

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
CURSO DE ENGENHARIA HÍDRICA

RODRIGO SCHWAMBACH

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE E DO RISCO POTENCIAL DE
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO
SERRA GERAL NO MUNICÍPIO DE FLORES DA CUNHA

PORTO ALEGRE

2022

Rodrigo Schwambach

**Análise da vulnerabilidade e do risco potencial de
contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero
Serra Geral no município de Flores da Cunha**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Hídrica.

Orientador: Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

Coorientador: Dr. Fernando Comerlato Scottá

Porto Alegre

2022

CIP - Catalogação na Publicação

SCHWAMBACH, RODRIGO

Análise da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral no município de Flores da Cunha / RODRIGO SCHWAMBACH. -- 2022.

109 f.

Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato.

Coorientador: Fernando Comerlato Scottá.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia Hidrica, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Vulnerabilidade de aquíferos. 2. Risco potencial de contaminação. 3. Água subterrânea. 4. Aquífero Serra Geral. I. Roehe Reginato, Pedro Antonio, orient. II. Comerlato Scottá, Fernando, coorient. III. Título.

Rodrigo Schwambach

**Análise da vulnerabilidade e do risco potencial de
contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero
Serra Geral no município de Flores da Cunha**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Hídrica.

Aprovado em: Porto Alegre, 22 de Setembro de 2022.

Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato
Orientador

Dr. Luciano Marquette
Convidado

Dr. Tiago de Vargas
Convidado

Porto Alegre
2022

*“ In three words I can sum up everything I’ve learned about life:
It goes on.”
Frost, Robert.*

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos em especial são para àqueles que tornaram tudo isso possível.

Aos meu pais, Raquel e Flávio, que mesmo com o coração apertado, me deixaram livre para escolher a vinda a Porto Alegre. Ao meu irmão Arthur que esteve comigo sempre, seja em pensamento nos primeiros anos e fisicamente após sua vinda para Porto Alegre. Ainda, à minha excelentíssima namorada Naiana, que sempre me apoiou e esteve do meu lado, mesmo que longe durante as semanas.

A todos os meus amigos, especialmente a Giulia e ao Lenardo que foram a base da minha graduação e amizade, e também aos meus amigos do MQG, que mesmo longe nunca deixaram com que eu me sentisse sozinho.

A todos os amigos e amigas, em especial à gurizada do AP 42 que, juntos, enfrentamos todas as dificuldades de morar longe de casa. Obrigado por tudo que passamos juntos, com certeza vocês tornaram tudo isso muito mais fácil.

Aos professores que tive durante a graduação, pelos ensinamentos acadêmicos e de vida. Um agradecimento especial ao meu orientador Pedro Reginato e ao meu co-orientador Fernando Scotta, pela disponibilidade para tudo que precisei, seja durante a semana, ou finais de semana e feriados.

Por fim, um reconhecimento à UFRGS pela excelência e às agências de fomento à pesquisa, FAPERGS, FAPESP, CAPES e CNPq, pelo importante trabalho de incentivo à pesquisa científica brasileira.

Obrigado por tudo!

