



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

LEONARDO MUELLER COSTA

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCO POTENCIAL DE
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUTERRÂNEAS DO SISTEMA
AQUÍFERO GUARANI NA REGIÃO DE IVOTI, DOIS IRMÃOS E
MORRO REUTER, RS**

Porto Alegre – Rio Grande do Sul
2018

LEONARDO MUELLER COSTA

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCO POTENCIAL DE
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUTERRÂNEAS DO SISTEMA
AQUÍFERO GUARANI NA REGIÃO DE IVOTI, DOIS IRMÃOS E
MORRO REUTER, RS**

Monografia apresentada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

Profa. Dra. Maria Luiza Correa da Camara Rosa

Porto Alegre – Rio Grande do Sul
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Costa, Leonardo Mueller

Avaliação da vulnerabilidade e risco potencial de contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani na região de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, RS. / Leonardo Mueller Costa. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.

[88 f.]

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2018.

Orientadores: Pedro Antonio Roehe Reginato
Maria Luiza Correa da Camara Rosa

1. Vulnerabilidade de aquífero. 2. GOD. 3. Risco de contaminação. 4. SAG. I. Título.

CDU 528

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira

CRB 10/2310

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

LEONARDO MUELLER COSTA

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCO POTENCIAL DE
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUTERRÂNEAS DO SISTEMA
AQUÍFERO GUARANI NA REGIÃO DE IVOTI, DOIS IRMÃOS E
MORRO REUTER - RS**

Monografia apresentada a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientadores:

Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

Profa. Dra. Maria Luiza Correa da Camara Rosa

BANCA EXAMINADORA

Dra. Ana Claudia Vieiro

Prof. Dr. Marcos Leão

Prof. Msc. Thiago Araújo

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, pelo amor, carinho, paciência, seus ensinamentos e por me encorajarem em todas as decisões da minha vida. Além disso, agradeço pelo privilégio de ter estudado em boas escolas, pois sei o quão difícil, neste país, é ter um ensino básico de qualidade.

Agradeço minhas irmãs, Juliana e Amanda, por todo amor, pela parceria e tudo que representam para mim. Agradeço em especial a minha irmã Amanda, pelo auxílio que deu na reta final deste trabalho.

Agradeço a este meu orientador, professor Pedro, pela paciência, dedicação, por estar sempre disponível para me ajudar, por responder meus questionamentos e por tudo que me ensinou, possibilitando que eu realizasse este trabalho. Agradeço também, a minha orientadora professora Maria Luiza por se dedicar, orientar e auxiliar. Muito obrigado a todos.

A UFRGS por ter me dado a oportunidade de realizar este curso e todos os professores que tive durante os anos que estudei.

Agradeço aos colegas de curso Vitor, João, Renan, Cris, Rafael e demais amigos que fizeram parte desta trajetória, pela companhia e amizade durante estes anos. Agradeço também aos amigos do tempo de infância e colégio. Cito Diego, Akram, Tiago e Gustavo pela importância que a amizade deles tem na minha vida.

RESUMO

O trabalho em questão tem como propósito avaliar a vulnerabilidade e o risco potencial de contaminação do Sistema Aquífero Guarani (SAG) para os municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter. A crescente demanda do uso da água subterrânea, aliada a expansão da urbanização, das atividades industriais e agrícolas, propiciam um aumento das cargas contaminantes e um aumento do risco potencial de contaminação da água subterrânea. O SAG, objeto de estudo desse trabalho, é formado por unidades hidroestratigráficas, caracterizadas pela ocorrência de rochas sedimentares que estão associadas a diferentes formações geológicas. O SAG é definido pela presença de aquíferos livres (áreas de afloramento das rochas sedimentares) e por aquíferos confinados (áreas de ocorrência das rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral). Através das etapas de campo e levantamento de dados, foi realizada a caracterização geológica e hidrogeológica da área. Na região, os arenitos eólicos da Fm. Botucatu correspondem a principal unidade hidroestratigráfica, os poços no SAG apresentam vazões que variam de 0,9 a 35,9 m³/h com valor médio de 14,21 m³/h, sendo que o nível estático médio é de 67,9 m. Secundariamente, ocorrem aquíferos fraturados do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), os poços que captam neste sistema apresentam vazões de 1,85 a 12 m³/h. Avaliou-se a vulnerabilidade natural do SAG com base no índice GOD e determinou-se o risco de contaminação pela classificação POSH de fontes pontuais e difusas. Os mapas de vulnerabilidade e risco potencial de contaminação, produtos desse projeto, foram gerados através da tecnologia SIG (Sistema de Informações Geográficas). O estudo concluiu que zonas de vulnerabilidade média, cerca de 10% da área, ocorrem nas regiões onde encontram-se aquíferos livres e onde afloram as rochas sedimentares da Fm. Botucatu. Já as áreas de menor vulnerabilidade, classes insignificante e baixa, mais de 80% da área, estão associadas as regiões onde o SAG encontra-se confinado, com ocorrência de maiores espessuras das rochas vulcânicas. As áreas de maior risco concentram-se nas zonas urbanas e arredores dos municípios de Ivoti e Dois Irmãos, sendo que o município de Morro Reuter apresenta baixo risco de contaminação para o SAG.

Palavras-chave: vulnerabilidade de aquífero, GOD, risco de contaminação, SAG

ABSTRACT

Groundwater has been always impacted by agriculture, industry, mining, and other human activities. The risk assessment of this resource is of paramount importance to identify areas that are more sensitive to contamination. The purpose of this thesis is to evaluate the vulnerability and the contamination risk of the Guarani Aquifer System (SAG) for Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, cities of Rio Grande do Sul, Brazil. The SAG, area of interest in this study, is formed by hydrostratigraphic unities, characterized by the incidence of sedimentary rocks, associated to different geological formations. Some aquifers in SAG are unconfined (areas of sedimentary rocks) and others are confined (areas of volcanic rocks from Serra Geral formation). In order to develop this project, steps of field work and data survey were organized to make the hydrologic and geological characterization of the area. Sandstones of the Fm. Botucatu represents the main hydrostratigraphic unit. Wells in the SAG have flow rates ranging from 0.9 to 35.9 m³/h with an average value of 14.21 m³/h and the mean water level is 67.9 m. Secondly, there are fractured aquifers of the Serra Geral Aquifer System, the wells that in this system have flows of 1.85 to 12 m³/h. The natural vulnerability of SAG were evaluate based on GOD index. For the characterization of contaminated charges (diffuse and punctual) and risk evaluation, the method POSH was the chosen one. The products of this project, vulnerability and potencial risk of contamination maps were generated using the GIS technology (Geographic Information Systems). After the analysis of all data, it was concluded that the areas of major vulnerability, about 10% total area, occur in the region where there are incidence of unconfined aquifers and sedimentary rocks from Botucatu formation. On the other hand, the areas of minor vulnerability are associated with regions where the aquifers are confined, more than 80% total area, with greater thickness of volcanic rocks. In conclusion, the areas of major risk are concentrated in urban and surounded urban zones of Ivoti and Dois Irmãos. The opposite, the minor risk for SAG contamination occurs in Morro Reuter.

Keywords: aquifer vulnerability, GOD, risk, SAG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos municípios de estudo, estado do Rio Grande do Sul.	16
Figura 2 – Localização da área dentro da Bacia do Paraná, municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, RS.	17
Figura 3 – Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, em destaque localização da área de estudo	21
Figura 4 – Mapa de Zonas Confinadas e Aflorantes do SAG no estado do Rio Grande do Sul, em destaque localização da área de estudo no compartimento Leste.	22
Figura 5 – Fluxograma de decisão para índice GOD.	27
Figura 6 – Fontes de contaminação difusas segundo o sistema POSH.	30
Figura 7 – Fontes de contaminação pontuais segundo o sistema POSH.	30
Figura 8 – Simplificação da metodologia de trabalho.	31
Figura 9 – Atribuição de valores para os parâmetros GOD.	34
Figura 10 – Classificação das cargas contaminantes.	35
Figura 11 – Mapa Geológico regional	37
Figura 12 – Perfil esquemático A-B, relação entre as formações Serra Geral e Botucatu.	37
Figura 13 – Arenito fino com laminação plano-paralela, Fm. Piramboia, município de Ivoti.	38
Figura 14 – Afloramentos de arenitos da Fm. Botucatu, município de Ivoti.	39
Figura 15 – Perfis construtivos de poços em Ivoti (UTM 6724543/483217) a esquerda e Dois Irmãos (UTM 672793/492281) a direita. Ambos com presença de arenitos ocorrendo de forma alternada com as rochas da Fm. Serra Geral.	39
Figura 16 – Foto em detalhe de basalto amigdalal, Fm. Serra Geral, município de Ivoti.	40
Figura 17 – Afloramento com disjunções verticais (esquerda) e disjunções horizontais, Fm. Serra Geral, município de Ivoti.	41
Figura 18 – Feição intertrape, basalto sotoposto ao arenito da Fm. Botucatu.	41
Figura 19 – Contato entre rochas da Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu, basalto extremamente alterado.	42
Figura 20 – Diagrama de roseta com as direções de fraturas medidas em campo	42
Figura 21 – Mapa de lineamentos traçados com MDS ao fundo, região de estudo.	43
Figura 22 – Diagrama de roseta com as direções dos lineamentos	44
Figura 23 – Histograma de frequência do comprimento dos lineamentos traçados.	44
Figura 24 – Histograma de espessura das rochas vulcânicas	45
Figura 25 – Poço tubular no município de Dois Irmãos, pertencente a CORSAN (esquerda) e poço tipo “pequeno diâmetro” no município de Ivoti (direita).	47
Figura 26 – Mapa Hidrogeológico e de poços da região de estudo.	48
Figura 27 – Distribuição dos poços de captação por sistema aquífero.	49
Figura 28 – a) Perfil geológico do Poço COR DOI11 em Dois Irmãos, captação de um aquífero livre devido à ausência de cobertura vulcânica. b) Perfil geológico do poço COR MRE 08B em Morro Reuter, aquífero confinado com espessura de 360m de rocha vulcânica sob o SAG.	49
Figura 29 – Gráfico da profundidade dos poços.	50

Figura 30 – Gráfico da profundidade dos poços no SASG.....	50
Figura 31 – Gráfico do nível estático dos poços no SASG.....	51
Figura 32 – Dados de vazão dos poços no SASG.....	52
Figura 33 – Mapa Hidrogeológico e dos poços no SASG.....	53
Figura 34 – Mapa de poços no SASG e lineamentos.....	54
Figura 35 – Histograma da profundidade da Fm. Botucatu.....	55
Figura 36 – Gráfico da profundidade dos poços no SAG e captação de ambos sistemas.....	56
Figura 37 – Gráfico do nível estático dos poços no SAG.....	57
Figura 38 – Gráfico do nível estático em poços com captação do SASG e SAG.....	58
Figura 39 – Gráfico de vazão de poços do SAG.....	59
Figura 40 – Gráfico de vazão em poços com captação mista.....	60
Figura 41 – Mapa Hidrogeológicos e de poços SAG e SASG/SAG.....	61
Figura 42 – Mapa parâmetro G.....	63
Figura 43 – Mapa parâmetro O.....	64
Figura 44 – Mapa parâmetro D.....	65
Figura 45 – Percentual de poços em cada classe de vulnerabilidade.....	66
Figura 46 – Produção do mapa de vulnerabilidade segundo a metodologia GOD.....	66
Figura 47 – Mapa de vulnerabilidade do SAG nos municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, RS.....	68
Figura 48 – Classificação do perigo de contaminação em relação a fontes pontuais e difusas.....	69
Figura 49 – Mapa de uso e ocupação do solo na região.....	70
Figura 50 – Percentual de área em classe de uso do solo.....	71
Figura 51 – Percentual da área territorial com plantação.....	71
Figura 52 – Mapa de vulnerabilidade com área urbana.....	73
Figura 53 – Mapa de vulnerabilidade com fontes pontuais.....	75
Figura 54 – Mapa de vulnerabilidade em detalhe na área urbana de Dois Irmãos.....	76
Figura 55 – Localização da área da indústria pertencente ao Grupo Herval, Dois Irmãos.....	77
Figura 56 – Aterro de resíduos industriais, potencial moderado, Ivoti.....	77
Figura 57 – Mapa de vulnerabilidade em detalhe na área urbana de Ivoti.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de espessura das rochas vulcânicas.....	46
Tabela 2 – Dados da profundidade dos poços no SASG.	51
Tabela 3 – Dados do nível estático dos poços no SASG.	52
Tabela 4 – Dados de vazão dos poços no SASG.....	53
Tabela 5 – Dados da profundidade de topo dos arenitos da Fm. Botucatu.	56
Tabela 6 – Dados da profundidade dos poços.	57
Tabela 7 – Dados de nível estático de poços no SAG.	58
Tabela 8 – Dados de nível estático em poços com captação de ambos sistemas.	58
Tabela 9 – Dados de vazão dos poços no SAG.	59
Tabela 10 – Dados de vazão em poços com captação mista.	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Caracterização do Problema/Hipóteses	14
1.2 Justificativa	15
1.3 Localização da Área de Estudo.....	15
2 OBJETIVOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Contexto Geológico.....	17
3.2 Hidrogeologia Regional.....	20
3.2.1 Sistema Aquífero Guarani.....	21
3.2.2 Sistema Aquífero Serra Geral.....	24
3.3 Vulnerabilidade de Aquíferos	24
3.4 Avaliação da Carga Contaminante e Risco Potencial	28
4 METODOLOGIA.....	31
4.1 Levantamento Bibliográfico.....	31
4.2 Inventário e Cadastramento de Pontos de Captação.....	32
4.3 Caracterização Geológica e Estrutural.....	32
4.4 Caracterização Hidrogeológica	33
4.5 Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Guarani.....	34
4.6 Avaliação do Risco à Contaminação do SAG	35
5 RESULTADOS	36
5.1 Caracterização Geológica da Área	36
5.1.1 Formação Piramboia.....	38
5.1.2 Formação Botucatu.....	38
5.1.3 Formação Serra Geral	40
5.2 Caracterização Hidrogeológica	46
5.2.1 Sistema Aquífero Serra Geral.....	50
5.2.2 Sistema Aquífero Guarani.....	55
5.3 Avaliação da Vulnerabilidade pelo Método GOD	61
5.3.1 Mapa parâmetro G.....	62
5.3.2 Mapa parâmetro O.....	63
5.3.3 Mapa parâmetro D.....	64
5.3.4 Mapa Índice GOD	65
5.4 Análise de Risco de Contaminação	69

5.4.1 Fontes Difusas	69
5.4.2 Fontes Pontuais	74
6 CONCLUSÕES	78
REFERÊNCIAS.....	81
ANEXOS	84

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é uma unidade hidrogeológica da bacia sedimentar do Paraná/Chaco-Paraná formada por arenitos eólicos e depósitos flúvio-lacustres (MILANI et al., 2007). Incluso dentro da Província Paraná, o SAG representa cerca de 80% do potencial hidrogeológico da mesma e contribui em grande parte para o abastecimento de diversas áreas (FEITOSA; FILHO, 1997).

Entende-se a importância econômica e social do SAG através da crescente exploração do aquífero para abastecimento público, industrial e agrícola nas regiões que o cobrem. A água pode servir para consumo ou como insumo em diferentes processos produtivos, logo, é de grande importância não apenas para o bem-estar da população, bem como para o desenvolvimento econômico destes municípios. Portanto, conhecer o risco de contaminação e vulnerabilidade do aquífero é de extremo interesse para a gestão das águas subterrâneas, seu controle e preservação.

Águas superficiais, em geral, são mais sensíveis a contaminações oriundas da atividade antrópica do que as águas subterrâneas. No entanto, as águas subterrâneas, embora menos vulneráveis, também podem ser afetadas por contaminantes provenientes de derramamento de óleo, perdas em redes de esgoto, infiltrações de água com qualidade inferior, entre outros.

As águas subterrâneas uma vez contaminadas, mostram-se muito mais difíceis de tratar do que águas de superfície, podendo em alguns casos tornar a contaminação irreversível (WIENER, 1972). A vulnerabilidade natural de um aquífero é definida como maior ou menor grau de disponibilidade que esse aquífero apresenta em sofrer uma contaminação. O risco potencial de contaminação das águas subterrâneas é consequência da interação entre dois fatores fundamentais: a carga contaminante, lançada no solo como resultado da atividade humana, e segundo, a vulnerabilidade natural deste aquífero de ser afetado por esta carga contaminante (FOSTER; HIRATA, 1988).

Em função da importância do SAG e da possibilidade de ocorrência de processos de contaminação do mesmo, faz necessário que sejam desenvolvidos

estudos voltadas para a avaliação da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação desse sistema aquífero. Como na região abrangida pelos municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, o uso da água subterrânea tem grande importância, foi desenvolvido este projeto que tem por objetivo principal avaliar a vulnerabilidade e o risco potencial de contaminação do SAG nessa região. Os resultados obtidos com o desenvolvimento desse trabalho têm grande importância para o gerenciamento desse recurso hídrico na região de estudo.

1.1 Caracterização do Problema/Hipóteses

Para a correta gestão dos recursos hídricos subterrâneos de uma região é necessário que se tenha conhecimento e dados sobre a hidrogeologia da área, e sobre a vulnerabilidade e risco potencial de contaminação dos aquíferos.

A avaliação das cargas contaminantes (pontuais e difusas) existentes numa região, aliada a análise da vulnerabilidade dos aquíferos, é imprescindível para ações que tem como objetivo à proteção da qualidade das águas subterrâneas.

Considerada a importância do SAG para a região e o aumento das perfurações de poços que visam atender a demanda da população, surge a necessidade de estudos sobre a vulnerabilidade e avaliação do risco à contaminação. Embora o SAG no local de estudo esteja em grande parte recoberto por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, o que proporciona, a princípio, uma melhor proteção e uma menor vulnerabilidade, variações nas espessuras do pacote de rochas e estruturas nos derrames podem provocar uma diminuição no grau de vulnerabilidade e, dependendo das cargas contaminantes existentes, aumentar o risco de contaminação do aquífero. Além disso há locais onde têm ausência das rochas vulcânicas, proporcionando o afloramento das rochas sedimentares e um aumento da vulnerabilidade do SAG.

As hipóteses levantadas para tais problemas, tendo em vista que a região em sua maioria tem o SAG confinado pelos derrames vulcânicos, estão relacionadas ao fato que nas áreas onde há ausência de rochas vulcânicas, bem como onde há espessuras menores dessas rochas, e uma maior quantidade de estruturas

tectônicas haverá um aumento do grau de vulnerabilidade. O risco está associado as fontes de contaminação, mas os poços que interligam os aquíferos também tem influência no aumento desse risco.

1.2 Justificativa

A justificativa do projeto se dá pela escassez de estudos sobre a vulnerabilidade e risco de contaminação de aquíferos na região de ocorrência do SAG que apresentam coberturas variáveis de rochas vulcânicas.

A crescente demanda por água subterrânea para diversos fins e o conseqüente aumento no número de perfurações de poços, especialmente perfurações fora dos padrões exigidos por lei, podem se tornar vetores de contaminação e comprometer a qualidade dos mesmos.

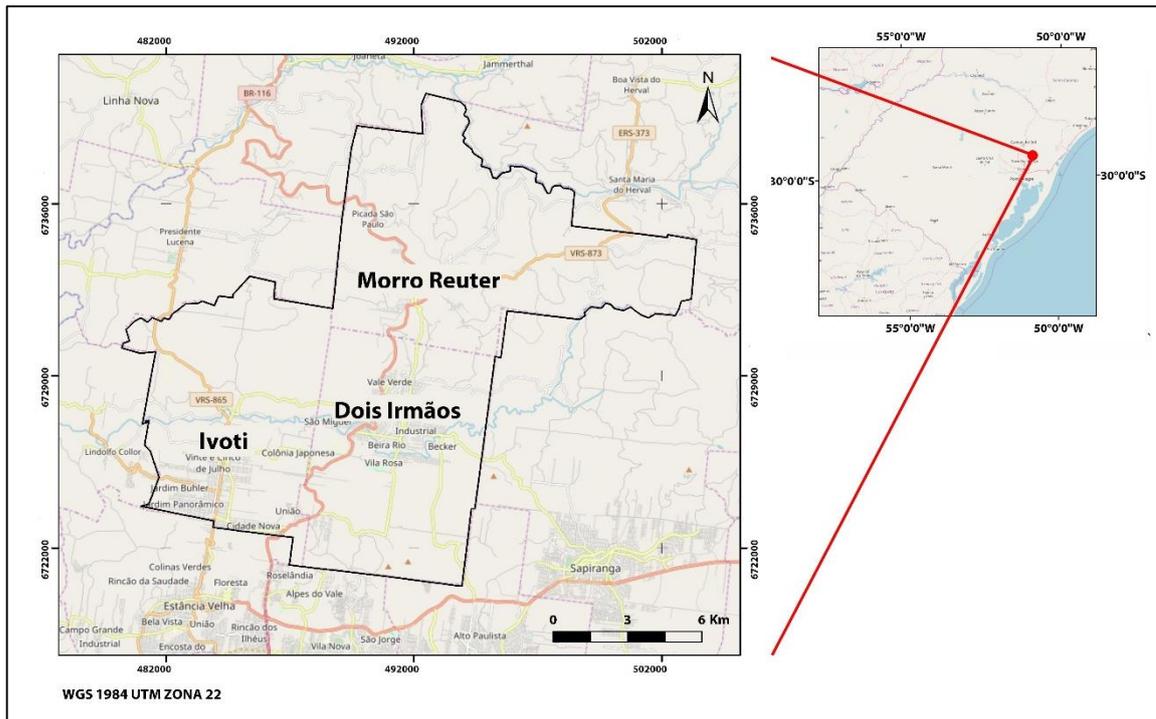
Estudos nessa área podem ser utilizados por órgãos gestores de recursos hídricos, bem como autoridades municipais. Deste modo, ações preventivas podem ser tomadas com objetivo de evitar contaminações futuras.

1.3 Localização da Área de Estudo

A área de estudo abrange os municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, situada na região Metropolitana de Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1).

Sua área apresenta na totalidade 216,36 km² e uma população somada de 53 122 habitantes, sendo 19.874 em Ivoti, 27.572 em Dois Irmãos e 5.676 em Morro Reuter, segundo o ultimo Censo do IBGE de 2010.

Figura 1 – Localização dos municípios de estudo, estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

2 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é realizar o estudo da vulnerabilidade natural e do risco potencial de contaminação do Sistema Aquífero Guarani (SAG) na região abrangida pelos municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter.

Objetivos Específicos:

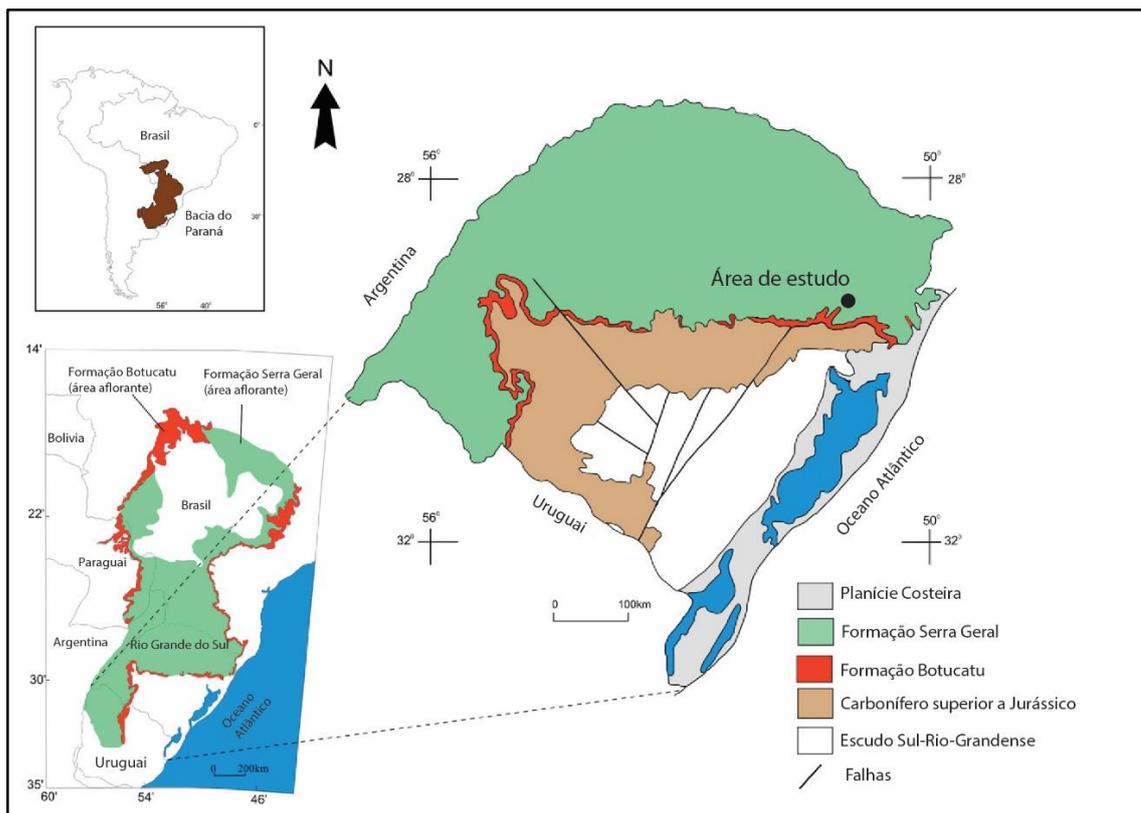
- Caracterizar o Sistema Aquífero Guarani e Serra Geral na região de estudo, bem como as unidades geológicas que ocorrem na região;
- Avaliar a captação de água subterrânea do SAG e SASG na área de estudo;
- Identificar e classificar as fontes de contaminação existentes na área de estudo;
- Avaliar o risco potencial de contaminação do SAG com base nas fontes potenciais de contaminação, vulnerabilidade, espessura do pacote de rochas vulcânicas e pela situação da captação da água subterrânea na região de estudo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Contexto Geológico

A área localiza-se na porção Sul da Bacia do Paraná (Figura 2), caracterizada por uma bacia intracratônica, amplamente distribuída no continente sul-americano, a qual estende-se em porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, somando uma área de aproximadamente 1,5 milhão de quilômetros quadrados (MILANI et al., 2007).

