mapas de uso do solo, informações das condições de saneamento local, características de culturas agrícolas, práticas agrícolas, pluviometria e clima	Identificação de fontes potenciais difusas de contaminação, através de conjunto de informações e gerenciamento de riscos.

Fonte: Elaboração própria.

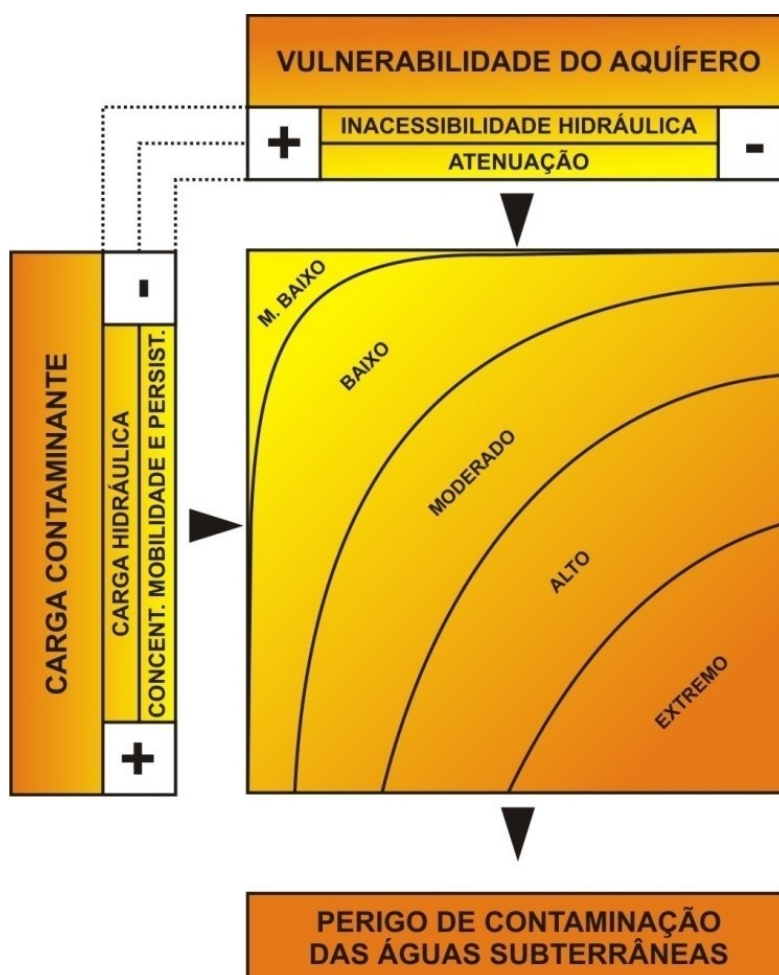
As fontes de dados descritas no Quadro 5 e no Quadro 6, embasam a determinação da vulnerabilidade específica, em sintonia do que preconiza o método POSH. Para tanto,

inicialmente listaram-se e caracterizaram-se as fontes potenciais de poluição pontuais e difusas, como forma de se embasar o propositivo de caracterização deste trabalho.

Num segundo momento, procedeu-se a classificação destas fontes, baseadas na ferramenta de determinação do Método POSH.

Essa ação culminou na determinação de pesos, cuja pontuação classifica o potencial de contaminação atrelado ao uso do solo. De posse desses dados, em conjunto com os dados de vulnerabilidade intrínseca encontrados para as unidades hidrogeológicas locais, gerou-se o produto final que apresenta o grau de perigo de contaminação das águas subterrâneas da área de estudo, conforme preconiza o método POSH (Figura 10).

Figura 10 - Esquema conceitual dos dispositivos do método POSH.



Fonte: Adaptado de FOSTER et al., 2006.

O Quadro 7 e o Quadro 8, ilustram os dispositivos do método POSH para a classificação de fontes potenciais difusas ou pontuais, respectivamente.

Quadro 7 - Método POSH de classificação das fontes potenciais difusas de poluição (FOSTER et al., 2006).

POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE	SANEAMENTO E OCUPAÇÃO <i>IN SITU</i>	PRÁTICAS AGRÍCOLAS
Elevado	Cobertura mínima de redes de esgoto (< 25%)	Culturas comerciais intensivas (geralmente monoculturas), em solos bem drenados, em climas úmidos ou com baixa eficiência de irrigação, pasto intensivos em campos intensamente fertilizados
	Média a alta densidade populacional (> 100 hab./ha)	
Moderado	Intermediário entre elevado e reduzido	
Baixo	Cobertura alta de redes de esgoto (> 75%)*	Rotação das culturas, terra para pasto extensivo, sistema de cultivo ecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em áreas áridas e semi-áridas
	Baixa densidade populacional (< 100 hab./ha)	

*Em áreas predominantemente residenciais, com extensa cobertura da malha de esgotos, o potencial de contaminação das águas subterrâneas é reduzido, apesar da existência de vazamentos nos sistemas de esgoto, que só localmente ameaçam a qualidade da água subterrânea e cuja contaminação se limitar a aquíferos freáticos (FOSTER, 2006).

Quadro 8 - Método POSH de classificação das fontes potenciais pontuais de poluição (FOSTER et al., 2006).

POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	ÁREAS INDUSTRIAIS*	LAGOAS DE ÁGUAS RESIDUAIS	OUTRAS (URBANAS)	MINERAÇÃO E EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO
Elevado	Resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	Indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie mais que 100 kg/dia de produtos químicos perigosos	Todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se área >5 ha	-	Operações em campo de petróleo, mineração de metais
Moderado	Chuva > 500 mm/ano com resíduos residenciais/agroindustriais/ industriais tipo 1 ou demais casos	Indústria tipo 2	Esgoto residencial se área >5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	Postos de gasolina, vias de transporte com tráfego regular de produtos químicos perigosos	Algumas atividades de mineração, extração de minerais inertes
Reduzido	Chuva < 500 mm/ano com resíduos residenciais/agroindustriais/ industriais tipo 1	Indústria tipo 1	Águas residuais residenciais mistas urbanas, agroindustriais e de mineração de não metálicos	Cemitérios	-

*Solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria. Tipo 1: madeiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos; Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão; Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/ petróleo, fábricas de produtos químicos / farmacêuticos / plásticos / pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal.

6 DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE ÍNTRINSECA - MÉTODO GOD

As unidades hidrogeológicas estudadas são os aquíferos Diabásio, Guarani, Tubarão e o aquícluído Passa Dois, os quais foram, em primeiro momento, estudados de maneira individual. No final deste Capítulo, todos os resultados foram interpolados em conjunto e gerado o mapa de vulnerabilidade intrínseca do município de Piracicaba.

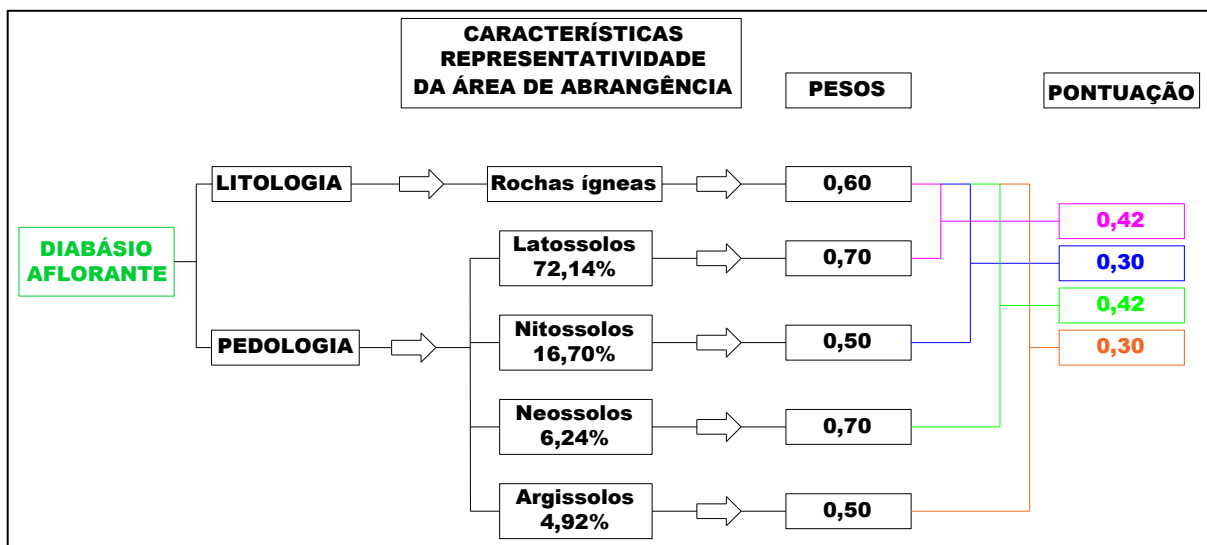
6.1 Aquífero Diabásio

Ao todo o banco de dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE - Relatório de Usos de Recursos Hídricos Cadastrados ou Outorgados no DAEE, 2016), possui 74 poços cadastrados nesta unidade, cujos dados apresentam informações mínimas necessárias à execução deste trabalho. As profundidades encontradas para estes poços variam entre 4 e 188 metros. O grau de confinamento para porção aflorante do aquífero Diabásio no município de Piracicaba, para a determinação de sua vulnerabilidade intrínseca, recebeu pontuação entre 0,60 e 1,00, para a conformação representativa de situação não confinado (coberto) e não confinado, respectivamente variando de acordo com a profundidade do nível estático (NE), conforme pormenorizado no subitem 5.1 do Capítulo 5, deste texto.

Em termos de classificação pedológica, os Latossolos Vermelhos recobrem a maior parte da faixa aflorante do aquífero Diabásio no município de Piracicaba com área de aproximadamente 55,52 km², seguido em ordem de representatividade pelos Nitossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelo e com áreas aproximadas de 14,96 km² e 9,09 km², respectivamente. O valor característico atribuído ao parâmetro O, segue, portanto, a proposta já descrita, preconizada por Cutrim e Campos (2010), e considera a pontuação como o produto do peso atribuído ao solo, pelo peso atribuído a litologia predominante local, atrelado à representatividade de suas áreas de ocorrência.

Adicionalmente, o peso atribuído à conformação pedológica, segue proposta utilizada por Saad (2009), que considera o peso atribuído à pedologia no método GOD, de acordo com suas características intrínsecas, cujo método foi adotado por este trabalho. As pontuações individuais do parâmetro O utilizadas na determinação da vulnerabilidade intrínseca para o aquífero Diabásio, são apresentadas na Figura 11.

Figura 11 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O do método GOD para o aquífero Diabásio no município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a determinação da pontuação do parâmetro da profundidade - D, tendo como base os níveis estáticos do aquífero Diabásio, utilizou-se das diretrizes elencadas pelo método GOD que atribui os valores ao parâmetro atrelados a amplitudes de profundidade (Tabela 5).

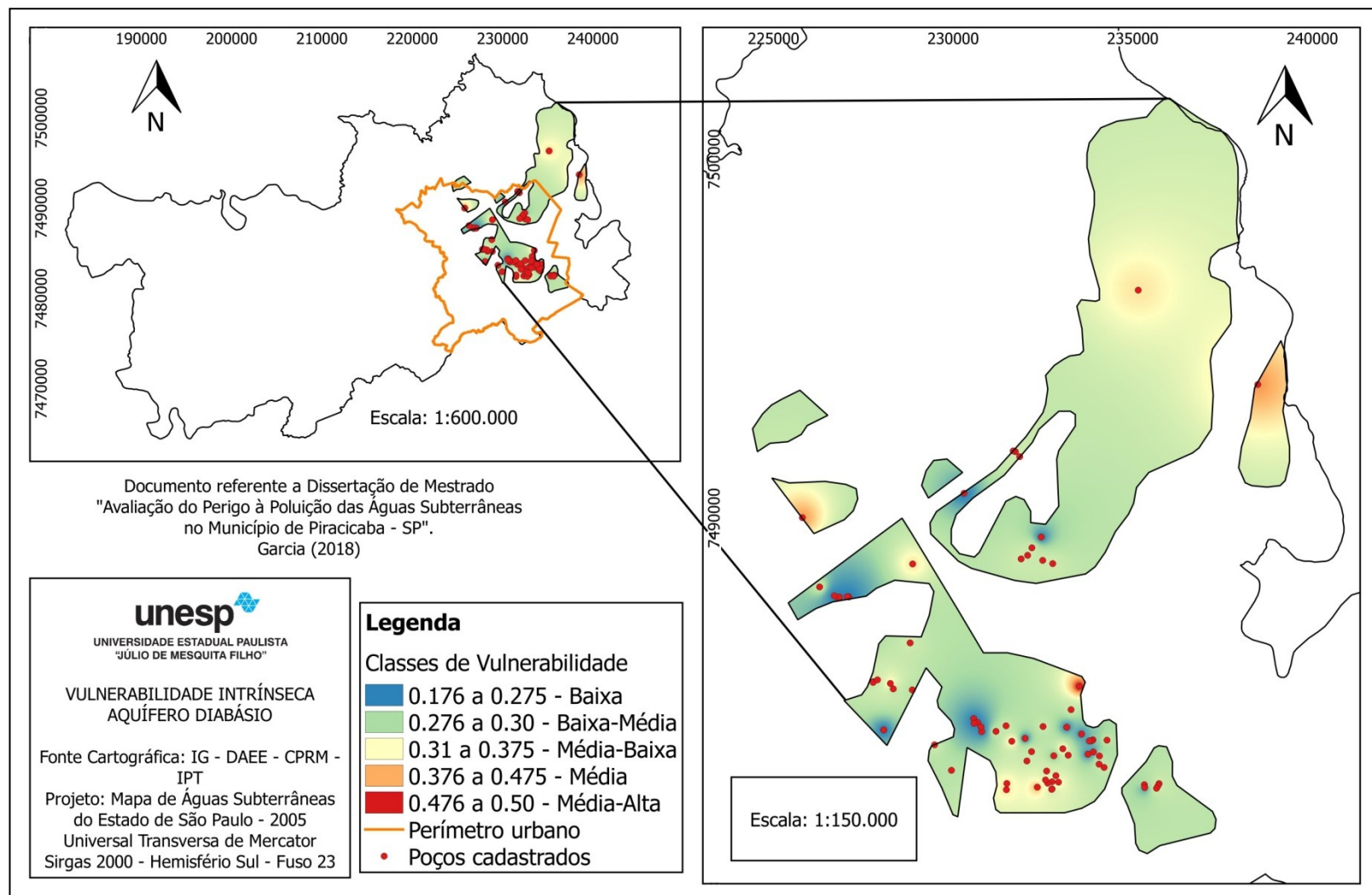
Tabela 5 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquífero Diabásio em Piracicaba com a pontuação preconizada pelo método GOD.

Profundidade	Ocorrências	Pontuação	% representativo
0-5 m	1	0,90	1,35%
6-20 m	6	0,80	8,11%
21-50 m	13	0,70	17,57%
< 50 m	54	0,60	72,97%
TOTAL	74		100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas determinações do Método GOD (Foster et. al., 2006).

Para a análise individual, baseada nos poços estudados, levando-se em conta as características individuais de cada uma dessas unidades, relativas ao solo, profundidade e tipo de ocorrência, obteve-se resultados particulares de pontuação que vão de 0,20 - baixa vulnerabilidade a 0,49 - média vulnerabilidade (Tabela 1 no Apêndice 1). A Figura 12, ilustra os índices de vulnerabilidade intrínseca encontradas para o aquífero Diabásio em Piracicaba.

Figura 12 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquífero Diabásio no município de Piracicaba - Método GOD.



Fonte: Produzido pelo autor. Base de dados vetoriais disponibilizados pelas instituições: IG - DAEE - CPRM - IPT.

Os resultados contextuais de vulnerabilidade intrínseca apresentados na Figura 12, devem-se, essencialmente à predominância de profundidades do nível de água com mais de 50 m, atrelada à conformação litológica e pedológica local que, dentro dos parâmetros preconizados pelo método GOD, possuem características que conferem boa proteção natural ao aquífero Diabásio.

6.2 Aquífero Guarani

Para o aquífero Guarani, a base de dados DAEE identificou 18 poços, com dados mínimos necessários à análise proposta pelo método GOD.

O perfil representativo das alturas de nível estático obtidos junto ao DAEE, apresenta amplitudes de 3 a 116 metros. Trata-se da maior unidade aquífera aflorante dentro dos limites do município de Piracicaba, e encontra-se praticamente em sua totalidade, fora da área do perímetro urbano.

Analogamente ao que se observou para o aquífero Diabásio, o grau de confinamento local para esta unidade é representado pela capa de cobertura do solo e pela camada litológica sobrejacente ao nível de água, inexistindo condição de confinamento local para o aquífero Guarani.

Desta maneira, para a determinação de sua vulnerabilidade intrínseca, a atribuição de pontuações relativas ao parâmetro G tem metodologia idêntica à atribuição dada ao aquífero Diabásio.

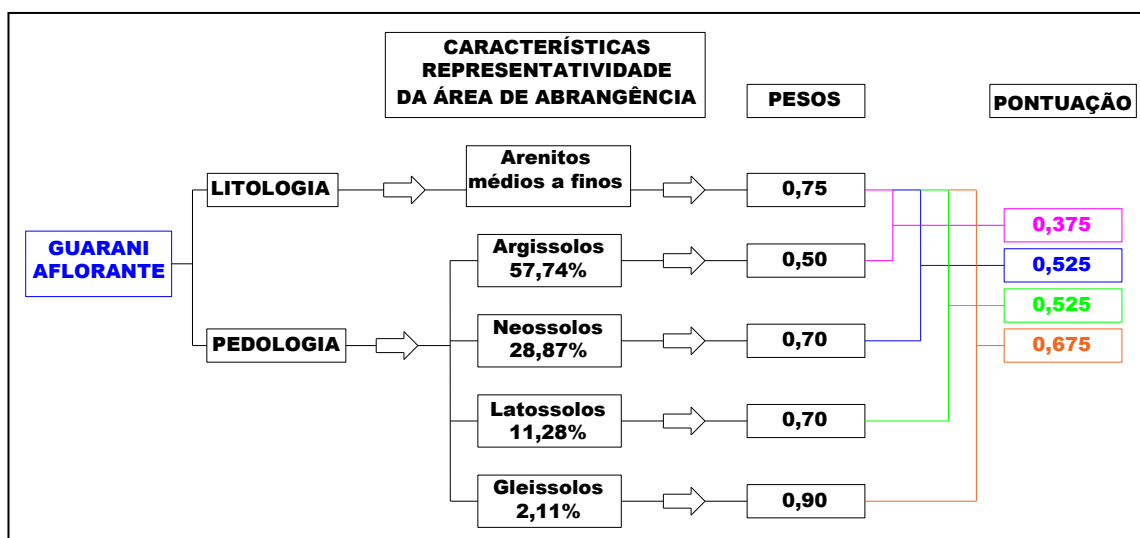
Para o aquífero Guarani, de forma distinta ao encontrado para o aquífero Diabásio, aproximadamente 88% das profundidades do NE se apresentam com menos de 40 metros, com apenas dois dos poços estudados com profundidades do NE maiores que 50 metros.