RESUMO

O crescimento pela demanda de água aumenta cada vez mais uma vez que a dependência do mesmo está atrelada a diferentes usos e explorações da mesma. Diretamente ligado a esse crescimento do uso da água, é de extrema importância que medidas de prevenção sejam tomadas com a finalidade de conservarmos nossos recursos hídricos subterrâneos. Este estudo buscou analisar e identificar a vulnerabilidade e o risco de contaminação do sistema aquífero Serra Geral no município de Flores da Cunha. Utilizando dados disponibilizados pelos principais órgãos de água subterrânea do país e do estado e também órgãos ambientais foi possível realizar a caracterização geológica e hidrogeológica do local de estudo, bem como criar um banco de dados para o emprego das metodologias adequadas. A vulnerabilidade do sistema aquífero Serra Geral foi avaliada através da metodologia GOD e o risco de contaminação do mesmo foi avaliado através da metodologia POSH. Na região de estudo, o Sistema Aquífero Serra Geral está localizado nas fraturas das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Para realizar este estudo o banco de dados criado era composto por 322 dados de poços, porém apenas 122 deles possuíam dados suficientes para a aplicação das metodologias propostas. A caracterização hidrogeológica foi possível de ser feita baseada em dados de profundidade, nível estático e vazão de estabilização. As profundidades variaram entre 18 e 306 metros com uma média de 122 metros. O nível estático variou entre 0,06 e 70 metros, com uma média de 15 metros e as vazões de estabilização variaram entre 0,1 e 184 m³/h com uma média de 26,10 m³/h. A análise da vulnerabilidade do sistema aquífero Serra Geral mostrou que 94% da área do município encontra-se sob a classe de vulnerabilidade moderada, com ainda 5% com classe baixa e o 1% restante com classe alta. Das fontes de contaminação difusas, em relação ao potencial contaminador, 55% da área foi definida como não classificado, 40% foi classificado como moderado, 5% foi classificado como reduzido e valores inexpressíveis de área (0.19 km²) foram classificados como elevado. As fontes de contaminação pontuais foram representadas por 184 fontes sendo que 73% foram classificadas como potencial contaminador reduzido, 9% foram classificadas como potencial contaminador moderado e o restante, 18%, classificadas como potencial contaminador elevado. O risco de contaminação das fontes difusas teve como resultado 55% da área classificado como desprezível, 38% classificado como moderado, 7% classificado como baixo e valores inexpressíveis foram classificados como muito baixo (0.8 km²) e elevado (1.33 km²). Já o risco de contaminação das fontes pontuais mostrou que 4% (7 fontes) foram classificadas como risco muito baixo, 67% (124 fontes) foram classificadas como risco baixo, 10% (19 fontes) foram classificadas como risco moderado, 19% (34 fontes) foram classificadas como risco alto.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Risco de Contaminação. *GOD*. *POSH*

ABSTRACT

The growth in the demand for water is increasing more and more as dependence on it is tied to different uses and exploitation of water. Directly linked to this growth and this increase in water demand, it is extremely important that preventive measures are taken in order to conserve our underground water resources. This study sought to analyze and identify the vulnerability and risk of contamination of the serra geral aquifer system in the municipality of Flores da Cunha. Using data available for the main bodies of underground water of the country and the state and also environmental bodies it was possible to carry through the geologic and hydrogeologic characterization of the place of study, as well as to create a database for the employment of methodologies. The vulnerability of the serra geral aquifer system was assessed using the through the GOD methodology and its contamination risk was evaluated through the POSH methodology. In the study region, the Serra Geral Aquifer System occurs through fractures in the volcanic rocks of the Serra Geral Formation. To carry out this study the database created was composed of 322 wells. However, only 122 of them had sufficient data for the application of the proposed methodologies. The hydrogeological characterization was possible to be done based on depth, static level and stabilization flow data. The depths ranged between 18 and 306 meters with an average of 122 meters. The static level ranged from 0.06 and 70 meters, with an average of 15 meters, and the stabilization flow rates ranged between 0.1 and 184 m³/h with an average of 26.10 m³/h. The vulnerability analysis of the Serra Geral aquifer system showed that 94% of the municipal area is under the moderate vulnerability class, with still 5% in the low class and the remaining 1% in the high class. Of the diffuse sources of contamination, in relation to the potential contaminant, 55% of the area was defined as negligible, 40% was classified as moderate, 5% was classified as low, and inexpressible values of area (0.19 km²) were classified as high. Point sources of contamination were represented by 184 sources of which 73% were classified as low contaminant potential, 9% were classified as moderate contaminant potential, and the remaining 18% were classified as high contaminant potential. The risk of contamination from diffuse sources resulted in 55% of the area being classified as despicable, 38% as moderate, 7% as low, and negligible values were classified as very low (0.8 km²) and high (1.33 km²). The contamination risk of point sources showed that 4% (7 sources) were classified as very low risk, 67% (124 sources) were classified as low risk, 10% (19 sources) were classified as moderate risk, 19% (34 sources) were classified as high risk.