Figura 2 – Localização da área dentro da Bacia do Paraná, municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, RS.



Fonte: modificado de Weichel et al., 2008

O registro estratigráfico da Bacia do Paraná compreende um pacote sedimentar-magmático com uma espessura total máxima em torno dos 7 km, sendo que sua implantação deu-se na forma de depressões alongadas na direção NE-SW, segundo a trama do substrato pré-cambriano (MILANI, 1997).

Milani (1997) descreveu seis unidades de ampla escala ou Superssequências na Bacia do Paraná, cada um desses intervalos temporais separados por superfícies de discordância de caráter inter-regional: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). Na Sequência Gondwana III posicionam os sedimentitos eólicos da Formação Botucatu e os magmatitos da Formação Serra Geral (Milani, 1997).

A região de estudo é marcada pela ocorrência das unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná, representadas pelos arenitos da Formação Botucatu, pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, ambas pertencentes ao Grupo São Bento (WHITE, 1908), além de arenitos da Formação Piramboia pertencente ao Grupo Passa Dois (WILDNER et al., 2008).

A Formação Botucatu é definida, de modo geral, por arenitos quartzosos finos a grossos de coloração avermelhada, grãos bem arredondados e com alta esfericidade, que exibem estratificação cruzada de médio a grande porte, numa assinatura faciológica característica de um ambiente desértico (WILDNER et al., 2008) com ausência de depósitos de interdunas úmidos (SCHERER, 1998), o que caracterizava um ambiente com condição climática árida intensa.

No Rio Grande do Sul, o contato inferior é marcado por uma discordância erosiva regional, na qual os arenitos recobrem diferentes unidades estratigráficas (Formações Rio do Rasto, Piramboia, Santa Maria, Caturrita e Guará), enquanto o contato superior é concordante com os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral (SCHERER, 1998).

Sobreposta a Formação Botucatu, ocorre a Formação Serra Geral (WHITE, 1908), vulcanismo fissural que ocorreu no Mesozóico, constituindo ampla província magmática que, no conjunto de todas as áreas por ela compreendidas, define a maior manifestação ígnea não-oceânica durante o Fanerozóico. (MILANI et al., 2007). A Formação Serra Geral pertence a Província Basáltica Continental Paraná-Etendeka, o qual é tida como responsável pela fragmentação do supercontinente Gondwana e consequente abertura do Oceano Atlântico durante o Cretáceo Inferior (WAICHEL; LIMA; SOMMER, 2006).

A Formação Serra Geral é definida por derrames de basaltos, basalto andesitos, riolitos e riolito, de filiação toleítica, onde intercalam-se arenitos intertrápicos da Fm. Botucatu na base e litarenitos e sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo da sequência (WILDNER et al., 2008). O vulcanismo apresenta idades entre 138 e 128 Ma, datadas a partir do método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (TURNER et al. 1994).

De maneira geral, as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral recobrem os arenitos eólicos da Formação Botucatu, mas também são encontradas em contato direto com rochas permo-triássicas da Bacia do Paraná e até mesmo com o embasamento cristalino, nas bordas da bacia (ROISENBERG; VIERO, 2000).

A Formação Serra Geral é uma sequência de rochas vulcânicas com uma espessura máxima de 1700m, composta em sua maioria por toleítos basaltos e subordinadamente riolitos e riolitos na parte superior dos derrames (WILDNER et al., 2008).

Os basaltos são divididos em dois grupos com base no conteúdo de Ti, basaltos de alto Ti - HTi ($\text{TiO}_2 \geq 2\%$), localizados, preferencialmente no norte da bacia e basaltos de baixo Ti - LTi ($\text{TiO}_2 < 2\%$), posicionados na porção sul da bacia (MANTOVANI et al. 1985).

Lavas basálticas cobriram o deserto Botucatu, preservando, desta forma, a morfologia das dunas eólicas (SCHERER, 1998). Observa-se também depósitos eólicos descontínuos intercalados com fluxos de lava nas porções inferior e média da Formação Serra Geral, indicando a continuidade das condições desérticas durante o evento magmático (WAICHEL; SCHERER; FRANK, 2008). Uma referência cronológica a esta unidade é dada a partir da contemporaneidade do final da sedimentação do deserto Botucatu com o início do vulcanismo (SCHERER, 1998), em cerca de 133 Ma (TURNER et al., 1994).

Segundo Waichel, Scherer e Frank (2008), as interações entre lava e sedimento ocorreram na Província Ígnea Paraná-Etendeka e podem ser observadas na América do Sul e África, gerando uma variedade de características de superfície, estruturas, brechas e peperitos.

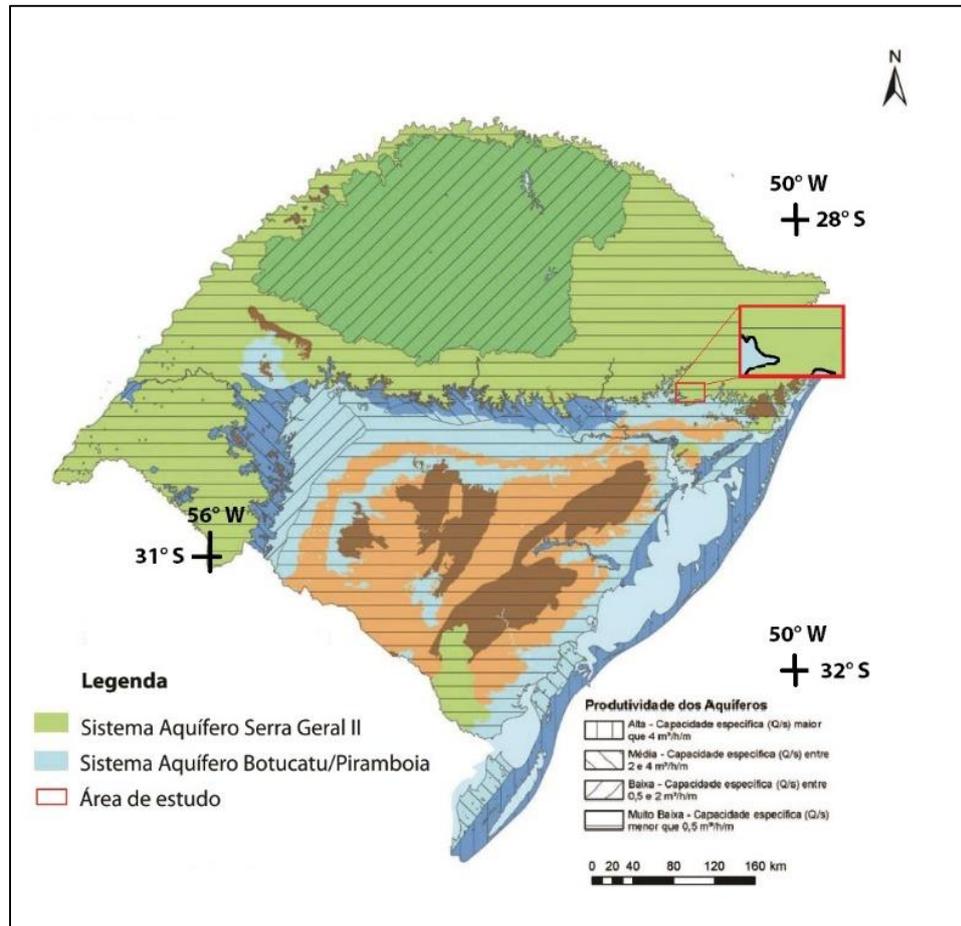
Na região de estudo, segundo o Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (WILDNER et al., 2008) ocorrem a Fácies Caxias, Fácies Gramado, ambas pertencentes à Formação Serra Geral e arenitos eólicos da Formação Botucatu. A Fácies Caxias é caracterizada por rochas ácidas e as estruturas dos derrames são caracterizadas por amplas zonas de disjunção horizontal no meio dos derrames. O centro e o topo são caracterizados por pequenas camadas de rochas com vesículas e amígdalas e a base pelos vitrófiros. Observa-se também estruturas de fluxo laminar, dobras de fluxo e autobrechas (WILDNER et al., 2008). As rochas da Fácies Gramado são caracterizadas por derrames basálticos maciços, contendo disjunções esferoidais, textura pilotaxítica além de zonas vesiculares (WILDNER et al., 2008).

Heine (2008) descreve no município de Ivoti a ocorrência de rochas da Formação Piramboia (Permiano), caracterizadas na região por arenitos finos, argilosos e micáceos, siltsos com estratificação cruzada e laminação plano paralela, cuja gênese é atribuída a um sistema continental eólico (WILDNER et al., 2008).

3.2 Hidrogeologia Regional

Segundo a Figura 3 do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (MACHADO; DE FREITAS, 2005), na região que abrange os municípios de estudo ocorrem o Sistema Aquífero Serra Geral II, a qual neste projeto será abordado como Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e do Sistema Aquífero Botucatu/Piramboia, o qual será tratado como Sistema Aquífero Guarani (SAG).

Figura 3 – Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, em destaque localização da área de estudo.

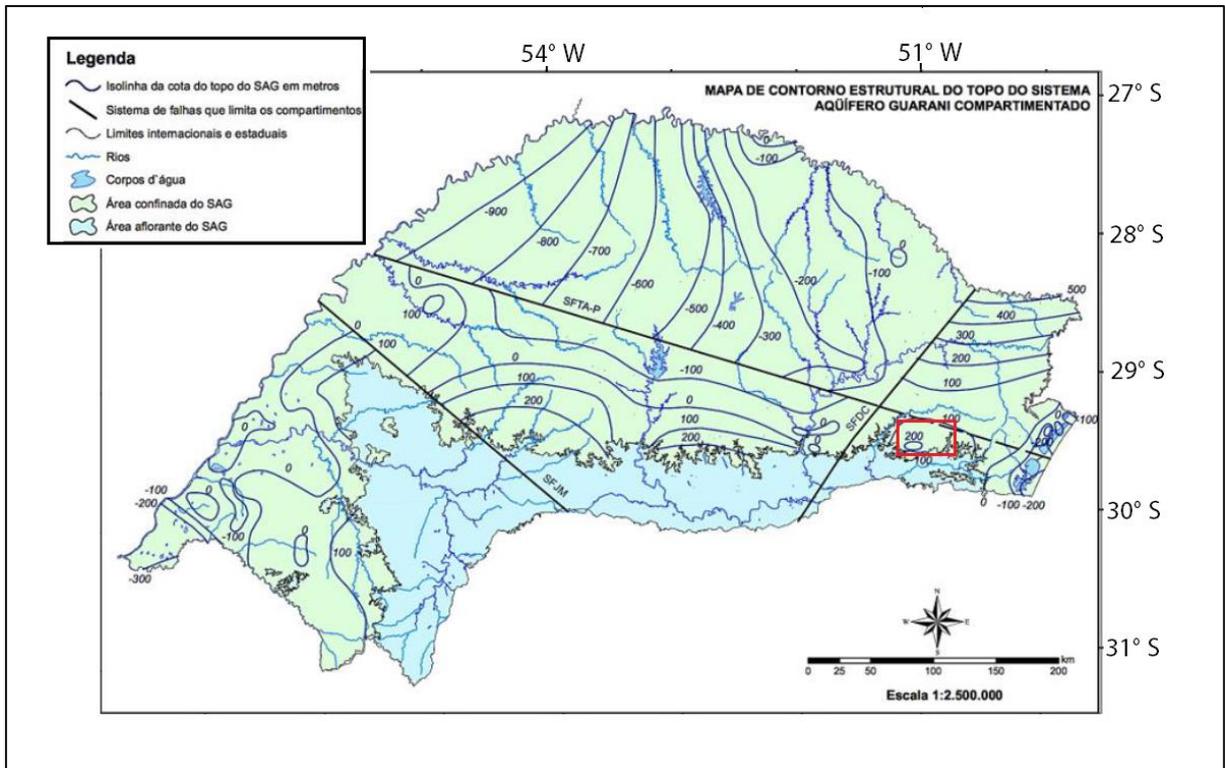


Fonte: modificado de CPRM, 2010

3.2.1 Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani, conforme Machado (2005), caracteriza-se no Rio Grande do Sul por quatro compartimentos estruturais: Leste, Oeste, Central e Norte-Alto Uruguai. Sua área aflorante no RS corresponde à depressão central do estado, entre os municípios de Santana do Livramento a oeste e Santo Antônio da Patrulha a leste, enquanto a área confinada pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral ocorre desde a região da Cuesta do Haedo na fronteira oeste até a região do litoral norte (Figura 4). Ocorrem em ambas as zonas, aflorante e não-aflorante, as unidades hidroestratigráficas Botucatu, Guará, Arenito Mata, Caturrita, Alemoa, Passo das Tropas, Sanga do Cabral e Pirambóia (MACHADO, 2005).

Figura 4 – Mapa de Zonas Confinadas e Aflorantes do SAG no estado do Rio Grande do Sul, em destaque localização da área de estudo no compartimento Leste.



Fonte: Machado, 2005

O SAG é definido pela deposição de espessas seqüências sedimentares continentais clásticas de origem eólica e subordinadamente fluvial, e por tais características, qualifica-se como o melhor potencial no estado do Rio Grande do Sul (LISBOA et al., 2004). Por possuírem maior concentração de sedimentos arenosos que aumentam a eficiência hidráulica, as formações Piramboia e Botucatu representam os melhores aquíferos (FREITAS; CAYE; MACHADO, 2003).

Segundo Machado (2005), para a Zona Aflorante, a unidade hidroestratigráfica Botucatu apresenta área de afloramento e espessura muito restrita na fronteira oeste do Estado, e os poços que a captam são sempre menos produtivos quando comparados com os poços em que os arenitos estão confinados. Machado (2005) também descreve a unidade hidroestratigráfica Guará como sendo a mais importante, com capacidades específicas médias entre 2 e 4 m³/h/m e vazões que alcançam mais de 100 m³/h. A unidade hidroestratigráfica Piramboia apresenta grandes variações de produtividade entre as porções oeste e leste do Estado. No

oeste do Estado as vazões variam entre 20 e 100 m³/h, no centro raramente ultrapassam a 3 m³/h e no Leste as vazões raramente excedem a 10 m³/h.

Na Zona Confinada, principal ocorrência na área de estudo, a unidade hidroestratigráfica Botucatu é a que apresenta maior distribuição, sendo também o principal aquífero captado pelos poços profundos. Nela podem ser obtidas vazões superiores a 500 m³/h. Comumente na fronteira oeste do Estado as capacidades específicas variam de 5 a 10 m³/h/m. Em outras regiões as capacidades específicas variam entre 0,5 e 2 m³/h/m (MACHADO, 2005).

O SAG ocupa aproximadamente 55% da área do Rio Grande do Sul e representa a principal reserva de água subterrânea do estado (MACHADO, 2005). Na região de estudo a água subterrânea é uma importante fonte para abastecimento e desenvolvimento de atividades industriais, comerciais, agrícolas e particulares. No entanto, o uso não sustentável desse recurso e sua exploração demasiada podem ter influência, por exemplo, no balanço hídrico e no rebaixamento dos níveis dos aquíferos.

De Matos, Reginato e Athayde (2018) avaliaram a compartimentação do SAG com base no estudo dos lineamentos morfoestruturais na região da Escarpa da Serra Geral do nordeste do RS. Na área de estudo, a cota do topo do SAG tende a acompanhar o relevo da região, enquanto as espessuras das rochas vulcânicas apresentam grande variabilidade. As espessuras médias se encontram próximas dos 80 metros (entre 20 metros e 360 metros), o que, em geral, segundo Hindi (2007), proporciona um baixo grau de confinamento ao SAG.

Segundo De Matos, Reginato e Athayde (2018) as águas deste estudo regional foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e bicarbonatadas sódicas e assim interpretadas como resultado do grau de confinamento do aquífero em cada compartimento.

Heine (2008) descreve a importância na gestão dos recursos subterrâneos no município de Ivoti decorrente da depleção dos níveis estáticos observados do ano de 1993 até 2003. O rebaixamento dos níveis de água chama atenção para possíveis casos de aumento da vulnerabilidade socioambiental, inversão do gradiente hidráulico, com eminentes riscos a degradação da qualidade da água subterrânea.

3.2.2 Sistema Aquífero Serra Geral

O Sistema Aquífero Serra Geral é de grande importância para o abastecimento de água subterrânea em diversas localidades do sul do Brasil. Segundo Reginato (2003) e Machado (2005) o SASG é caracterizado por aquíferos fraturados que estão associados a diferentes estruturas presentes nas rochas vulcânicas que formam os derrames da Bacia do Paraná, a captação de suas zonas aquíferas está relacionada a descontinuidades físicas da rocha como fraturas, falhas geológicas e superfícies interderrames. Tais características, classifica-o como um reservatório heterogêneo e anisotrópico (REBOUÇAS, 1978).

3.3 Vulnerabilidade de Aquíferos

O conceito de vulnerabilidade do aquífero à contaminação foi descrito por Foster e Hirata (1988) como o conjunto de características naturais dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, o que determina sua sensibilidade a sofrer os efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície, desta forma, apresentando ou não o risco a contaminação.

Segundo Foster et al. (2006), seria então uma função da: acessibilidade ao aquífero saturado, no sentido hidráulico, à penetração dos contaminantes e capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da zona saturada. Trata-se de uma propriedade inerente ao sistema aquífero em questão, essencialmente dependente de suas características físicas e hidrogeológicas.

Também conforme Foster et al. (2006), a carga poluidora pode ser controlada ou modificada, já a vulnerabilidade natural caracteriza uma propriedade intrínseca do aquífero. Desta forma, a maneira mais efetiva de garantir a qualidade das águas subterrâneas se dá pelo planejamento da distribuição espacial das atividades humanas em superfície em função da vulnerabilidade de cada local.

Os mapas de vulnerabilidade tem como objetivo avaliar o perigo de contaminação da água subterrânea associado às descargas de substâncias que

ocorrem na superfície do terreno em fase líquida. Portanto, não devem ser usados, a rigor, para avaliar o perigo de, por exemplo, contaminantes despejados abaixo do subsolo (como pode ocorrer em caso de vazamentos de grandes tanques de armazenagem subterrâneos, de lixiviação de aterros de resíduos sólidos sob a camada de solo e com retirada da zona vadosa, de descargas efluentes em pedreiras e minerações etc.), além do derramamento de solventes orgânicos sintéticos imiscíveis (DNAPLs). Os casos acima representam alto risco de contaminação, independente da classe de vulnerabilidade do aquífero em questão.

Na bibliografia encontram-se diversos métodos para estudos de vulnerabilidade, separados aqui em três grupos (VRBA; WITKOWSKI; KOWALCZYK, 2007):

- Ambientes hidrogeológicos: através da avaliação da vulnerabilidade, em termos qualitativos, nas características gerais do ambiente, usando mapas temáticos.

- Modelos análogos: utilizam expressões matemáticas para os parâmetros essenciais (como tempo de trânsito médio na zona vadosa) como indicadores do índice de vulnerabilidade.

- Sistemas paramétricos: usam parâmetros selecionados como indicadores de vulnerabilidade e aplicam seu espectro de valores e interações para produzir alguma forma de índice de vulnerabilidade relativo ou absoluto. Exemplos desse método incluem o DRASTIC de Aller et al. (1987) e GOD de Foster e Hirata (1988). Todos os métodos buscam representar de maneira simples processos complexos com distintos parâmetros através de um julgamento subjetivo (VRBA; WITKOWSKI; KOWALCZYK, 2007).

Segundo Foster et al. (2006), o método GOD de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação tornou-se popular na América Latina e no Caribe durante a década de 1990, devido a sua simplicidade conceitual e de aplicação.

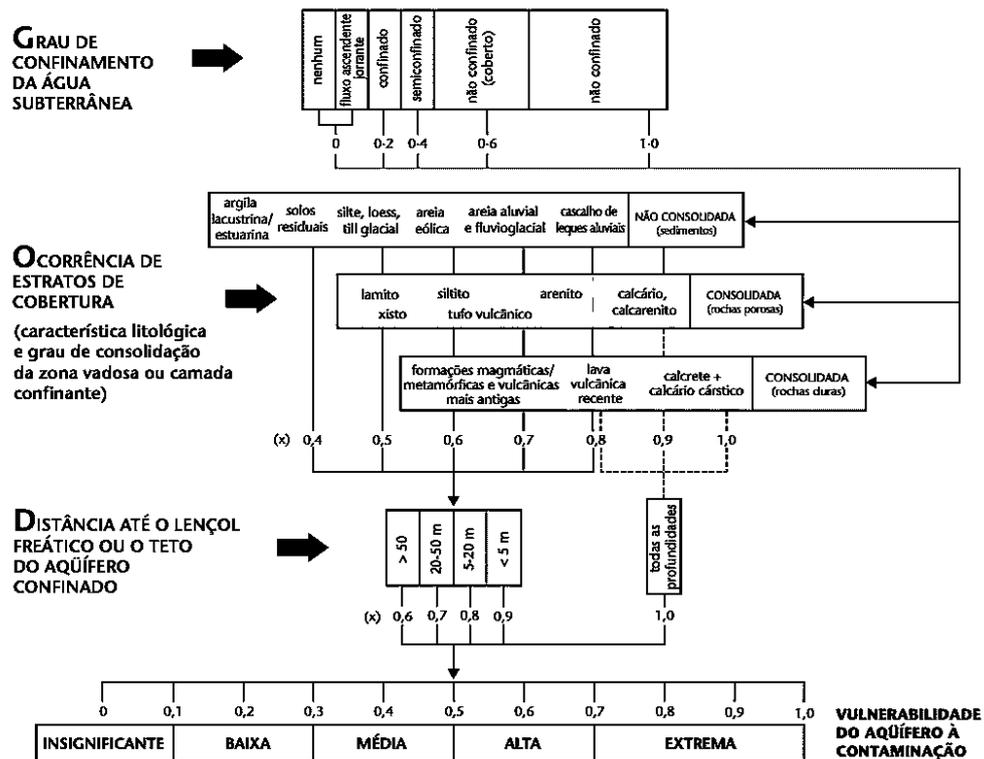
Metodologias mais robustas, como no caso do DRASTIC (ALLER et al., 1987), o qual utiliza-se de sete parâmetros ponderados para a definição da vulnerabilidade: distância até a água subterrânea, taxas de recarga natural, meio aquífero, solo, aspecto topográfico, impacto (efeito) da zona vadosa e condutividade

hidráulica da zona saturada, podem causar índices de vulnerabilidade vagos à medida que ocorre a interação de um excesso de parâmetros, alguns dos quais apresentam forte correlação e sobreposição.

Sugundo o Guia Técnico de Proteção da qualidade da água subterrânea de Foster et al. (2006), os mapas de vulnerabilidade de aquíferos tem como objetivo fornecer uma primeira indicação geral do perigo potencial de contaminação da água subterrânea. Os mapas representam um nível de simplificação necessário de variações geológicas e processos hidrogeológicos, os quais são naturalmente complexos e, portanto, questões específicas precisam ser respondidas por investigação de detalhe no local.

O método escolhido para o estudo na região dos municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter foi o índice de vulnerabilidade GOD (FOSTER; HIRATA, 1988) por ser o mais prático e o mais adequado à qualidade e quantidade dos dados disponíveis. O método GOD (Figura 5) analisa três parâmetros: G (Groundwater), O (Overall), D (Depth), que multiplicados, geram um índice entre 0 e 1, representativo da vulnerabilidade do aquífero.

Figura 5 – Fluxograma de decisão para índice GOD



Fonte: FOSTER et al., 2006

Alguns estudos foram aplicados dentro do SAG para a análise da vulnerabilidade. Nos municípios de Portão e Estancia Velha/RS, o SAG é representado pelas Formações Piramboia e Botucatu, sendo parcialmente recoberto pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. Estudos a partir do método DRASTIC (ALLER et al., 1987) obtiveram 25% da área com alto grau de vulnerabilidade para contaminação de aquíferos, 72,4% com grau intermediário e 2,6% com grau baixo (MURADAS, 2011).