Os solos que recobrem a camada sobrejacente a esta unidade hidrogeológica, registram-se em 11 classes distintas (Figura 13).

Para a pontuação do parâmetro G do método GOD, optou-se por integrar os solos de características similares ao estudo de interesse, cuja ação resultou em quatro classes-macro de solos característicos, pela sua representatividade de ocorrência (aproximadamente 99% do total): Argissolos, Neossolos, Latossolos e Gleissolos.

A Figura 13, apresenta as pontuações atribuídas ao parâmetro O para o aquífero Guarani no município de Piracicaba.

Figura 13 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O do método GOD para o aquífero Guarani, no município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a determinação da pontuação para o parâmetro D utilizaram-se os dados dos níveis estáticos dos 18 poços analisados para o aquífero Guarani, de acordo com as diretrizes preconizadas pelo método GOD (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquífero Guarani no município de Piracicaba com a pontuação preconizada pelo método GOD.

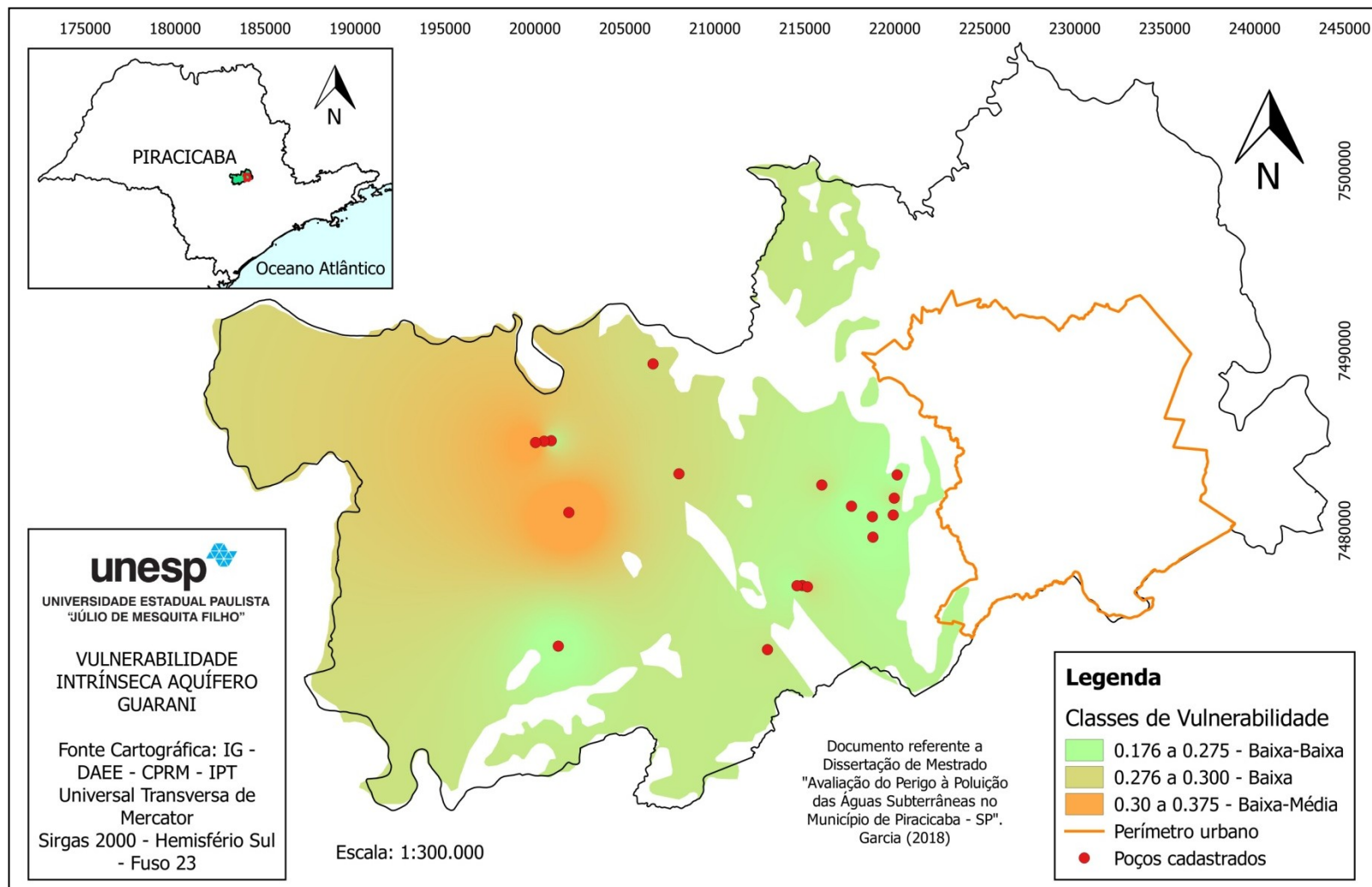
Profundidade	Ocorrências	Pontuação	% representativo
0-5 m	1	0,90	5,56%
6-20 m	5	0,80	27,78%
21-50 m	10	0,70	55,56%
< 50 m	2	0,60	11,11%
TOTAL	18		100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas determinações do Método GOD (Foster et. al., 2006).

Para a análise individual, baseada nos poços estudados, levando-se em conta as características individuais de cada uma dessas unidades, relativas ao solo, profundidade e tipo de ocorrência, obteve-se resultados particulares de pontuação que vão de 0,19 - baixa vulnerabilidade a 0,38 - média vulnerabilidade (Tabela 2 no Apêndice 1).

Os índices de vulnerabilidade encontrados para o aquífero Guarani (Figura 14) representam essencialmente classes de vulnerabilidade baixas em aproximadamente 67% dos pontos estudados, com apenas duas ocorrências de pontuação maiores que 0,30 (vulnerabilidade média-baixa).

Figura 14 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquífero Guarani no município de Piracicaba - Método GOD.



Fonte: Produzido pelo autor. Base de dados vetoriais disponibilizados pelas instituições: IG - DAEE - CPRM - IPT.

6.3 Aquífero Tubarão

O aquífero Tubarão apresenta condição de porção aflorante e porção confinada (com profundidades de 102,05 m a 198,00 metros. Para a porção confinada do aquífero Tubarão, embasado nas condições expostas, o índice de vulnerabilidade é insignificante, dentro da pontuação preconizada pelo método GOD, cujo valor resulta, em termos gerais:

$$I. V_{\text{TUBARÃO CONF.}} = 0,20 \times 0,40 \times 0,60 = \mathbf{0,048 = Vulnerabilidade Insignificante}$$

Onde:

Grau de confinamento:	Confinado - Pontuação GOD = 0,20;
Ocorrência de estratos de cobertura:	Solos finos - Pontuação GOD = 0,40;
Profundidade:	= <50 metros - Pontuação GOD = 0,60.

Para porção aflorante do aquífero Tubarão, identificou-se na base de dados do DAEE 14 poços cadastrados com informações mínimas necessárias a análise proposta pelo método GOD, com profundidades que alcançam até pouco mais de 76 metros. Também para esta unidade aflorante, o grau de confinamento local é representado pela capa de cobertura do solo sobrejacente, atrelada à litologia local.

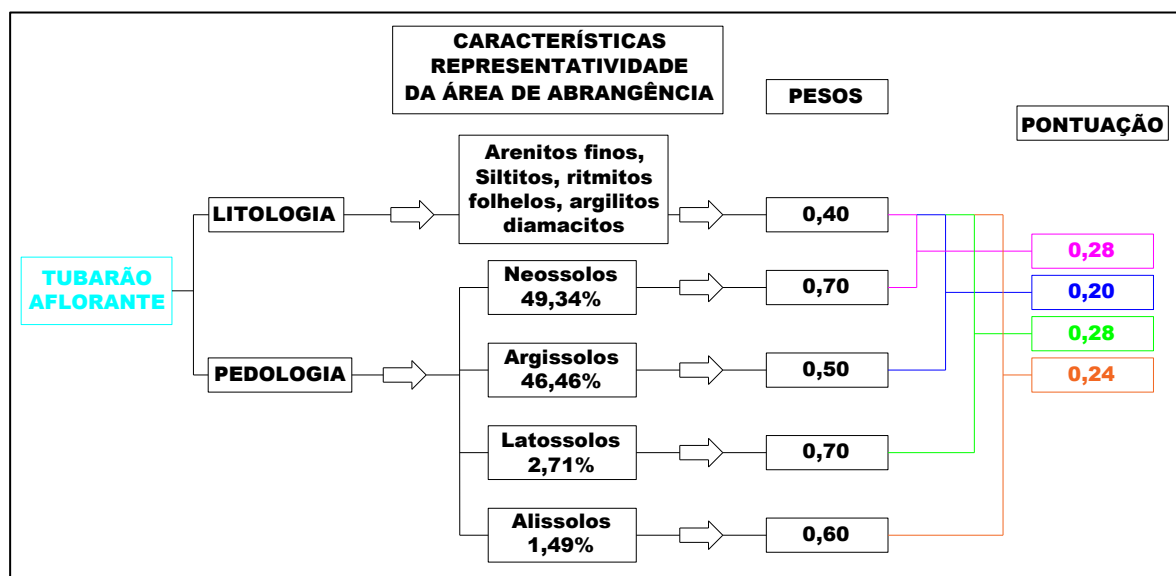
Dada as profundidades encontradas, a pontuação atribuída para o parâmetro G considera o peso 0,60 para os pontos com NE acima de 50 metros, representados por quatro poços estudados. Para os dois poços com NE entre 40 e 50 metros, atribui-se a pontuação 0,70 do parâmetro G. A pontuação 0,80 foi atribuída aos cinco poços com profundidade do NE entre 20 e 40 metros e os pesos 0,95 e 1,00 atribuídos a dois poços com profundidade entre 5 e 10 metros e NE com profundidade menor que 5 metros, respectivamente.

A camada de solo sobrejacente ao aquífero Tubarão pode ser dividida em 5 classes distintas (Figura 15). Para a pontuação do parâmetro O do método GOD, optou-se por integrar os Argissolos com pontuação única, dado à similaridade de suas características. Deste modo considera-se para o estudo, quatro classes de solos: Argissolos, Neossolos, Latossolos e Alissolos.

Seguindo as regras já adotadas aos aquíferos Diabásio e Guarani, os Argissolos receberam a pontuação 0,50, os Latossolos e Neossolos, por sua vez, tiveram a atribuição da pontuação 0,70, consoante as suas características, já dissertadas neste texto. Para o Alissolo

Crômico, adota-se a pontuação 0,60, dado a característica de alta susceptibilidade à erosão hídrica, decorrente de sua baixa condutividade hidráulica (OLIVEIRA, 1999).

Figura 15 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O do método GOD para o aquífero Tubarão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A determinação da pontuação média para o parâmetro D, baseou-se nos dados dos níveis estáticos dos 14 poços analisados para o aquífero Tubarão em sua porção aflorante (Tabela 7).

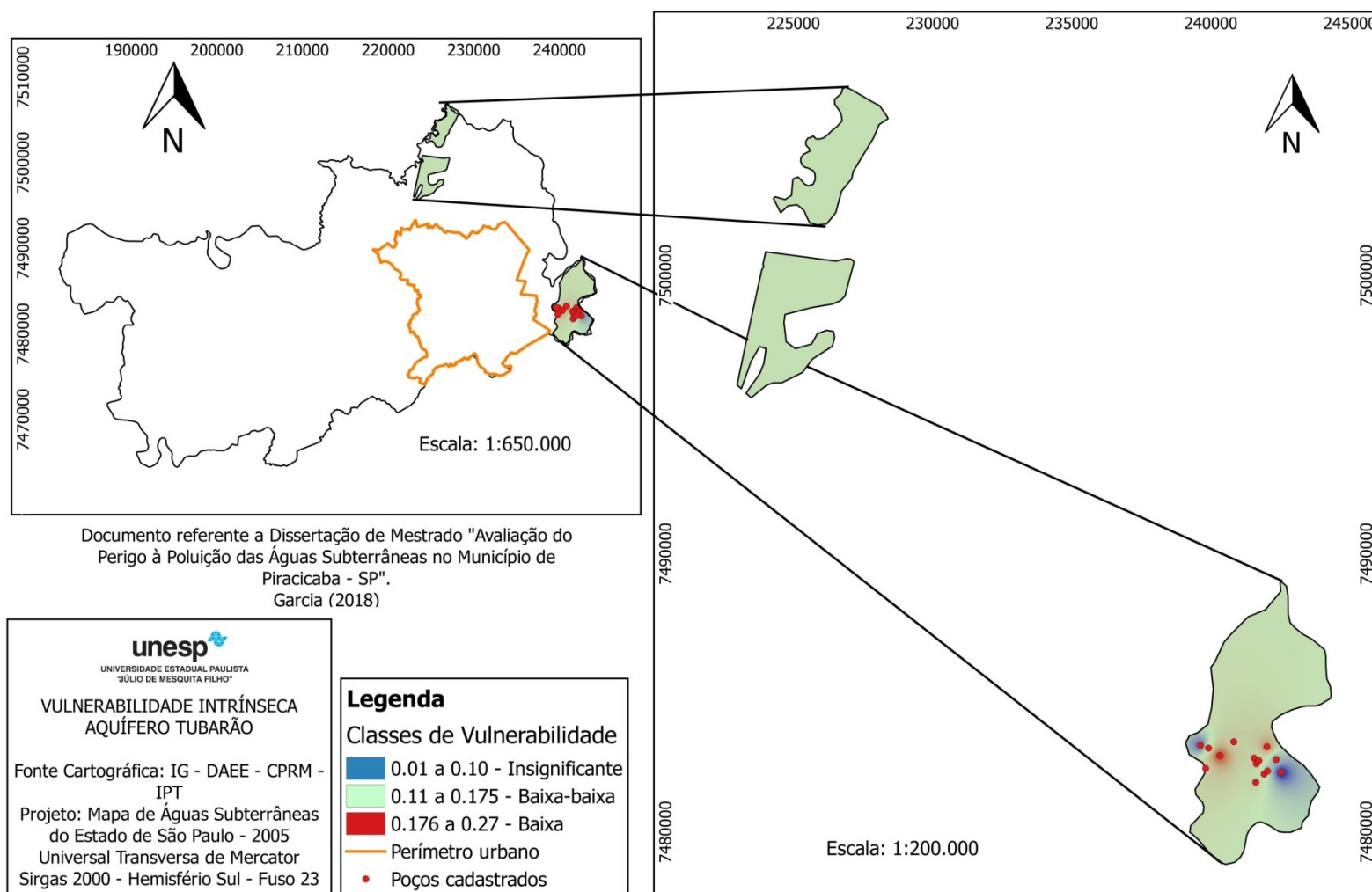
Tabela 7 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquífero Tubarão no município de Piracicaba com a pontuação preconizada pelo método GOD.

Profundidade	Ocorrências	Pontuação	% representativo
0-5 m	1	0,90	7,14%
6-20 m	2	0,80	14,29%
21-50 m	7	0,70	50,00%
< 50 m	4	0,60	28,57%
TOTAL	14	3,00	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas determinações do Método GOD (Foster et al., 2006).

Com base nos dispositivos até então descritos, procedeu-se a análise individual, baseada nos 14 poços estudados, levando-se em conta as características individuais de cada uma dessas unidades, relativas ao solo, profundidade e tipo de ocorrência, onde se obteve resultados particulares de pontuação em intervalo que vai de 0,07 - vulnerabilidade insignificante a 0,25 - baixa vulnerabilidade (Tabela 3 no Apêndice 1 e Figura 16).

Figura 16 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquífero Tubarão no município de Piracicaba - Método GOD.



Fonte: Produzido pelo autor. Base de dados vetoriais disponibilizados pelas instituições: IG - DAEE - CPRM - IPT.

6.4 Aquiclude Passa Dois

Identificou-se na base de dados do DAEE, 86 poços cadastrados que exploram água do aquíclode Passa Dois, cujas informações disponíveis atendem a análise proposta pelo método GOD, em profundidades que vão de 3 a 140 metros. Destes, aproximadamente 85% apresentam profundidades do nível estático em relação à superfície, maiores que 20 metros.

No âmbito dos dados disponibilizados dos poços avaliados, não se identificaram na base de dados do DAEE, poços cadastrados com informações passíveis de análise no método GOD, na porção confinada do aquíclode Passa Dois.

Para a porção aflorante, a pontuação do parâmetro G segue o método até então adotado de valores atrelados à profundidade encontrada nos outros poços estudados.

O aquíclode Passa Dois contém em sua extensa parte aflorante no município, uma variada composição de solos sobrejacentes ao nível freático, composta por dezesseis tipos distintos.

Aqui também para a pontuação do parâmetro O do método GOD, optou-se por integrar os solos de características similares, visando a simplificação da realização do estudo em questão.

Esta ação culminou como resultado nove classes de solo (Figura 17), ou seja: Argissolos, Alissolo, Cambissolo, Gleissolo, Latossolos, Neossolos, Nitossolos, Chernossolo e Planossolo.

Seguindo as pontuações já atribuídas na análise das outras unidades hidrogeológicas, aos Argissolos e Nitossolos, atribuiu-se a pontuação 0,50.