Keywords: Contamination. Contamination Risk. *GOD*. *POSH*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Volume de água produzido por ano para Flores da Cunha. Fonte: SNIS (2020)	24
Figura 2 – Município de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de IBGE (2012).	26
Figura 3 – Mapa geomorfológico simplificado da Bacia do Paraná. Fonte: (IBGE, 2018)	28
Figura 4 – Mapa de solos para o município de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de Flores et al. (2007)	29
Figura 5 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná. Fonte: (MILANI, 2004)	32
Figura 6 – Geologia de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de WILDNER et al. (2008).	33
Figura 7 – Arcabouço hidroestratigráfico dos compartimentos estruturais do SAG proposto para o Rio Grande do Sul. Fonte: (MACHADO; FREITAS, 2005)	35
Figura 8 – Hidrogeologia de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de MACHADO e Freitas (2005)	38
Figura 9 – Parâmetros de avaliação do método GOD. Fonte: (FOSTER et al., 2002)	42
Figura 10 – Esquema conceitual para avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea. Fonte: Foster et al. (2002)	45
Figura 11 – Classificação e mapeamento das fontes de contaminação difusas segundo o sistema POSH. Fonte: (FOSTER et al., 2002)	47
Figura 12 – Classificação e ranqueamento das fontes de contaminação pontuais segundo o sistema POSH. Fonte: (FOSTER et al., 2002)	47
Figura 13 – Fluxograma simplificado das diferentes etapas da metodologia do projeto. Fonte: Própria do Autor	49
Figura 14 – Produção do mapa de vulnerabilidade de acordo com a metodologia GOD. Fonte: (FOSTER et al., 2002)	53
Figura 15 – Classificação dos índices de vulnerabilidades em classes de vulnerabilidade. Fonte: (FOSTER et al., 2002)	53
Figura 16 – Método POSH para avaliação de Fontes Difusas. Fonte: (FOSTER et al., 2002)	54
Figura 17 – Método POSH para avaliação de Fontes Pontuais. Fonte: (FOSTER et al., 2002)	55
Figura 18 – Matriz do Risco de Contaminação dos Aquíferos. Fonte: Foster et al. (2002)	56

Figura 19 – Poços de abastecimento do município de Flores da Cunha Fonte: Própria do Autor	59
Figura 20 – Geologia de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de WILDNER et al. (2008).	60
Figura 21 – Lineamentos identificados para a região da Serra Gaúcha. Fonte: Reginato (2003)	61
Figura 22 – Diagrama de roseta com as direções dos lineamentos. Fonte: Própria do autor.	62
Figura 23 – Frequência dos comprimentos dos lineamentos. Fonte: Própria do Autor.	62
Figura 24 – Mapa da densidade de lineamentos. Fonte: Adaptado de Reginato (2003).	63
Figura 25 – Unidade hidroestratigráfica do município de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de MACHADO e Freitas (2005)	64
Figura 26 – Poços avaliados para o estudo no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor	65
Figura 27 – Profundidade dos poços avaliados. Fonte: Própria do Autor	66
Figura 28 – Nível estático dos poços avaliados. Fonte: Própria do Autor	66
Figura 29 – Vazão de estabilização dos poços avaliados. Fonte: Própria do Autor	67
Figura 30 – Mapa do Parâmetro G. Fonte: Própria do Autor	69
Figura 31 – Mapa do Parâmetro O. Fonte: Própria do Autor	70
Figura 32 – Mapa do Parâmetro D. Fonte: Própria do Autor	71
Figura 33 – Classificação de cada poço segundo a metodologia <i>GOD</i> . Fonte: Própria do Autor	72
Figura 34 – Distribuição percentual dos poços do SASG nas diferentes classes de vulnerabilidade. Fonte: Própria do Autor	73
Figura 35 – Mapa da Vulnerabilidade no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor	74
Figura 36 – Porcentagem da área da Vulnerabilidade no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor	75
Figura 37 – Classificação do Perigo de Contaminação. Fonte: Adaptado de Barbosa et al. (2011)	76
Figura 38 – Uso e ocupação do solo no município de Flores da Cunha. Fonte: Map-Biomas (JR et al., 2020)	77
Figura 39 – Mapa do potencial de contaminação das fontes difusas do município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor	79
Figura 40 – Distribuição percentual das áreas do potencial de contaminação das fontes difusas do município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor	79
Figura 41 – Risco potencial de contaminação do município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor	80