Pinheiro et al. (2015) realizaram estudos de vulnerabilidade a partir do método GOD para a zona aflorante do SAG no município de Santa Maria-RS, foram utilizados 36 poços tubulares para análise dos dados sendo que 30% dos poços foram caracterizados como vulnerabilidade alta ou moderada e o restante pertencente a classe de vulnerabilidade insignificante.

O relatório final do projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul ((MACHADO; DE FREITAS, 2005), escala 1:750.000, relata sobre os aspectos da vulnerabilidade natural dos aquíferos no Estado. Segundo o projeto, existe uma restrição aos estudos a respeito da vulnerabilidade quando se trata do mapeamento de grandes áreas, pois, neste caso, torna-se mais importante as condições em que se encontram os aquíferos de menor profundidade. Os dados hidrogeológicos relevantes para a cartografia hidrogeológica, como níveis piezométricos e localização das várias camadas aquíferas, especialmente as confinadas, são de menor importância para os cálculos dos índices pelos métodos tradicionais.

No entanto, realizou-se uma classificação genérica quanto a litologia aproximada e prováveis valores qualitativos de porosidade e permeabilidade com o objetivo de descrever a probabilidade de contaminação dos aquíferos.

Os aquíferos porosos, como o Sistema Aquífero Botucatu/Piramboia, objeto de estudo, além dos sistemas Botucatu/Guará II, Sanga do Cabral/Pirambóia, Palermo/Rio Bonito Quaternário Costeiro II são caracterizados por litologias arenosas finas siltosas e argilosas intercaladas, com menores valores de porosidade, permeabilidade e vazão nos poços. Estes sistemas representam uma vulnerabilidade média à contaminação em suas porções mais superficiais (MACHADO; DE FREITAS, 2005).

Os aquíferos fraturados, como o caso do Sistema Aquífero Serra Geral, constituído por lavas ácidas e básicas, apresentam porosidade predominantemente por fraturas. Esta característica confere ao sistema uma vulnerabilidade alta a média à contaminação e por consequência, nas localidades onde existem mais fraturas determina-se um maior grau de vulnerabilidade a estes aquíferos (MACHADO; DE FREITAS, 2005).

3.4 Avaliação da Carga Contaminante e Risco Potencial

Uma importante etapa dos estudos de vulnerabilidade de aquífero e risco à contaminação se dá através do levantamento da carga contaminante de subsolo (FOSTER; HIRATA, 1988).

Segundo Feitosa e Filho (1977), a poluição pode ser definida como alteração artificial da qualidade físico-química da água, suficiente para superar os limites ou padrões pré-estabelecidos para determinado fim. Segundo diferentes pontos de vista, a água pode ser considerada poluída para um fim e para outro não. A água contaminada é uma água que possui organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas em teores prejudiciais a saúde humana.

Foster et. al (2006) definem que o perigo à contaminação é resultado da soma entre o potencial contaminante e a vulnerabilidade natural do aquífero, ou seja, trata-se da análise de sobreposição dos resultados obtidos por índices de vulnerabilidade e análise de cargas contaminantes.

Inúmeras atividades humanas podem gerar carga contaminante significativa, ainda que, de maneira geral, apenas alguns tipos de atividade sejam responsáveis pela maioria dos casos graves de contaminação da água subterrânea (FOSTER et al., 2006).

As fontes de contaminação da água subterrânea podem ser classificadas como difusas e pontuais (FOSTER E HIRATA, 1988). Fontes de contaminação difusas não geram plumas de contaminação claramente definidas, nesse caso a fonte se estende mesmo com baixa concentração, sobre uma grande superfície, como é o caso das áreas de irrigação ou áreas urbanas. Fontes de contaminação pontuais ocorrem quando a fonte é concentrada numa pequena superfície, essas fontes geralmente produzem plumas claramente definidas e mais concentradas, o que facilita sua identificação. Porém, quando as atividades poluentes de origem pontual são pequenas e múltiplas, podem representar, no final, uma fonte basicamente difusa no que diz respeito à identificação e ao controle.

O método a ser empregado no projeto aqui apresentado é o método POSH de Foster et al. (2006), o qual avalia o potencial de contaminação de um aquífero (Figuras 6 e 7) classificando as fontes em três níveis qualitativos (reduzida, moderada e elevada). Esta classificação leva em consideração o tipo de atividade, sua capacidade geradora de contaminante e a carga hidráulica associada.

Figura 6 – Fontes de contaminação difusas segundo o sistema POSH.

POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE DE SUBSOLO	FONTE DE CONTAMINAÇÃO	
	saneamento <i>in situ</i>	práticas agrícolas
Elevado	cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha	culturas comerciais intensivas, geralmente monoculturas em solos bem drenados, em climas úmidos ou com baixa eficiência de irrigação, pasto intensivo em campos intensamente fertilizados
Moderado	intermediário entre elevado e reduzido	
Reduzido	cobertura da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 550 pessoas/ha	rotação das culturas, terra para pasto extensivo, sistemas de cultivo ecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semi-áridas

Fonte: Foster et al., 2006.

Figura 7 – Fontes de contaminação pontuais segundo o sistema POSH.

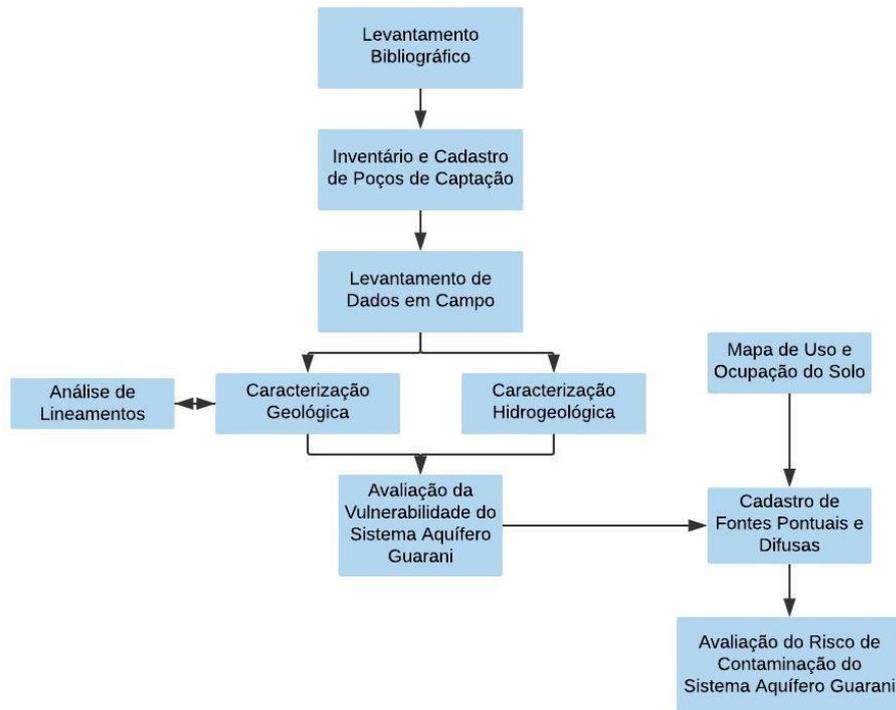
POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				
	deposição de resíduos sólidos	áreas industriais*	lagos de águas residuais	outras (urbanas)	mineração e exploração de petróleo
Elevado	resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos	todos os resíduos industriais tipo 3, qualquer efluente (exceto esgoto residencial) se a área >5 ha		operações em campos de petróleo, mineração de metais
Moderado	chuva >500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1, ou todos os demais casos	indústria tipo 2	esgoto residencial se a 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 materiais inertes
Reduzido	chuva <500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1	indústria tipo 1	águas residuais residenciais, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração de não metálicos	cemitérios	
<p>* solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria</p> <p>Indústrias Tipo 1: madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos</p> <p>Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão</p> <p>Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal</p>					

Fonte: Foster et al., 2006.

4 METODOLOGIA

Para a realização do projeto, o mesmo foi dividido nas seguintes etapas: levantamento bibliográfico; inventário e cadastramento de pontos de captação; caracterização geológica e estrutural; caracterização hidrogeológica; avaliação da vulnerabilidade do Sistema Aquífero Guarani - SAG e avaliação do risco à contaminação do SAG. A sequência de trabalho foi simplificada e representada pelo fluxograma da figura 8.

Figura 8 – Simplificação da metodologia de trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico realizou-se através da coleta de informações da geologia e hidrogeologia do Rio Grande do Sul e municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, que foram publicadas em artigos, trabalhos científicos, teses, dissertações, projetos, relatórios de estudos, etc.

4.2 Inventário e Cadastramento de Pontos de Captação

Na etapa de inventário e cadastramento de pontos de captação foi feita a identificação e coleta de dados de poços tubulares existentes na região de estudo. Esse levantamento foi realizado através de consulta ao banco de dados do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS, da Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN e pela empresa HIDROGEO perfurações, além de poços registrados durante o trabalho de campo.

Foram identificados dados de 143 poços tubulares, sendo 36 em Dois Irmãos, 76 em Ivoti e 31 em Morro Reuter. Durante esta etapa foi elaborado um banco de dados contendo informações sobre os poços existentes na região e dados sobre a localização (coordenadas UTM), características construtivas, geológicas (perfil geológico dos poços) e hidrogeológicas (parâmetros hidrodinâmicos) do SASG e SAG. Os dados obtidos durante esta etapa foram organizados e interpretados em planilhas Microsoft Office Excel.

4.3 Caracterização Geológica e Estrutural

A caracterização geológica regional se deu através das interpretações do mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul (WILDNER et al., 2008), em escala 1:750.000 e complementada através do mapeamento no município de Ivoti realizado por Heine (2008).

Durante esta etapa realizou-se também o levantamento de dados em campo, visitando-se afloramentos com o objetivo de identificar os diferentes tipos litológicos, bem como a medição de estruturas associadas.

Através da análise de perfis geológicos dos poços tubulares disponibilizados no banco de dados, foram identificadas as diferentes litologias que ocorrem em profundidade, na região de estudo. Os perfis dos poços foram utilizados na elaboração de uma seção geológica para avaliação geométrica das diferentes

camadas de rochas, bem como para avaliação da profundidade de ocorrência das rochas sedimentares (Fm. Botucatu) e espessura do pacote de rochas vulcânicas.

A caracterização estrutural foi realizada com objetivo de identificar a ocorrência dos lineamentos, os quais são responsáveis pelo condicionamento dos aquíferos fraturados, além de conferir um maior grau de vulnerabilidade aos aquíferos associados. Para traçar os lineamentos, utilizou-se modelos digitais de elevação, do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), na escala 1:100.000, com resolução de 90 metros e obtidos a partir do *software Global Mapper*. Foi condicionada uma iluminação nas direções NW e NE, de forma a facilitar a visualização e interpretação das estruturas. Posteriormente, as imagens foram extraídas para o *software ArcGIS 10.4*, onde foram traçados os lineamentos.

Para a extração das informações dos lineamentos traçados foi utilizada a ferramenta *AzimuthFinder*, desenvolvida por Queiroz, Salamuni e Nascimento (2014), que serviram de base para a elaboração dos diagramas de roseta com o uso do *software Stereo32*, além da avaliação do comprimento dos lineamentos. A partir da interpretação dos diagramas, foram feitas as análises das principais orientações das estruturas.

4.4 Caracterização Hidrogeológica

A caracterização hidrogeológica regional foi realizada com base nos dados obtidos do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (MACHADO; DE FREITAS, 2005) e de estudos que foram publicados em artigos científicos, teses ou relatórios.

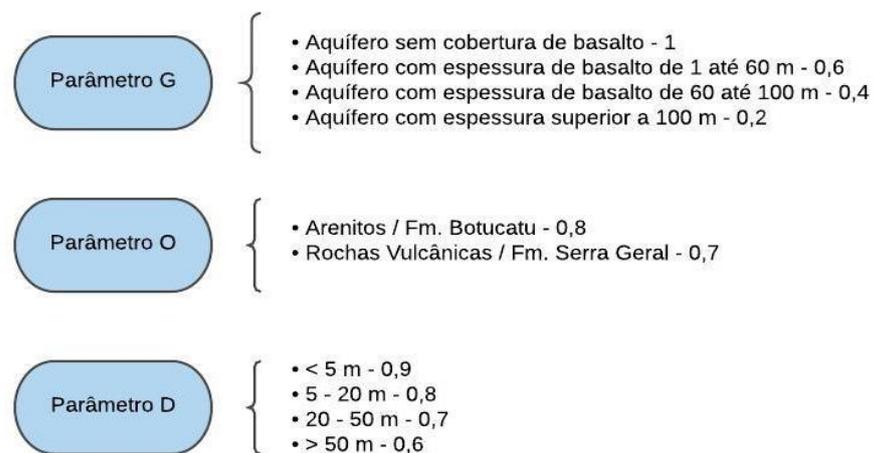
Para avaliação da hidrogeologia foi utilizado o banco de dados dos pontos de captação. Foram feitas análises estatísticas do Sistema Aquífero Serra Geral e Guarani, além dos poços com captação em ambos os sistemas. Avaliaram-se os diferentes parâmetros: nível estático, vazão, entradas de água, espessuras de rochas vulcânicas, profundidade dos poços e profundidade de topo do SAG.

4.5 Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Guarani

A avaliação da vulnerabilidade foi realizada através do uso da metodologia GOD (FOSTER; HIRATA, 1988) utilizando se os parâmetros: grau de confinamento do aquífero (G), tipo de ocorrência de estratos de cobertura (O) e distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (D).

A definição dos valores de cada um desses parâmetros para os poços tubulares foi realizada através da interpretação dos dados geológicos e hidrogeológicos disponíveis no banco de dados elaborado durante a execução deste trabalho, nos perfis geológicos dos poços e dados de espessura do pacote de rochas vulcânicas (Figura 9).

Figura 9 – Atribuição de valores para os parâmetros GOD.



Fonte: Modificado de Foster et al. (2006)

A geração dos mapas temáticos de cada um dos parâmetros do GOD, bem como a elaboração do mapa de vulnerabilidade foi realizada com o uso do software *ArcGIS 10.4* através do método de interpolação Inverso do Quadrado da Distância (IQD). O mapa com o índice final GOD, multiplicação dos três parâmetros, foi criado usando a calculadora *Raster* da função Álgebra de Mapas, também do software *ArcGIS 10.4*.

4.6 Avaliação do Risco à Contaminação do SAG

A avaliação do risco à contaminação do SAG foi realizada sobrepondo o dado de vulnerabilidade natural com os dados das potenciais fontes poluidoras, sendo elas difusas e pontuais. Para identificação inicial das fontes de contaminação difusas foi elaborado um mapa de uso e ocupação do solo com base em imagens do satélite *RapidEye*, com resolução de 5 metros, disponibilizadas através do site *planet.com*. O mapa de cobertura do solo foi definido pelas classes: área urbana, agricultura/campo/pecuária, vegetação arbórea, solo exposto e corpos d'água. Posteriormente, foi elaborada as assinaturas espectrais utilizando amostras em áreas identificadas por análise visual. Após, foi utilizado o método da máxima verossimilhança para elaborar a classificação automática da área. Com isso, foi possível ter um panorama da cobertura e uso do solo, o que auxiliou na determinação das fontes.

Dentro das áreas urbanas, as fontes pontuais de contaminação foram identificadas através da análise temporais de imagens (Google Earth e Google Maps), site *wikimapia.com*, levantamento de dados em campo e junto a FEPAM. As fontes foram classificadas, conforme a Figura 10, com relação ao nível de carga contaminante em categorias definidas pela metodologia POSH (FOSTER et al. 2006).

Figura 10 – Classificação das cargas contaminantes.

Potencial de carga contaminante no subsolo	Fontes Pontuais	Fontes Difusas; Saneamento in situ
Elevado	Curtumes, Fábrica de produtos químicos, Matadouros, Depósitos de agrotóxicos, hospitais com procedimentos complexos, remediação de área degradada por resíduo sólido industrial, sistema de tratamento de resíduos oriundos de limpa fossa, etc.	Cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior 100 pessoas/ha
Moderado	Indústria de calçados, aterro de resíduos industriais, Usina de triagem e reciclagem, Postos de combustíveis, Fábrica de móveis com acessórios de metal, Criação de Aves de postura, Incorporação de Resíduo Industrial Classe II A em solo agrícola.	Intermediário entre elevado e reduzido
Reduzido	Micronização, Indústria Alimentícia, Fábrica de móveis artesanais, etc.	Cobertura da rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 550 pessoas/ha

Fonte: modificado de Foster et al., 2006.

5 RESULTADOS

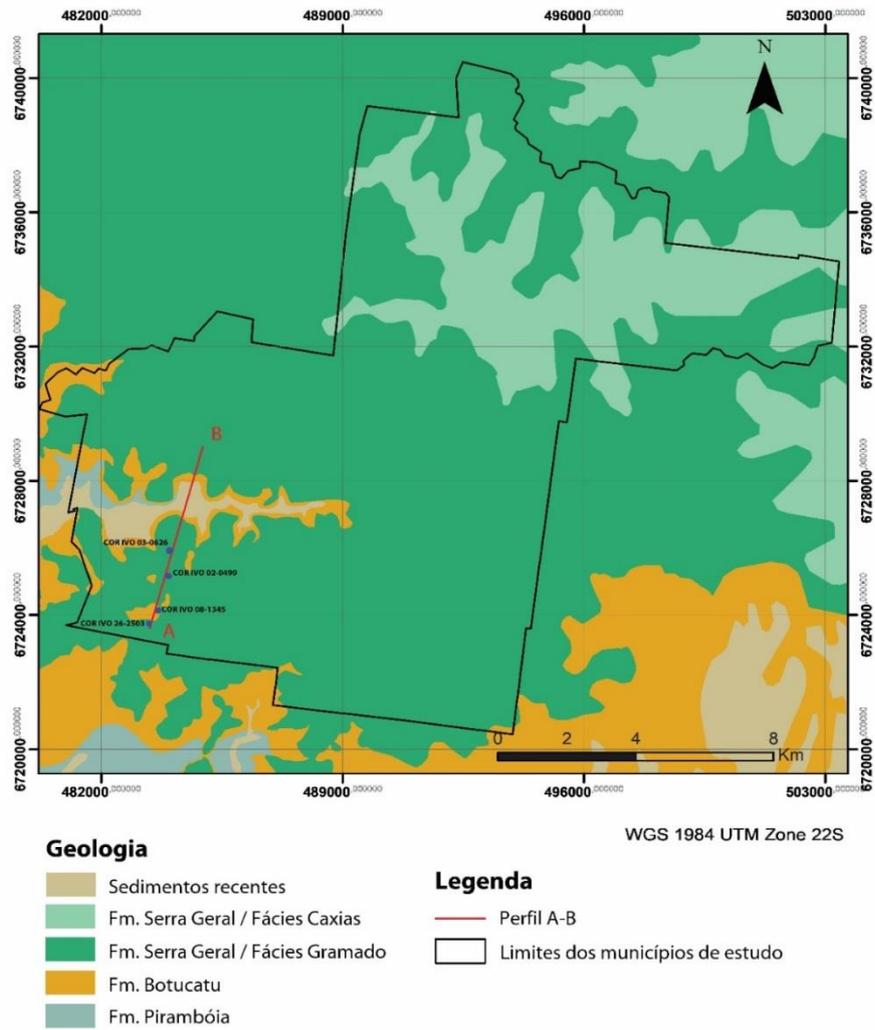
5.1 Caracterização Geológica da Área

Com base no Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (WILDNER et al., 2008), nos dados bibliográficos, dos perfis geológicos de poços tubulares disponibilizados pela CPRM (SIAGAS), pela CORSAN e pela empresa de perfuração HIDROGEO, assim como a etapa de levantamento geológico de campo, foram determinadas a ocorrência de três litologias na região: os arenitos da Formação Piramboia, arenitos pertencentes à Formação Botucatu e rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Os levantamentos de campo desenvolvidos em afloramentos, principalmente cortes de estrada, permitiram realizar o levantamento de dados geológicos e caracterizar as unidades geológicas existentes nos municípios.

Na Figura 11 é apresentado o mapa geológico da região de estudo, destacando-se a ocorrência de regiões aflorantes da Formação Botucatu, região Sudoeste da área de estudo, principalmente no município de Ivoti, os quais foram observados em campo e através dos perfis geológicos dos poços.

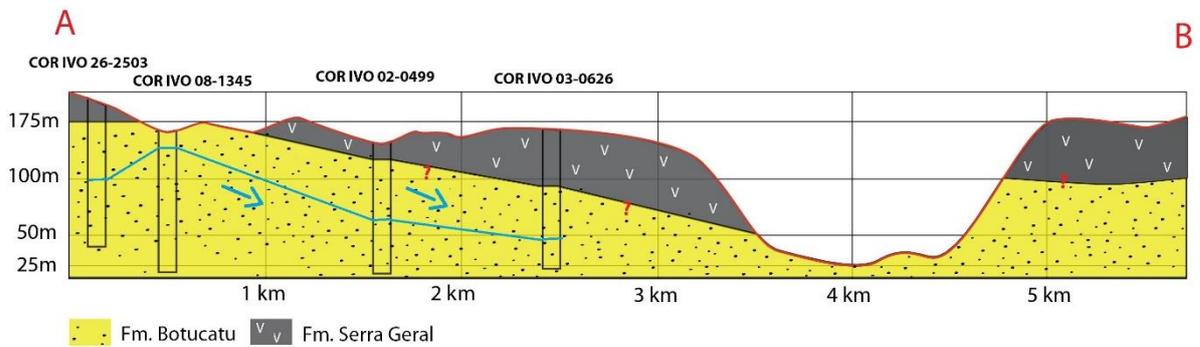
Através dos dados de quatro poços tubulares, elaborou-se um perfil esquemático das Formações Botucatu e Serra Geral, o qual demonstrou a ocorrência de regiões aflorantes dos arenitos da Fm. Botucatu dentro do município de Ivoti (Figura 12). No perfil também é apresentado o nível estático dos poços tubulares, bem como setas para indicação do fluxo principal da água subterrânea.

Figura 11 – Mapa Geológico regional.



Fonte: modificado de CPRM, 2008.

Figura 12 – Perfil esquemático A-B, relação entre as formações Serra Geral e Botucatu.



Fonte: perfil modificado de Google Earth Pro.

5.1.1 Formação Piramboia

A Formação Piramboia é a menos expressiva das unidades dentro da região de estudo, contendo poucos afloramentos, estes localizados na região norte do município de Ivoti. As litologias são representadas por arenitos muito friáveis, finos, mal selecionados, de coloração bege amarelada e com estruturas plano-paralelas. (Figura 13).

Figura 13 – Arenito fino com laminação plano-paralela, Fm. Piramboia, município de Ivoti.



Fonte: Foto tirada pelo autor.

5.1.2 Formação Botucatu

As rochas sedimentares da Fm. Botucatu, na região de estudo, ocorrem principalmente recobertas pelos derrames da Fm. Serra Geral e aflorantes em regiões do município de Ivoti, na drenagem principal, localizada na região norte do município e em janelas estratigráficas dentro da área urbana de Ivoti. As litologias são caracterizadas em afloramentos por arenitos finos a médios, bimodais, avermelhados, com estratificações cruzadas acanaladas de médio a grande porte (Figura 14).

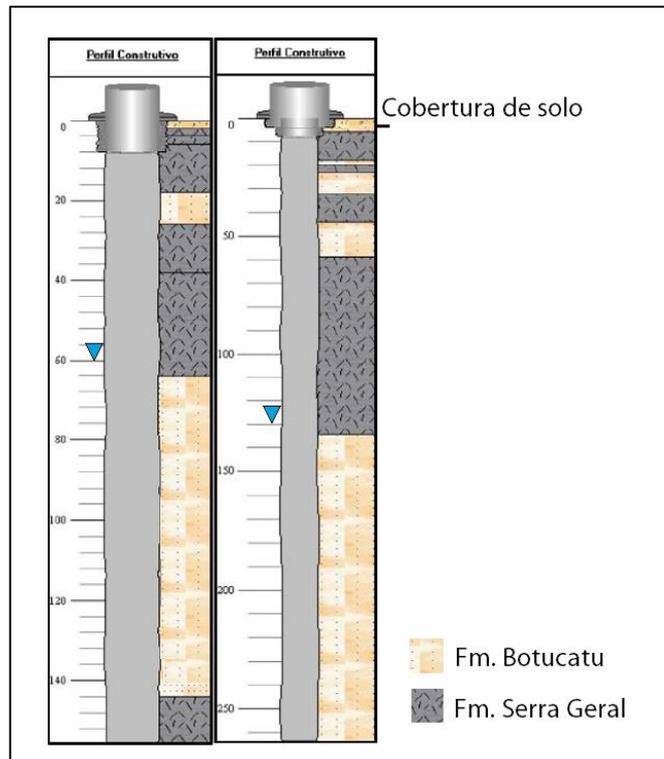
Figura 14 – Afloramentos de arenitos da Fm. Botucatu, município de Ivoti.



Fonte: Foto tirada pelo autor.

Os arenitos da Fm. Botucatu ocorrem intercalados com os derrames da Fm. Serra Geral, conforme descrito anteriormente. Tal ocorrência foi evidenciada tanto nos afloramentos de campo como em dados de perfis em poços tubulares (Figura 15).