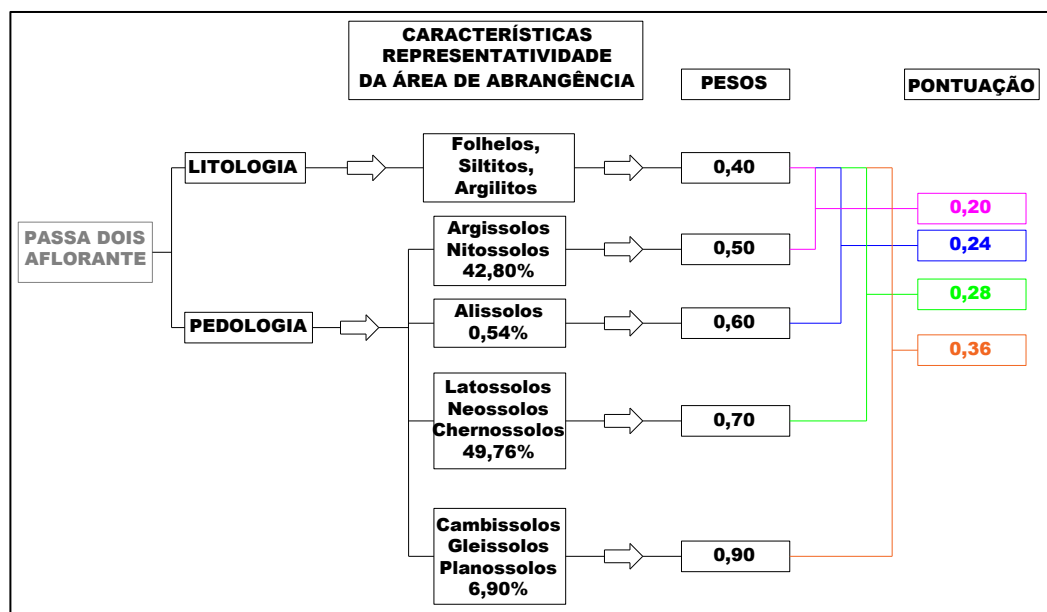
À classe dos Alissolos, atribuiu-se a pontuação 0,60 e aos Neossolos e Latossolos, 0,7, bem como aos Gleissolos, a pontuação 0,90.

Para os Cambissolos e Planossolos, atribui-se a pontuação, 0,9 devido à severa limitação de uso destes solos para fins de deposição de resíduos sólidos, o que remete à percepção de que possuem baixa capacidade de contenção de contaminantes.

Aos Chernossolos atribui-se a pontuação 0,70, dado que se trata de classe de solo também não recomendada para uso sanitário (OLIVEIRA, 1999).

A Figura 17 subsequente, ilustra as bases utilizadas para a determinação da pontuação para o parâmetro O do método GOD, para o aquíclode Passa Dois, no município de Piracicaba.

Figura 17 - Ilustrativo da base utilizada para pontuação do parâmetro O do método GOD para o aquíclode Passa Dois, no município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a determinação da pontuação média para o parâmetro D do aquíclode Passa Dois, também se baseou aqui nos dados dos níveis estáticos dos 86 poços analisados para esta unidade hidrogeológica (Tabela 8).

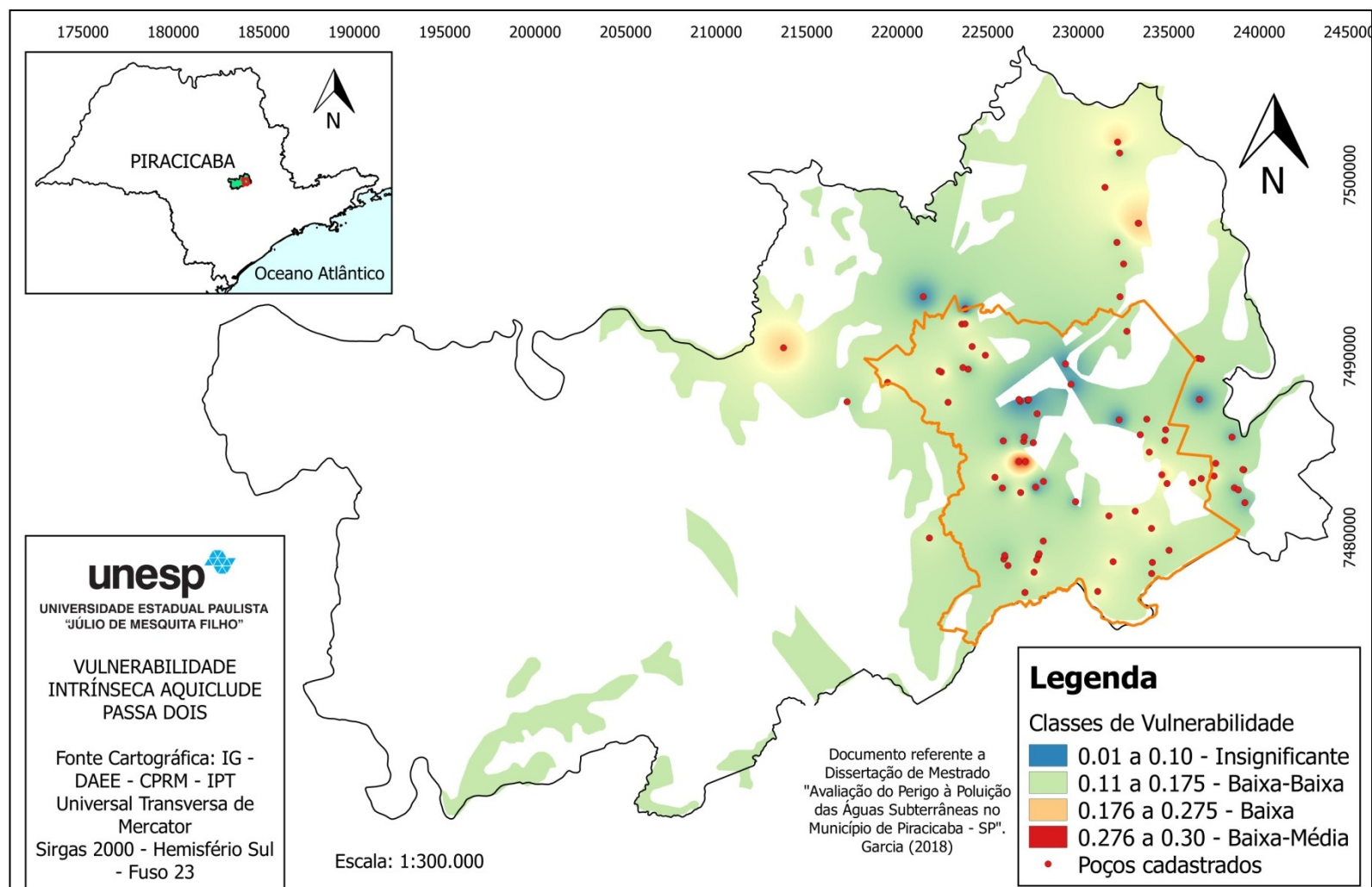
Tabela 8 - Valores representativos das profundidades registradas para o aquíclode Passa Dois no município de Piracicaba com a pontuação preconizada pelo método GOD.

Profundidade	Ocorrências	Pontuação	% representativo
0-5 m	3	0,90	3,49%
6-20 m	18	0,80	20,93%
21-50 m	33	0,70	38,37%
< 50 m	32	0,60	37,21%
TOTAL	86	3,00	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas determinações do Método GOD (Foster et. al., 2006).

Similarmente, de posse das informações descritas, procedeu-se à análise individual, baseada nos 86 poços estudados, levando-se em conta as características individuais de cada uma dessas unidades, relativas ao solo, litologia, profundidade e tipo de ocorrência, e se obteve os resultados particulares de pontuação em intervalo que vai de 0,07 - vulnerabilidade insignificante a 0,27 - baixa vulnerabilidade (Tabela 4 no Apêndice 1 e Figura 18).

Figura 18 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o aquíclode Passa Dois no município de Piracicaba - Método GOD.



Fonte: Produzido pelo autor. Base de dados vetoriais disponibilizados pelas instituições: IG - DAEE - CPRM - IPT.

6.5 Vulnerabilidade intrínseca no município de Piracicaba

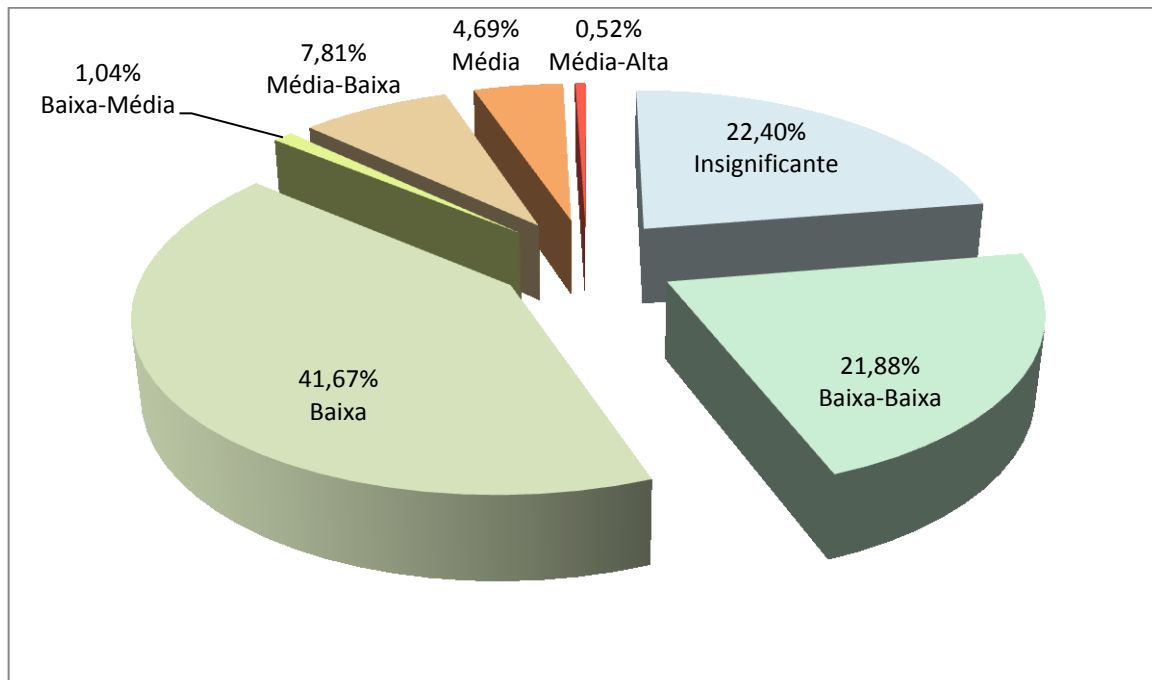
Como ação final para se determinar a vulnerabilidade intrínseca no município de Piracicaba, foram utilizados os dados matemáticos produzidos individualmente para cada unidade aquífera, e, com base nesses dados, gerou-se o mapa de vulnerabilidade para o município, com base no método GOD (Figura 20).

Os valores preponderantes de vulnerabilidade intrínseca, apresentados pela ferramenta determinísticas, situam-se com pontuação GOD entre 0,07 (Insignificante) e 0,49 (média-alta).

Aproximadamente 86% dos poços analisados geraram índice de vulnerabilidade intrínseca entre insignificante e baixa, bem como a classe de vulnerabilidade média-alta acontece em 0,52% dos poços estudados.

A Figura 19 ilustra a representatividade das classes de vulnerabilidade encontradas para o município de Piracicaba.

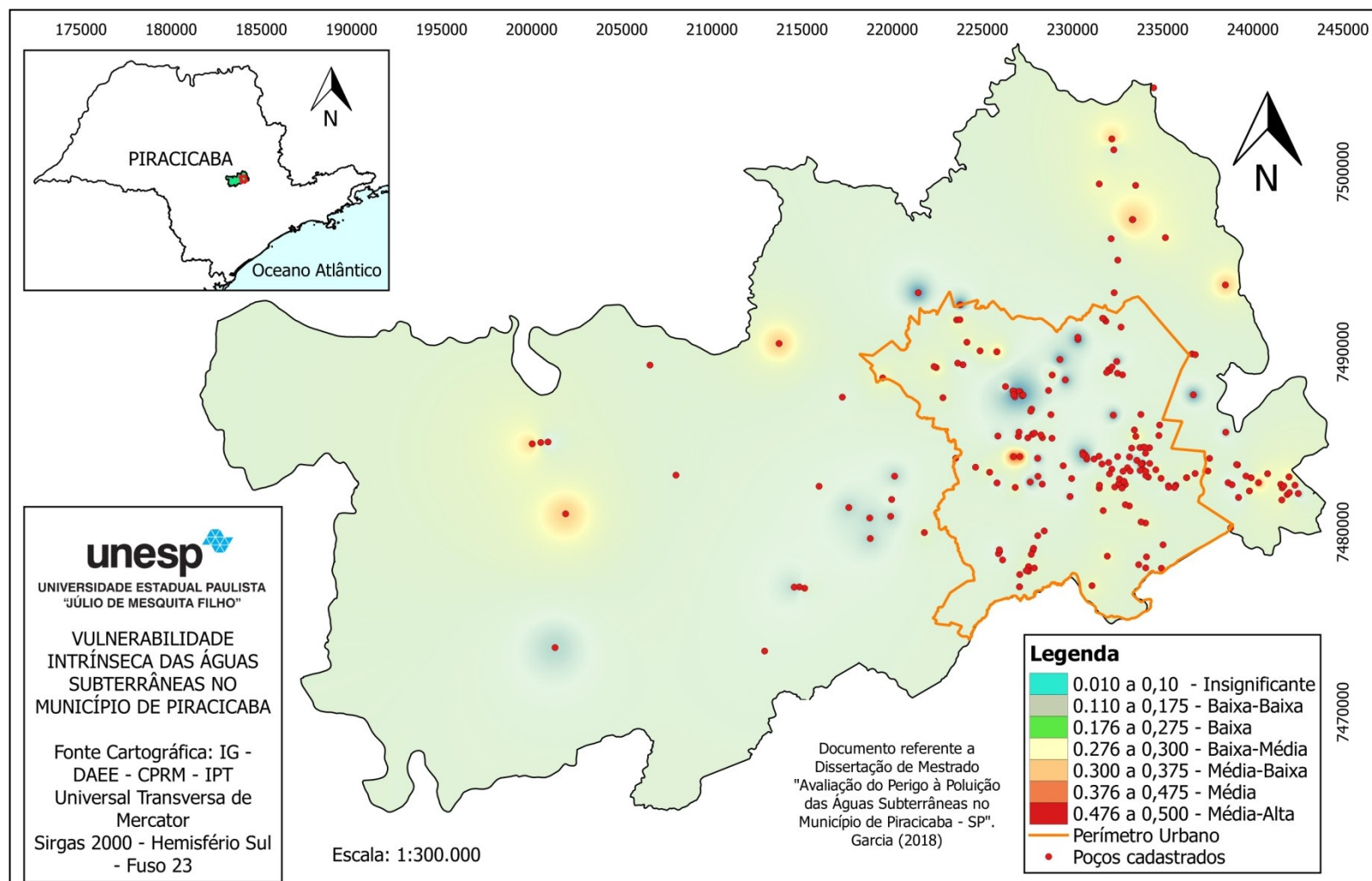
Figura 19 - Gráfico representativo das classes de vulnerabilidade intrínseca encontradas para o município de Piracicaba, com base nos poços cadastrados analisados.



Fonte: Produzido pelo autor.

A Figura 20, apresenta o mapa de vulnerabilidade intrínseca para o município de Piracicaba, com base no método GOD.

Figura 20 - Vulnerabilidade intrínseca encontrada para o município de Piracicaba - Método GOD.



Fonte: Produzido pelo autor. Base de dados vetoriais disponibilizados pelas instituições: IG - DAEE - CPRM - IPT.

Sobre os resultados auferidos, cabe salientar que o quantitativo inicial 516 de poços profundos levantados junto ao cadastro de poços do DAEE para o município, somente 192 poços foram estudados, cujos dados cadastrais continham o mínimo de informações para as análises feitas, com base no que preconiza o método GOD: grau de confinamento, localização geográfica e profundidade do nível estático destes poços.

Esta situação acarretou principalmente para as áreas aflorantes do aquífero Guarani e do aquífero Tubarão, análises de vulnerabilidade intrínseca baseadas na interpolação de dados, onde o *software* utilizado, gera os resultados baseado no universo de dados disponíveis para o local.

A reduzida representatividade da classe de vulnerabilidade média e média-alta, e a alta representatividade da classe de vulnerabilidade baixa e insignificante, podem ser explicadas devido às profundidades do nível estático e da atuação do parâmetro O do método GOD.

O parâmetro O, em particular, que corresponde à caracterização das camadas de cobertura e das ocorrências litológicas de cada uma das unidades estudadas, ajudou a manter as classes de vulnerabilidade com índices predominantemente baixos, dado a representatividade predominante da pedologia local que apresentou características de baixa permeabilidade, associada à litologia presente em cada unidade aquífera, cujo produto dos pesos gerou pontuações bastante modestas, e, por sua vez refletiram em índices de vulnerabilidade igualmente baixos.

7 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE ESPECÍFICA

Para a determinação da vulnerabilidade específica local, inicialmente listaram-se e caracterizaram-se as fontes potenciais de poluição pontuais e difusas, como forma de se embasar o propositivo de caracterização deste trabalho. Num segundo momento, procedeu-se a classificação destas fontes, baseadas na ferramenta de determinação do Método POSH. Essa ação culminou na determinação de pesos, cuja pontuação classifica o potencial de contaminação atrelado ao uso do solo. De posse desses dados, em conjunto com os dados de vulnerabilidade intrínseca encontrados para as unidades hidrogeológicas locais, gerou-se o produto final que apresenta o grau de perigo de contaminação das águas subterrâneas da área de estudo.

7.1 Avaliação das fontes potenciais difusas e pontuais atreladas ao uso do solo.

Seguindo a proposta de Shrestha, Semkuyu e Pandey (2016), que preconiza a importância em se atrelar o perigo à poluição das águas subterrâneas com o risco de poluição destas águas por nitrato, a avaliação do perigo à poluição das águas subterrâneas para o município de Piracicaba, tem como ponto de partida a avaliação contextual deste propositivo, para a determinação das fontes potenciais pontuais e difusas.

Para tanto, inicialmente, buscou-se avaliar a vulnerabilidade local por nitrato associada ao uso do solo, atribuindo-se valores de classificação de acordo com o impacto que cada tipo de atividade ou ocupação da terra, exerce sobre as águas subterrâneas locais, cujos valores considerados por Shrestha, Semkuyu e Pandey (2016), se apresentam:

- Solos sem cobertura (terra estéril): 0,20;
- Solos com cobertura vegetal natural: 0,20;
- Solos cultivados e corpos d'água: 0,60;
- Áreas construídas: 0,80.

As pontuações propostas pelos autores maximizam o perigo em áreas construídas urbanas, classificadas como fontes pontuais, e dá uma importância significativa às áreas cultivadas, bem como, em contraposição, minimizam o potencial perigo à poluição para as outras áreas.