Figura 42 – Gráfico com distribuição percentual do risco potencial de contaminação das fontes difusas. Fonte: Própria do Autor	81
Figura 43 – Classificação das fontes de contaminação pontuais segundo o sistema POSH. Fonte: (FOSTER et al., 2002)	82
Figura 44 – Fontes de contaminação pontuais identificadas no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor	83
Figura 45 – Classificação das fontes de contaminação pontuais identificadas no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor	84
Figura 46 – Risco potencial de contaminação das fontes pontuais identificadas no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor	85
Figura 47 – Detalhe da primeira zona do aglomerado de fontes pontuais de contaminação classificadas quanto ao risco de contaminação. Fonte: Própria do Autor	86
Figura 48 – Detalhe da segunda zona do aglomerado de fontes pontuais de contaminação classificadas quanto ao risco de contaminação. Fonte: Própria do Autor	87
Figura 49 – Gráfico com distribuição percentual do risco potencial de contaminação das fontes pontuais. Fonte: Própria do Autor	88
Figura 50 – Densidade de lineamentos na área mais delicada do município. Fonte: Própria do Autor	89
Figura 51 – Risco potencial de contaminação das fontes difusas na área delicada do município. Fonte: Própria do Autor	90
Figura 52 – Risco potencial de contaminação das fontes difusas na área delicada do município. Fonte: Própria do Autor	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais métodos de classificação de vulnerabilidade de aquíferos. Fonte: Própria do Autor	41
Tabela 2 – Área de cada uso e ocupação e classificação segundo o método POSH. Fonte: Própria do Autor	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IPH	<i>Instituto de Pesquisas Hidráulicas</i>
UFRGS	<i>Universidade Federal do Rio Grande do Sul</i>
GOD	<i>Grau de confinamento; Ocorrência de estratos de cobertura; Distância do nível freático</i>
km ²	<i>Kilômetros quadrados</i>
m	<i>Metros</i>
m ³	<i>Metros cúbicos</i>
m ³ /h	<i>Metros cúbicos por hora</i>
m ³ /dia	<i>Metros cúbicos por dia</i>
PIB	<i>Produto interno Bruto</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
POSH	<i>Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically</i>
SASG	<i>Sistema Aquífero Serra Geral</i>
SAG	<i>Sistema Aquífero Guaraní</i>
SIAGAS	<i>Sistema de Informações de Águas Subterrâneas</i>
FEPAM	<i>Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler</i>
CPRM	<i>Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais</i>
SEMA	<i>Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura</i>
CORSAN	<i>Companhia Rio-grandense de Saneamento</i>
DRASTIC	<i>Profundidade do Aquífero, Recarga, Meio Aquífero, Solo, Topografia, Impacto da Zona Vadosa, Condutividade Hidráulica</i>
Fm	<i>Formação</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	23
3	JUSTIFICATIVA	24
4	OBJETIVO	25
4.1	Objetivos Específicos	25
5	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
6	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
6.1	Contexto Geológico	31
6.2	Contexto Hidrogeológico	34
6.2.1	Sistema aquífero Guarani (SAG)	34
6.2.2	Sistema Aquífero Serra Geral	37
6.3	Vulnerabilidade de Aquíferos	39
6.4	Contaminação da Água Subterrânea e Risco Potencial de Contaminação	44
7	METODOLOGIA	49
7.1	Levantamento de Dados Existentes	49
7.2	Inventário e Cadastramento de Pontos de Captação	50
7.3	Caracterização Geológica	50
7.4	Caracterização Hidrogeológica	51
7.5	Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral	51
7.6	Avaliação do Risco Potencial de Contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral	53
7.7	Avaliação do Risco Potencial de Contaminação na área de ocorrência de Poços Tubulares utilizados para abastecimento	56
8	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
8.1	Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Flores da Cunha	58
8.2	Caracterização Geológica	59
8.3	Caracterização Hidrogeológica	64
8.4	Avaliação da Vulnerabilidade dos Aquíferos	67
8.4.1	Parâmetro G	67