Figura 15 – Perfis construtivos de poços em Ivoti (UTM 6724543/483217) a esquerda e Dois Irmãos (UTM 672793/492281) a direita. Ambos com presença de arenitos ocorrendo de forma alternada com as rochas da Fm. Serra Geral.



Fonte: SIAGAS (CPRM).

Através do banco de dados, com os valores das profundidades dos poços tubulares e profundidades do topo do SAG, determinou-se a espessura dos arenitos dentro de cada poço. Embora os poços não atravessassem por completo as rochas da Fm. Botucatu, foi feita a análise dos perfis em 89 poços. Os valores variaram de 12 a 274 metros de espessura de arenitos, com um valor de média de 105 metros e mediana de 91 metros.

5.1.3 Formação Serra Geral

A Fm. Serra Geral encontra-se distribuída predominantemente nos municípios de Dois Irmãos e Morro Reuter e representa a maior área aflorante dentre as unidades observadas na região de estudo. A Fm. Serra Geral é caracterizada nas localidades por derrames basálticos com textura afanítica, coloração cinza, horizontes maciços e vesiculares preenchidos por minerais secundários, conforme Figura 16. De acordo com a Figura 17, os derrames são estruturalmente marcados por disjunções verticais e horizontais.

Figura 16 – Foto em detalhe de basalto amigdalal, Fm. Serra Geral, município de Ivoti.



Fonte: Foto tirada pelo autor.

Figura 17 – Afloramento com disjunções verticais (esquerda) e disjunções horizontais, Fm. Serra Geral, município de Ivoti.



Fonte: Foto tirada pelo autor.

As rochas vulcânicas, por vezes, ocorrem intercaladas com os arenitos da Fm. Botucatu, como por exemplo, na Figura 18, onde foi observado a ocorrência de um arenito intertrápico. A evidência destas feições aponta que o final da sedimentação ocorre de forma contemporânea ao início do vulcanismo da Fm. Serra Geral (Scherer, 1998).

Figura 18 – Feição intertrape, basalto sotoposto ao arenito da Fm. Botucatu.



Fonte: Foto tirada pelo autor.

As superfícies de contato entre os arenitos da Formação Botucatu e as rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral foram observados na maior parte das vezes com o basalto muito alterado, conforme Figura 19.

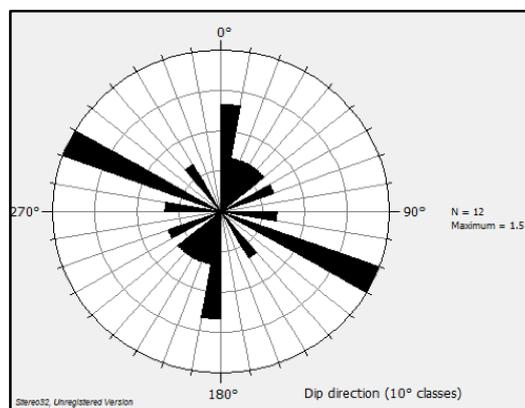
Figura 19 – Contato entre rochas da Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu, basalto extremamente alterado.



Fonte: Foto tirada pelo autor.

As rochas desta unidade são marcadas por estruturas tectônicas as quais foram analisadas tanto em afloramentos (fraturas e zonas de fraturas) como através do levantamento de lineamentos na região. Através da medida de planos de fraturas subverticais realizadas em campo, identificou-se que a maior frequência das medidas está situada em dois quadrantes do diagrama de rosetas (figura 20). No quadrante NW, a maior parte dos planos de fraturas possuem orientações entre o intervalo N60-70W, enquanto no quadrante NE as fraturas predominantes apresentam orientação N0-10E.

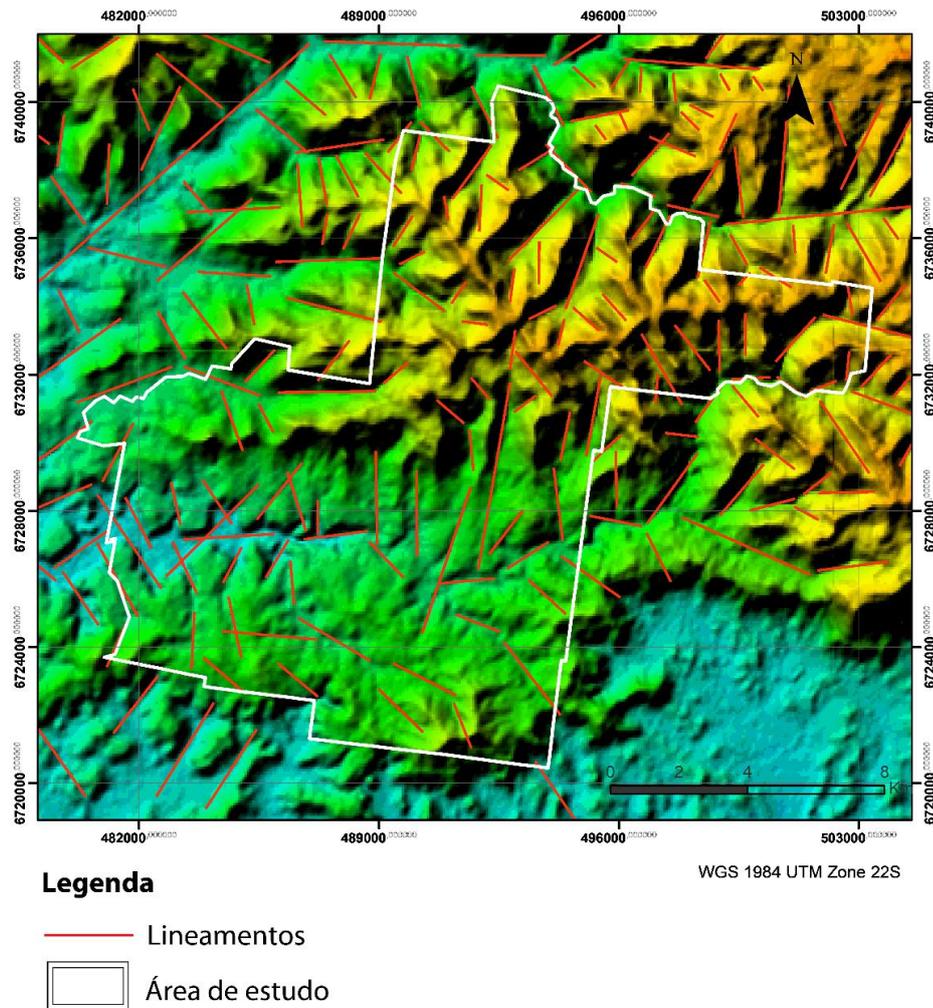
Figura 20 – Diagrama de roseta com as direções de fraturas medidas em campo



Fonte: Diagrama elaborado pelo autor através do software Stereo32.

O levantamento realizado com a interpretação do modelo digital de superfície (MDS), obtido pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), permitiu a identificação de 216 lineamentos (figura 21), a partir dos quais foram extraídos dados de orientação, além do comprimento dos lineamentos.

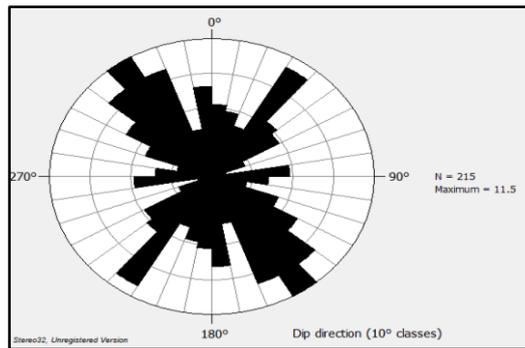
Figura 21 – Mapa de lineamentos traçados com MDS ao fundo, região de estudo.



Fonte: Mapa elaborado pelo autor com base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

Com a análise do diagrama de roseta da Figura 22 constatou-se que os lineamentos da área se concentram principalmente na orientação NW (N20-50W) e orientação NE (N30-40E). Percebe-se que há uma grande frequência de orientações no quadrante NW assim como observado através dos planos de fraturas medidos em afloramentos.

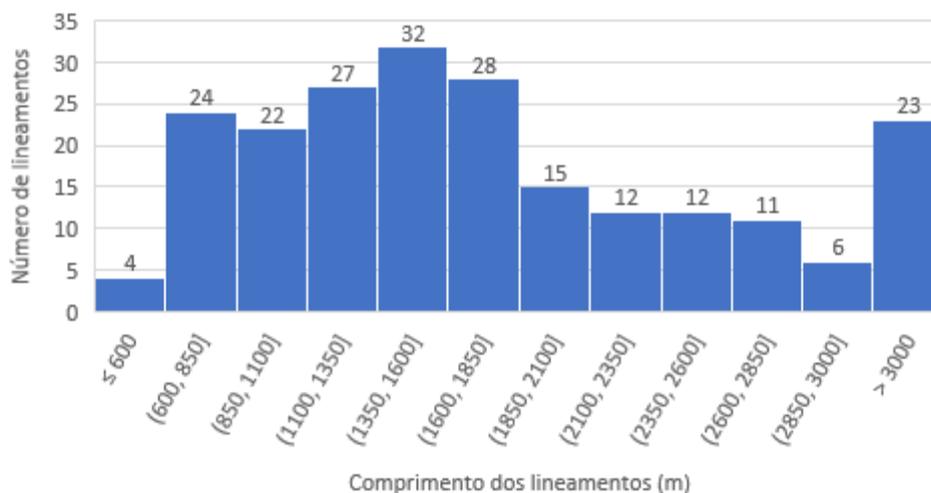
Figura 22 – Diagrama de roseta com as direções dos lineamentos



Fonte: Diagrama elaborado pelo autor através do software Stereo32.

O gráfico da Figura 23 mostra que os intervalos de maior frequência em relação ao comprimento dos lineamentos estão entre 1100 e 1850 metros (40%). Cerca de 10% dos valores se encontram acima de 3000 metros e embora a distribuição de frequência não apresente um intervalo predominante em relação as outras classes, 63% dos lineamentos traçados na área de estudo são menores do que 1850 metros.

Figura 23 – Histograma de frequência do comprimento dos lineamentos traçados.

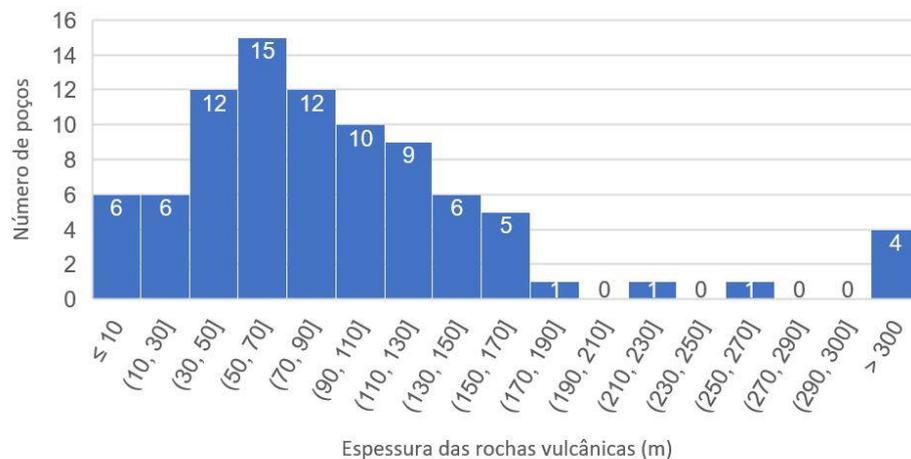


Fonte: Elaborado pelo autor.

Através dos dados de 82 poços gerou-se um histograma no qual foi avaliado a espessura das rochas vulcânicas na região. Foram escolhidos apenas os poços que apresentavam rochas vulcânicas na descrição e que alcançavam a profundidade de topo da Fm. Botucatu.

Com base na análise da figura 24, observa-se uma variação grande de espessura das rochas vulcânicas, sendo que o intervalo entre 30 e 130 metros é o que está relacionado a maior quantidade de poços. Há poucos poços que apresentaram espessuras superiores a 130 metros, embora em alguns poços (4) tenham sido encontrados valores superiores a 300 metros. Estes poços estão localizados em regiões ao norte da área de estudo onde ocorrem as cotas topográficas mais elevadas e, conseqüentemente, as maiores espessuras dos pacotes de rochas vulcânicas.

Figura 24 – Histograma de espessura das rochas vulcânicas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores encontrados indicam que a espessura média das rochas vulcânicas é de 92,46 metros. Esse valor é maior, para as regiões mais elevadas, onde há maior cobertura de rochas vulcânicas. Como, para essa análise não foram utilizados os dados de poços que não interceptavam as rochas vulcânicas, o valor da média foi menor. No entanto, o mesmo evidencia que nas áreas onde há

ocorrência de poços que interceptam tanto as rochas vulcânicas como sedimentares, a espessura é variável, com valores mínimos de 3 metros e máximos de 360 metros (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados de espessura das rochas vulcânicas.

Espessura (m)	
Média	92,46
Mediana	80
Mínimo	3
Máximo	360

5.2 Caracterização Hidrogeológica

As águas subterrâneas representam a principal fonte de abastecimento para as atividades humanas nos municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter. Na região, segundo o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (MACHADO; DE FREITAS, 2005) e com base nos dados dos poços e trabalho de campo, há a ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral II, a qual neste projeto será definido como Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e do Sistema Aquífero Botucatu/Piramboia, o qual será tratado como Sistema Aquífero Guarani (SAG).

O SAG é composto por aquíferos granulares, os quais ocorrem de forma livre à confinada e associam-se a rochas sedimentares pertencentes a diferentes formações geológicas, sendo que a principal litologia desta área corresponde aos arenitos eólicos da Formação Botucatu, e subordinadamente os arenitos da Formação Piramboia. Já o SASG é caracterizado por aquíferos fraturados que ocorrem associados às estruturas tectônicas e de resfriamento das rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral (REGINATO, 2003; MACHADO, 2005).

As águas subterrâneas da área de estudo são captadas principalmente por meio de poços tubulares, pois em sua maioria, captam de sistemas aquíferos profundos. Através do trabalho de campo foi identificado também um poço tipo “pequeno diâmetro” que era utilizado para abastecimento doméstico (figura 25).

Figura 25 – Poço tubular no município de Dois Irmãos, pertencente a CORSAN (esquerda) e poço tipo “pequeno diâmetro” no município de Ivoti (direita).

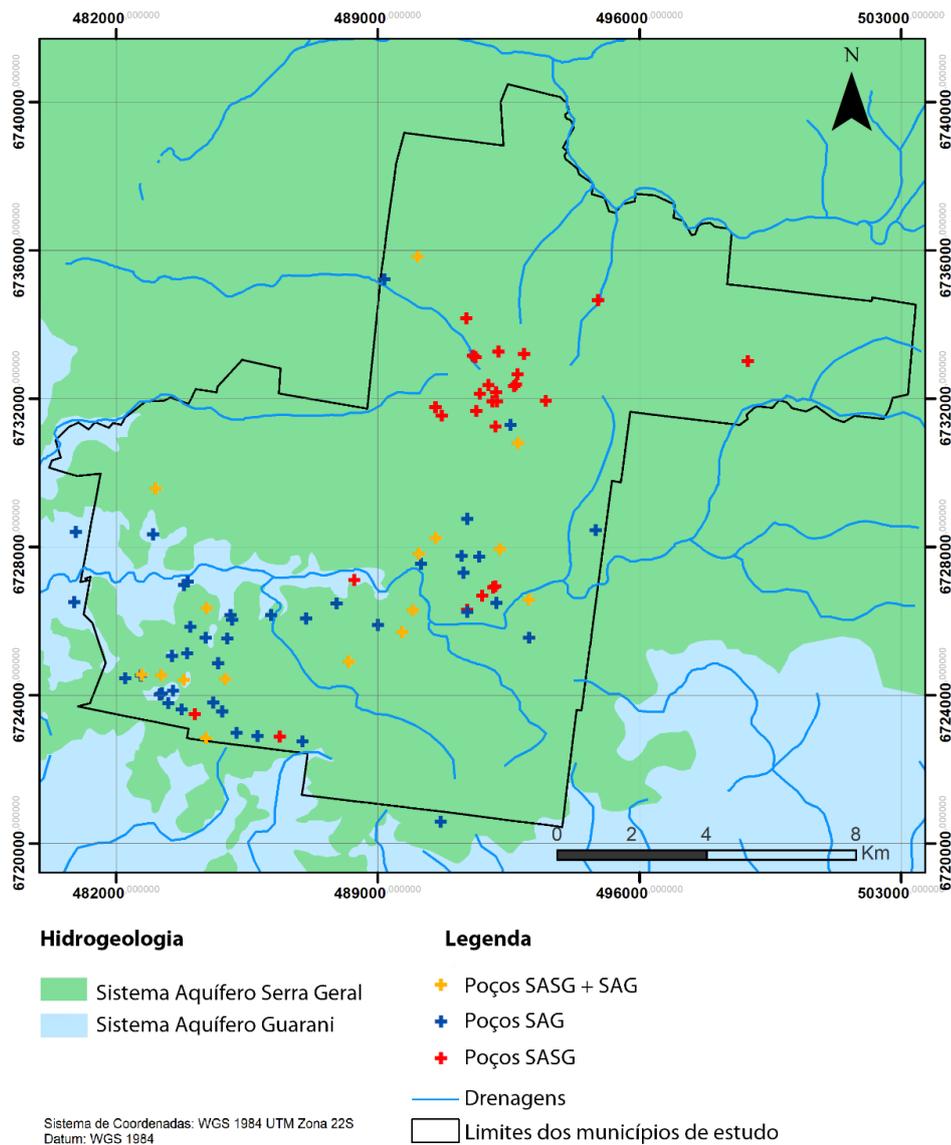


Fonte: Foto tirada pelo autor.

Para a realização do estudo foram utilizados dados de poços tubulares, localizados nos municípios de Dois Irmãos, Ivoti e Morro Reuter e dispostos no mapa hidrogeológico regional.

Através dos poços que apresentavam dados de descrição do perfil geológico e as profundidades das entradas de água, foi feita a classificação da captação de água conforme o Sistema Aquífero e dispostos no mapa hidrogeológico (Figura 26).

Figura 26 – Mapa Hidrogeológico e de poços da região de estudo.



Fonte: Modificado de CPRM (2005).

De 143 poços, 45 apresentam captação exclusiva do SAG, 31 captação do SASG, 16 captação mista e em 51 poços não foi descrita a profundidade da entrada da água ou não apresentou perfil geológico, o que impossibilitou a classificação dentro de um sistema (Figura 27).

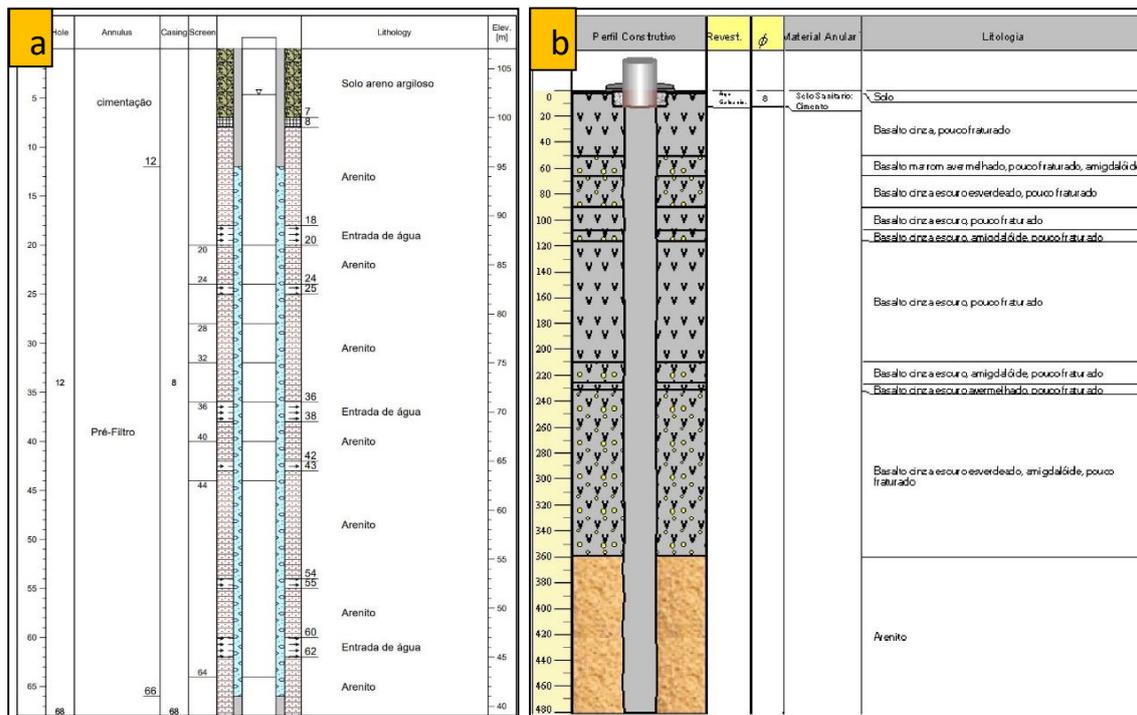
Figura 27 – Distribuição dos poços de captação por sistema aquífero.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise dos perfis geológicos dos poços demonstra um predomínio de camadas compostas por rochas vulcânicas, Formação Serra Geral, e camadas arenosas, representadas pela Formação Botucatu, além de solos argilosos de pouca espessura. A variação de espessura das rochas vulcânicas e até mesmo ausência em certos poços possibilita a ocorrência de aquíferos livres e confinados no SAG (Figura 28).

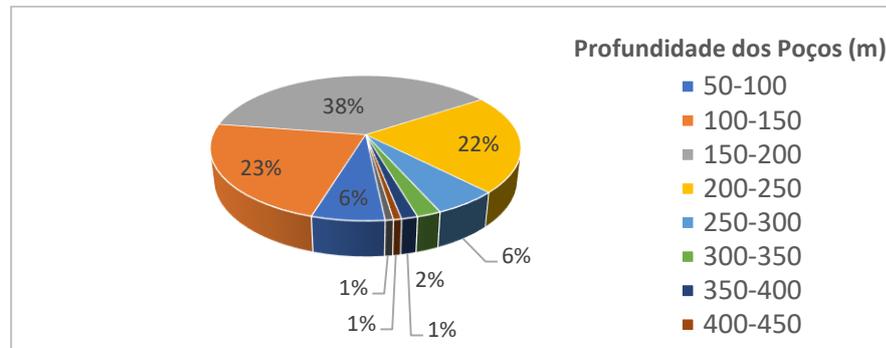
Figura 28 – a) Perfil geológico do Poço COR DOI11 em Dois Irmãos, captação de um aquífero livre devido à ausência de cobertura vulcânica. b) Perfil geológico do poço COR MRE 08B em Morro Reuter, aquífero confinado com espessura de 360m de rocha vulcânica sob o SAG.



Fonte: CORSAN – RS.

Dos 143 poços, 141 poços possuíam dados de profundidade, que foram utilizados na avaliação desse parâmetro (figura 29). Verificou-se, desta forma, que o intervalo de maior ocorrência da profundidade dos poços é de 150 à 200 metros.

Figura 29 – Gráfico da profundidade dos poços.

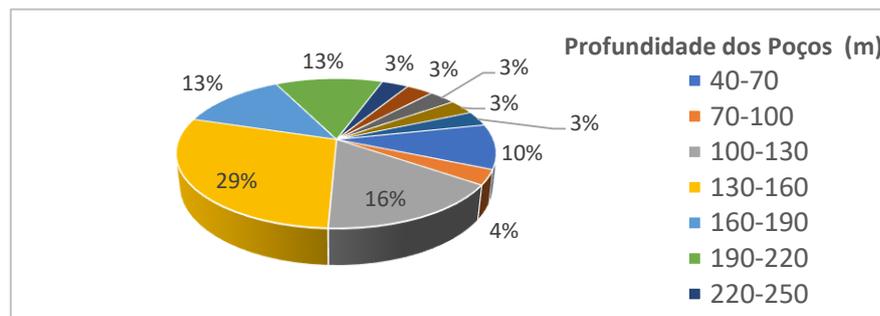


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.1 Sistema Aquífero Serra Geral

A análise dos dados referentes ao Sistem Aquífero Serra Geral (SASG) foi feita com base em 31 poços na região, localizados em sua maioria no município de Morro Reuter. A litologia descrita é definida por basaltos amidalares ou maciços, embora segundo o Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (WILDNER et al., 2008) exista a presença de rochas vulcânicas ácidas na região. Em 31 poços no SASG foi observado que o intervalo de maior ocorrência em relação a profundidade dos poços foi de 130-160 m (Figura 30).