Adicionalmente, tendo como base as informações do Plano Municipal de Gerenciamento dos Recursos Hídricos de Piracicaba (IRRIGART, 2010), considerou-se para

esta análise, os quantitativos de área vs. uso do solo (Tabela 9), adaptadas para a pontuação proposta por Shrestha, Semkuyu e Pandey (2016).

Tabela 9 - Pontuação do perigo de poluição das águas subterrâneas por nitrato atrelado ao uso dos solos.

Uso do solo	Área (km ²)	Pontuação	% representativo
Floresta Remanescente	204,59	0,20	24,21
Áreas em Regeneração Natural	121,70		
Reflorestamento	7,30		
Cana-de-açúcar	584,02	0,60	68,91
Pastagem	324,39		
Cultura Anual	1,70		
Cultura Perene	12,91		
Hidrografia	26,61	0,80	6,88
Mancha Urbana	82,31		
Estradas e Rodovias	12,53		
Total	1.378,07	-	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor. Base de referência: Shrestha et al., (2016).

Com a base apresentada, em termos contextuais o uso dado ao solo no município de Piracicaba, apresentaria expressiva representatividade de perigo à contaminação por nitrato, na grande maioria de sua área geográfica, atrelada ao uso agrícola.

Esta constatação remete à hipótese de que a grande parcela representativa das fontes potenciais de poluição, referem-se àquelas de origem difusa, ligadas a atividades agrícolas, possivelmente atreladas à ações de manejo de agrotóxicos em conjunto com a irrigação de culturas. Por outro lado, nesta análise contextual e geral, as fontes pontuais de poluição, atribuídas ao uso do solo vinculado às atividades urbanas, embora possuam uma pontuação maior para o risco à contaminação por nitrato, correspondem a uma parcela pequena da área do município como um todo (aproximadamente 6,88% de representatividade).

7.2 Avaliação das fontes potenciais pontuais de poluição

Para esta ação, inicialmente buscou-se, avaliar as informações específicas sobre como se dá a contaminação por cargas pontuais no município, através dos dados relativos às áreas contaminadas da CETESB, cujo último relatório disponível de 2015 aponta 46 áreas entre as

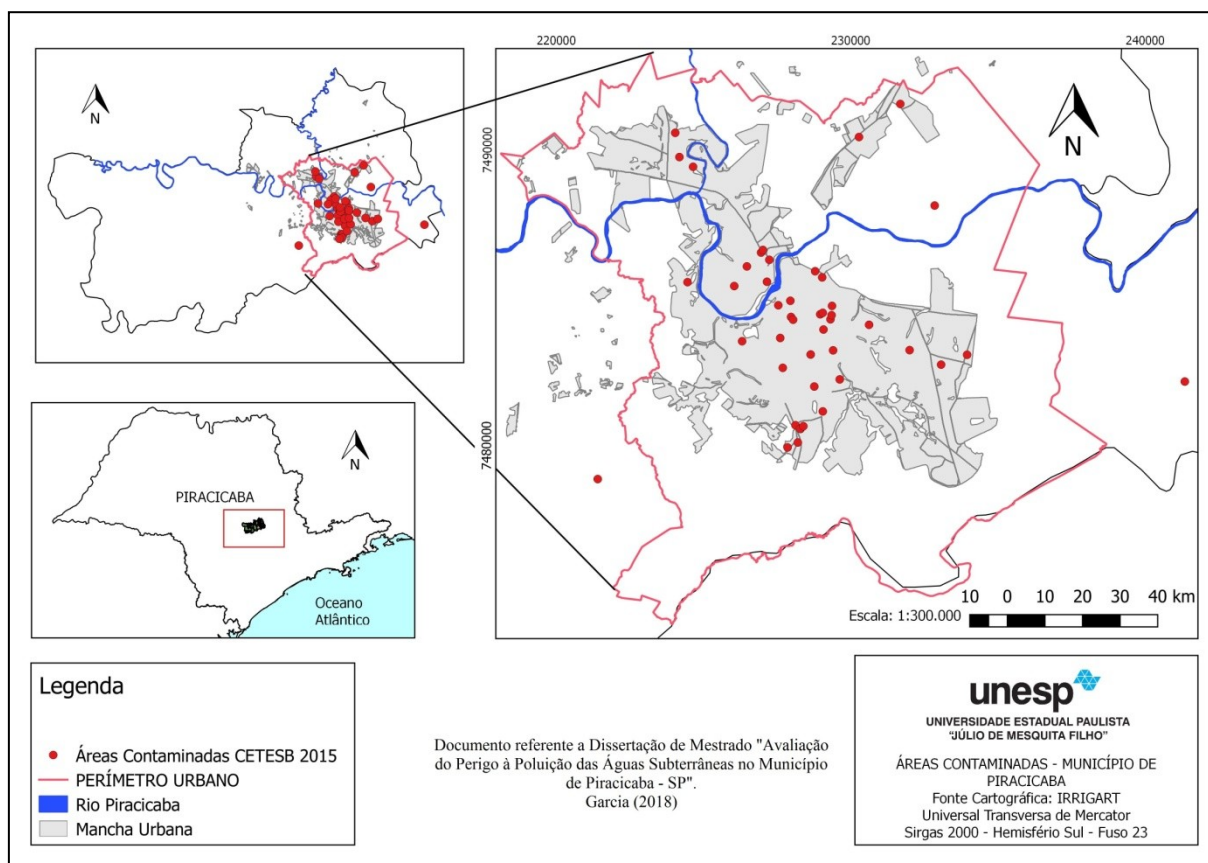
contaminadas e reabilitadas para o município de Piracicaba que direta ou indiretamente afetaram as águas subterrâneas locais (Tabela 10 e Figura 21).

Tabela 10 - Fontes pontuais de contaminação registrados no município de Piracicaba.

Atividade	Ocorrências	% representativo	Fonte
Acidentes	1	2,17	Pontual
Industrial	10	21,74	Pontual
Postos de Combustível	34	73,91	Pontual
Descarte de Resíduos	1	2,17	Pontual
TOTAL	46	100,00	

Fonte: Elaborado pelo autor. Base: CETESB - Relação de áreas contaminadas e reabilitadas, 2015

Figura 21 - Áreas contaminadas por fontes pontuais de poluição no município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado pelo autor. Base: CETESB, 2015.

Aqui também, é automática e evidente a visualização de que os postos de combustível se apresentam como atividade que mais contribui para a contaminação das águas subterrâneas no município, como fonte pontual de poluição.

De igual modo, auferiu-se que praticamente todas as ocorrências registradas aconteceram dentro do perímetro urbano. Além dos 34 postos de combustíveis que se listam no relatório de áreas contaminadas da CETESB para o ano de 2015, registram-se a existência de outros 76, totalizando 110 pontos de comercialização de combustível na cidade.

Os dados relativos aos pontos de venda de combustíveis foram obtidos através do cadastro na Secretaria de Finanças da Prefeitura Municipal de Piracicaba.

Outras atividades potencialmente contaminantes por fontes pontuais incluem-se nesta análise, embora não apareçam no relatório de áreas contaminadas da CETESB, a saber, três cemitérios existentes na área urbana, três estações de tratamento de esgotos, duas unidades prisionais (uma em implantação) e duas unidades de deposição de resíduos sólidos.

Os cemitérios, bem como as estações de tratamento de esgoto, possuem classificação de risco baixo para o município, segundo o método POSH, bem como as unidades prisionais, consoante à classificação de Montero (2012).

As unidades de deposição de resíduos sólidos possuem risco entre moderado e reduzido, dado a tipologia dos resíduos, que embora representem baixa significância, segundo o método POSH, estão associados a uma pluviosidade média anual de 1266,10 mm, conforme dados medidos pela Escola Superior de Agricultura - USP-ESALQ no período de 1917 a 2017, o que representa um aumento no risco de contaminação de aquíferos.

Por sua vez, as atividades industriais apresentam, dados relevantes de perigo potencial, dada a consideração de que a atividade do Tipo 3, representativa de alto risco potencial contaminante, conforme preconizado pelo método POSH, tem alto índice de representatividade no município, em especial as indústrias que englobam atividades relacionadas a metalurgia e mecânica, conforme se apresenta na Tabela 11.

A exceção fica por conta do distrito industrial UNINOROESTE cujas atividades se caracterizam como Tipo 1 pelo método POSH, com baixo risco potencial de poluição.

A caracterização da atividade industrial, disponibilizados para os três distritos industriais do município, bem como sua tipologia imposta pelo método POSH são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Atividade industrial por gênero no município de Piracicaba - Base 2012.

Gênero	Unileste	Uninorte	Uninoroeste	Tipo*	% representativo
Madeira	1	0	0	1	12,63
Alimentos	5	0	2		
Minerais não Metálicos	3	1	0		
Papel e Papelão	2	0	0	2	4,21
Têxtil	2	0	0		
Material Elétrico	2	0	0		
Mecânica e Metalúrgica	44	19	0	3	83,16
Matérias Plásticas	5	4	0		
Química	5	0	0		
TOTAL	69	24	2	-	100,00

Fonte: adaptado de Takami (2013).

Notas: Classificação POSH: **Tipo 1:** madeiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos; **Tipo 2:** fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão; **Tipo 3:** oficinas de engenharia, refinarias de gás/ petróleo, fábricas de produtos químicos / farmacêuticos / plásticos / pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal.

7.3 Avaliação das fontes potenciais difusas em áreas urbanas

Complementarmente, para a análise em questão, buscou-se quantificar o potencial de poluição por fontes difusas urbanas, consoante a proposta de Montero (2012), com base na identificação dos dados de infraestrutura de saneamento básico.

Neste âmbito, para as fontes difusas urbanas, as informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico - SNIS 2016, evidenciam que 99,19% da população total do município tem acesso à coleta e afastamento de esgotos, bem como 100% dos efluentes coletados no município passam por tratamento antes de serem lançados nos corpos d'água receptores.

Estas informações remetem ao conclusivo inicial de baixa potencialidade de perigo à poluição, conforme preconizado pelo método POSH, que considera que em áreas com extensa cobertura de redes coletoras de esgoto, o potencial é reduzido, apesar da sabida existência de vazamentos nas redes (FOSTER, 2006).

De igual modo, a densidade populacional informada pelo IBGE, 2018 informa valores de 2,64 hab/ha, bastante inferiores ao considerado pelo método POSH como limite para o índice de baixa densidade populacional de 100 hab/ha. Assim sendo, este resultado remete ao conclusivo de baixa potencialidade de perigo à contaminação de aquíferos por fontes difusas urbanas.

7.4 Avaliação das fontes potenciais difusas em áreas rurais

Para as fontes difusas relacionadas à zona rural, os dados auferidos mostram que aproximadamente 66% das práticas agrícolas envolvem o manejo de culturas comerciais intensivas, especificamente a cana-de-açúcar (42,38%) e áreas de pastagens (23,54%).

A análise do potencial de contaminação para estas áreas inclui a caracterização pedológica do material existente no município, cujo assunto já se encontra explanado neste texto no Capítulo 3.

Avaliou-se, portanto a capacidade característica de atenuação da percolação de efluente para dentro do aquífero, com base na característica própria de cada um dos solos com ocorrência predominante em área na zona rural do município.

Os resultados revelam que aproximadamente metade dos solos possui baixa capacidade de atenuação de percolação (Tabela 12), consoante a caracterização obtida em Oliveira (1999).

Tabela 12 - Tipologia pedológica dominante na área rural do município de Piracicaba - análise método POSH.

Ordem	Classificação	Área (Km ²)	% representativo	Facilidade de percolação
1	Argissolo Amarelo	3,81	50,22	Baixa
2	Argissolo Vermelho	17,13		
3	Argissolo Vermelho-Amarelo	562,78		
4	Latossolo Vermelho	113,23	49,78	Alta
5	Latossolo Vermelho-Amarelo	107,66		
6	Neossolo Flúvico	215,92		
7	Neossolo Quartzarênico	141,83		

Fonte: adaptado do Plano Municipal de Gerenciamento dos Recursos Hídricos de Piracicaba - PMRH (IRRIGART, 2010).

Como informação adicional de pertinência, o clima típico para o município se classifica como subtropical úmido Cwa (clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C), de acordo com a Classificação Climática de Koeppen (MIRANDA et al., 2017). Tal característica envolve maior risco de diluição e percolação de contaminantes para dentro do lençol freático e maior risco de contaminação, consoante os dispositivos do método POSH.

7.5 Elaboração do mapa de vulnerabilidade específica para o município de Piracicaba

Com base nos dados e considerações até aqui apresentados, sobre as condições características do município para fontes pontuais e difusas urbanas e rurais, organizou-se de forma ampla um sistema de pontuação para delinear e quantificar a análise relativa ao perigo de contaminação representado para cada uma dessas fontes.

Estes resultados iniciais embasam a determinação do perigo à poluição, quando analisados em conjunto com os dados de vulnerabilidade intrínseca auferidos para as unidades hidrogeológicas do município.

O Quadro 9 e o Quadro 10, apresentam os resultados da análise realizada, bem como os escores (com pontuação entre 0 e 1), e o resultado da avaliação do potencial da carga contaminante para as fontes potenciais pontuais e difusas, no município de Piracicaba.

Quadro 9 - Determinação do potencial de contaminação no município de Piracicaba por cargas potenciais pontuais.

EVENTO/ ATIVIDADE	CARACTERÍSTICAS POTENCIAIS POLUIDORAS	ESCORE ATRIBUIDO	POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE
Atividades industriais*	Alta produção industrial - 29,56% do PIB municipal (IBGE 2017)	1,00	Elevado
	Contaminação por indústrias representam 21,74% das áreas contaminadas registradas pela CETESB.		
	Significativo risco potencial de poluição - 83,16% das atividades industriais - "Tipo 3"		
	Área ocupada no perímetro urbano: 7,70 Km² - 3,57% da área total do perímetro urbano (TAKAMI, 2013)		
Postos de Gasolina	Alta Representatividade para áreas contaminadas - 73,91% - Potencialidade "Moderada" - Método POSH	0,67	Moderado
Aterros Sanitários	Resíduos de baixo risco - esgoto doméstico - POSH Pluviosidade média significativa > 500mm/ano - "Moderado" - POSH		
Cemitérios, Presídios e ETEs	Baixa Representatividade de área ocupada - Baixa Potencialidade - Método POSH	0,33	Reduzido

Fonte: Elaborado pelo autor. Base: FOSTER et al. (2006)

*Nota: Exceto Distrito UNINOROESTE que apresenta apenas indústrias alimentícias - Tipo 1

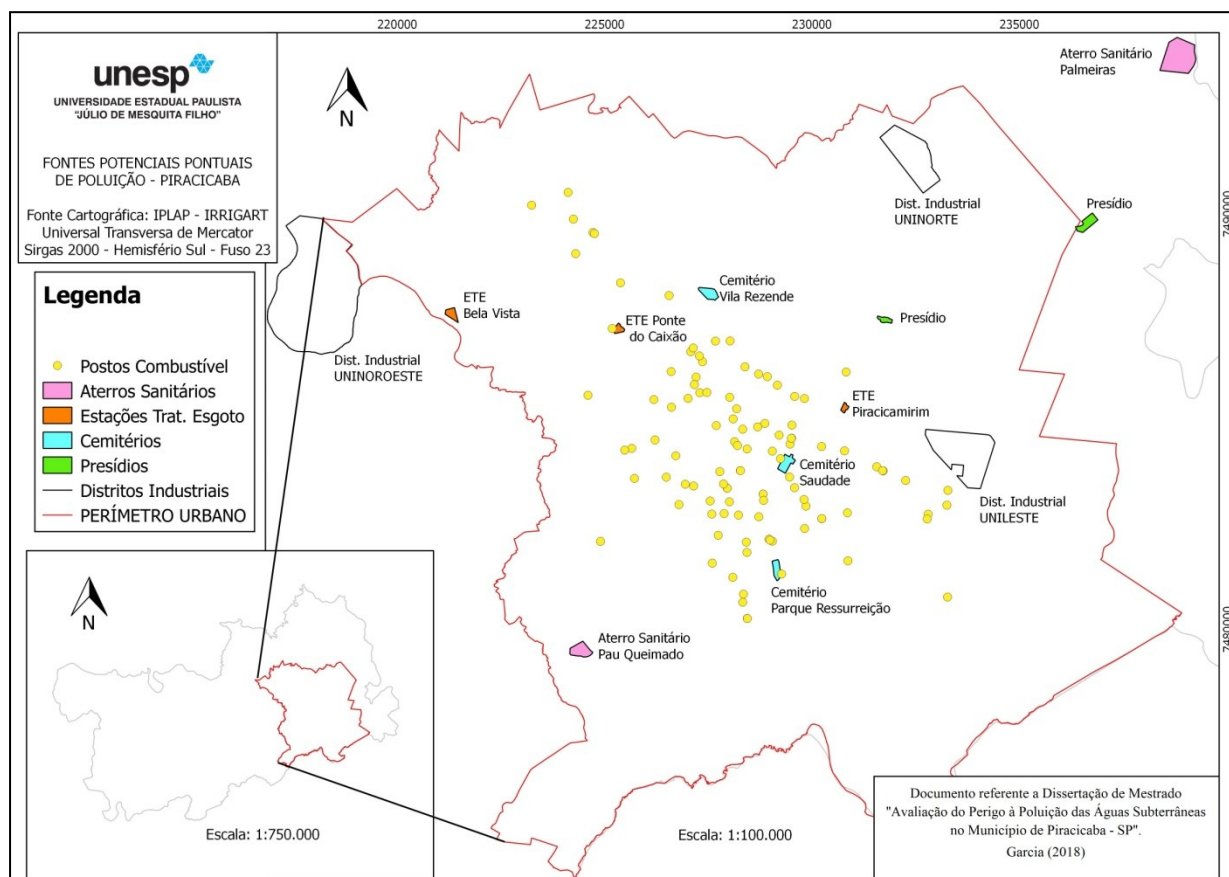
Quadro 10 - Determinação do potencial de contaminação no município de Piracicaba por cargas potenciais difusas.