8.4.2	Parâmetro O	69
8.4.3	Parâmetro D	70
8.4.4	Vulnerabilidade Intrínseca - GOD	71
8.5	Avaliação do Risco Potencial de Contaminação dos Aquíferos	75
8.5.1	Fontes Difusas	76
8.5.2	Fontes Pontuais	82
8.6	Avaliação do Risco Potencial de Contaminação na área de ocorrência de Poços Tubulares utilizados para abastecimento	88
9	CONCLUSÕES	92
	REFERÊNCIAS	94
	APÊNDICES	99
	APÊNDICE A – BANCO DE DADOS DE FLORES DA CUNHA	100
	APÊNDICE B – POÇOS AVALIADOS PELA METODOLOGIA GOD	101
	APÊNDICE C – FONTES PONTUAIS DE CONTAMINAÇÃO	105

1 INTRODUÇÃO

Águas subterrâneas referem-se a toda e qualquer parcela de água que são armazenadas abaixo da superfície terrestre, ou seja, a água que ocupa poros e fraturas existentes em rochas e grãos dos solos (ABAS, 2022).

De muita importância para toda a civilização humana, a exploração das águas subterrâneas cresce muito, com diferentes finalidades de uso. A água subterrânea, em muitos casos, é responsável pelo abastecimento de água potável em áreas urbanas e rurais de diversos municípios. O aumento populacional está diretamente ligado a uma expansão do sistema de abastecimento de água para consumo, além de estar associado a demais setores que estão em expansão e necessitam de um aumento na disponibilidade hídrica, como por exemplo os setores agrícola e industrial.

A principal origem da água subterrânea é proveniente de infiltrações de água da chuva na superfície do solo, sendo que esse processo é limitado e controlado por algumas condicionantes como características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de uso e ocupação do solo próximas à superfície (ABAS, 2022). Assim, torna-se cada vez mais importante a gestão e o manejo adequado das águas superficiais com o objetivo de inibir possíveis efeitos negativos nas águas subterrâneas.

A vulnerabilidade natural dos aquíferos é definida como maior ou menor grau de disponibilidade que um aquífero possui em sofrer contaminação. Assim, o risco potencial de contaminação é oriundo de uma ligação entre dois fatores: carga contaminante (proveniente de atividades humanas) e a vulnerabilidade natural do aquífero (FOSTER, 1998).

O Sistema Aquífero Serra Geral está inserido na Bacia Sedimentar do Paraná e possui, principalmente ao sul do Brasil, uma grande importância hidrogeológica decorrente da elevada explotabilidade das suas zonas aquíferas. A província basáltica da bacia do Paraná por sua vez forma bons sistemas aquíferos possuindo recursos hídricos de excelente qualidade, geralmente com baixa salinidade e com falhas e fraturas garantindo uma boa condutividade hidráulica e capacidade de acumulação de grandes volumes (VIÉRO et al., 2021). O Sistema Aquífero Serra Geral, segundo Mendes et al. (2002), compreende as rochas formadas por uma sequência de derrames de rochas vulcânicas que cobrem as formações paleozóicas dessa Bacia. Esse sistema, segundo Rebouças e Fraga (1988), é representado por um pacote de rochas vulcânicas que apresentam descontinuidades de origem tectônica (fraturas e falhas) e feições interderrames que favorecem a acumulação e fluxo de água subterrânea.