Figura 30 – Gráfico da profundidade dos poços no SASG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

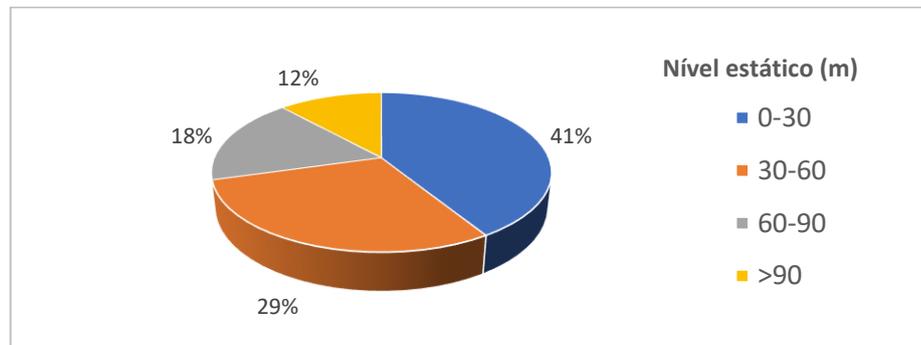
Analisando os dados acima, foram encontrados os seguintes valores de média, mediana, mínimo e máximo, para a profundidade dos poços conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Dados da profundidade dos poços no SASG.

Profundidade	
Média	166,78
Mediana	140
Mínimo	50
Máximo	481,24

A análise do nível estático de 17 poços pertencentes ao SASG revelou o intervalo de maior ocorrência de 0-30m, conforme pode ser observado na Figura 31.

Figura 31 – Gráfico do nível estático dos poços no SASG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os dados acima, foram encontrados os seguintes valores de média, mediana, mínimo e máximo, para o nível estático conforme Tabela 3.

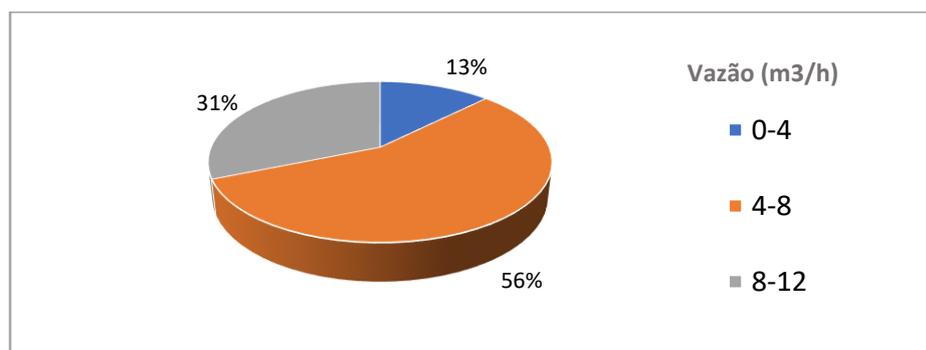
Tabela 3 – Dados do nível estático dos poços no SASG.

Nível estático (m)	
Média	49,18
Mediana	40
Mínimo	3,21
Máximo	168,65

O número de entrada de águas foi avaliado em 10 poços, sendo que em 3 deles ocorreu apenas uma entrada, 6 poços apresentaram de 2-3 entradas e um poço apresentou 4 entradas. As entradas ocorrem dentro de um intervalo de 3m a 180m de profundidade.

As vazões foram analisadas em 16 poços do SASG conforme o gráfico estatístico (Figura 32), sendo o intervalo de vazões com maior frequência de 4 a 8 m³/h. Os poços que captam do SASG na região de estudo apresentam, de maneira geral, vazões baixas.

Figura 32 – Dados de vazão dos poços no SASG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

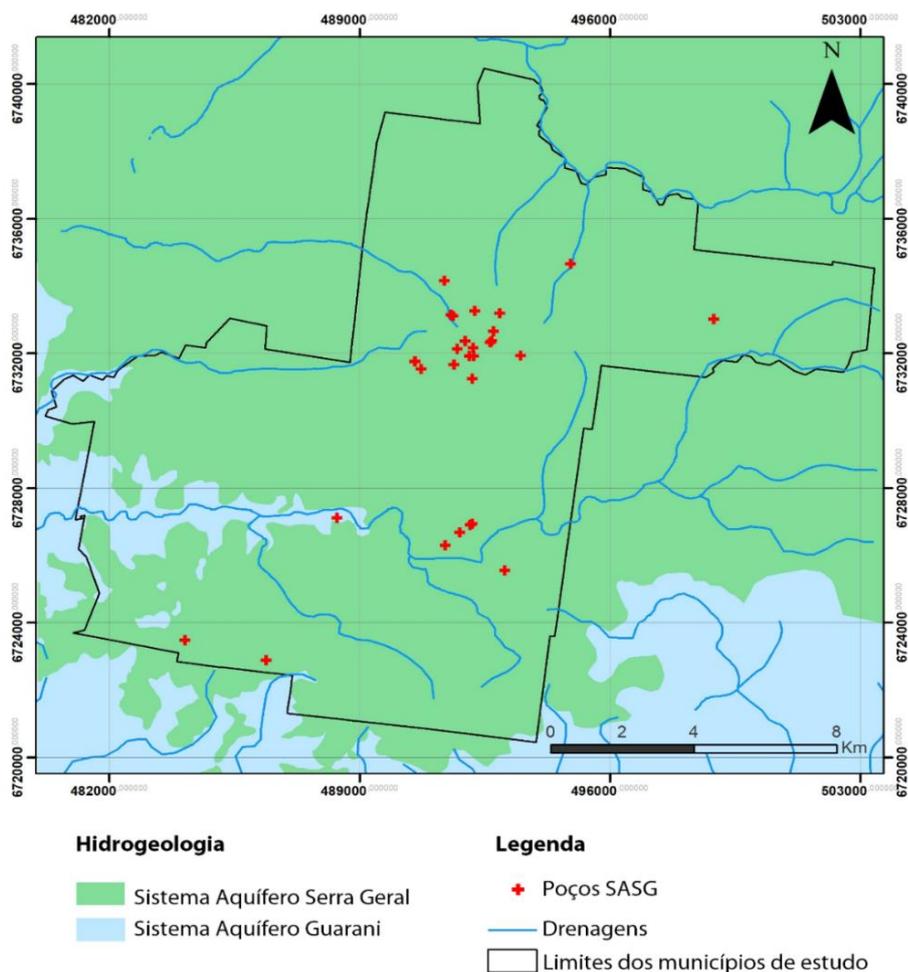
Analisando os dados acima, foram encontrados os seguintes valores de média, mediana, mínimo e máximo, para vazão conforme tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Dados de vazão dos poços no SASG.

Vazão (m ³ /h)	
Média	6,8
Mediana	6,35
Mínimo	1,85
Máximo	12

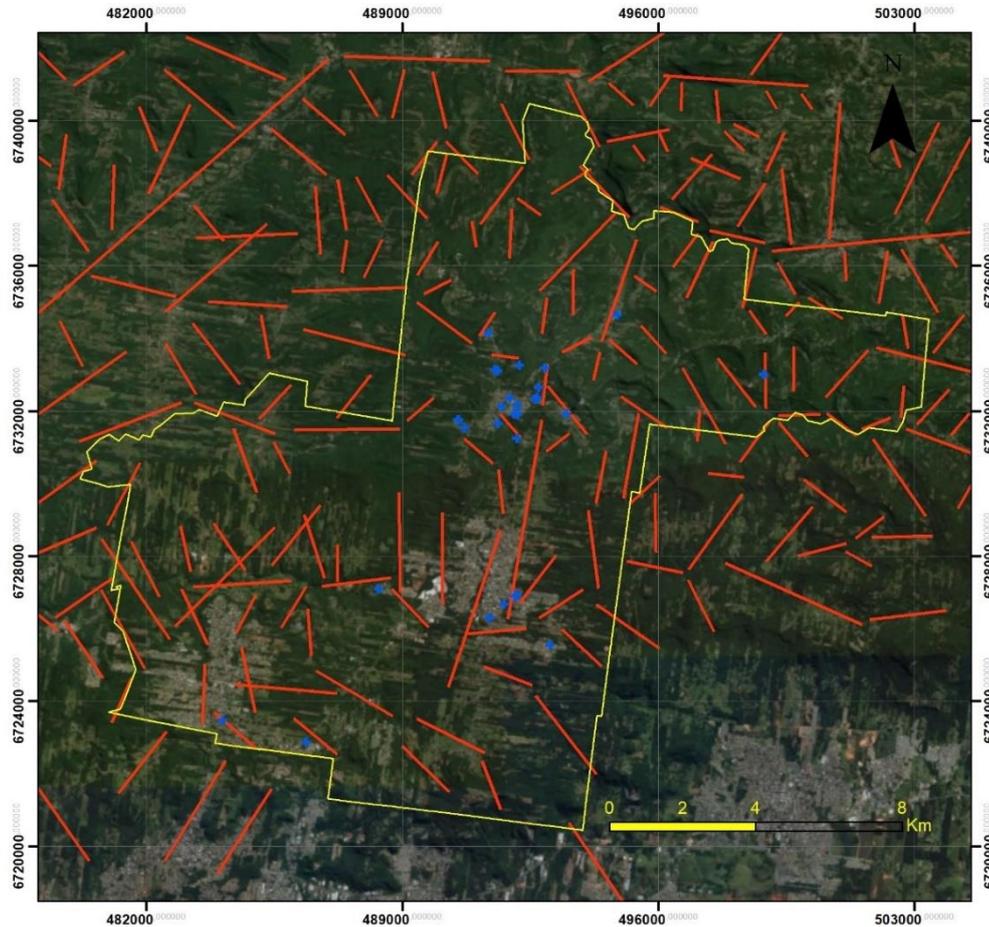
Os poços pertencentes ao SASG foram dispostos no Mapa Hidrogeológico local e no mapa de lineamentos da região, conforme Figuras 33 e 34.

Figura 33 – Mapa Hidrogeológico e dos poços no SASG.



Fonte: Modificado de CPRM (2005).

Figura 34 – Mapa de poços no SASG e lineamentos.



Legenda

- + Poços SASG
- Limites dos municípios de estudo

Fonte: Base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

Através da análise do mapa observa-se que há poços associados a lineamentos que possuem diferentes comprimentos e orientações variadas para NW, NE, N-S e E-W.

5.2.2 Sistema Aquífero Guarani

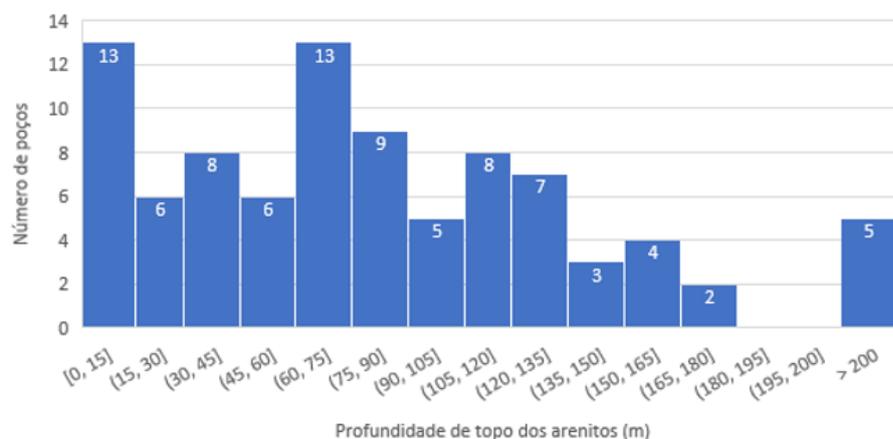
A caracterização do SAG foi feita com base na análise de dados de 89 poços, sendo que 61 desses poços tinham informações de entradas de água que permitiram avaliar a captação. Assim, foram identificados 45 poços que captam água exclusivamente do SAG e 16 poços que captam água do SAG e do SASG.

As rochas que são descritas pertencentes ao SAG na região apresentam litologias arenosas, predominantemente médias a grossas, roseas e com estratificações cruzadas de grande porte. Estas rochas pertencem principalmente a Formação Botucatu mas também à Formação Piramboia.

A unidade hidroestratigráfica Botucatu é a que apresenta maior distribuição na área confinada do SAG no estado do Rio Grande do Sul, além de ser o principal aquífero captado pelos poços profundos (MACHADO; FREITAS, 2005).

A avaliação dos perfis geológicos e profundidade das litologias dos poços pertencentes a ambos os sistemas permitiu a construção de um histograma no qual analisou-se a profundidade de ocorrência dos arenitos da Fm. Botucatu em 89 perfis (figura 35). Observou-se que em 7 poços o arenito era aflorante, portanto o aquífero, neste caso, apresentava comportamento livre.

Figura 35 – Histograma da profundidade da Fm. Botucatu.



Fonte: Elaborado pelo autor.

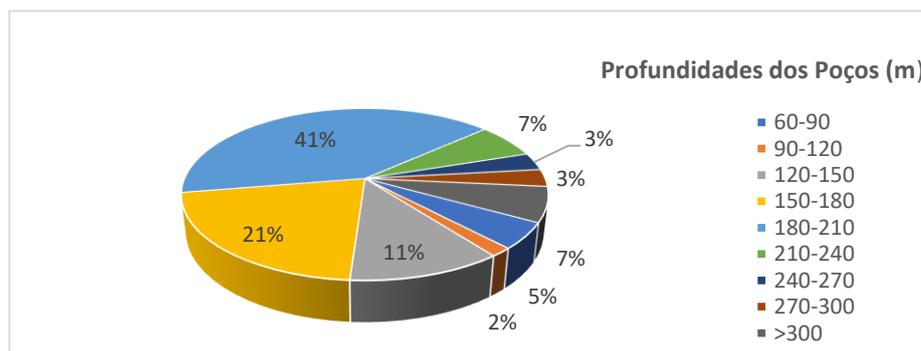
Através da análise dos dados, encontraram-se os seguintes valores de média, mediana, mínimo e máximo, para a variável profundidade do arenito, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Dados da profundidade de topo dos arenitos da Fm. Botucatu.

Profundidade de topo dos arenitos (m)	
Média	86
Mediana	73
Mínimo	0
Máximo	360

A análise da profundidade dos poços foi realizada com base nos dados dos 61 poços que captam água do SAG e do SAG+SASG (captação mista dos dois sistemas), conforme a Figura 36.

Figura 36 – Gráfico da profundidade dos poços no SAG e captação de ambos sistemas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

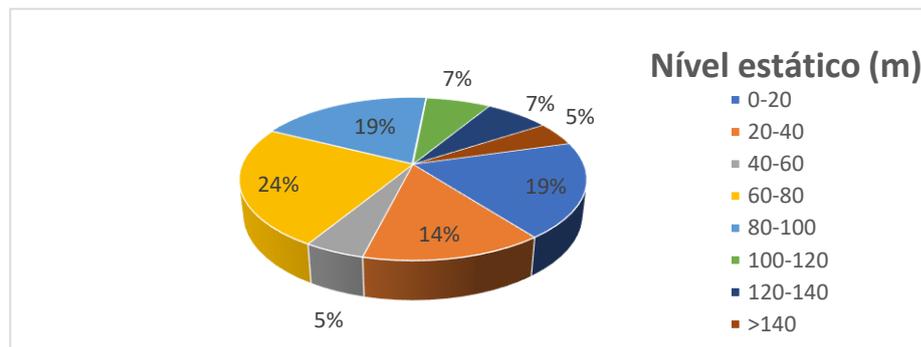
Analisando os dados acima, foram encontrados os seguintes valores de média, mediana, mínimo e máximo, para a profundidade dos poços conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Dados da profundidade dos poços.

Profundidade dos poços (m)	
Média	188,28
Mediana	181
Mínimo	66
Máximo	408

A profundidade do nível estático foi analisado em 42 poços com captação exclusiva do SAG (Figura 37).

Figura 37 – Gráfico do nível estático dos poços no SAG.



Fonte: Elaboardo pelo autor.

Analisando os dados, foram encontrados os seguintes valores de média, mediana, mínimo e máximo, para o nível estático conforme Tabela 7.

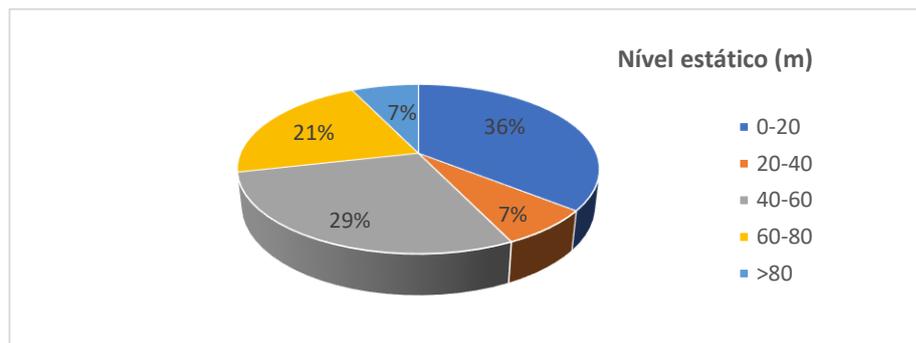
A grande variação entre os valores de nível estático no SAG pode ser interpretado pelo diferente grau de confinamento sofrido pelo aquífero dentro da área de estudo.

Tabela 7 – Dados de nível estático de poços no SAG.

Nível estático (m)	
Média	67,9
Mediana	67,2
Mínimo	3,3
Máximo	190

Observou-se em 14 poços captação de ambos os sistemas, SASG e SAG, a profundidade o nível estático, conforme o gráfico da Figura 38.

Figura 38 – Gráfico do nível estático em poços com captação do SASG e SAG.



Fonte: Elaboardo pelo autor.

Analisando os dados, encontraram-se os seguintes valores de média, mediana, mínimo e máximo, para o nível estático conforme Tabela 8.

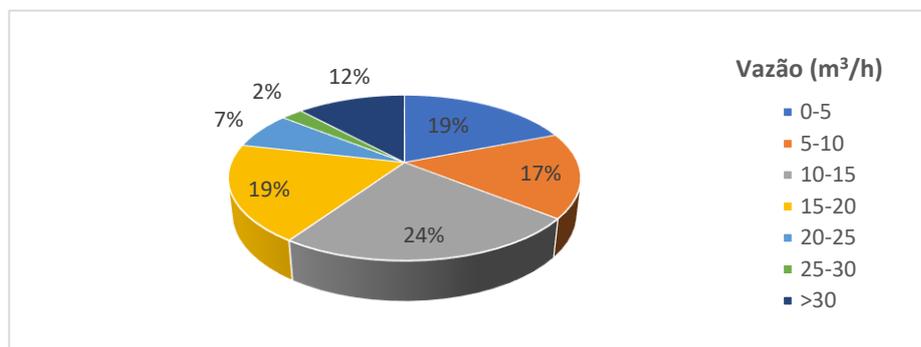
Tabela 8 – Dados de nível estático em poços com captação de ambos os sistemas.

Nível estático (m)	
Média	41,3
Mediana	43
Mínimo	1,6
Máximo	85,6

A profundidade do nível estático apresentou valores mais baixos quando os poços captam os dois sistemas aquíferos. O intervalo predominante dos poços do SAG foi de 60-80m, enquanto os poços que captam os dois aquíferos tiveram o intervalo de 0-20m como mais expressivo.

A vazão foi avaliada em 42 poços que pertencem ao sistema SAG e foram dispostas na Figura 39.

Figura 39 – Gráfico de vazão de poços do SAG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise dos dados encontrou os seguintes valores de média, mediana, mínimo e máximo, para vazão conforme Tabela 9.

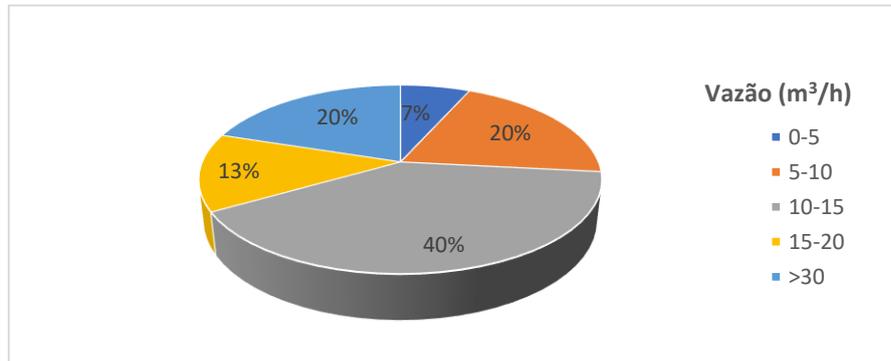
Tabela 9 – Dados de vazão dos poços no SAG.

Vazão (m³/h)	
Média	14,21
Mediana	12,37
Mínimo	0,9
Máximo	35,9

Foram utilizados 15 poços que apresentavam captação de ambos os sistemas para que se fizesse a comparação entre vazões nos poços com entradas de água apenas no SAG (Figura 40). A análise dos dados revelou pouca diferença entre as

vazões, sendo que os poços com captação mista apresentam vazões levemente superiores que poços com entradas de água somente no SAG.

Figura 40 – Gráfico de vazão em poços com captação mista.



Fonte: Elaborado pelo autor.

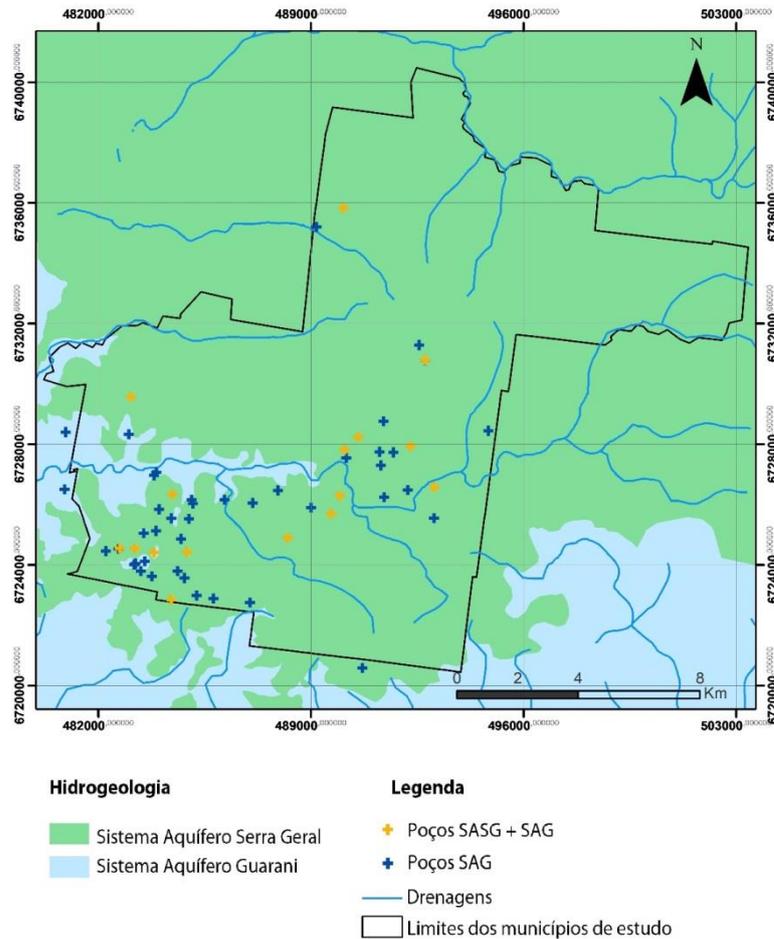
A análise dos dados encontrou os seguintes valores de média, mediana, mínimo e máximo, para vazão conforme Tabela 10.

Tabela 10 – Dados de vazão em poços com captação mista.

Vazão (m³/h)	
Média	16,6
Mediana	12
Mínimo	4,8
Máximo	46,5

Os poços pertencentes ao SAG e de captação dos dois sistemas foram dispostos no Mapa Hidrogeológico local conforme sua localização, os poços estão localizados principalmente dentro dos centros urbanos de Ivoti e Dois Irmãos (Figura 41).

Figura 41 – Mapa Hidrogeológicos e de poços SAG e SASG/SAG.



Fonte: Modificado de CPRM (2005).

5.3 Avaliação da Vulnerabilidade pelo Método GOD

Segundo Foster e Hirata (1988) o método GOD leva em conta três parâmetros para a definição do índice de vulnerabilidade. O confinamento hidráulico da água subterrânea no aquífero analisado, parâmetro G. Os estratos de cobertura (zona vadosa ou camada confinante), em termos das características hidrogeológicas e do grau de consolidação parâmetro O. Além da profundidade até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado, parâmetro D.

A partir dos dados obtidos e interpretados no banco de dados, foram selecionados os poços para a avaliação da vulnerabilidade do SAG na região de estudos. Dentro da área dos municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter foram utilizados 83 poços com captação do SAG, sendo alguns destes com captação mista

de ambos sistemas e 14 poços pertencentes ao SASG. Além destes, foram utilizados 18 poços localizados nas periferias da área de estudo com objetivo de reduzir a extrapolação dos dados e 9 poços de controle em áreas com pouca informação, os quais os parâmetros foram definidos com base no mapa hidrogeológico e geológico regional e dos valores médios do nível estático do SAG na região.