EVENTO/ATIVIDADE	CARACTERÍSTICAS POTENCIAIS POLUIDORAS	ESCORE PONTUADO	ESCORE ATRIBUIDO	POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE
Fontes Difusas Rurais Atividades Agrícolas	Alta representatividade de potencial de poluição por nitratos - conforme determinado com base na proposta de Shrestha et al - alta representatividade de área ocupada.	0,60	0,80	Elevado
	Predominância de culturas intensivas e pastagens nas áreas rurais.	1,00		
Corpos d'água	Alta representatividade potencial de contaminação por nitratos - Shrestha, Semkuyu e Pandey (2016)	0,60	0,60	Moderado a Elevado
Fontes Difusas Urbana	Alta cobertura de sistema de esgotamento sanitário e tratamento de efluentes	0,40	0,55	Moderado
	Baixa densidade ocupacional - conforme parâmetro preconizado pelo método POSH	0,40		
	Alta representatividade de perigo à contaminação por nitrato - Shrestha, Semkuyu e Pandey (2016)	0,80		
Fontes Difusas Rurais Solo exposto	Baixa representatividade a contaminação por nitratos - Shrestha, Semkuyu e Pandey (2016)	0,20	0,43	Reduzido a moderado
	Pluviosidade média significativa > 500mm/ano - "Moderado" - POSH	0,67		
Fontes Difusas Rurais Áreas com cobertura arbórea	Baixa representatividade a contaminação por nitratos - Shrestha, Semkuyu e Pandey (2016)	0,20	0,33	Reduzido

Fonte: Elaborado pelo autor. Base: FOSTER et al. (2006); e Shrestha, Semkuyu e Pandey (2016).

De modo complementar, a Figura 22, detalha as fontes potenciais pontuais de poluição auferidas para o município de Piracicaba, em conjunto com aquelas que já estão determinadas como contaminadas e em reabilitação pela CETESB.

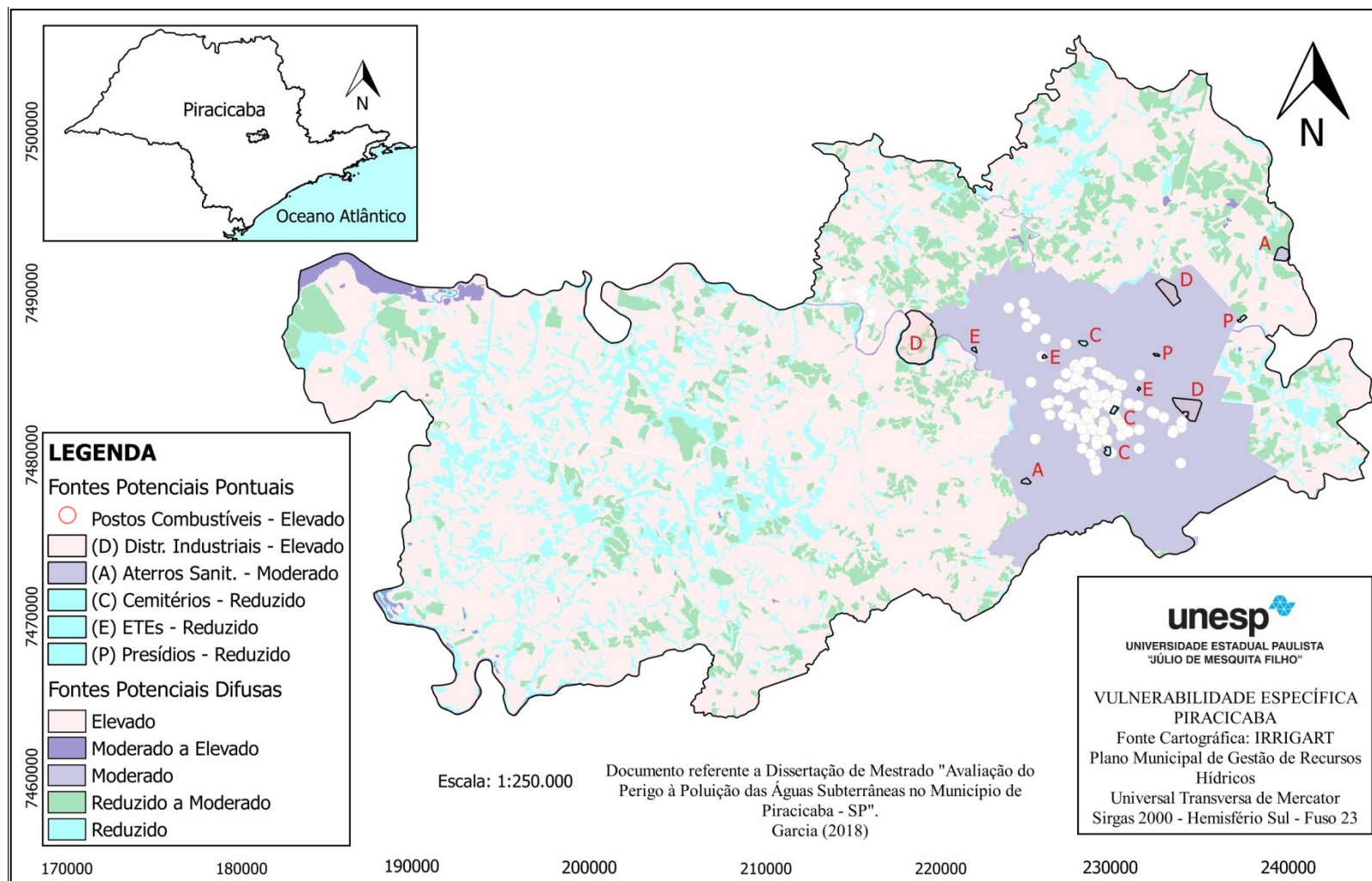
Figura 22 - Localização das fontes potenciais pontuais de poluição no município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos dados disponibilizados no Quadro 9 e no Quadro 10, bem como nos demais dispositivos elencados, gerou-se o mapa de vulnerabilidade específica para o município de Piracicaba que agrega os potenciais de cargas contaminantes potenciais pontuais e difusas, conforme se apresenta na Figura 23

Figura 23 - Mapa da Vulnerabilidade Específica para o município de Piracicaba



Fonte: Produzido pelo autor. Base de dados vetoriais disponibilizados pelas instituições: IG - DAEE - CPRM - IPT.

8 AVALIAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA

A avaliação do perigo de contaminação das águas subterrâneas no município de Piracicaba foi obtida pela interação dos valores encontrados de vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos aflorantes no município com os valores de pontuação adotados para o potencial de contaminação, baseado no que preconiza o método POSH, conforme sugere Montero (2012).

Para tanto, organizou-se os escores adotados para o método GOD e o método POSH em conjunto, de forma que se obteve as classes de perigo de contaminação resultantes da intersecção proposta que se apresentam no Quadro 11.

Quadro 11 - Escores adotados para a determinação do perigo à contaminação pela interação da vulnerabilidade intrínseca e vulnerabilidade específica - Métodos GOD e POSH, respectivamente.

VULNERABILIDADE INTRÍNSECA		VULNERABILIDADE ESPECÍFICA	PERIGO À POLUIÇÃO
Classe	Pontuação		
Insignificante	0,01 a 0,10	Reduzida	Insignificante
		Moderada	Muito Baixo
		Elevada	Baixo
Muito baixo	0,11 a 0,20	Reduzida	Muito Baixo
		Moderada	Baixo
		Elevada	Médio-Baixo
Baixo	0,21 a 0,30	Reduzida	Baixo
		Moderada	Médio-Baixo
		Elevada	Médio
Médio - baixo	0,31 a 0,40	Reduzida	Baixo
		Moderada	Médio
		Elevada	Médio-Alto
Médio	0,41 a 0,50	Reduzida	Médio-Baixo
		Moderada	Médio-Alto
		Elevada	Alto

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para se chegar aos resultados apresentados no Quadro 11, as fontes potenciais de contaminação estudadas e descritas neste texto, foram analisadas individualmente, levando-se em consideração a vulnerabilidade natural encontrada para o local. Os resultados matemáticos desta análise se encontram na Tabela 1 do Apêndice 2.

Assim sendo, os resultados que se apresentam no Quadro 11, refletem de forma numérica a sobreposição do mapa de vulnerabilidade intrínseca apresentado na Figura 20, com o mapa da vulnerabilidade específica que se apresenta na Figura 23.

Como resultado final, buscou-se quantificar a representatividade de cada uma das classes de perigo à contaminação das águas subterrâneas encontradas e descritas no Quadro 11, onde auferiu-se que aproximadamente 74,0% do município apresenta potencial médio de contaminação de aquíferos.

O Quadro 12 apresenta os resultados da pontuação obtida pela interpolação dos dados aqui descritos.

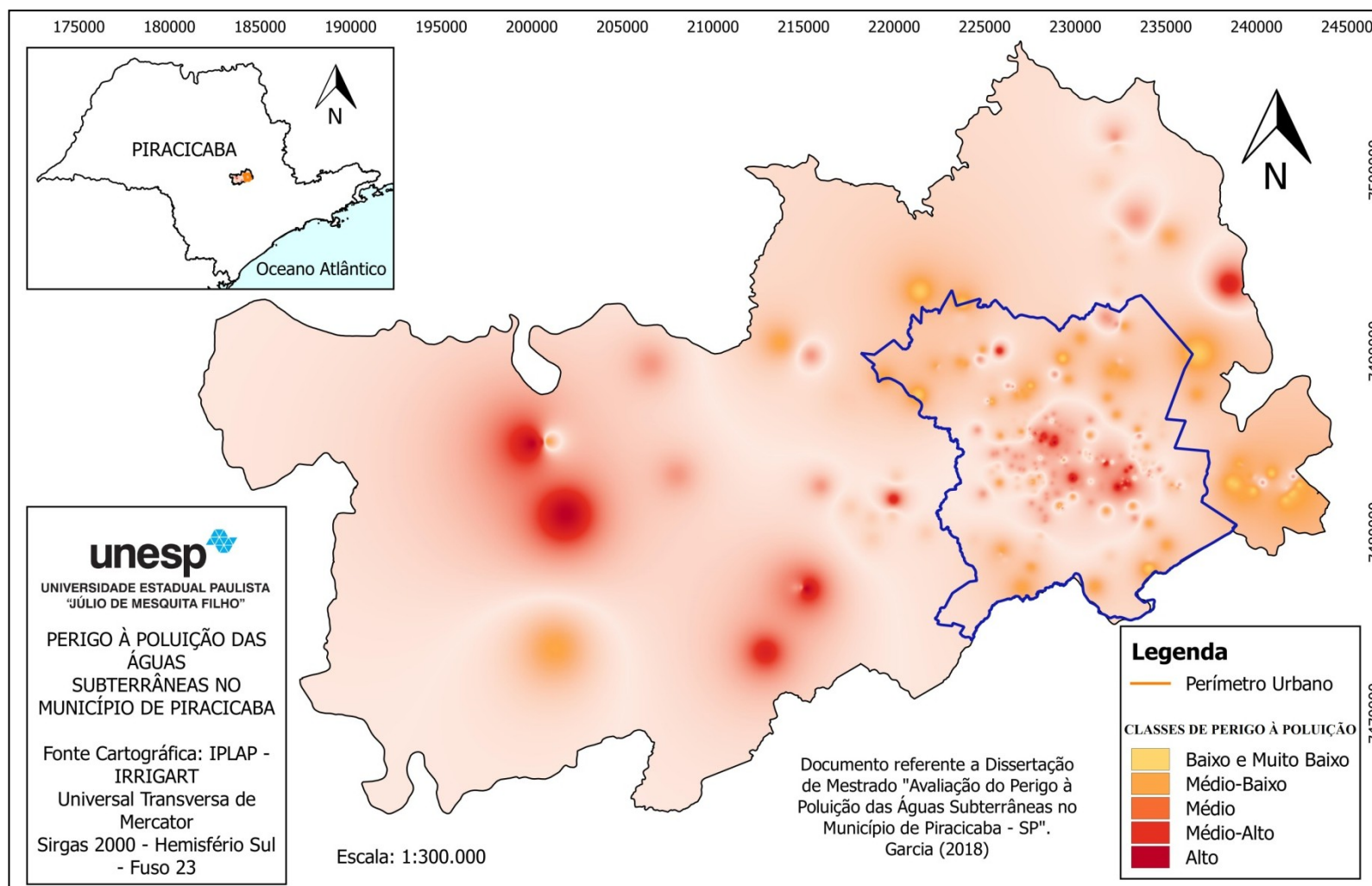
Quadro 12 - Representatividade do perigo à poluição das águas subterrâneas para o município de Piracicaba.

CLASSE DE PERIGO DE CONTAMINAÇÃO	REPRESENTATIVIDADE
Muito baixo	6,67%
Baixo	16,83%
Médio-baixo	32,70%
Médio	33,97%
Médio-Alto	7,62%
Alto	2,22%
TOTAL	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Adicionalmente, o mapa da Figura 24 que representa o perigo à poluição das águas subterrâneas do município de Piracicaba, exhibe ilustrativamente os resultados da interação entre a vulnerabilidade intrínseca e a vulnerabilidade específica encontradas para o município.

Figura 24 - Mapa representativo da determinação do perigo à poluição das águas subterrâneas no município de Piracicaba.



Fonte: Elaborado pelo autor - Base de dados: Arquivos Vetoriais disponibilizados pelas instituições: IG - DAEE - CPRM - IPT

Os resultados auferidos, baseados nos métodos GOD e POSH, representados pelos dados expostos e pelo mapa da Figura 24, revelam em síntese:

- Aproximadamente 24% do município de Piracicaba apresenta perigo potencial baixo e muito baixo à contaminação das águas subterrâneas, sejam estes representados por fontes potenciais pontuais ou difusas, com representatividades mais significativas no perímetro urbano e adjacências.
- As classes de perigo médio-baixo a médio-alto têm representatividade aproximadamente 74% da área do município de Piracicaba. Este resultado se explica em tese pela elevada vulnerabilidade específica encontrada para as áreas rurais e urbanas, conforme se ilustra no mapa da Figura 23, combinada com a predominante baixa vulnerabilidade intrínseca encontrada para estas áreas, conforme se ilustra no mapa da Figura 20.
- Pouco mais de 2% da área do município apresenta alto perigo potencial à contaminação das águas subterrâneas.

Estes resultados revelam que embora a ferramenta determinística utilizada (método GOD) tenha demonstrado uma predominância de classes de baixa vulnerabilidade natural dos aquíferos locais, o alto potencial de geração de cargas contaminantes, segundo os critérios dos métodos utilizados para a determinação da vulnerabilidade específica (POSH e Avaliação da Suscetibilidade a Contaminação por Nitratos), tanto para as áreas rurais como para as áreas urbanas, fez com que as classes de perigo potencial de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos locais resultassem predominantemente com valores de média periculosidade.

Esta constatação remete ao conclusivo de que mesmo em situação de baixa vulnerabilidade intrínseca, predomina para o município uma situação potencial de cargas contaminantes exercendo uma pressão nociva aos recursos hídricos subterrâneos do município de Piracicaba.

9 CONCLUSÃO

De um modo abrangente, para a ferramenta determinística utilizada, o município apresentou predominantemente índices de vulnerabilidade intrínseca pequenos, cujos resultados gerados apresentam grande representatividade de classes de vulnerabilidade insignificante e baixa, de acordo com os parâmetros preconizadas pelo método GOD.

Estes resultados foram em grande parte influenciados pelas profundidades encontradas para os níveis estáticos dos poços analisados que influenciam diretamente as pontuações representativas dos parâmetros G (situação de confinamento) e D (profundidade do nível estático), do método GOD.

De igual modo as características predominantes da zona vadosa local, cuja pedologia apresenta representativa ocorrência de argissolos e a litologia aflorante concentra área significativa de ocorrências de material com características de baixa transmissividade, como é ocorre por exemplo no aquíclode Passa Dois, que aflora em aproximadamente 37% do território municipal, ajudou a manter baixas as pontuações sugeridas pelo método GOD para o parâmetro O (caracterização da zona vadosa).

Os resultados de vulnerabilidade intrínseca auferidos são sensíveis à ferramenta utilizada, onde o método GOD considera a importância da zona vadosa, profundidade do nível estático e grau de confinamento do aquífero. Esses resultados transmitem uma informação genérica, atrelada unicamente aos parâmetros estudados, e devem ser considerados com cautela e aferidos com dados de campo sempre que se fizer pertinente uma maior precisão de resultados.

Para o aquífero Guarani e para o aquífero Tubarão cuja quantidade de dados de poços com dados úteis à avaliação de vulnerabilidade intrínseca pelo método GOD se mostrou pequena, estudos futuros com dados coletados em campo, são bem-vindos como informação complementar sobre a situação de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas de Piracicaba.

No que diz respeito à vulnerabilidade específica, os resultados obtidos de, através da manipulação dos parâmetros preconizados pelo método POSH e pela avaliação da potencialidade de contaminação local por nitrato revelaram valores significativos de potencial de contaminação das águas subterrâneas por fontes potenciais e difusas, tanto para a área urbana quanto para a área rural.

Estes resultados, refletem de igual modo a sensibilidade aos parâmetros dos métodos utilizados para a geração do produto final, que se representa pelos dados ilustrados no mapa

da Figura 23. Neste ilustrativo, as fontes potenciais difusas rurais apresentam significativa abrangência, representadas pelo perigo potencial de contaminação por nitratos, atrelados possivelmente a predominante utilização do solo para monocultura e para pastagens.

De igual modo, na área urbana, embora o método POSH considere baixo o potencial de contaminação difusa em áreas com alta cobertura de redes de esgotamento sanitário, a análise conjunta realizada por este trabalho, com base na proposta de Shrestha, Semkuyu e Pandey (2016), que considera o potencial de contaminação por fontes de nitrato em locais urbanizados, foi responsável por manter os índices de vulnerabilidade específica por fontes difusas com representatividade alta também na zona urbana.

Os potenciais de poluição por fontes potenciais pontuais, ficou representado principalmente pela atividade industrial local e pela densidade de postos de combustível que representam as maiores ameaças à contaminação de aquíferos, conforme as diretrizes do método POSH em consonância com os dados de áreas contaminadas do município disponibilizadas pela CETESB.

Por fim, o produto final que caracteriza o perigo à poluição das águas subterrâneas, representado pelos Quadros 11 e 12 e pela Figura 24, indica que independentemente da situação contextual de baixa vulnerabilidade natural que teoricamente existe no município, medidas de proteção aos recursos hídricos subterrâneos locais devem levar em consideração o situacional de pressão potencial de fontes contaminantes sobre esses recursos, principalmente por fontes difusas.

As classes de alto perigo potencial de poluição auferidas e demonstradas na Figura 24 se dão essencialmente em locais de alto potencial de contaminação por fontes pontuais urbanas em locais de comercialização de combustíveis onde a vulnerabilidade intrínseca local apresenta valores de média vulnerabilidade. Na área rural os resultados de alto perigo potencial obtidos, se dão principalmente em alguns pontos isolados e atrelados à baixa profundidade de nível estático dos poços analisados que geraram os índices de vulnerabilidade intrínseca mais suscetíveis à contaminação.