Flores da Cunha é um município totalmente dependente de água subterrânea para o abastecimento da sua população, sendo que todo abastecimento é realizado através da

exploração de água de poços perfurados pela sua extensão territorial. Ligado a isso, o município carece de estudos hidrogeológicos que envolvam a vulnerabilidade dos aquíferos e o risco potencial de contaminação dos mesmos, correndo riscos relativos a águas exploradas em áreas sem conhecimento, dificultando assim a proteção e o gerenciamento qualitativo dos recursos hídricos subterrâneos existentes na região.

Modificações de uso e ocupação do solo podem ser responsáveis por processos de contaminação dos aquíferos, dependendo da vulnerabilidade desses aquíferos, bem como dos tipos de fontes de contaminação e das cargas de contaminantes geradas por essas fontes. Buscando garantir uma gestão e manejo adequado desses recursos é de extrema importância conhecer as características dos aquíferos presentes nos municípios e regiões que dependem da água subterrânea, procurando caracterizar a vulnerabilidade dos aquíferos e as áreas que possuem riscos potenciais de contaminação dos aquíferos. Para avaliar e caracterizar o risco potencial de contaminação é necessário identificar e avaliar as fontes e cargas contaminantes.

Motivado pelo fato de que não há estudos a respeito da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação para o município, e que a água subterrânea é um recurso extremamente importante para a cidade com diversas finalidades como abastecimento urbano, industrial, agrícola e do comércio, torna-se necessário que sejam desenvolvidos estudos hidrogeológicos que envolvam a avaliação da vulnerabilidade e risco potencial de contaminação da água subterrânea contribuindo para uma gestão adequada dos recursos hídricos subterrâneos.

2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Flores da Cunha é um município cujo abastecimento de água é realizado exclusivamente através de poços, de domínio da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Assim, a água subterrânea é extremamente requisitada e utilizada na região, estando localizada em aquíferos fraturados com diferentes graus de vulnerabilidade e diferentes riscos potenciais de contaminação, ligados principalmente aos diferentes tipos de uso e ocupação do solo.

Atrelado a essa dependência das águas subterrâneas e ao aumento populacional, a demanda por água doce torna-se cada vez maior. Diretamente ligado a esse aumento de demanda de água, está a necessidade de perfuração de novos poços em áreas sem conhecimentos prévios a respeito da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação. Com o objetivo de mitigar e prevenir perfurações em locais com alta vulnerabilidade e risco potencial de contaminação são necessários estudos que busquem a avaliação e o conhecimento desse assunto.

O município de Flores da Cunha é um dos municípios da Serra Gaúcha que está localizado hidrograficamente em uma região de cabeceira do Rio das Antas, com o mesmo passando no seu extremo norte, dificultando o uso da água superficial. Flores da Cunha é um dos municípios da Serra Gaúcha que carece de estudos hidrogeológicos, em geral, bem como estudos relacionados a avaliação da vulnerabilidade e risco potencial das águas subterrâneas. Os municípios vizinhos como Veranópolis, Ipê, Caxias do Sul, Bento Gonçalves e entre outros possuem estudos já realizados seja de caracterizações hidrogeológicas ou avaliações relacionadas ao risco de contaminação do sistema aquífero presente. Assim, a realização de um estudo dessa natureza acaba por ser de alto valor para o município, fazendo com que avaliações sejam feitas a partir do mesmo, e, com isso, é possível utilizar esses dados para uma gestão adequada da água subterrânea na região.