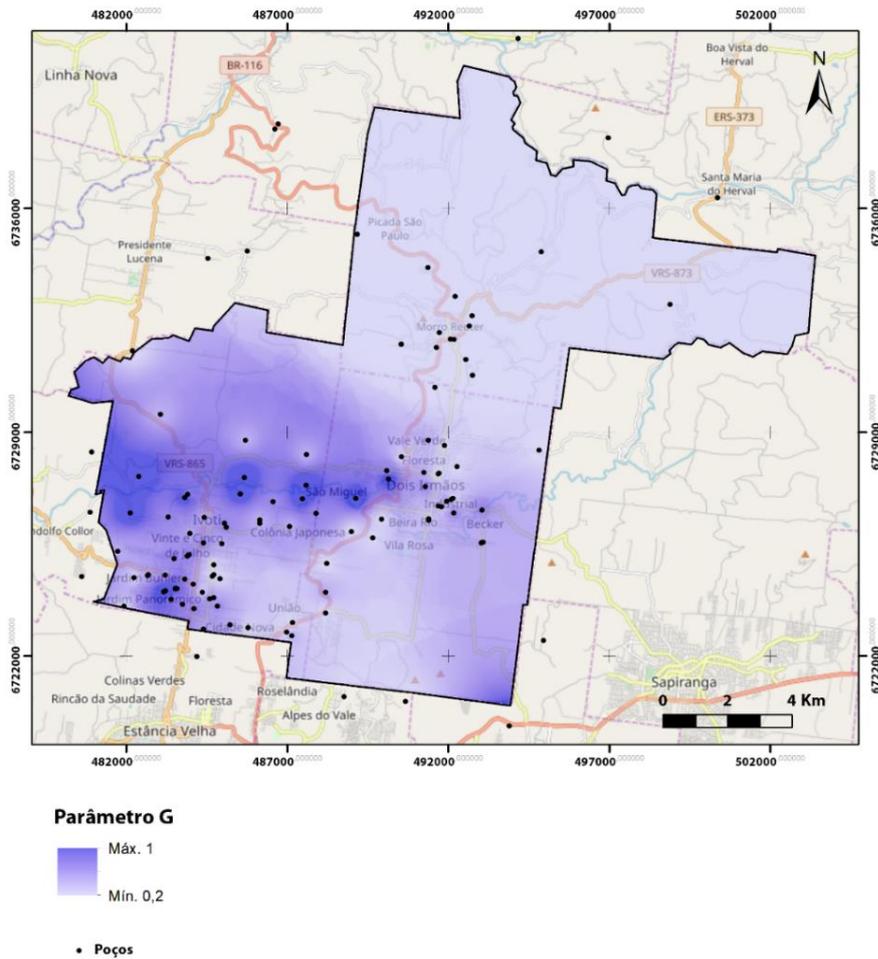
A análise dos parâmetros permitiu a criação de mapas temáticos referentes ao grau de confinamento, estrato de cobertura ou litologia da zona vadosa e profundidade do nível estático ou teto do aquífero confinado.

5.3.1 Mapa parâmetro G

A avaliação do parâmetro G levou em consideração o tipo de aquífero e foi baseada na interpretação dos perfis dos poços, além da geologia e hidrogeologia local, conforme detalhado na metodologia.

O mapa regional do parâmetro G (Figura 42), relativo ao grau de confinamento do aquífero, revelou maiores valores em regiões dentro do município de Ivoti, onde justamente ocorrem aflorantes as rochas da Fm. Botucatu pertencentes ao SAG. Na região norte da área de estudo onde observa-se além de uma elevação na cota topográfica, um aumento na espessura das rochas vulcânicas, os índices de grau de confinamento mostram-se mais baixos. Os valores atribuídos aos poços e interpolados variam conforme a escala do mapa de 0,2 até 1, sendo o valor 1 não confinado e o valor 0,2, o maior grau de confinamento.

Figura 42 – Mapa parâmetro G.



Fonte: Mapa elaborado pelo autor com base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

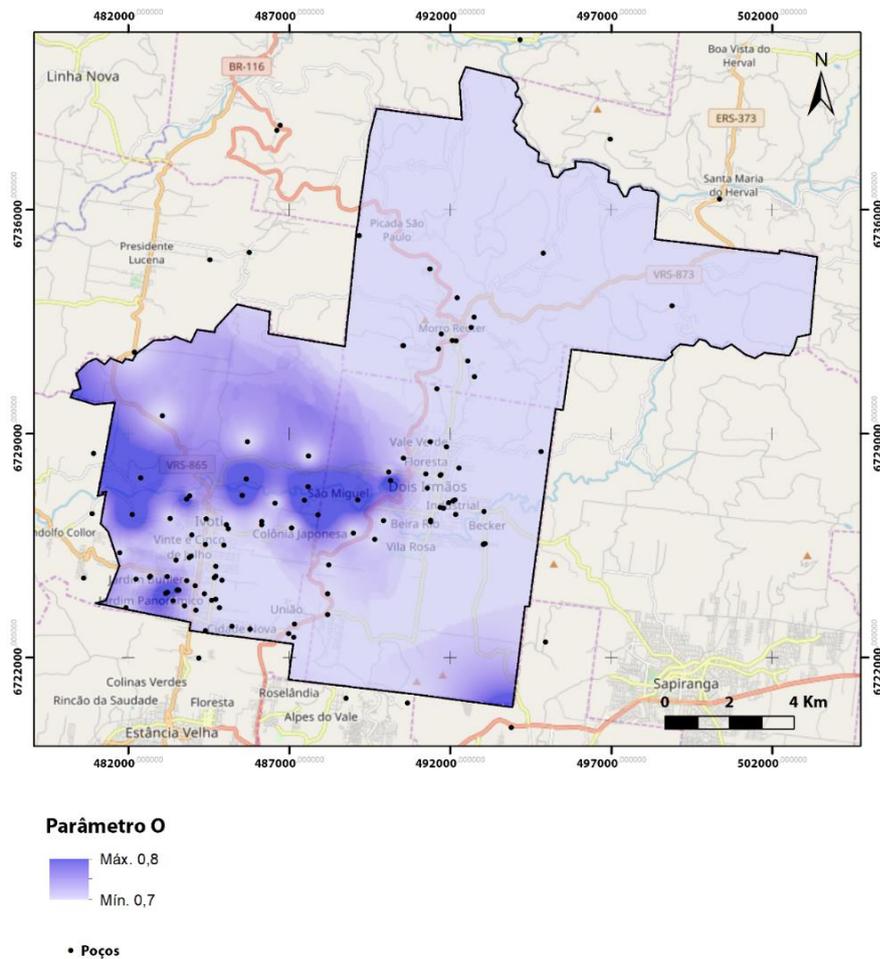
5.3.2 Mapa parâmetro O

A determinação de valores dos parâmetros O para cada poço foi realizada com base na análise dos dados geológicos, dos perfis de poços e do mapa geológico, conforme descrito na metodologia e variam de 0,7 a 0,8.

O mapa regional do parâmetro O (Figura 43) representa os estratos de cobertura relacionados as camadas confinantes ou zonas vadasas, o mesmo apresenta uma alta correlação com o mapa geológico da área de estudo, já que a geologia é determinante para a atribuição dos valores deste parâmetro. Os valores

mais altos correspondem principalmente aos arenitos da Fm. Botucatu, enquanto as rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral representam os valores mais baixos, localizados mais ao Norte no município de Morro Reuter e ao Leste do município de Dois Irmãos.

Figura 43 – Mapa parâmetro O.



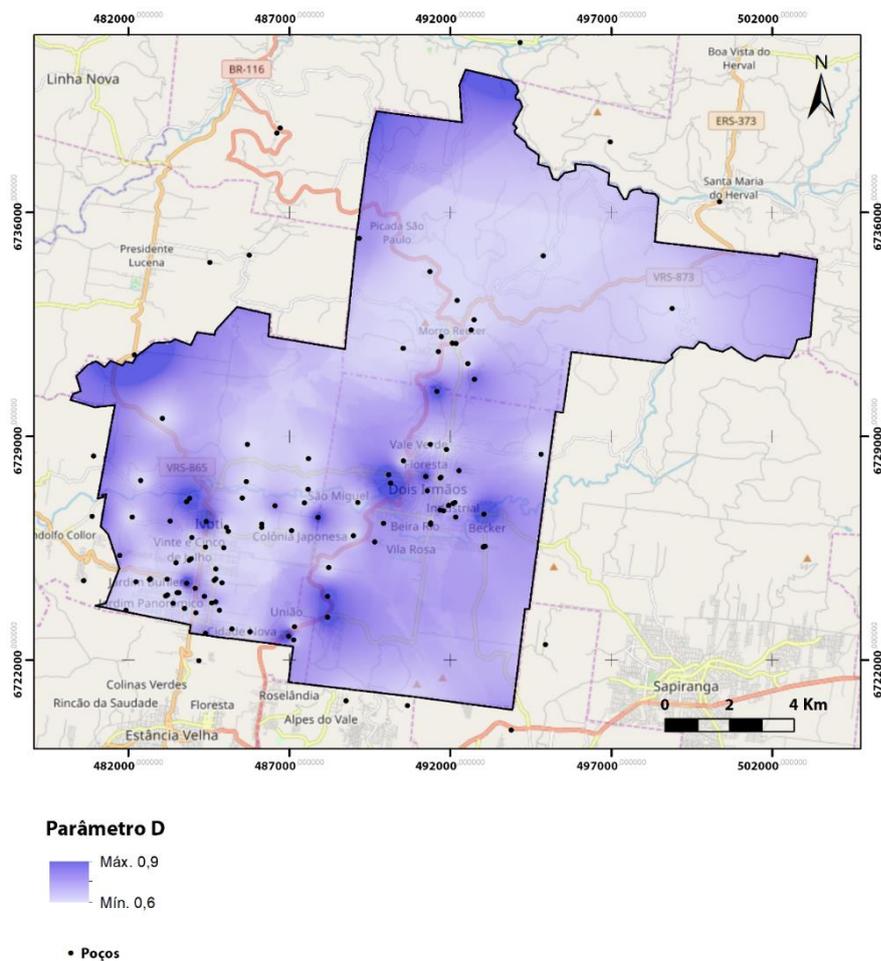
Fonte: Mapa elaborado pelo autor com base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

5.3.3 Mapa parâmetro D

Os valores do parâmetros foram definidos com base nos níveis estáticos dos poços, bem como a profundidade de ocorrência do topo do SAG. Foram atribuídos valores entre 0,6 e 0,9, conforme definido na metodologia. O mapa regional do

parâmetro D (Figura 44) representa a profundidade até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado. O mapa tem uma maior variabilidade dentro da área de estudo por ser definido a partir de um parâmetro hidrogeológico, que como caracterizado anteriormente não apresenta uma tendência a média, com valores mínimos e máximos com grande amplitude.

Figura 44 – Mapa parâmetro D.



Fonte: Mapa elaborado pelo autor com base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

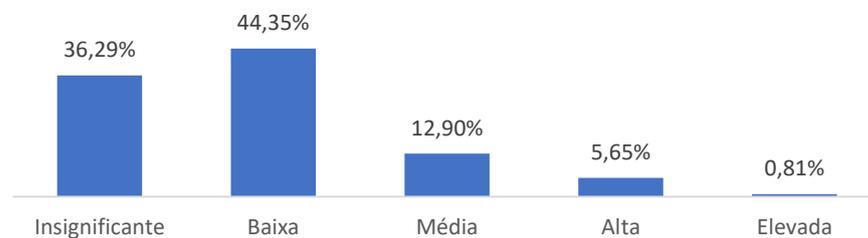
5.3.4 Mapa Índice GOD

Os 124 poços tiveram os parâmetros multiplicados com o objetivo de gerar o índice de vulnerabilidade GOD de 0 até 1, o qual representa as classes de vulnerabilidade: Insignificante (0-0,1), Baixa (0,1-0,3), Média (0,3-0,5), Alta (0,5-0,7)

e Extrema (0,7-1). Foi criada uma tabela com os dados dos poços e os pesos atribuídos a cada um dos parâmetros G, O e D (disponibilizada nos anexos deste trabalho).

O maior percentual entre os poços avaliados ficou classificado como vulnerabilidade baixa (44,35%), seguido de vulnerabilidade insignificante (36,29%), depois média (12,9%), alta (5,65%), e por último elevada (0,81%) (figura 45).

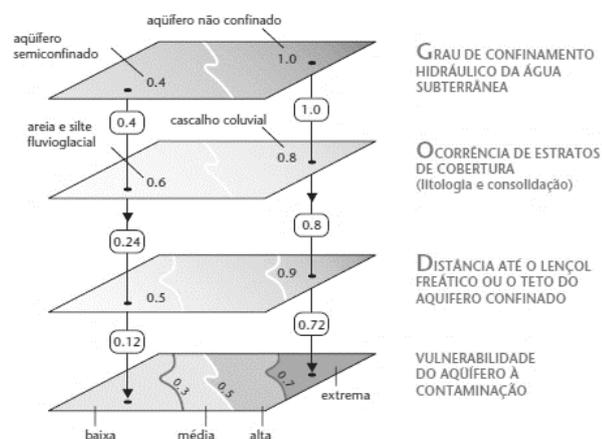
Figura 45 – Percentual de poços em cada classe de vulnerabilidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O mapa de vulnerabilidade da área de estudo foi desenvolvido a partir da multiplicação dos mapas temáticos de cada parâmetro avaliado. Um exemplo da construção por etapas pode ser simplificada através da Figura 46.

Figura 46 – Produção do mapa de vulnerabilidade segundo a metodologia GOD.



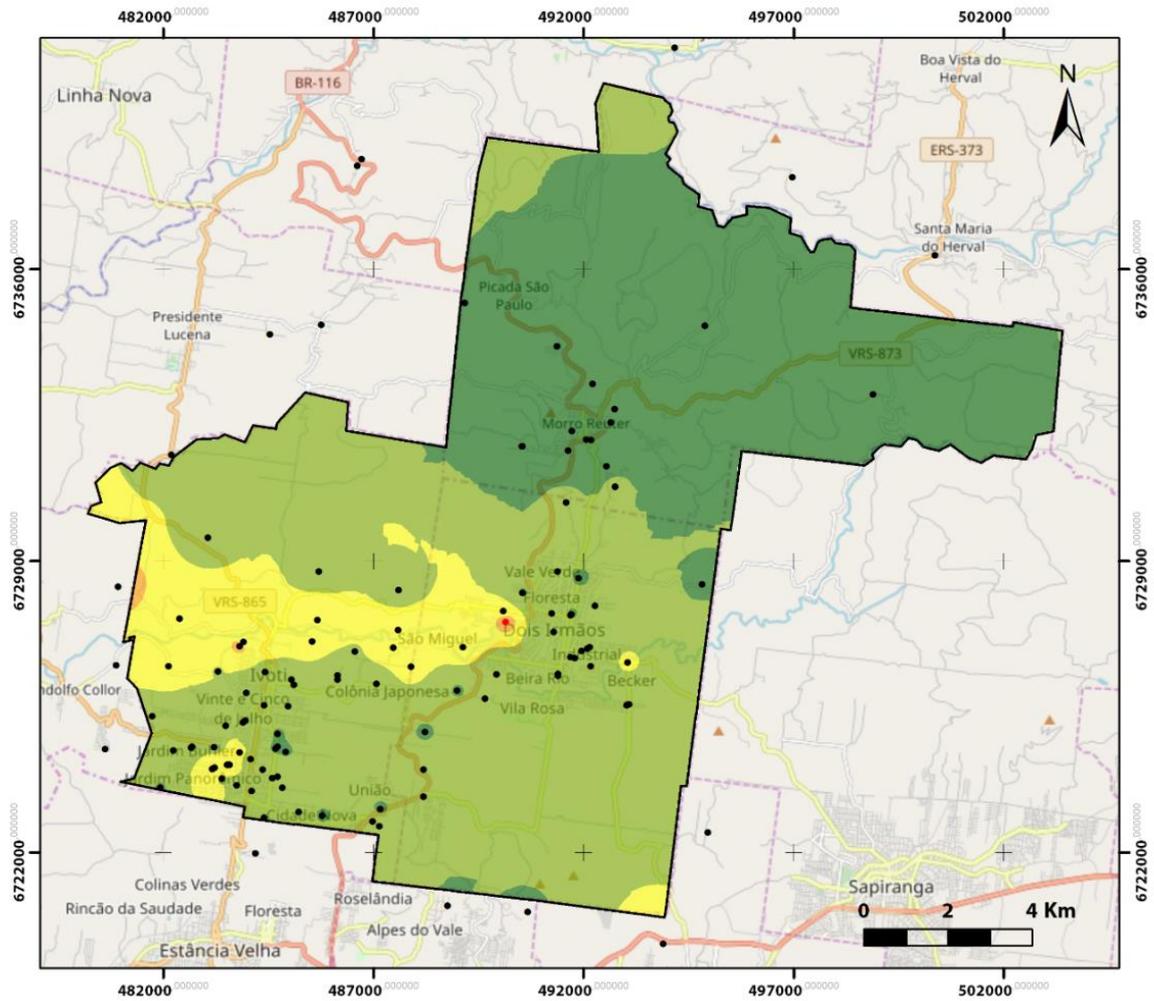
Fonte: Foster et al. (2006)

O mapa de vulnerabilidade do SAG para os municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter (Figura 47) apresenta, no geral, as classes Baixa e Insignificante em grande parte da região norte e leste da área de estudo. No entanto, destacam-se áreas no município de Ivoti e Dois Irmãos com vulnerabilidade Média, região oeste, e pontualmente classes Alta e Extrema, próximo a área urbana de Dois Irmãos.

As áreas de maior vulnerabilidade ocorreram nas regiões onde há ocorrência de aquíferos livres e livres cobertos e onde há afloramentos das rochas sedimentares da Formação Botucatu. Já as áreas de menor vulnerabilidade estão associada as regiões onde o SAG encontra-se confinado, com ocorrência de maiores espessuras das rochas vulcânicas.

Os percentuais de área ocupada pelas classe de vulnerabilidade foram: Insignificante 39,08%; Baixa 49,73%; Média 10,97%; Alto 0,21% e Extremo 0,003%.

Figura 47 – Mapa de vulnerabilidade do SAG nos municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, RS.



Índice de Vulnerabilidade GOD

- Insignificante
- Baixa
- Média
- Alta
- Extrema
- Poços

Fonte: Mapa elaborado pelo autor com base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

5.4 Análise de Risco de Contaminação

A análise de risco de contaminação envolve a sobreposição das possíveis cargas contaminantes, sendo elas pontuais ou difusas, dentro de uma área, juntamente com o estudo de vulnerabilidade do sistema aquífero. A verificação do risco foi realizada através da metodologia proposta na Figura 48.

Figura 48 – Classificação do perigo de contaminação em relação a fontes pontuais e difusas.

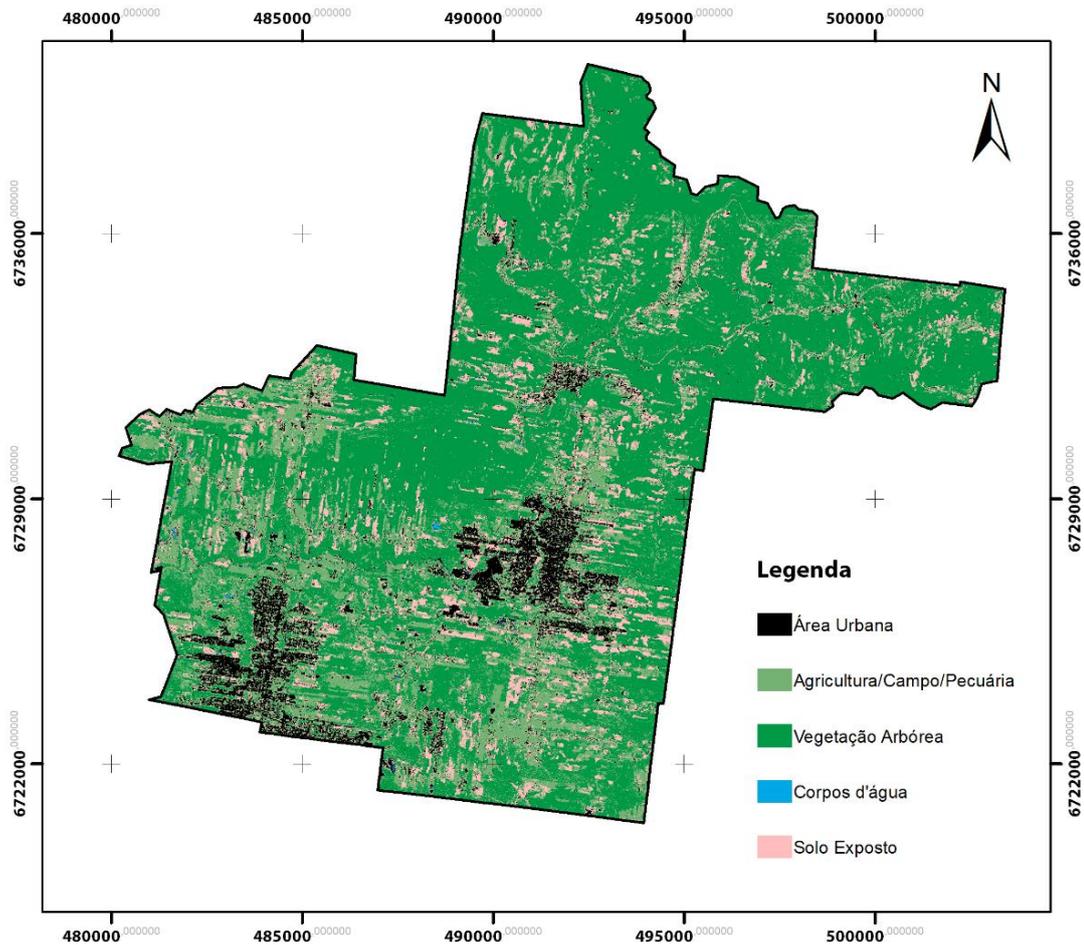
Perigo de contaminação em relação a fontes pontuais e difusas		Potencial de contaminação		
		Reduzido	Moderado	Elevado
Índice de Vulnerabilidade	Insignificante	Desprezível	Desprezível	Baixo
	Baixo	Desprezível	Baixo	Moderado
	Médio	Baixo	Moderado	Alto
	Alto	Moderado	Alto	Alto
	Extremo	Moderado	Alto	Extremo

Fonte: modificado de Barbosa e Filho (2011).

5.4.1 Fontes Difusas

As fontes difusas foram mapeadas na área de estudo através da realização do mapa de uso e ocupação de solo, o qual se determinou a presença das devidas classes: área urbana, agricultura/campo/pecuária, vegetação arbórea, solo exposto e corpos d'água (Figura 49).

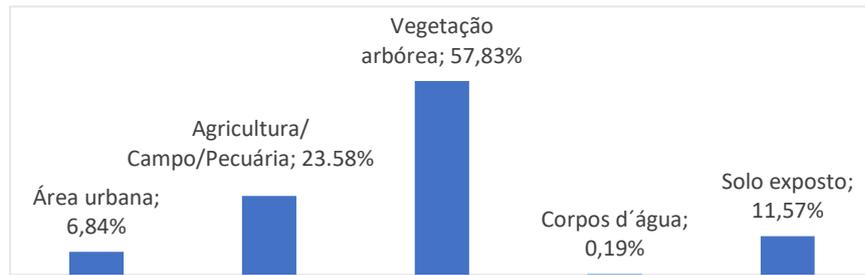
Figura 49 – Mapa de uso e ocupação do solo na região.



Fonte: Mapa elaborado pelo autor com base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

A distribuição percentual das classe de uso e ocupação do solo em área foi analisada conforme Figura 50. A maior parte da área é representada por vegetação arbórea (57,83%), seguida de agricultura/campo/pecuária, solo exposto, área urbana e corpos d'água.

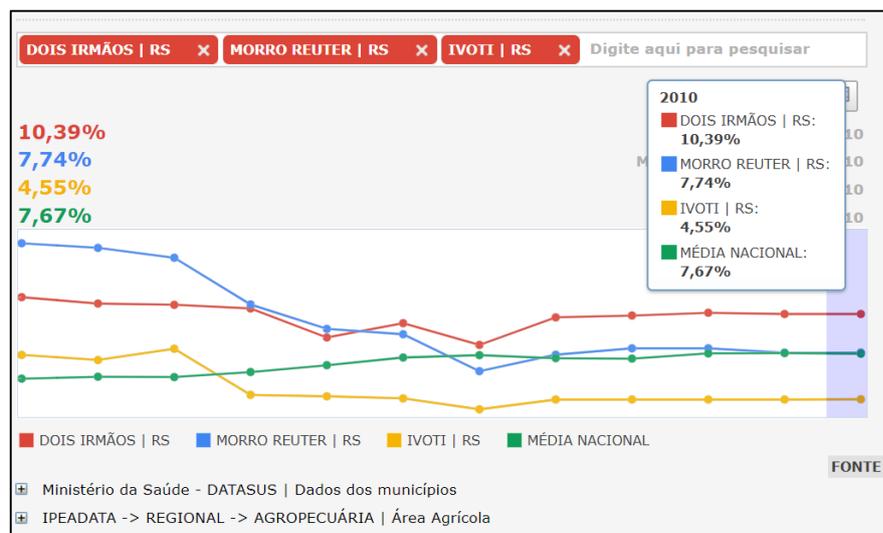
Figura 50 – Percentual de área em classe de uso do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A metodologia de classificação POSH (Foster et al. 2006), atribuída neste trabalho, leva em conta para fontes difusas o saneamento *in situ* em áreas urbanas e as práticas agrícolas no meio rural. No entanto, devido a dificuldade de mapeamento das práticas agrícolas, visto que estas são representadas por agricultura familiar e possuem pouca expressividade de área plantada nos municípios, optou-se por avaliar apenas o saneamento *in situ* das áreas urbanas. No gráfico do site deepask.com (Figura 51), é possível observar o percentual da área territorial com plantação dos municípios.