A grande representatividade de médio perigo potencial de poluição das águas subterrâneas no município de Piracicaba, também ilustradas na Figura 24, se dá essencialmente pela interação de classes de significativo perigo potencial contaminantes obtido nos estudos de vulnerabilidade específica, em contraposição às classes representativas de baixa vulnerabilidade encontradas para os aquíferos locais.

Sobre os estudos realizados, faz-se pertinente a explanação de observações finais de análise geral, de forma a dar dimensões da validade dos resultados apresentados:

A inexistência de estudos anteriores de vulnerabilidade para o município, conforme já explanado, elimina a possibilidade de dados representativos de comparação aos resultados aqui auferidos. Desta forma, estudos complementares com dados oriundos de coletas em campo, relativo aos dados aqui utilizados, se fazem solução para acrescentar material de análise de forma a enriquecer a precisão dos resultados, bem como complementar lacunas em locais onde a representatividade de poços cadastrados no sistema do DAEE é ineficiente a esta necessidade.

Dado o fato de que os resultados gerados com base em métodos paramétricos, como os aqui utilizados, caracterizam-se como informações de caráter contextual, os resultados aqui apresentados se definem como indicadores de situação. Tais resultados são válidos quando utilizados como informação primária em análises de priorização de estudos direcionados, que visem aprofundar investigações nos locais como maior probabilidade de vulnerabilidades e perigo à contaminação.

Não obstante as observações elencadas, os resultados aqui apresentados, constituem um primeiro passo importante para a caracterização e avaliação dos riscos aos recursos hídricos subterrâneos locais, frente às novas imposições de demanda de usos destes recursos, oriundos do crescimento econômico e populacional, atrelados ao esgotamento qualitativo e quantitativo das fontes de água subterrâneas existentes.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, Subodh ; JAWITZ, James W. ; MYLAVARAPU, Rao S. . **Analytical expressions for drainable and fillable porosity of phreatic aquifers under vertical fluxes from evapotranspiration and recharge**. Water Resources Research, [S.l.], v. 48, n. 11, p. 1-15, nov. 2012. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012WR012043/abstract>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

ANA - **AGÊNCIA Nacional de Águas: Outorga e Fiscalização**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/outorga-e-fiscalizacao>>. Acesso em: 16 abr. 2017.

ANTONIO MELHEM SAAD. Geólogo. **Estudo da vulnerabilidade do aquífero livre nas áreas fertirrigadas da unidade Tanabi - Açúcar Guarani**. 2009. 19 p. Projeto de Engenharia- IRRIGART, [S.l.], 2009. único.

BAALLOUSHA, Husam Musa . **Groundwater vulnerability mapping of Qatar aquifers**. Journal of African earth sciences, Qatar, v. 124, n. 1464-343X, p. 75-93, dez. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jafrearsci.2016.09.017>>. Acesso em: 15 out. 2016.

BORBA, Willian Fernando de; DESCOVI FILHO, Leônidas Luiz Volcato ; KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha . **Vulnerabilidade do aquífero à contaminação no município de Seberi-RS**. Revista Monografias Ambientais - REMOA, Santa Maria RS, v. 14, n. 1, p. 2960-2966, fev. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/278410899_VULNERABILIDADE_DO_AQUIFERO_A_CONTAMINACAO_NO_MUNICIPIO_DE_SEBERI-RS>. Acesso em: 12 ago. 2017.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu. Introdução. In: CÂMARA, Gilberto ; DAVIS , Clodoveu ; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. única. ed. São José dos Campos: [s.n.], 2001. cap. 1, p. 1-5. v. único. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 09 mar. 2017.

CETESB - **Relação de áreas contaminadas e reabilitadas**. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2013/11/munic%C3%ADpio-1.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2016.

COSTA, Raimundo Nonato Távora. **Parâmetros hidrodinâmicos do solo**. In: FORTALEZA. Raimundo Nonato Távora Costa. Universidade Federal do Ceará (Org.). **Apostila de Drenagem**. Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2008. p. 25-25. Disponível em: <http://www.gpeas.ufc.br/disc/dren/apostila_drenagem.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2017.

CUTRIM, A. O. CAMPOS, J. E. G. **Aplicação dos métodos DRASTIC e POSH para a determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis-MT**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, n.2,p. 127-142, Abr/Jun, 2010.

CUTRIM, A.O.; CAMPOS, J.E. 2010. **Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH**. Rev. Geociências, v.29, n.3, p.401-411.

DAEE - **Portal do Departamento de Águas e Energia Elétrica: O que é outorga?**. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1624%3Anovo-portal-de-outorgas&catid=72%3Anovo-portal-de-outorgas&Itemid=79>. Acesso em: 07 mar. 2017.

DAEE - **Relatório de Usos de Recursos Hídricos Cadastrados ou Outorgados no DAEE: Pesquisa de Dados dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.daee.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>>. Acesso em: 05 set. 2016.

DEVIC, Gordana ; DJORDJEVIC, Dragana ; SAKAN, Sanja . **Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in Serbia**. Science of the total environment , Sérvia, v. 468-469, n. S.N., p. 933-933, set. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.scitotenv.2013.09.011>>. Acesso em: 17 out. 2016.

EBRAHIMI, Milad et al. **Assessment of groundwater quantity and quality and saltwater intrusion in the Damghan basin, Iran**. *Chemie der Erde*, Amsterdã, v. 76, n. 2, p. 227-241, jun. 2016.

ESHTAWI, Tamer et al. **Integrated hydrologic modeling as a key for sustainable urban water resources planning**. *Water research*, [S.l.], v. 101, n. 0043-1354, p. 411-428, maio. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.watres.2016.05.06>>. Acesso em: 05 jul. 2016.

FEITOSA, Edilton Carneiro; FEITOSA, Fernando A. C. . **Metodologia Básica de Pesquisa de Água Subterrânea: Base de dados em SIG**. In: FEITOSA, Fernando A. C. et al. (Org.). **Hidrogeologia - Conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. cap. 4.1, p. 203-204. v. único

FERNANDES, Amélia J. et al. **Aquíferos fraturados**. In: GERÔNCIO ROCHA. Coordenação geral. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo - Esc. 1:1.000000 - Nota Explicativa. São Paulo: [s.n.], 2005. cap. 3, p. 68-68. v. 1..

MANOEL FILHO, João. **Contaminação das águas subterrâneas**. In: FEITOSA, Fernando A. C. et al. (Org.). **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações** . 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. cap. 5.3, p. 381-404.

FOSTER, S. S. D., HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru, 1988.81p.

FOSTER, Stephen. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy** . Países Baixos: [s.n.], 1987. 86 p.

FOSTER, Stephen et al. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea** : um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: SERVIMAR, 2006. 104 p. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/336486-1175813625542/GroundwaterQualityProtectionGuide_Portuguese.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2018.

FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo; ANDREO, Bartolome. **The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection?**. Hydrogeology Journal, [s.l.], v. 21, n. 7, p.1389-1392, 26 jul. 2013. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-013-1019-7>. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez87.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007/s10040-013-1019-7.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

FRANCISCO, Cristiane Nunes. **Sistemas de informações geográficas**. In: Conceitos de Geoprocessamento. 2. ed. Niterói: [s.n.], 2014. cap. 1, p. 1-21. v. único. Disponível em: <<http://www.capacidades.gov.br/blog/download/id/38/post/410/midia/9901>>. Acesso em: 11 mar. 2017.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. (UGRHI-5). **Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2010 a 2020**. 1ª. ed. Piracicaba: [s.n.], 2008. 815 p. v. único.

GOGU, R. C.; DASSARGUES, A.. **Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods**. Environmental Geology, [s.l.], v. 39, n. 6, p.549-559, 18 abr. 2000. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s002540050466>. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s002540050466>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

GOMES, Francisco Edson Mendonça. **Geoprocessamento em Ambiente SIG Aplicado à Hidrogeologia**. In: FEITOSA, Fernando A. C.et al. (Org.). Hidrogeologia - Conceitos e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. cap. 4.5, p. 293-293. v. único.

GUARDO, Andrea di; FINIZIO, Antonio . **A client-server software for the identification of groundwater vulnerability to pesticides at regional level**. Science of the total environment, [S.l.], v. 530-531, n. 0048-9697, p. 247-256, jun. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.scitotenv.2015.05.112>>. Acesso em: 16 out. 2016.

GUASTALDI, Enrico et al. **Intrinsic vulnerability assessment of Saturnia thermal aquifer by means of three parametric methods: SINTACS, GODS and COP**. Environmental Earth Sciences, Itália, v. 72, n. 8, p. 2861-2878, out. 2014. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3191-z> DO - 10.1007/s12665-014-3191-z ID - Guastaldi2014 E>. Acesso em: 13 out. 2016.

HIRATA, Ricardo; CONICELLI, Bruno P. **Ground water resources in Brazil: : a review of possible impacts caused by climate change**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, São Paulo, v. 84, n. 2, p. 297-312, abr. 2011. Disponível em: <<http://DX.doi.org/10.1590/S0001-37652012005000037>>. Acesso em: 28 out. 2016.

HIRATA, Ricardo; FERNANDES, Amélia João. **Vulnerabilidade à poluição de aquíferos: Evolução do conceito de vulnerabilidade**. In: FEITOSA, Fernando A. C. et al. (Org.). Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações . 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. cap. 5.4, p. 405-424. v. único.

HORNERO, Jorge et al. **Integrating soil water and tracer balances, numerical modelling and GIS tools to estimate regional groundwater recharge: Application to the Alcadozo Aquifer System (SE Spain)**. Science of the Total Environment, Espanha, v. 568, n. S.N., p. 415-432, jun. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.011>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

IBGE - **Manual Técnico de Pedologia** . 3. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. 430 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: IBGE Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/piracicaba/panorama>>. Acesso em: 04 mar. 2018.

IPLAP - **Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba**. Disponível em: <<http://ipplap.com.br/site/>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

IRITANI, Mara Akie; EZAKI, Sibebe. **As unidades hidrogeológicas do Estado de São Paulo: Aquiclude Passa Dois**. In: IRITANI, Mara Akie; EZAKI, Sibebe. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo . 2. ed. São Paulo: Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2009. cap. 3, p. 40-40. v. único.

IRITANI, Mara Akie; EZAKI, Sibebe. **Os aquíferos do Estado de São Paulo: Como se formam os aquíferos**. In: IRITANI, Mara Akie;EZAKI, Sibebe. As águas subterrâneas do

Estado de São Paulo. 2. ed. São Paulo: Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2009. cap. 3, p. 28-28.

IRRIGART - RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE. **Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos de Piracicaba**. 2010. 301 p. Relatório de Engenharia (Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos de Piracicaba)- SEMAE - Piracicaba, 2010. único.

JING, Xiu-yan et al. **Identification of indicators of groundwater quality formation process using a zoning model**. Journal of hydrology, China, v. 514, n. S.N., p. 30-40, abr. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jhydrol.2014.03.059>>. Acesso em: 20 out. 2016.

LAPWORTH, D. J. et al. **Groundwater recharge and age-depth profiles of intensively exploited groundwater resources in northwest India**. Geophysical Research Letters, [s.l.], v. 42, n. 18, p.7554-7562, 22 set. 2015. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/2015gl065798>. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/2015GL065798>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

LEONE, A. et al. **Vulnerability and risk evaluation of agricultural nitrogen pollution for Hungary's main aquifer using DRASTIC and GLEAMS models**. Journal of Environmental Management, Hungria, v. 90, n. S.N., p. 2969-2978, dez. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jenvman.2007.08.009>>. Acesso em: 03 jan. 2017.

MIRANDA, Marina J. de et al. **Clima dos Municípios Paulistas : A classificação climática de koeppen para o Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://orion.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 13 set. 2017.

MONTERO, Rafael Carrion. **Vulnerabilidade e perigo de contaminação dos aquíferos nas sub-bacias do Alto Aguapeí e Alto Peixe - SP**. 2012. 116p. Dissertação de Mestrado (Mestre em engenharia civil e ambiental)- Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2012. único.

ODA, Geraldo Hideo. **Aquífero Tubarão: Caracterização geral**. In: GERÔNICO ROCHA. Coordenação geral. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo - Esc. 1:1.000000 - Nota Explicativa . São Paulo: [s.n.], 2005. cap. 3, p. 49-49. v. 1.

OLIVEIRA, João Bertoldo de et al. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo** : Legenda expandida. Rio de Janeiro: ENGEMAO/ISOMAPA, 1999. 64 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/336272/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-legenda-expandida>. Acesso em: 01 mar. 2018.

OLIVEIRA, João Bertoldo de. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**: Boletim Científico, 45. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999. 112 p.

OUEDRAOGO, Issoufou ; DEFOURNY, Pierre ; VANCLOOSTER, Marnik . **Mapping the groundwater vulnerability for pollution at the pan African scale**. Science of the total environment, [S.l.], v. 544, n. 0048-9697, p. 939-953, fev. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.scitotenv.2015.11.135>>. Acesso em: 16 out. 2016.

OVERHEU, Niels Dossing et al. **Risk-based prioritization of ground water threatening point sources at catchment and regional scales**. Science of The Total Environment, Dinamarca, v. 485-486, n. S.N., p. 769-775, jul. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.scitotenv.2014.03.083>>. Acesso em: 09 nov. 2016.

PEREIRA CABRAL, Jaime J. da Silva . **Movimento das águas subterrâneas**. In: FEITOSA, Fernando A. C. et al. Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações . 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. cap. 2.2, p. 86-87. v. único.

POLEMIO, M.; CASARANO, D.; LIMONI, P. P.. **Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, southern Italy)**. Natural Hazards And Earth System Science, [s.l.], v. 9, n. 4, p.1461-1470, 19 ago. 2009. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-9-1461-2009>. Disponível em: <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/1461/2009/nhess-9-1461-2009.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

RAFFERTY, John P.; TIKKANEN, Amy; AUGUSTYN, Adam. **Growndwater**. **Encyclopedia Britannica**, [S.l.], nov. 2015. Disponível em: <<http://academic-eb-britannica.ez87.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/38222>>. Acesso em: 06 out. 2016.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. **Importância da água subterrânea: Potenciais de águas subterrâneas no Brasil**. In: FEITOSA, Fernando A. C. et al. Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações . 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. cap. 1.2, p. 23-24.

ROCHA G. Coordenador. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**: escala 1:1.000.000: nota explicativa: DAEE – IG - IPT - CPRM. 1ª. ed. São Paulo: [s.n.], 2005. 119 p. v. único.

RUILIANG, J. et al. **A Vulnerability Evaluation of the Phreatic Water in the Plain Area of the Junggar Basin, Xinjiang Based on the VDEAL Model**. Sustainability, [S.L], jun. 201. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/sustainability>. Acesso em: 02 set. 2016.

SALAKO, A. O. ; ADEPELUMI, A. A. **Evaluation of hydraulic conductivity of subsoil using electrical resistivity and ground penetrating radar data: example from Southwestern Nigeria**. International Journal of Geo-Engineering, Nigéria, v. 7, n. S.N., p. 1-26, dez. 2016. Disponível em: <<http://link-springer-com.ez87.periodicos.capes.gov.br/article/10.1186%2Fs40703-016-0018-7>>. Acesso em: 22 out. 2016.

SHAHID, Shamsuddin et al. **Spatial assessment of groundwater over-exploitation in northwestern districts of Bangladesh**. Journal Of The Geological Society Of India, [s.l.], v. 85, n. 4, p.463-470, abr. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s12594-015-0238-z>.

SHI, Jiansheng et al. **Assessment of deep groundwater over-exploitation in the North China Plain**. GEOSCIENCE FRONTIERS, China, v. 2, n. 4, p. 593-598, out. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.gsf.2011.07.002>>. Acesso em: 23 jan. 2017.

SNIS - **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2015**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 09 maio 2016.

SOPHOCLEOUS, Marios A.. **Combining the soilwater balance and water-level fluctuation methods to estimate natural groundwater recharge: Practical aspects**. Journal Of Hydrology, [s.l.], v. 124, n. 3-4, p.229-241, maio 1991. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(91\)90016-b](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(91)90016-b). Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(91\)90016-B](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(91)90016-B)>. Acesso em: 05 fev. 2017.

SHRESTHA, Sangam ; SEMKUYU, Dickson John ; PANDEY, Vishnu P. **Assessment of groundwater vulnerability and risk to pollution in Kathmandu Valley, Nepal** . Science of the total environment, Nepal, v. 556, n. 0048-9697, p. 23-35, mar. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.scitotenv.2016.03.021>>. Acesso em: 16 maio 2016.

SILVA, Maria Sonia Lopes da ; OLIVEIRA NETO, Manoel Batista de . **Argissolos Vermelho-Amarelos** . Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CO NT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html>. Acesso em: 13 set. 2017.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; LOBATO, Edson . **Latossolos** . Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em: 03 mar. 2018.

STEMPVOORT, Dale Van; EWERT, Lee; WASSENAAR, Leonard. **Vulnerability index: a GIS - compatible method for groundwater vulnerability mapping**. Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques, Canada, p. 25-37, jan. 2013.

STUART, M. A. et al. **A review of the impact of climate change on future nitrate concentrations in groundwater of the UK**. Science of The Total Environment, Reino Unido, v. 409, n. 15, p. 2859-2873, jul. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.scitotenv.2011.04.016>>. Acesso em: 30 dez. 2016.

TAKAMI, Saulo Teruo. **Distritos industriais como condições gerais para a reprodução do capital em piracicaba (SP)**. 2013. 177 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Geografia)- Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2013. único.

VAUX, Henry. **Groundwater under stress: the importance of management**. Environmental Earth Sciences, [S.l.], v. 62, n. 1, p. 19-23, jan. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12665-010-0490-x> DO - 10.1007/s12665-010-0490-x ID - Vaux2011 ER>. Acesso em: 08 out. 2016.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.. **Relações material de origem / solo e pedogênese em uma sequencia de solos predominantemente argilosos e Latossólicos sobre psamitos**

na depressão periférica Paulista: Paulo State Peripheral Depression, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 23, n. 2, p.357-369, jun. 1999. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06831999000200019>. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n2/19.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

XIAO, Yong et al. **Geostatistical interpolation model selection based on ArcGIS and spatio-temporal variability analysis of groundwater level in piedmont plains, northwest China.** Springer Plus, China, v. 5, n. S.N., p. 1-15, abr. 2016. Disponível em: <<http://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/s40064-016-2073-0>>. Acesso em: 09 ago. 2016.