3 JUSTIFICATIVA

A justificativa do presente trabalho se dá pela ausência de estudos a respeito da vulnerabilidade e risco potencial de contaminação de aquíferos no município de Flores da Cunha. Levando em consideração o uso exclusivo de recursos hídricos subterrâneos para abastecimento do município, a realização de um estudo desse tema ganha ainda mais embasamento, visto que órgãos gestores e autoridades municipais podem realizar ações preventivas com o objetivo de evitar contaminações dos recursos hídricos subterrâneos.

Ainda, devido ao aumento do consumo de água, possivelmente na região de estudo serão perfurados novos poços para atender essa demanda. Caso novos poços venham a ser construídos fora das normas adequadas, ou ainda perfurados em regiões de maior vulnerabilidade ou risco potencial de contaminação, podem tornar-se vetores de contaminação ou até mesmo aumentar o risco de contaminação de determinado aquífero. Observa-se também, segundo [SNIS \(2020\)](#), um aumento significativo do volume de água produzido no município, sendo que este cresce de aproximadamente 1600 m³/ano (2010) para 2300 m³/ano (2020), este crescimento de 45% no volume de água produzido reflete diretamente no aumento do consumo de água.

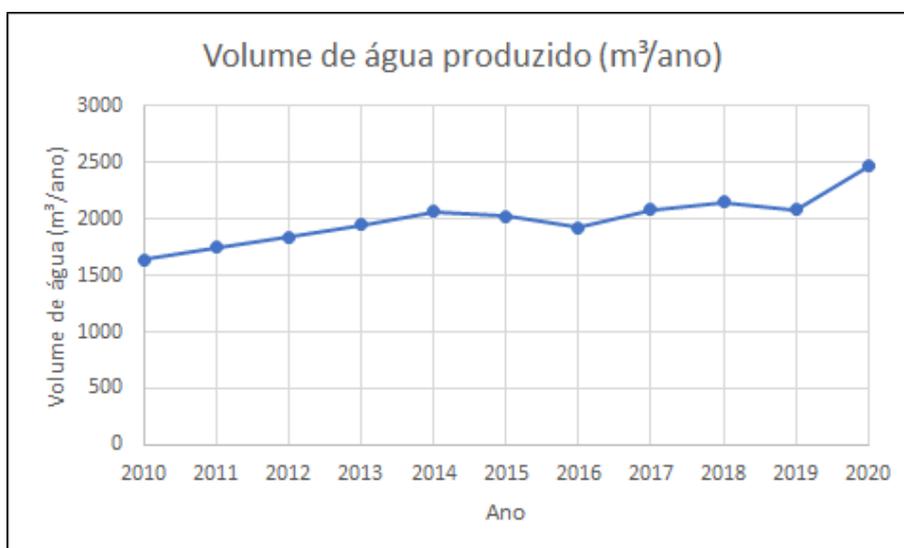


Figura 1 – Volume de água produzido por ano para Flores da Cunha. Fonte: [SNIS \(2020\)](#)

4 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo principal realizar o estudo da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral, no município de Flores da Cunha.

4.1 Objetivos Específicos

- Avaliar o uso da água subterrânea na área do município;
- Caracterizar os sistemas aquíferos existentes na área de estudo;
- Avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos com base na aplicação do método GOD;
- Avaliar o risco potencial de contaminação dos aquíferos existentes na área de estudo.

5 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Flores da Cunha é um município localizado na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul, às margens do Rio das Antas, tendo como municípios vizinhos Antônio Prado, Nova Roma do Sul, Nova Pádua, São Marcos, Caxias do Sul e Farroupilha.