Figura 51 – Percentual da área territorial com plantação.



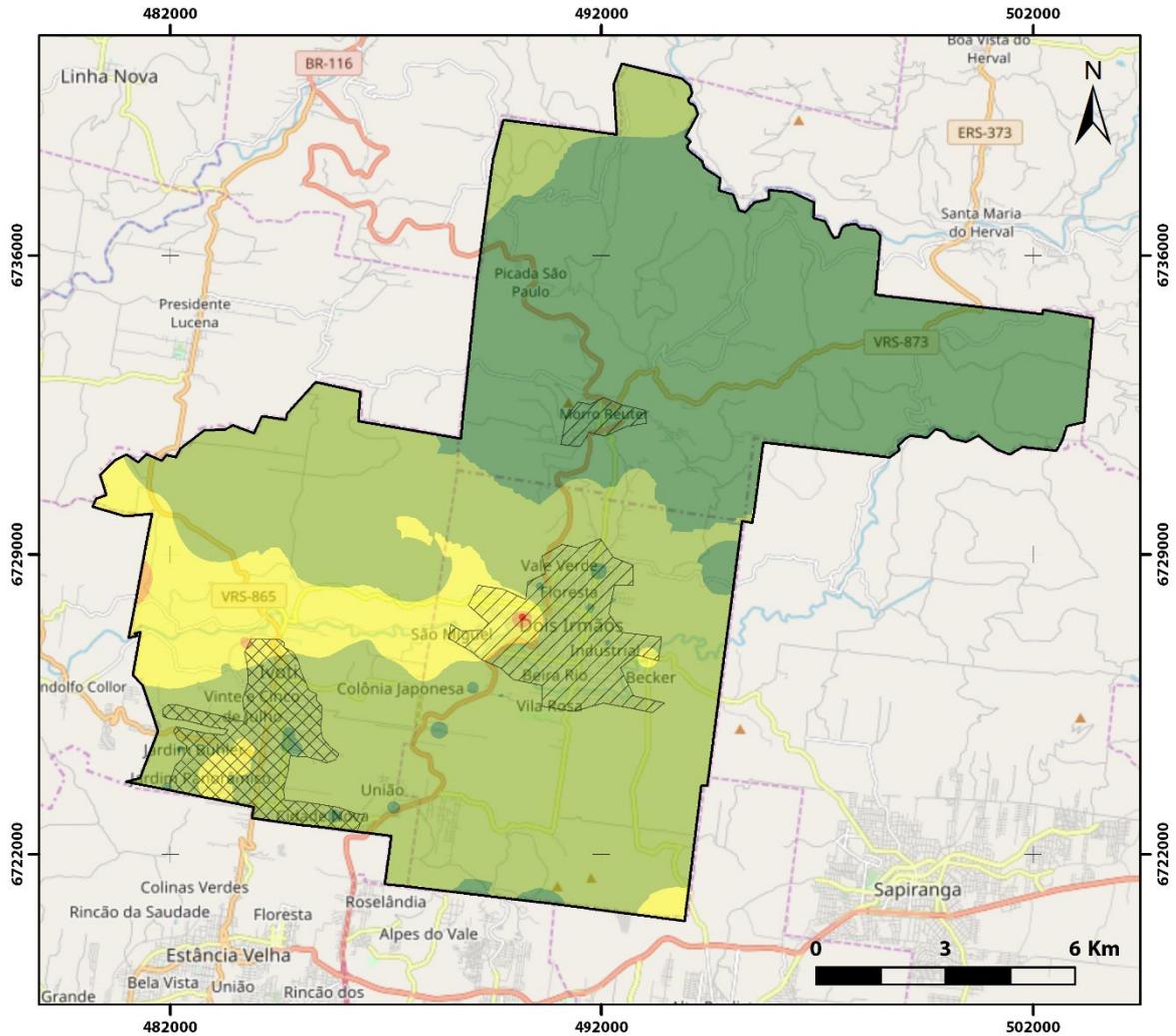
Fonte: deepask.com

Segundo a metodologia POSH (FOSTER et al. 2006), classifica-se como potencial elevado quando existe uma cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade populacional superior 100 pessoas/ha. Coberturas de rede de esgoto superior a 75% e densidade populacional inferior a 550 pessoas/ha são classificadas como potencial reduzido e valores entre as classes são considerados moderados.

Com base em dados do site do IBGE, o município de Dois Irmãos apresenta 94.9% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, o município de Morro Reuter possui 93.6% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, enquanto Ivoti apresenta 72.7% de domicílios com esgotamento sanitário adequado.

Desta forma, apenas a área representada pelo município de Ivoti foi classificada como potencial moderado, a medida que as áreas urbanas dos municípios de Dois Irmão e Morro Reuter representam um potencial reduzido (Figura 52).

Figura 52 – Mapa de vulnerabilidade com área urbana.



Índice de Vulnerabilidade GOD

- Insignificante
- Baixa
- Média
- Alta
- Extrema

Fontes Difusas em áreas urbanas

- Potencial Moderado
- Potencial Reduzido

Fonte: Mapa elaborado pelo autor com base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

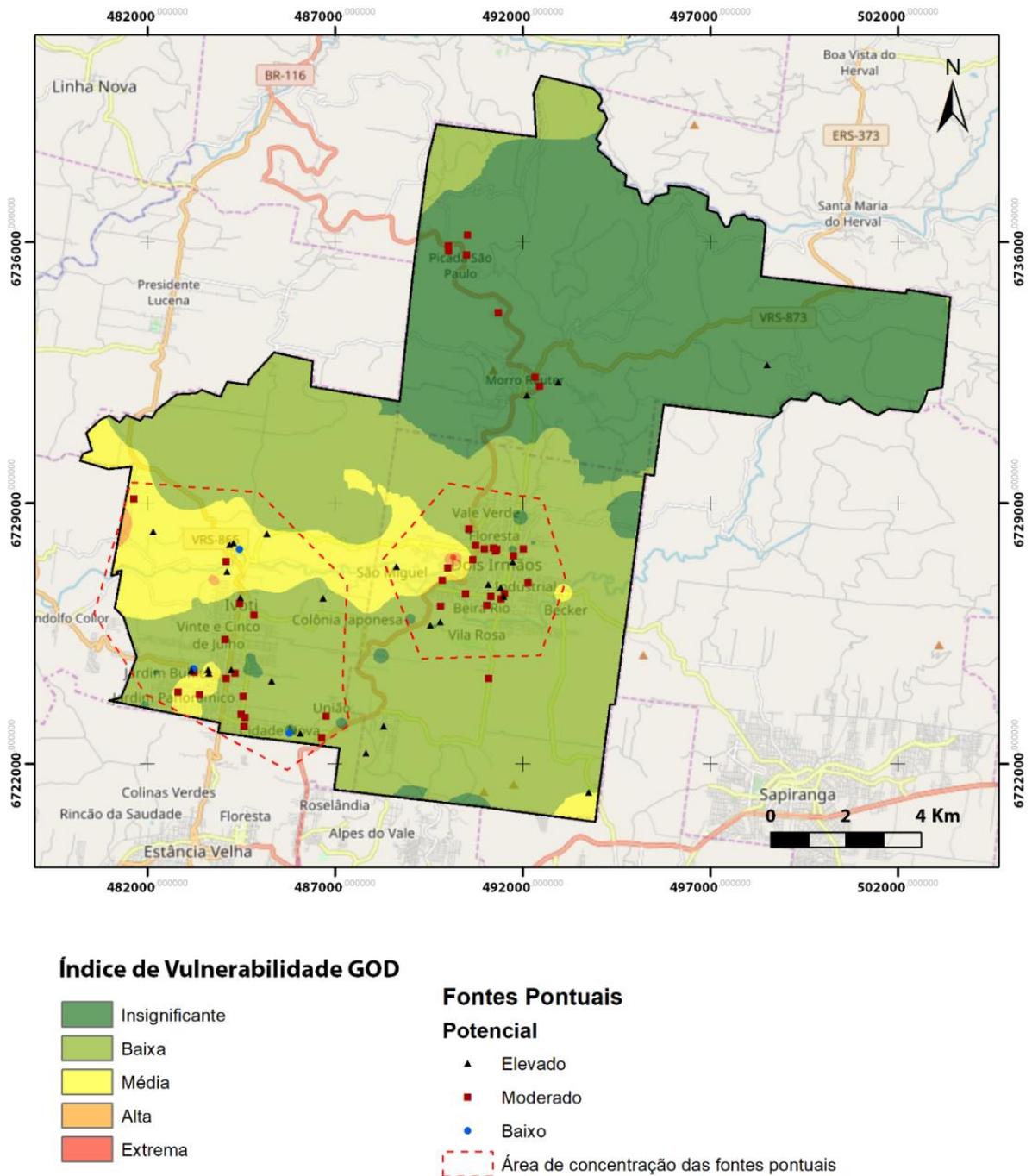
Sobrepondo os dados de vulnerabilidade e fontes difusas, as áreas urbanas no município de Ivoti representam, desta forma, perigo baixo a moderado para contaminação por fontes difusas. Enquanto as áreas urbanas dos municípios de Dois Irmãos e Morro Reuter representam risco desprezível, exceto pontualmente em algumas localidades de Dois Irmãos com perigo baixo e moderado para fontes difusas.

5.4.2 Fontes Pontuais

Neste item foi avaliada a presença das fontes pontuais cadastradas no banco de dados e classificadas conforme a metodologia POSH (FOSTER et al. 2006). Foram identificadas 72 fontes pontuais, de forma que o porte da carga foi considerado significativo para a avaliação do risco de contaminação do SAG. Na área de estudo foram mapeadas 3 fontes com potencial reduzido (4%), 42 fontes com potencial moderado (58%) e 27 fontes com potencial elevado (38%). Entre as fontes de potencial elevado destacam-se curtumes, depósitos de agrotóxicos, matadouros, etc. Já as fontes com potencial moderado são representadas por postos de gasolina, fábricas de calçados, indústrias moveleiras, etc. (Anexo A).

A distribuição das fontes pontuais no mapa de vulnerabilidade da região foi realizada com objetivo de avaliar as zonas com maior perigo à contaminação. Desta forma, distinguiu-se duas áreas com maior concentração das fontes (Figura 53).

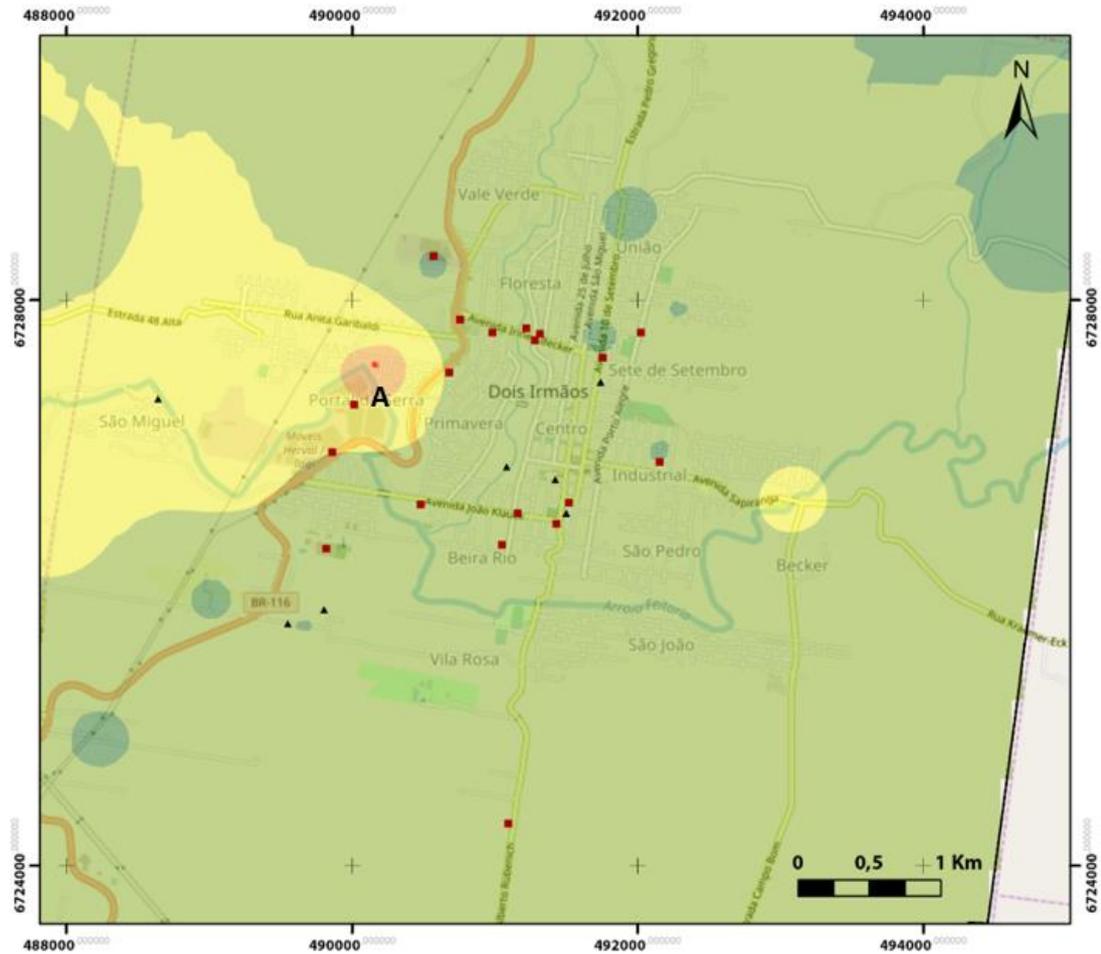
Figura 53 – Mapa de vulnerabilidade com fontes pontuais.



Fonte: Mapa elaborado pelo autor com base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

O mapa de detalhe (Figura 54) revela na área urbana do município de Dois Irmãos uma maior incidência de fontes pontuais com potencial moderado, destaque para a área da indústria do Grupo Herval (Figura 55), item A no mapa, indústria moveleira de grande porte com potencial moderado e inclusa dentro da área de alta vulnerabilidade.

Figura 54 – Mapa de vulnerabilidade em detalhe na área urbana de Dois Irmãos.



Índice de Vulnerabilidade GOD

	Insignificante
	Baixa
	Média
	Alta
	Extrema

Fontes Pontuais

Potencial

	Elevado
	Moderado
	Baixo

Fonte: Mapa elaborado pelo autor com base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

Figura 55 – Localização da área da indústria pertencente ao Grupo Herval, Dois Irmãos.



Fonte: Imagem retirada do Google Earth.

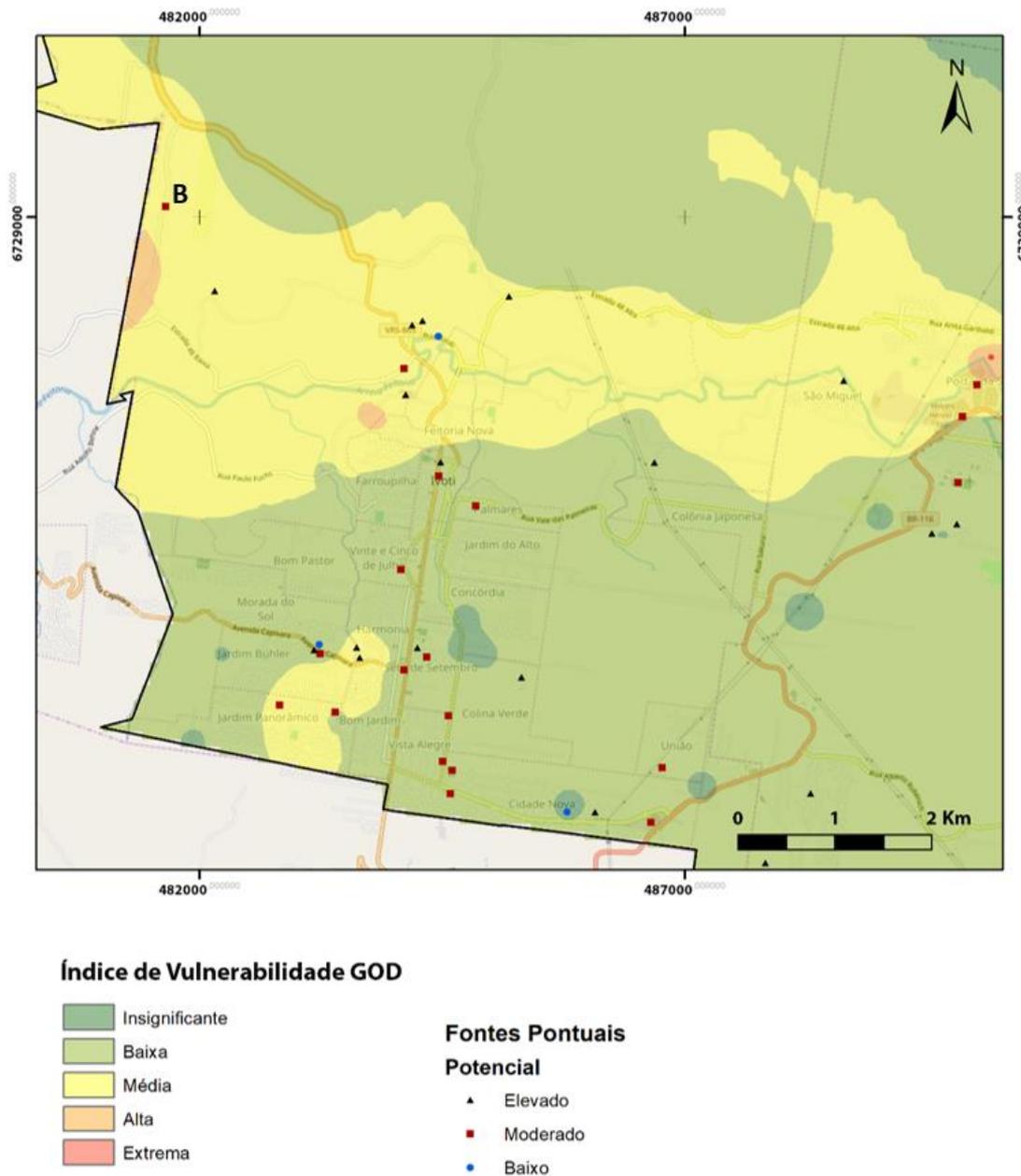
A área de Ivoti apresenta uma maior área com vulnerabilidade média em comparação com os outros municípios. Em detalhe, na Figura 57, observam-se algumas fontes com potencial elevado dentro das áreas com vulnerabilidade média. As fontes classificadas são, principalmente, curtumes, depósitos de agrotóxicos, entre outros e configuram perigo alto à contaminação na região. Destaca-se no mapa o item B (Figura 56), no qual observou-se a presença de um aterro de resíduos industriais em região com vulnerabilidade média.

Figura 56 – Aterro de resíduos industriais, potencial moderado, Ivoti.



Fonte: Foto tirada pelo autor.

Figura 57 – Mapa de vulnerabilidade em detalhe na área urbana de Ivoti.



Fonte: Mapa elaborado pelo autor com base de dados ArcGis 10.4 (ESRI).

6 CONCLUSÕES

Através do estudo realizado concluiu-se que, nos municípios de Ivoti, Dois Irmãos e Morro Reuter, as principais formas de captação da água subterrânea se dão através de poços tubulares. Esses recursos são utilizados, principalmente, para

abastecimento urbano e para o desenvolvimento de atividades comerciais e industriais. Ademais, os recursos hídricos subterrâneos estão associados a diferentes sistemas: Sistema Aquífero Guarani (SAG) e ao Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

O Sistema Aquífero Guarani está associado às rochas sedimentares das Formações Piramboia e Botucatu, principalmente da Fm. Botucatu, a qual encontra-se de forma livre e também confinada pelas rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral. Verificou-se que a profundidade dos poços que captam água desse sistema varia entre 66 e 408 metros, e valor médio de 188,28 metros. A profundidade do topo da Fm. Botucatu variou entre 0 e 360 metros, com um valor médio de 73 metros. O nível estático médio dos poços do SAG para a região é de 67,9 metros e a vazão média 14,21 m³/h, com valores que variam de 0,9 a 35,9 m³/h. Os dados, quando comparados a poços que captam água de ambos os sistemas, apresentaram pequenas diferenças. O intervalo predominante do nível estático para o SAG foi de 60-80 metros, enquanto os poços que captam os dois aquíferos tiveram o intervalo de 0-20 metros como mais expressivo. A vazão média dos poços com captação mista, embora com número de amostra menor, foi de 16,6 m³/h.

Já o Sistema Aquífero Serra Geral está associado à aquíferos fraturados formados pelas rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral. O intervalo de 130-160 m foi o mais significativo referente a profundidade dos poços, o nível estático médio foi de 49,18 metros e a vazão média foi de 6,8 m³/h, considerado como um sistema de vazões baixas na maioria dos poços.

A análise da vulnerabilidade do SAG nos municípios, de maneira geral, apontou as classes baixa e insignificante como as duas principais. A primeira apresentou cerca de 49% do total da área, enquanto a segunda apresentou em torno de 39,08% da área. Isso ocorre devido a cobertura de rochas vulcânicas e confinamento do SAG, existente na maior parte da área. No entanto, as áreas onde afloram as rochas sedimentares são caracterizadas por uma vulnerabilidade média. Estas áreas estão localizadas a norte da zona urbana do município de Ivoti, oeste de Dois Irmãos, próximo a drenagem principal e representam aproximadamente 10% da área de cobertura do estudo. O mapeamento e a identificação das fontes difusas e pontuais revelaram riscos maiores de contaminação onde foram consideradas as

fontes de potencial elevado. As zonas com maior concentração das fontes estão relacionadas às áreas urbanas dos municípios de Ivoti e Dois Irmãos.

O mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas do SAG proposto por este trabalho é resultado da quantidade de dados disponíveis na região de estudo. O mesmo pode ser melhorado e detalhado a medida que evolui o entendimento da hidrogeologia e aumenta-se o número de dados avaliados (parâmetros hidrogeológicos e geológicos dos poços). Lembrando que, tais mapas de vulnerabilidade podem ser de grande valia para uma melhor gestão de recursos subterrâneos, direcionamento de novos empreendimentos, funcionando como instrumento de planejamento territorial, assim como uma ferramenta para prevenir possíveis contaminações dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- ALLER, L. et al. G. Hackett, 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. **USEPA. Cincinnati. OH. USEPA 622p.**
- BARBOSA M. C.; FILHO, J. L. A. Avaliação do perigo de contaminação do Sistema Aquífero Guarani em sua área de afloramento do estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. **Águas Subterrâneas**, v.25, n.1, p.1-14, 2011.
- DE MATOS, A. B.; REGINATO, P. A. R.; ATHAYDE, G. B. Compartimentação hidrogeológica do Sistema Aquífero Guarani na escarpa da serra geral no nordeste do RS. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 130-139, 2018.
- DEEPASK - O mundo e as cidades através de gráficos e mapas. Disponível em <http://www.deepask.com/goes?page=Agricultura:-Confira-a-producao-agricola-e-a-area-plantada-no-seu-municipio>. Acesso em: 10 out. 2018.
- FEITOSA, A.F.C.; M. FILHO, . **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM/ LABHID-UFPE, 1997. 412 p.
- FOSTER, S.; HIRATA, R. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. **WHO- PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual**. Lima, Peru. 1988.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea. Um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Washington, D.C. Banco Mundial. 2006.
- FREITAS, M.A. de; CAYE, B. R.; MACHADO, J.L.F. **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina–Projeto Oeste de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM. SDM-SC/DAS-SC/EPAGRI, 2003.
- HEINE, C.A. **Análise de sustentabilidade de uso do Sistema Aquífero Guarani – SAG em Ivoti-RS**. 2008. 173p. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo, 2008.
- HINDI, E. C. **Hidroquímica e Hidrotermalismo do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Paraná**. 2007. 156p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia. UFPR, Curitiba, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 set. 2018.

LISBOA, N.A. et al. Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do Sul. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13; Cuiabá: **ABAS**, 2004.

MACHADO, J.L.F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. 2005. 237 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo. 2005.

MACHADO, J.L.F.; DE FREITAS, M.A. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2005. Escala 1:750.000.

MANTOVANI, M. S. M. et al. Trace element and strontium isotope constraints on the origin and evolution of Paraná continental flood basalts of Santa Catarina State (southern Brazil). **Journal of Petrology**, v. 26, n. 1, p. 187-209, 1985.

MILANI, J. et al. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 265–287, 2007.

MILANI, J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MURADAS, K. **Análise de Parâmetros para Mapeamento de Vulnerabilidade de Contaminação das Águas Subterrâneas do Aquífero Guarani Nos Municípios de Portão-RS E Estância Velha-RS**. 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo. 2011.

PINHEIRO, R. J. B., RAUBER A.C. C., NUMMER A. V., DA SILVA J. L. S. Aplicação dos Métodos GOD e POSH para determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação dos aquíferos na cidade de Santa Maria-RS. **REGA, Porto Alegre – Vol. 12**, no. 2, p. 61-79, jul. /dez. 2015.