YURTERI, Cansu ; SIMSEK, Sakir . **Hydrogeological and hydrochemical studies of the Kaman-Savcili-Büyükoba (Kirsehir) geothermal area, Turkey.** *Geothermics*, Turquia, v. 65, n. S.N., p. 99-112, jan. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.geothermics.2016.09.002>>. Acesso em: 23 out. 2016.

ZHANG, Yinghu et al. **Rock fragments and soil hydrological processes: Significance and progress.** *Catena*, [S.l.], v. 147, n. S.N., p. 153-166, dez. 2016. Disponível em: <[http://www-sciencedirect-com.ez87.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0341816216302715](http://www.sciencedirect-com.ez87.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0341816216302715)>. Acesso em: 21 out. 2016.

11. APÊNDICES

Apêndice 1 – Índices de vulnerabilidade

Tabela 1 - Aquífero Diabásio.

(Continua)

Poço	Solo	NE ⁽¹⁾	"G"	"O"	"D"	IV ⁽²⁾	Classe	Coord. UTM ⁽³⁾	
								E	N
1	Latossolo	4,00	1,00	0,42	0,90	0,378	Média	233510	7485310
2	Neossolo	7,00	0,95	0,65	0,80	0,494	Média	225800	7490010
3	Nitossolo	15,00	0,90	0,55	0,80	0,396	Média	228860	7485210
4	Latosolo	15,00	0,90	0,65	0,80	0,468	Média	238480	7493720
5	Nitossolo	17,20	0,90	0,55	0,80	0,396	Média	229950	7482970
6	Latossolo	18,00	0,90	0,65	0,80	0,468	Média	232340	7482500
7	Nitossolo	19,00	0,90	0,55	0,80	0,396	Média	228330	7485240
8	Latossolo	22,00	0,80	0,65	0,70	0,364	Média	232750	7482650
9	Latossolo	23,00	0,80	0,65	0,70	0,364	Média	232930	7482640
10	Latosolo	25,00	0,80	0,65	0,70	0,364	Média	228870	7488720
11	Latossolo	30,00	0,80	0,65	0,70	0,364	Média	233050	7483570
12	Latossolo	30,50	0,80	0,65	0,70	0,364	Média	232630	7482612
13	Latossolo	38,00	0,80	0,65	0,70	0,364	Média	231480	7482430
14	Nitossolo	38,00	0,80	0,55	0,70	0,308	Média	232800	7483374
15	Neossolo	40,00	0,80	0,65	0,70	0,364	Média	228250	7485390
16	Latosolo	40,00	0,70	0,65	0,70	0,318	Média	235150	7496350
17	Latossolo	45,75	0,70	0,65	0,70	0,318	Média	231630	7483780
18	Neossolo	48,00	0,70	0,65	0,70	0,318	Média	227780	7485440
19	Nitossolo	49,5,	0,70	0,55	0,70	0,269	Baixa	227770	7485420
20	Latossolo	50,00	0,70	0,65	0,70	0,318	Média	231493	7482602
21	Latosolo	51,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	231850	7491710
22	Argissolo	55,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	226810	7487770
23	Argissolo	55,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	226830	7487800
24	Argissolo	55,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	227090	7487800
25	Argissolo	55,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	227050	7487810
26	Argissolo	55,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	226690	7487830
27	Nitossolo	60,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	232450	7489470
28	Neossolo	64,20	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	226280	7488080
29	Latosolo	68,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	235730	7482600
30	Neossolo	74,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	227890	7485490
31	Latossolo	83,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232570	7482700
32	Nitossolo	85,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	228063	7484095
33	Nitossolo	90,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	230570	7484410
34	Latossolo	96,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	233280	7484660
35	Neossolo	103,50	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	228800	7486520
36	Latossolo	110,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232600	7482950
37	Argissolo	113,90	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	230300	7490690
38	Neossolo	115,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	229480	7483680
39	Latossolo	116,50	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232750	7482450
40	Latossolo	123,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	234200	7483050
41	Nitossolo	123,60	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	230680	7484300
42	Nitossolo	127,50	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	230790	7484050

(conclusão)

Poço	Solo	NE ⁽¹⁾	"G"	"O"	"D"	IV ⁽²⁾	Classe	Coord. UTM ⁽³⁾	
								E	N
43	Latosolo	127,62	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232070	7488960
44	Latossolo	127,80	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	231190	7484055
45	Nitossolo	132,54	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	230770	7484180
46	Nitossolo	134,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	233570	7483980
47	Latosolo	136,70	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	231730	7491850
48	Latossolo	137,65	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	233890	7483820
49	Nitossolo	140,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	233900	7483480
50	Latossolo	140,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232180	7483490
51	Nitossolo	140,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	233850	7483790
52	Latosolo	141,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	235700	7482540
53	Latossolo	141,50	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	234060	7483140
54	Latosolo	143,42	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232490	7488820
55	Latosolo	144,60	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	235320	7482570
56	Latosolo	145,21	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232190	7489170
57	Latossolo	146,66	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	234280	7483810
58	Nitossolo	147,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	233750	7483420
59	Latosolo	147,30	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	231890	7488860
60	Nitossolo	148,20	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	235330	7482490
61	Latosolo	148,54	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232770	7488730
62	Nitossolo	150,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	230580	7484280
63	Latossolo	155,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	234070	7483370
64	Nitossolo	155,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	232000	7483860
65	Latosolo	158,50	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	231670	7491870
66	Latossolo	161,90	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	231470	7484210
67	Latossolo	165,00	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	233200	7483390
68	Latossolo	171,56	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232500	7484190
69	Latossolo	174,45	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232740	7482440
70	Latosolo	175,60	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	235660	7482470
71	Nitossolo	175,70	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	233160	7484170
72	Nitossolo	176,00	0,60	0,55	0,60	0,198	Baixa	233790	7483790
73	Latossolo	178,40	0,60	0,65	0,60	0,234	Baixa	232857	7482819
74	Latossolo	188,20	0,60	0,65	0,60	0,252	Baixa	232050	7483230

(1) NE = Nível Estático (2) IV = Índice de Vulnerabilidade (3) DATUM SIRGAS 2000 - Zona 23S

Fonte: Elaborado pelo autor

RESULTADOS GERAIS - VULNERABILIDADE INTRÍNSECA AQUIFERO DIABÁSIO

VULNERABILIDADE

Insignificante

Baixa

Média

Alta

REPRESENTATIVIDADE

0,00%

74,32%

25,68%

0,00%

Tabela 2 - Aquífero Guarani.

Poço	Solo	NE ⁽¹⁾	"G"	"O"	"D"	IV ⁽²⁾	Classe	Coord. UTM ⁽³⁾	
								E	N
1	Argissolo	3,00	1,00	0,38	0,90	0,338	Média	215140	7476880
2	Argissolo	8,70	0,95	0,38	0,80	0,285	Média	212920	7473390
3	Neossolo	12,00	0,90	0,53	0,80	0,378	Média	201880	7481010
4	Neossolo	18,00	0,90	0,53	0,80	0,378	Média	200028	7484897
5	Argissolo	20,00	0,90	0,38	0,80	0,270	Baixa	219967	7481808
6	Argissolo	20,00	0,80	0,38	0,80	0,240	Baixa	215940	7482540
7	Argissolo	21,00	0,80	0,38	0,70	0,210	Baixa	214850	7476950
8	Argissolo	22,10	0,80	0,38	0,70	0,210	Baixa	201293	7473582
9	Neossolo	25,00	0,80	0,53	0,70	0,294	Baixa	200501	7484972
10	Argissolo	26,08	0,80	0,38	0,70	0,210	Baixa	214560	7476940
11	Argissolo	27,13	0,80	0,38	0,70	0,210	Baixa	220130	7483100
12	Argissolo	30,00	0,80	0,38	0,70	0,210	Baixa	217590	7481360
13	Argissolo	30,79	0,80	0,38	0,70	0,210	Baixa	218780	7479640
14	Argissolo	36,00	0,80	0,38	0,70	0,210	Baixa	200902	7485001
15	Argissolo	37,77	0,80	0,38	0,70	0,210	Baixa	219910	7480870
16	Argissolo	38,20	0,80	0,38	0,70	0,210	Baixa	218750	7480780
17	Neossolo	51,00	0,60	0,53	0,60	0,189	Baixa	208000	7483160
18	Latossolo	116,00	0,60	0,53	0,60	0,189	Baixa	206560	7489270

(1) NE = Nível Estático (2) IV = Índice de Vulnerabilidade (3) DATUM SIRGAS 2000 - Zona 23S

Fonte: Elaborado pelo autor

RESULTADOS GERAIS - VULNERABILIDADE INTRÍNSECA AQUÍFERO GUARANI

VULNERABILIDADE	REPRESENTATIVIDADE
Insignificante	0,00%
Baixa	66,67%
Média	33,33%
Alta	0,00%

Tabela 3 - Aquífero Tubarão.

Poço	Solo	NE ⁽¹⁾	"G"	"O"	"D"	IV ⁽²⁾	Classe	Coord. UTM ⁽³⁾	
								E	N
1	Neossolo	0,50	1,00	0,28	0,90	0,252	Baixa	240320	7482740
2	Alissolo	6,40	0,95	0,24	0,80	0,182	Baixa	239910	7483010
3	Latossolo	6,40	0,95	0,28	0,80	0,213	Baixa	242010	7483060
4	Neossolo	22,50	0,80	0,28	0,70	0,157	Baixa	241630	7482450
5	Neossolo	30,00	0,80	0,28	0,70	0,157	Baixa	241610	7481780
6	Neossolo	30,00	0,80	0,28	0,70	0,157	Baixa	239810	7482280
7	Neossolo	30,00	0,80	0,28	0,70	0,157	Baixa	241550	7482650
8	Neossolo	34,30	0,80	0,28	0,70	0,157	Baixa	240820	7483240
9	Neossolo	42,00	0,70	0,28	0,70	0,137	Baixa	241910	7482080
10	Neossolo	45,60	0,70	0,28	0,70	0,137	Baixa	241720	7482560
11	Neossolo	55,00	0,60	0,28	0,60	0,101	Insignificante	242340	7482600
12	Argissolo	60,00	0,60	0,20	0,60	0,072	Insignificante	242520	7482140
13	Alissolo	68,52	0,60	0,24	0,60	0,086	Insignificante	239620	7483110
14	Neossolo	76,55	0,60	0,28	0,60	0,101	Insignificante	242030	7482190

(1) NE = Nível Estático (2) IV = Índice de Vulnerabilidade (3) DATUM SIRGAS 2000 - Zona 23S

Fonte: Elaborado pelo autor

RESULTADOS GERAIS - VULNERABILIDADE INTRÍNSECA AQUIFERO TUBARÃO AFLORANTE

VULNERABILIDADE	REPRESENTATIVIDADE
Insignificante	28,57%
Baixa	71,43%
Média	0,00%
Alta	0,00%

Tabela 4 - Aquiclude Passa Dois.

(continua)

Poço	Solo	N.E ⁽¹⁾	"G"	"O"	"D"	I.V ⁽²⁾	Classe	Coord. UTM ⁽³⁾	
								E	N
1	Nitossolo	2,90	1,00	0,20	0,90	0,18	Baixa	227800	7478980
2	Nitossolo	3,50	1,00	0,20	0,90	0,18	Baixa	227710	7478760
3	Argissolo	3,50	1,00	0,20	0,90	0,18	Baixa	221780	7479970
4	Argissolo	7,50	0,95	0,20	0,90	0,17	Baixa	222810	7487460
5	Cambissolo	8,00	0,95	0,36	0,80	0,27	Baixa	226720	7484190
6	Nitossolo	9,20	0,95	0,20	0,80	0,15	Baixa	227840	7479100
7	Latossolo	11,00	0,90	0,28	0,80	0,20	Baixa	233340	7497350
8	Latossolo	11,00	0,90	0,28	0,80	0,20	Baixa	233320	7497350
9	Latossolo	11,00	0,90	0,28	0,80	0,20	Baixa	233330	7497350
10	Argissolo	13,30	0,90	0,20	0,80	0,14	Baixa	217230	7487490
11	Nitossolo	15,00	0,90	0,20	0,80	0,14	Baixa	225950	7478920
12	Nitossolo	15,06	0,90	0,20	0,80	0,14	Baixa	228070	7479800
13	Neossolo	16,80	0,90	0,28	0,80	0,20	Baixa	222438	7489134
14	Nitossolo	20,00	0,90	0,20	0,80	0,14	Baixa	226120	7478450
15	Nitossolo	20,00	0,90	0,20	0,80	0,14	Baixa	225890	7478800
16	Alissolo	20,00	0,90	0,24	0,80	0,17	Baixa	231700	7481190
17	Latossolo	20,00	0,90	0,28	0,80	0,20	Baixa	234620	7483460
18	Cambissolo	20,00	0,90	0,36	0,80	0,26	Baixa	227080	7484190
19	Nitossolo	20,00	0,90	0,20	0,80	0,14	Baixa	233790	7486530
20	Neossolo	20,00	0,90	0,28	0,80	0,20	Baixa	213720	7490470
21	Latossolo	20,00	0,90	0,28	0,80	0,20	Baixa	232180	7501830
22	Latossolo	22,00	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	233150	7481450
23	Nitossolo	24,00	0,80	0,20	0,70	0,11	Baixa	227520	7485230
24	Latossolo	25,00	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	231930	7478660
25	Nitossolo	26,00	0,80	0,20	0,70	0,11	Baixa	225810	7482730
26	Neossolo	26,00	0,80	0,16	0,70	0,09	Insignificante	223760	7492620
27	Neossolo	26,10	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	224140	7490540
28	Nitossolo	26,82	0,80	0,20	0,70	0,11	Baixa	227730	7486830
29	Argissolo	27,00	0,80	0,20	0,70	0,11	Baixa	238500	7485540
30	Neossolo	28,00	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	219470	7488560
31	Latossolo	29,50	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	236330	7483020
32	Latossolo	29,50	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	236320	7483020
33	Alissolo	29,50	0,80	0,24	0,70	0,13	Baixa	239150	7483730
34	Latossolo	30,00	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	234050	7480500
35	Latossolo	30,00	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	234910	7482980
36	Alissolo	30,00	0,80	0,24	0,70	0,13	Baixa	239100	7483750
37	Neossolo	30,89	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	224870	7490060
38	Neossolo	34,50	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	225400	7483320
39	Neossolo	34,60	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	223570	7491780
40	Neossolo	34,60	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	223750	7491790
41	Latossolo	35,00	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	233930	7484710
42	Nitossolo	35,00	0,80	0,20	0,70	0,11	Baixa	226990	7485310
43	Latossolo	36,00	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	227560	7478080
44	Nitossolo	36,20	0,80	0,20	0,70	0,11	Baixa	228080	7483090
45	Neossolo	39,50	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	226820	7482480

(conclusão)

Poço	Solo	N.E ⁽¹⁾	"G"	"O"	"D"	I.V ⁽²⁾	Classe	Coord. UTM ⁽³⁾	
								E	N
46	Latossolo	40,00	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	237510	7483390
47	Latossolo	40,00	0,80	0,28	0,70	0,16	Baixa	231480	7499330
48	Nitossolo	45,00	0,70	0,20	0,70	0,10	Insignificante	225940	7479010
49	Nitossolo	46,67	0,70	0,20	0,70	0,10	Insignificante	229860	7481970
50	Argissolo	46,82	0,70	0,20	0,70	0,10	Insignificante	239210	7481920
51	Nitossolo	47,20	0,70	0,20	0,70	0,10	Insignificante	227030	7485550
52	Latossolo	48,00	0,70	0,28	0,70	0,14	Baixa	231080	7477020
53	Nitossolo	50,00	0,70	0,20	0,70	0,10	Insignificante	225860	7485330
54	Nitossolo	50,00	0,70	0,20	0,70	0,10	Insignificante	223920	7489290
55	Argissolo	60,00	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	226800	7487510
56	Argissolo	60,00	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	227220	7487570
57	Argissolo	60,00	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	227210	7487600
58	Argissolo	60,00	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	227260	7487610
59	Argissolo	60,00	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	226730	7487620
60	Latossolo	62,72	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	232690	7491380
61	Latossolo	65,00	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	236800	7483250
62	Latossolo	66,87	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	236630	7489890
63	Nitossolo	70,00	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	229600	7488450
64	Latossolo	71,84	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	236810	7489850
65	Alissolo	74,50	0,60	0,24	0,60	0,09	Insignificante	238630	7482740
66	Nitossolo	75,00	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	232260	7486490
67	Argissolo	79,90	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	229300	7489580
68	Neossolo	80,00	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	222320	7489190
69	Argissolo	82,50	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	236700	7487620
70	Nitossolo	84,00	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	227650	7482780
71	Latossolo	85,70	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	234060	7478010
72	Latossolo	88,57	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	227060	7476960
73	Latossolo	90,00	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	227056	7476959
74	Latossolo	90,00	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	234830	7485940
75	Nitossolo	90,55	0,60	0,20	0,60	0,07	Insignificante	221440	7493290
76	Neossolo	93,14	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	223630	7489380
77	Latossolo	95,33	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	237600	7484090
78	Latossolo	96,00	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	234100	7478620
79	Latossolo	96,00	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	232510	7495100
80	Latossolo	98,00	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	233430	7485670
81	Latossolo	99,50	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	235020	7479290
82	Alissolo	100,95	0,60	0,24	0,60	0,09	Insignificante	238846	7482626
83	Latossolo	103,28	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	232290	7501224
84	Latossolo	105,50	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	234790	7485360
85	Latossolo	120,00	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	232140	7496290
86	Latossolo	140,00	0,60	0,28	0,60	0,10	Insignificante	232310	7493290

(1) NE = Nível Estático (2) IV = Índice de Vulnerabilidade (3) DATUM SIRGAS 2000 - Zona 23S

Fonte: Elaborado pelo autor

**RESULTADOS GERAIS - VULNERABILIDADE INTRÍNSECA AQUICLUDE
PASSA DOIS**

VULNERABILIDADE	REPRESENTATIVIDADE
Insignificante	45,35%
Baixa	54,65%
Média	0,00%
Alta	0,00%