QUEIROZ, G. L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. R. AzimuthFinder: Ferramenta para a Extração de Dados e Apoio na Análise Estrutural. **Revista Geologia USP, Série Científica**, São Paulo, v. 14, n. 1, p.69-80, 2014.

RAPIDEYE - Satellite Imagery. Disponível em:
<https://www.planet.com/products/planet-imagery>. Acesso em: 10 de set. 2018.

REBOUÇAS, A. C.. Potencialidade hidrogeológica dos basaltos da Bacia do Paraná no Brasil. *In* CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 1978. **Anais**, SBG, 1978. v.30, p 2963-2976.

REGINATO, P. A. R. **Integração de Dados para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)**. 254 f, 2003. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2003.

ROISENBERG A.; VIERO, A.P. O vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. *In*: M. HOLZ e L.F. De ROS (eds.), **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, CIGO/ UFRGS. p. 335-354. 2000.

SCHERER, C. M. S. **Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Eocretáceo da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul**. 1998. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil - **Sistema de Informação de Águas Subterrâneas** - SIAGAS. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br>. Acesso em: 14 abr. 2018.

TURNER, S. et al. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 121, n. 3-4, p. 333-348, 1994.

VRBA J., WITKOWSKI, A.J., KOWALCZYK, A. Groundwater vulnerability assessment and mapping. **IAH Selected Papers**, vol 11., 2007.

WAICHEL, B.L., LIMA, E. F., SOMMER, C. A. Tipos de derrame e reconhecimento de estruturas nos basaltos da Formação Serra Geral: terminologia e aspectos de campo. **Pesquisas em Geociências**, v. 33, n. 2, p. 123-133, 2006.

WAICHEL, L.; SCHERER, C. MS; FRANK, H. T. Basaltic lava flows covering active aeolian dunes in the Paraná Basin in southern Brazil: Features and emplacement aspects. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 171, n. 1-2, p. 59-72, 2008.

WHITE, I.C. **Relatório Final apresentado a S. EX. o Dr. Lauro Severiano Muller, Ministro da Indústria, Viação e Obras Públicas**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1908.

WIENER, A. **The role of water in development**. New York: McGraw-Hill, 1972.

WILDNER, W., RAMGRAB, G. E., LOPES, R. D., IGLESIAS, C. D. F. **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre; CPRM, 2008. Mapa Escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil. Mapas Geológicos Estaduais.

ANEXOS

Anexos A – Lista de fontes pontuais cadastradas.....84

Anexo B – Lista de poços e pesos atribuídos GOD.....85

Anexo C – Lista de poços inventariados.....87

ANEXO A - Lista de fontes pontuais cadastradas

Município	Coordenada N	Coordenada E	Empreendimento	Potencial
Ivoti	6724559	483236	Hercosul Alimentos	Reduzido
Ivoti	6727759	484461	Micronização	Reduzido
Ivoti	6722818	485789	Oficina da Madeira, Fábrica de Móveis Artesanais	Reduzido
Ivoti	6723282	486769	Aplicação de Efluente Industrial Tratado Em Solo Agrícola	Moderado
Ivoti	6729110	481649	Aterro Grisa, Resíduos Industriais	Moderado
Ivoti	6725339	484077	Autolub Lubrificantes	Moderado
Dois Irmãos	6726269	491051	Calçados Pegada	Moderado
Ivoti	6723250	484604	Calçados West Coast	Moderado
Dois Irmãos	6726243	489820	Calçados Wirth	Moderado
Morro Reuter	6734120	491359	Criação de Aves de Postura	Moderado
Morro Reuter	6736201	490537	Criação de Aves de Postura	Moderado
Ivoti	6724430	484344	Dass Grupo, Calçados	Moderado
Dois Irmãos	6727862	490760	Depósito/ Comércio Varejista de Combustíveis	Moderado
Dois Irmãos	6726854	492157	Depósito/ Comércio Varejista de Combustíveis	Moderado
Morro Reuter	6735914	490027	Fabricação de Artefatos/ Estruturas De Madeira	Moderado
Dois Irmãos	6726555	490482	Fabricação de Calçados	Moderado
Dois Irmãos	6728310	490571	Fabricação de Calçados	Moderado
Morro Reuter	6735659	490520	Fabricação de Estruturas/ Artefatos/ Recipientes/ Outros Metálicos	Moderado
Dois Irmãos	6726568	491519	Fabricação de Móveis De Madeira/ Bambu/ Vime/ Junco, Com acessórios de metal	Moderado
Dois Irmãos	6727260	490015	Grupo Herval	Moderado
Morro Reuter	6735768	490042	Incorporação de Resíduo Industrial Classe II A Em Solo Agrícola	Moderado
Dois Irmãos	6727592	491759	Incorporação de Resíduo Industrial Classe II A Em Solo Agrícola	Moderado
Dois Irmãos	6724298	491096	Incorporação de Resíduo Industrial Classe II A Em Solo Agrícola	Moderado
Ivoti	6727427	484109	Incorporação de Resíduo Industrial Classe II A em Solo Agrícola	Moderado
Dois Irmãos	6726927	489863	Lancha para uso imediato na Construção Civil - a Céu Aberto, Com Britagem e Recuperação de Área E	Moderado
Ivoti	6722713	486654	Outras Operações de Beneficiamento de Grãos	Moderado
Ivoti	6723928	482824	Parcelamento do Solo Para Fins Residenciais: Loteamentos Ou Desmembramento-Unifamiliar	Moderado
Ivoti	6723009	484587	Posto Bom Jardim	Moderado
Dois Irmãos	6726493	491161	Posto BR	Moderado
Morro Reuter	6732378	492333	Posto Charrua	Moderado
Ivoti	6726309	484466	Posto Cidade Das Flores	Moderado
Dois Irmãos	6726419	491434	Posto Ipiranga	Moderado
Ivoti	6724295	484107	Posto Ipiranga	Moderado
Morro Reuter	6732138	492465	Posto Ipiranga	Moderado
Ivoti	6724458	483242	Posto Kraft	Moderado
Ivoti	6723815	484565	Posto Marmitt	Moderado
Dois Irmãos	6727488	490680	Posto Petrobrás	Moderado
Ivoti	6723342	484508	Posto Petrobrás	Moderado
Dois Irmãos	6727761	491319	Posto Shell Wendling	Moderado
Dois Irmãos	6727770	492023	Silvicultura de Exóticas Com Baixa Capacidade Invasora	Moderado
Dois Irmãos	6727716	491283	Transporte Rodoviário de Produtos E/Ou Resíduos Perigosos	Moderado
Ivoti	6723857	483399	Unipelli Química	Moderado
Dois Irmãos	6727770	490982	Usaflex Calçados	Moderado
Ivoti	6725997	484849	Usina de Triagem e Reciclagem	Moderado
Dois Irmãos	6727798	491222	Wellour Couros	Moderado
Dois Irmãos	6726818	491084	Acabamento de Couros, a partir de Wet Blue Ou Atanado	Elevado
Ivoti	6727877	484193	Cars Curtume	Elevado
Ivoti	6724522	484246	Curtimento De Peles Bovinas/ Suínas/ Caprinas e Equinas - Ate Wet Blue Ou Atanado	Elevado
Ivoti	6724418	483650	Curtume Buhler	Elevado
Ivoti	6727154	484127	Curtume Dillenbug	Elevado
Dois Irmãos	6726728	491425	Depositos de Agrotóxicos	Elevado
Dois Irmãos	6725809	489805	Depositos de Agrotóxicos	Elevado
Ivoti	6728231	482156	Depositos de Agrotóxicos	Elevado
Ivoti	6726449	486689	Fabricação de Aguardente/ Licores/ Outros Destilados	Elevado
Morro Reuter	6731883	492117	Fabricação de Artefatos/Componentes para Calçados	Elevado
Dois Irmãos	6725712	489550	Fabricação de enfeites diversos, com tratamento de superfície	Elevado
Ivoti	6722813	486078	Fabricação de outras bebidas não alcoólicas - Sucos Petry	Elevado
Morro Reuter	6732702	498520	Fabricação de Produtos Químicos	Elevado
Ivoti	6724499	483182	Fabricação de Ração Balanceada/ Farinha De Osso/ Pena/ Alimentos para Animais	Elevado
Dois Irmãos	6727418	491742	Fabricação, Montagem e Reparação de Tratores e Máquinas de Terraplanagem	Elevado
Dois Irmãos	6727297	488642	Geração De Hidroeletricidade	Elevado
Ivoti	6726453	484486	Hospitais com procedimentos complexos	Elevado
Morro Reuter	6735768	490042	Matadouros/ Abatedouros de Aves e Industrialização de Carnes	Elevado
Morro Reuter	6732242	492948	Matadouros/ Abatedouros de Aves e Industrialização de Carnes	Elevado
Ivoti	6724527	483620	Remediação de área degradada por resíduo sólido Industrial Classe I	Elevado
Ivoti	6724217	485317	Remediação de área degradada por resíduo sólido Industrial Classe I	Elevado
Ivoti	6727919	484300	Sean Couros	Elevado
Ivoti	6728174	485191	Serviço de aplicação de agrotóxicos e afins	Elevado
Dois Irmãos	6723011	488298	Serviços de Galvanoplastia	Elevado
Dois Irmãos	6721230	493764	Sistema de Tratamento de Resíduos Oriundos de Limpa Fossa E/Ou Banheiro Químico	Elevado
Dois Irmãos	6726492	491502	Sistemasde Esgotamento Sanitário -Ses	Elevado
Dois Irmãos	6722288	487834	Usina de Asfalto e Concreto Asfáltico, a quente	Elevado

Anexo B – Lista de poços e pesos atribuídos GOD

CÓDIGO	UTM N	UTM E	G	O	D	GOD	CLASSIFICAÇÃO
DO101	6726250	491400	0,4	0,7	0,7	0,196	B
DO102	6726577	493057	0,6	0,7	0,9	0,378	M
DO103	6727541	490160	1	0,8	0,9	0,72	E
DO104	6725550	493050	0,6	0,7	0,7	0,294	B
DO105	6727700	491700	0,2	0,7	0,7	0,098	I
DO106	6725565	493093	0,4	0,7	0,7	0,196	B
DO107	6727812	490104	0,6	0,7	0,8	0,336	M
DO108	6728237	490559	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO109	6726848	491965	0,6	0,7	0,7	0,294	B
DO110	6728755	491397	0,4	0,7	0,6	0,168	B
DO111	6725545	493040	0,4	0,7	0,7	0,196	B
DO113	6725550	493060	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO114	6727732	491719	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO115	6727931	492281	0,2	0,7	0,7	0,098	I
DO116	6725701	489664	0,2	0,7	0,7	0,098	I
DO117	6730416	491602	0,2	0,7	0,8	0,112	B
DO118	6726936	492154	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO119	6727750	491250	0,4	0,7	0,8	0,224	B
DO120	6724000	488200	0,4	0,7	0,8	0,224	B
DO121	6726700	491700	0,4	0,7	0,8	0,224	B
DO122	6723350	488200	0,2	0,7	0,8	0,112	B
DO123	6728600	491900	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO124	6726680	491800	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO125	6726900	492100	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO126	6726300	491400	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO127	6727300	491300	0,6	0,7	0,7	0,294	B
DO128	6726289	489944	0,2	0,7	0,7	0,098	I
DO129	6726481	492186	0,6	0,7	0,7	0,294	B
DO130	6720585	490687	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO131	6728446	494837	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO132	6724902	488233	0,2	0,7	0,6	0,084	I
DO133	6725895	489008	0,2	0,7	0,6	0,084	I
NO01	6723560	484840	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO03	6723621	483754	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO04	6724010	483173	1	0,8	0,6	0,48	M
NO05	6724018	483182	1	0,8	0,6	0,48	M
NO06	6725130	483900	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO07	6725280	481742	0,4	0,7	0,7	0,196	B
NO08	6725841	483989	0,4	0,7	0,6	0,168	B
NO10	6726360	483308	0,6	0,7	0,7	0,294	B
NO13	6722841	484408	0,4	0,7	0,7	0,196	B
NO15	6722983	485230	0,4	0,7	0,6	0,168	B
NO16	6723617	483758	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO17	6723788	483400	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO18	6723832	484731	0,4	0,7	0,7	0,196	B
NO19	6724040	483225	1	0,8	0,6	0,48	M
NO20	6724118	483581	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO21	6724428	484922	0,2	0,7	0,6	0,084	I
NO22	6724455	482247	0,2	0,7	0,6	0,084	I
NO23	6724527	482665	0,4	0,7	0,6	0,168	B
NO24	6724540	483215	0,4	0,7	0,6	0,168	B
NO25	6724546	482693	0,4	0,7	0,6	0,168	B
NO26	6724860	484728	0,2	0,7	0,6	0,084	I
NO27	6725055	483496	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO28	6725172	483965	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO29	6725522	484984	0,4	0,7	0,6	0,168	B
NO30	6725543	484404	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO31	6726036	485111	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO32	6726164	485064	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO34	6727066	483912	0,6	0,7	0,8	0,336	M
NO35	6724115	483532	1	0,8	0,6	0,48	M
NO36	6724505	484684	0,2	0,7	0,6	0,084	I
NO37	6723562	481943	0,2	0,7	0,6	0,084	I
NO38	6723798	484605	0,6	0,7	0,6	0,252	B
NO39	6724000	484376	0,2	0,7	0,7	0,098	I
NO40	6724256	484090	0,4	0,7	0,7	0,196	B
NO41	6724546	484727	0,2	0,7	0,6	0,084	I
NO43	6726838	486568	0,6	0,7	0,7	0,294	B
NO44	6729562	483071	0,4	0,7	0,6	0,168	B
NO45	6722749	486994	0,2	0,7	0,9	0,126	B

CÓDIGO	UTM N	UTM E	G	O	D	GOD	Classificação
IV046	6724409	483824	0,6	0,7	0,9	0,378	M
IV047	6722888	485786	0,2	0,7	0,6	0,084	I
IV048	6723481	484114	0,6	0,7	0,6	0,252	B
IV049	6728395	480927	1	0,8	0,8	0,64	A
IV050	6726340	484430	0,4	0,7	0,9	0,252	B
IV051	6726470	487901	1	0,8	0,8	0,64	A
IV052	6726500	480889	0,6	0,7	0,8	0,336	M
IV053	6722636	487151	0,4	0,7	0,6	0,168	B
IV063	6723047	487170	0,2	0,7	0,6	0,084	I
IV064	6726059	487082	0,4	0,7	0,6	0,168	B
IV065	6726160	486151	0,4	0,7	0,6	0,168	B
IV072	6726267	486152	0,4	0,7	0,6	0,168	B
IV073	6726966	483824	1	0,8	0,8	0,64	A
IVR01	6730790	492760	0,2	0,7	0,7	0,098	I
MR02	6730794	492762	0,2	0,7	0,8	0,112	B
MR03	6731286	492557	0,2	0,7	0,6	0,084	I
MR04	6731761	490556	0,2	0,7	0,6	0,084	I
MR05	6731759	490545	0,2	0,7	0,6	0,084	I
MR09	6732330	492665	0,2	0,7	0,6	0,084	I
MR12	6732125	491740	0,2	0,7	0,6	0,084	I
MR13	6731761	490550	0,2	0,7	0,6	0,084	I
MR16	6732657	492754	0,2	0,7	0,6	0,084	I
MR23	6731659	491641	0,2	0,7	0,6	0,084	I
MR24	6735207	489184	0,2	0,7	0,7	0,098	I
MR25	6733265	492230	0,2	0,7	0,6	0,084	I
MR27	6731926	492078	0,2	0,7	0,6	0,084	I
MR28	6731916	492188	0,2	0,7	0,6	0,084	I
PC01	6727619	482395	1	0,8	0,6	0,48	M
PC02	6726475	482132	1	0,8	0,6	0,48	M
PC03	6727586	485674	1	0,8	0,6	0,48	M
PC04	6727073	485552	1	0,8	0,6	0,48	M
PC05	6727347	487602	1	0,8	0,6	0,48	M
PC06	6726927	487478	1	0,8	0,6	0,48	M
PC07	6726942	489135	1	0,8	0,6	0,48	M
PC08	6728758	485716	0,4	0,7	0,6	0,168	B

CÓDIGO	UTM N	UTM E	G	O	D	GOD	Classificação
PC09	6728304	487605	0,4	0,7	0,6	0,168	B
PERIF01	6733012	498905	0,2	0,7	0,6	0,084	I
PERIF02	6734654	494901	0,2	0,7	0,6	0,084	I
PERIF03	6734159	491379	0,2	0,7	0,6	0,084	I
PERIF04	6734453	484544	0,2	0,7	0,6	0,084	I
PERIF05	6731562	482204	0,2	0,7	0,9	0,126	B
PERIF06	6734682	485766	0,2	0,7	0,9	0,126	B
PERIF07	6738497	486628	0,2	0,7	0,9	0,126	B
PERIF08	6738654	486729	0,2	0,7	0,9	0,126	B
PERIF09	6741331	494177	0,2	0,7	0,9	0,126	B
PERIF10	6738220	496979	0,2	0,7	0,6	0,084	I
PERIF11	6736351	500376	0,2	0,7	0,7	0,098	I
PERIF12	6722485	494974	0,4	0,7	0,6	0,168	B
PERIF13	6720725	488770	0,2	0,7	0,6	0,084	I
PERIF14	6721984	484202	1	0,8	0,8	0,64	A
PERIF15	6730349	478815	1	0,8	0,7	0,56	A
PERIF16	6735342	506737	0,2	0,7	0,9	0,126	B
PERIF17	6719821	493911	1	0,8	0,7	0,56	A
PERIF18	6724492	480624	1	0,8	0,8	0,64	A

OBS: I: Insignificante, B: Baixa, M: Média, A: Alta, E: Extremo.

PC: Poço Controle.

PERIF: Poço localizado na periferia.

Anexo C – Lista de poços inventariados

Cod.proflho	Situação	Coordenada N	Coordenada E	Altitude	Profundidade	EA - Profundidade	EA - Litologia	Prof. T. A.	E. R. V	NE	Vazio
DO101	PRODUTIVO	6726250	491400	155	100			66	22	72	
DO102	PRODUTIVO	6726577	493057	133	66	73-79; 88-97		24	22	4,48	12
DO103	PRODUTIVO	6727541	490160	107	68	23-48	23 BASALTO-48 ARENITO	0	0	4,67	24
DO104	PRODUTIVO	6725550	493050	171	180	36-42; 60		54	54	24,92	8
DO105	PRODUTIVO	6727700	491700	181	194	55-76	ARENITO	144	144	29,06	25
DO106	PRODUTIVO	6725565	493093	167	116			83	83	49,61	4,68
DO107	PRODUTIVO	6728112	490104	97	120	13-15-38-42; 54; 66-72; 78-90-96	13-15 BASALTO/ RESTANTE ARENITO	37,6	37,6	10,47	46,58
DO108	PRODUTIVO	6728237	490559	186	150	70-72; 114-120	70-72 BASALTO/ RESTANTE ARENITO	106	106	58,35	37,71
DO109	PRODUTIVO	6726848	491965	171	204,87			43	43	44,55	30
DO110	PRODUTIVO	6728755	491367	177	222,21	65; 119-130-162	ARENITO	65	65	77,8	14,4
DO111	PRODUTIVO	6725445	493040	154	122			90	90	42,44	9,65
DO112	PRODUTIVO	6727105	488375	109	126	82-114	BASALTO	N. Ocorre	77,77	5,07	
DO113	PRODUTIVO	6725550	493050	154	160			N. Ocorre	28,61	12	
DO114	PRODUTIVO	6727332	491719	166	195	150-158	ARENITO	145	145	80,17	22,5
DO115	PRODUTIVO	6727931	492281	190	264	26-32; 144	26-32 BASALTO/ 144 ARENITO	134	134	44,17	134,9
DO116	PRODUTIVO	6725701	489664	229	276	104-144; 156-168	104 BASALTO/ RESTANTE ARENITO	108	108	47,59	11,78
DO117	ESTUDO	6730416	491602	235	228			179	179	10,74	
DO118	PRODUTIVO	6726936	492154	160	130			N. Ocorre	10,74	64,8	3,328
DO119	PRODUTIVO	6727750	491250	151	133	62-123	BASALTO	63	63	19	10
DO120	PRODUTIVO	6724000	488200	155	150			75	75	19	6,6
DO121	PRODUTIVO	6726700	491700	173	175			97	97	17	4
DO122	PRODUTIVO	6723350	488200	186	149			112	112	12	5
DO123	PRODUTIVO	6728600	491900	208	200			154	154	58	5
DO124	PRODUTIVO	6726680	491800	168	150			N. Ocorre	11	11	4,2
DO125	PRODUTIVO	6726900	492100	171	130			N. Ocorre	18	18	6
DO126	PRODUTIVO	6726900	491400	162	100	73-79; 88-97	BASALTO	N. Ocorre	40	40	7,4
DO127	PRODUTIVO	6727300	491300	155	130	41; 63-73-97	ARENITO	39	39	39	7,3
DO128	PRODUTIVO	6726289	489944	144	165	19-112; 115-135; 148-157	19- BASALTO/ RESTANTE ARENITO	111	111	106	38,8
DO129	PRODUTIVO	6726481	492168	170	133	84-102; 120	ARENITO	54	52	34	10
DO130	PRODUTIVO	6720585	490687	290	310	310	ARENITO	256	253	190	0,9
DO131	PRODUTIVO	6728446	494837	243	181	154-157-163	ARENITO	132	131	92	3,83
DO132	PRODUTIVO	6724902	488233	192	200	59-133; 162-179	59- BASALTO/ RESTANTE ARENITO	127	124	78	12,85
DO133	PRODUTIVO	6725895	489008	174	235	159	ARENITO	159	159	94,94	4,062
DO134	PRODUTIVO	6722880	491004	225	174			SEM PERIL			3
DO135	PRODUTIVO	6721242	490735	388	210			SEM PERIL			2,8
DO136	PRODUTIVO	6721237	490736	387	306			SEM PERIL			5,5
DO137	PRODUTIVO	6722680	491004	225	174	10-110; 169		SEM PERIL			3,8
DO138	PRODUTIVO	6723710	487462	163	132	76-114		SEM PERIL			8
NO001	MPRODUTIVO	6723560	484840	191	330	140; 226; 313-320	ARENITO	56	50	119,85	34,4
NO002	MPRODUTIVO	6723508	484834	198	200			48	48		
NO003	PRODUTIVO	6723621	483754	173	180			25	25	119	
NO004	PRODUTIVO	6724010	483173	144	186			0	0	53,2	
NO005	PRODUTIVO	6724018	483182	146	173			0	0	60	35
NO006	PRODUTIVO	6725130	483900	140	186	68-95	ARENITO	10	5	90,59	5
NO007	PRODUTIVO	6725280	481742	114	180			70	65	35,5	
NO008	PRODUTIVO	6725841	483989	145	175	59-81-134	ARENITO	80	80	103,14	15
NO009	MPRODUTIVO	6725620	484159	145	118			34	33		
NO010	PRODUTIVO	6726360	483308	48	216			28	22	4,65	11
NO011	PRODUTIVO				180	136-162	ARENITO	102	101		3,672
NO012	PRODUTIVO				204	102-160	ARENITO	94	92		
NO013	MPRODUTIVO	6722841	484408	156	200		18 BASALTO/ RESTANTE ARENITO	88	88	43,46	7,2
NO014	MPRODUTIVO	6722882	486386	165	180	18-102; 130	BASALTO	N. Ocorre			
NO015	PRODUTIVO	6722983	485230	177	186	171	ARENITO	78	76	130,3	18
NO016	PRODUTIVO	6723617	483758	120	180	72-106; 120-150-160	ARENITO	30	26	97,86	23,29
NO017	PRODUTIVO	6723788	483400	163	186	105	ARENITO	24	18	105,54	8
NO018	PRODUTIVO	6723832	484731	167	180			64	64	37,8	2,5
NO019	PRODUTIVO	6724040	483225	143	173	60-78-96-140	ARENITO	0	0	61,21	35,99
NO020	PRODUTIVO	6724118	483581	82	180			7	3	63,38	18,36
NO021	PRODUTIVO	6724428	482922	140	200	26-32-133-160	26-32 BASALTO- RESTANTE ARENITO	126	125	83,62	
NO022	PRODUTIVO	6724455	482247	160	174	122	ARENITO	124	120	97,4	18
NO023	PRODUTIVO	6724527	482665	140	174	106-138-144	ARENITO	70	69	89,37	17,56
NO024	PRODUTIVO	6724540	483215	151	156	18-26-110-120	18-26- BASALTO- RESTANTE ARENITO	64	62	65,43	18
NO025	PRODUTIVO	6724546	482693	188	180	16-100-135-148	16- BASALTO- RESTANTE NO ARENITO	98	98	85,59	15,84
NO026	PRODUTIVO	6724860	484728	91	181	120	ARENITO	114	112	76,15	12,86
NO027	PRODUTIVO	6725055	483456	154	180	110-150	ARENITO	36	31	73,05	18
NO028	PRODUTIVO	6725172	483965	141	186			13,5	8,5	90,24	10,26
NO029	PRODUTIVO	6725522	483984	177	261	144; 156; 164-204	ARENITO	77	67	120,44	27,41