Apêndice 2 - Tabela 1 - Memória de Cálculo – Determinação do Perigo à Poluição

(continua)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
1	229141	7481459	Cemitério	0,15	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
2	227516	7488086	Cemitério	0,20	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
3	236746	7489861	Casa de detenção	0,12	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
4	225344	7487224	ETE	0,20	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
5	221333	7487575	ETE	0,20	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
6	223760	7492620	Poço	0,09	insignificante	0,43	reduzido a moderado	0,16	Muito baixo
7	241610	7481780	Poço	0,16	muito baixo	0,43	reduzido a moderado	0,16	Muito baixo
8	239810	7482280	Poço	0,16	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
9	239100	7483750	Poço	0,13	muito baixo	0,43	reduzido a moderado	0,16	Muito baixo
10	240820	7483240	Poço	0,16	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
11	241910	7482080	Poço	0,14	muito baixo	0,43	reduzido a moderado	0,16	Muito baixo
12	242340	7482600	Poço	0,10	muito baixo	0,43	reduzido a moderado	0,16	Muito baixo
13	236630	7489890	Poço	0,10	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
14	236810	7489850	Poço	0,10	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
15	238630	7482740	Poço	0,09	insignificante	0,43	reduzido a moderado	0,16	Muito baixo
16	242030	7482190	Poço	0,10	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
17	229300	7489580	Poço	0,07	insignificante	0,55	moderado	0,16	Muito baixo
18	227650	7482780	Poço	0,07	insignificante	0,55	moderado	0,16	Muito baixo
19	234060	7478010	Poço	0,10	muito baixo	0,33	reduzido	0,16	Muito baixo
20	221440	7493290	Poço	0,07	insignificante	0,43	reduzido a	0,16	Muito baixo

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
21	238846	7482626	Poço	0,09	insignificante	0,43	moderado		
22	229356	7483988	Cemitério	0,23	baixo	0,33	reduzido a moderado	0,16	Muito baixo
23	231766	7487443	Casa de detenção	0,23	baixo	0,33	reduzido	0,26	Baixo
24	230809	7485346	ETE	0,23	baixo	0,33	reduzido	0,26	Baixo
25	228006	7483069	Posto combustível	0,09	insignificante	1,00	elevado	0,26	Baixo
26	227008	7485558	Posto combustível	0,05	insignificante	1,00	elevado	0,26	Baixo
27	225950	7478920	Poço	0,14	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
28	231700	7481190	Poço	0,17	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
29	213720	7490470	Poço	0,20	baixo	0,33	reduzido	0,26	Baixo
30	233150	7481450	Poço	0,16	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
31	201293	7473582	Poço	0,25	baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
32	225810	7482730	Poço	0,11	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
33	219470	7488560	Poço	0,16	muito baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
34	234050	7480500	Poço	0,16	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
35	224870	7490060	Poço	0,16	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
36	233930	7484710	Poço	0,16	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
37	227560	7478080	Poço	0,16	muito baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
38	200902	7485001	Poço	0,25	baixo	0,33	reduzido	0,26	Baixo
39	225940	7479010	Poço	0,10	insignificante	0,78	elevado	0,26	Baixo
40	229860	7481970	Poço	0,10	insignificante	0,78	elevado	0,26	Baixo
41	239210	7481920	Poço	0,10	insignificante	0,80	elevado	0,26	Baixo
42	227030	7485550	Poço	0,10	insignificante	0,78	elevado	0,26	Baixo

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
43	231080	7477020	Poço	0,14	muito baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
44	225860	7485330	Poço	0,10	insignificante	0,78	elevado	0,26	Baixo
45	223920	7489290	Poço	0,10	insignificante	0,78	elevado	0,26	Baixo
46	226810	7487770	Poço	0,20	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
47	227090	7487800	Poço	0,20	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
48	227050	7487810	Poço	0,20	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
49	242520	7482140	Poço	0,07	insignificante	0,80	elevado	0,26	Baixo
50	226800	7487510	Poço	0,07	insignificante	0,78	elevado	0,26	Baixo
51	227220	7487570	Poço	0,07	insignificante	0,78	elevado	0,26	Baixo
52	227210	7487600	Poço	0,07	insignificante	0,78	elevado	0,26	Baixo
53	227260	7487610	Poço	0,07	insignificante	0,78	elevado	0,26	Baixo
54	226730	7487620	Poço	0,07	insignificante	0,78	elevado	0,26	Baixo
55	232690	7491380	Poço	0,10	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
56	239620	7483110	Poço	0,09	insignificante	0,90	muito elevado	0,26	Baixo
57	229600	7488450	Poço	0,07	insignificante	0,68	elevado	0,26	Baixo
58	232260	7486490	Poço	0,07	insignificante	0,68	elevado	0,26	Baixo
59	222320	7489190	Poço	0,10	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
60	236700	7487620	Poço	0,07	insignificante	0,68	elevado	0,26	Baixo
61	227060	7476960	Poço	0,10	muito baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
62	227056	7476959	Poço	0,10	muito baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
63	223630	7489380	Poço	0,10	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
64	233430	7485670	Poço	0,10	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
65	235020	7479290	Poço	0,10	muito baixo	0,43	reduzido a	0,26	Baixo

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
66	230300	7490690	Poço	0,20	muito baixo	0,55	moderado	0,26	Baixo
67	232070	7488960	Poço	0,23	baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
68	232490	7488820	Poço	0,23	baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
69	235320	7482570	Poço	0,23	baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
70	232190	7489170	Poço	0,23	baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
71	231890	7488860	Poço	0,23	baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
72	232770	7488730	Poço	0,23	baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
73	235660	7482470	Poço	0,23	baixo	0,43	reduzido a moderado	0,26	Baixo
74	235150	7496350	Poço	0,32	Médio-Baixo	0,43	reduzido a moderado	0,28	Baixo
75	233769	7483707	Distrito industrial UNINORTE	0,20	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
76	217672	7487391	Distrito industrial UNINOROESTE	0,20	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
77	224432	7479554	Aterro sanitário i	0,22	baixo	0,67	moderado	0,36	Médio-baixo
78	241531	7482559	Posto combustível	0,17	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
79	227290	7485696	Posto combustível	0,20	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
80	233251	7482989	Posto combustível	0,20	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
81	227073	7486682	Posto combustível	0,17	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
82	224242	7489872	Posto combustível	0,16	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
83	227879	7482786	Posto combustível	0,11	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
84	227134	7486772	Posto combustível	0,18	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
85	226600	7486204	Posto combustível	0,20	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
86	226183	7485530	Posto combustível	0,15	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
87	227357	7486441	Posto combustível	0,20	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
88	224296	7489042	Posto combustível	0,15	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
89	228224	7482749	Posto combustível	0,15	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
90	227735	7482264	Posto combustível	0,17	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
91	227540	7483090	Posto combustível	0,11	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
92	227951	7483398	Posto combustível	0,20	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
93	230851	7482804	Posto combustível	0,20	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
94	227282	7486580	Posto combustível	0,20	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
95	224115	7490516	Posto combustível	0,18	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
96	227669	7486938	Posto combustível	0,11	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
97	241609	7482646	Posto combustível	0,18	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
98	223235	7490208	Posto combustível	0,18	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
99	241517	7482556	Posto combustível	0,19	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
100	228022	7486941	Posto combustível	0,18	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
101	227581	7482774	Posto combustível	0,11	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
102	231557	7483914	Posto combustível	0,17	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
103	226789	7483003	Posto combustível	0,18	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
104	228709	7486144	Posto combustível	0,20	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
105	227200	7486072	Posto combustível	0,18	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
106	226608	7485347	Posto combustível	0,18	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
107	227160	7485891	Posto combustível	0,19	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
108	225716	7483633	Posto combustível	0,19	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
109	228437	7480261	Posto combustível	0,18	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
110	225379	7488339	Posto combustível	0,18	muito baixo	1,00	elevado	0,36	Médio-baixo
111	227800	7478980	Poço	0,18	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
112	227710	7478760	Poço	0,18	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
113	221780	7479970	Poço	0,18	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
114	239910	7483010	Poço	0,18	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
115	222810	7487460	Poço	0,17	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
116	227840	7479100	Poço	0,15	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
117	217230	7487490	Poço	0,14	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
118	228070	7479800	Poço	0,14	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
119	222438	7489134	Poço	0,20	baixo	0,55	moderado	0,36	Médio-baixo
120	226120	7478450	Poço	0,14	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
121	225890	7478800	Poço	0,14	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
122	233790	7486530	Poço	0,14	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
123	227520	7485230	Poço	0,11	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
124	231930	7478660	Poço	0,16	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
125	224140	7490540	Poço	0,16	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
126	227730	7486830	Poço	0,11	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
127	238500	7485540	Poço	0,11	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
128	220130	7483100	Poço	0,25	baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
129	236330	7483020	Poço	0,16	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
130	236320	7483020	Poço	0,16	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
131	239150	7483730	Poço	0,13	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
132	217590	7481360	Poço	0,25	baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
133	241550	7482650	Poço	0,16	muito baixo	0,43	reduzido a moderado	0,36	Médio-baixo
134	234910	7482980	Poço	0,16	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
135	218780	7479640	Poço	0,25	baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
136	225400	7483320	Poço	0,16	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
137	223570	7491780	Poço	0,16	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
138	223750	7491790	Poço	0,16	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
139	226990	7485310	Poço	0,11	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
140	228080	7483090	Poço	0,11	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
141	219910	7480870	Poço	0,25	baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
142	218750	7480780	Poço	0,25	baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
143	226820	7482480	Poço	0,16	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
144	237510	7483390	Poço	0,16	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
145	231480	7499330	Poço	0,16	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
146	241720	7482560	Poço	0,14	muito baixo	0,72	elevado	0,36	Médio-baixo
147	226830	7487800	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
148	226690	7487830	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
149	232450	7489470	Poço	0,20	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
150	236800	7483250	Poço	0,10	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
151	228063	7484095	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
152	230570	7484410	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
153	234830	7485940	Poço	0,10	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
154	237600	7484090	Poço	0,10	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
155	234100	7478620	Poço	0,10	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
156	233280	7484660	Poço	0,23	baixo	0,55	moderado	0,36	Médio-baixo
157	232510	7495100	Poço	0,10	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
158	232290	7501224	Poço	0,10	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
159	234790	7485360	Poço	0,10	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
160	232140	7496290	Poço	0,10	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
161	234200	7483050	Poço	0,23	baixo	0,55	moderado	0,36	Médio-baixo
162	230680	7484300	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
163	230790	7484050	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
164	230770	7484180	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
165	233570	7483980	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
166	233890	7483820	Poço	0,23	baixo	0,55	moderado	0,36	Médio-baixo
167	233900	7483480	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
168	233850	7483790	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
169	232310	7493290	Poço	0,10	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
170	234280	7483810	Poço	0,23	baixo	0,55	moderado	0,36	Médio-baixo
171	233750	7483420	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
172	235330	7482490	Poço	0,20	muito baixo	0,80	elevado	0,36	Médio-baixo
173	230580	7484280	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
174	232000	7483860	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
175	233160	7484170	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
176	233790	7483790	Poço	0,20	muito baixo	0,78	elevado	0,36	Médio-baixo
177	241630	7482450	Poço	0,16	muito baixo	0,90	muito elevado	0,38	Médio-baixo
178	232249	7491485	Distrito industrial UNILESTE	0,28	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
179	228960	7482171	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
180	228345	7480847	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
181	227689	7484905	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
182	229238	7484109	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
183	229162	7485877	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
184	227775	7483796	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
185	228129	7484516	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
186	224594	7485633	Posto combustível	0,21	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
187	226483	7483663	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
188	229819	7482428	Posto combustível	0,26	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
189	229204	7484675	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
190	229469	7484460	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
191	229513	7484916	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
192	228818	7483255	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
193	230782	7484297	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
194	228200	7484424	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
195	228435	7480263	Posto combustível	0,26	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
196	228818	7483255	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
197	228920	7486082	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
198	229264	7481333	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
199	224712	7489550	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
200	229576	7483409	Posto combustível	0,26	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
201	229505	7484601	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
202	226712	7484178	Posto combustível	0,30	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
203	227591	7481594	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
204	228268	7483821	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
205	228431	7484341	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
206	228412	7482100	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
207	230233	7482665	Posto combustível	0,28	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
208	228088	7481253	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
209	229815	7485555	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
210	226210	7484559	Posto combustível	0,24	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
211	227142	7483450	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
212	233274	7483345	Posto combustível	0,24	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
213	229042	7482123	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
214	230229	7484401	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
215	225651	7484356	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
216	228271	7483820	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
217	228326	7480653	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
218	224750	7489524	Posto combustível	0,24	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
219	229040	7484289	Posto combustível	0,27	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
220	225480	7484313	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
221	228326	7484817	Posto combustível	0,29	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
222	227953	7483398	Posto combustível	0,26	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
223	228830	7483104	Posto combustível	0,28	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
224	224896	7482117	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
225	228012	7485584	Posto combustível	0,28	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
226	226550	7488034	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
227	230864	7481649	Posto combustível	0,24	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
228	229456	7483665	Posto combustível	0,24	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
229	229578	7485606	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
230	215400	7489753	Posto combustível	0,28	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
231	230820	7486193	Posto combustível	0,26	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
232	228714	7482710	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
233	228986	7482146	Posto combustível	0,24	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
234	228382	7486317	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
235	232254	7483583	Posto combustível	0,25	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
236	228428	7481852	Posto combustível	0,22	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
237	227863	7483500	Posto combustível	0,22	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
238	227461	7485701	Posto combustível	0,22	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
239	233265	7480778	Posto combustível	0,24	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
240	226941	7483493	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
241	229501	7484598	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
242	230234	7482667	Posto combustível	0,28	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
243	225180	7487239	Posto combustível	0,23	baixo	1,00	elevado	0,46	Médio
244	240320	7482740	Poço	0,25	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
245	233510	7485310	Poço	0,38	Médio-Baixo	0,55	moderado	0,46	Médio
246	242010	7483060	Poço	0,21	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
247	226720	7484190	Poço	0,27	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
248	233340	7497350	Poço	0,20	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
249	233320	7497350	Poço	0,20	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
250	233330	7497350	Poço	0,20	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
251	215940	7482540	Poço	0,29	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
252	234620	7483460	Poço	0,20	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
253	227080	7484190	Poço	0,26	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
254	232180	7501830	Poço	0,20	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
255	214850	7476950	Poço	0,25	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
256	228870	7488720	Poço	0,36	Médio-Baixo	0,55	moderado	0,46	Médio
257	214560	7476940	Poço	0,25	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
258	231480	7482430	Poço	0,36	Médio-Baixo	0,55	moderado	0,46	Médio
259	227770	7485420	Poço	0,27	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
260	231493	7482602	Poço	0,32	Médio-Baixo	0,55	moderado	0,46	Médio
261	208000	7483160	Poço	0,23	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
262	231850	7491710	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
263	226280	7488080	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
264	235730	7482600	Poço	0,23	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
265	227890	7485490	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
266	232570	7482700	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
267	228800	7486520	Poço	0,23	baixo	0,90	muito elevado	0,46	Médio
268	232600	7482950	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
269	229480	7483680	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
270	206560	7489270	Poço	0,23	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
271	232750	7482450	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
272	231190	7484055	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
273	231730	7491850	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
274	232180	7483490	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
275	235700	7482540	Poço	0,23	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
276	234060	7483140	Poço	0,23	baixo	0,80	elevado	0,46	Médio
277	234070	7483370	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
278	231670	7491870	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
279	231470	7484210	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
280	233200	7483390	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
281	232500	7484190	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
282	232740	7482440	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
283	232857	7482819	Poço	0,23	baixo	0,78	elevado	0,46	Médio
284	232050	7483230	Poço	0,25	baixo	0,776653328	elevado	0,46	Médio
285	238517	7493670	Aterro sanitário ii	0,47	Médio	0,50	moderado	0,56	Médio-Alto
286	228096	7485065	Posto combustível	0,33	Médio-Baixo	1,00	elevado	0,56	Médio-Alto
287	231714	7483815	Posto combustível	0,36	Médio-Baixo	1,00	elevado	0,56	Médio-Alto

(continuação)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
288	228178	7485309	Posto combustível	0,37	Médio-Baixo	1,00	elevado	0,56	Médio-Alto
289	232797	7482773	Posto combustível	0,35	Médio-Baixo	1,00	elevado	0,56	Médio-Alto
290	229805	7483125	Posto combustível	0,38	Médio-Baixo	1,00	elevado	0,56	Médio-Alto
291	228685	7484873	Posto combustível	0,32	Médio-Baixo	1,00	elevado	0,56	Médio-Alto
292	231698	7483821	Posto combustível	0,34	Médio-Baixo	1,00	elevado	0,56	Médio-Alto
293	225800	7490010	Poço	0,49	Médio	0,55	moderado	0,56	Médio-Alto
294	212920	7473390	Poço	0,34	Médio-Baixo	0,80	elevado	0,56	Médio-Alto
295	228860	7485210	Poço	0,40	Médio-Baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
296	238480	7493720	Poço	0,47	Médio	0,43	reduzido a moderado	0,56	Médio-Alto
297	229950	7482970	Poço	0,40	muito baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
298	228330	7485240	Poço	0,40	Médio-Baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
299	219967	7481808	Poço	0,32	Médio-Baixo	0,80	elevado	0,56	Médio-Alto
300	232750	7482650	Poço	0,36	Médio-Baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
301	232930	7482640	Poço	0,36	Médio-Baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
302	200501	7484972	Poço	0,35	Médio-Baixo	0,80	elevado	0,56	Médio-Alto
303	233050	7483570	Poço	0,36	Médio-Baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
304	232630	7482612	Poço	0,36	Médio-Baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
305	232800	7483374	Poço	0,31	Médio-Baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
306	228250	7485390	Poço	0,36	Médio-Baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
307	231630	7483780	Poço	0,32	Médio-Baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
308	227780	7485440	Poço	0,32	Médio-Baixo	0,78	elevado	0,56	Médio-Alto
309	229853	7482965	Posto combustível	0,42	Médio	1,00	elevado	0,66	Alto
310	228859	7484955	Posto combustível	0,42	Médio	1,00	elevado	0,66	Alto
311	232775	7482655	Posto combustível	0,45	Médio	1,00	elevado	0,66	Alto
312	215140	7476880	Poço	0,41	Médio	0,80	elevado	0,66	Alto

(conclusão)

ORDEM	COORDENADAS		LOCAL	GOD		FONTES POTENCIAIS		PERIGO POTENCIAL	
	LESTE	NORTE		PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE	PONTUAÇÃO	CLASSE
313	201880	7481010	Poço	0,45	Médio	0,80	elevado	0,66	Alto
314	232340	7482500	Poço	0,47	Médio	0,78	elevado	0,66	Alto
315	200028	7484897	Poço	0,45	Médio	0,80	elevado	0,66	Alto

Fonte: Elaborado pelo autor.