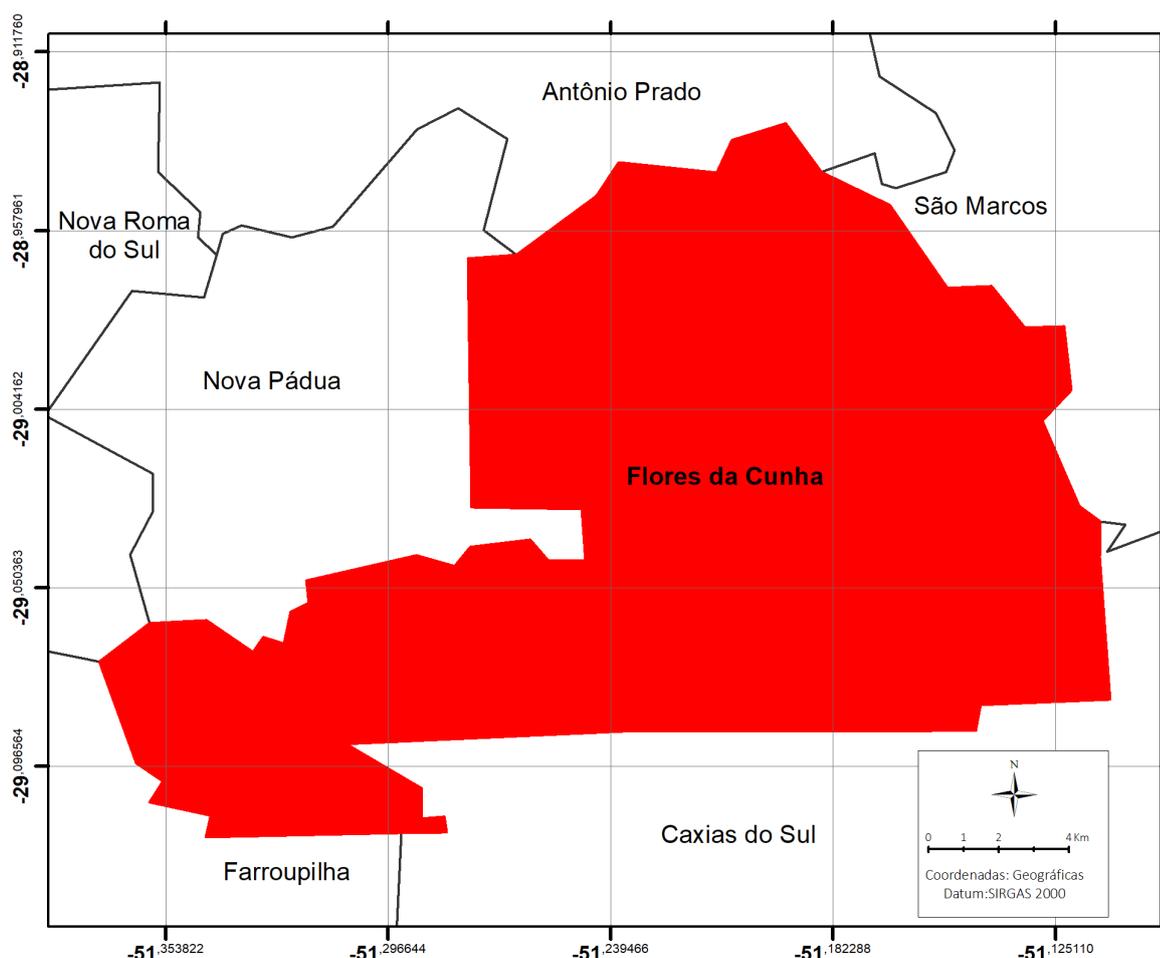


Figura 2 – Município de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

O município possui uma extensão territorial de aproximadamente 276,231 km² e com uma população estimada de aproximadamente 31.352 pessoas (IBGE, 2021). Flores da Cunha está localizado a aproximadamente 150km de distância da capital, Porto Alegre, e está em média 710 metros de altitude, variando entre 214 e 895 metros ao longo do seu território.

Flores da Cunha conta com um PIB de R\$ 60.310,20 aproximadamente, segundo IBGE (2021). Os destaques da economia da cidade baseiam-se na indústria de sucos,

vinhos e bebidas, produção moveleira e, nos últimos anos, com um incremento nos setores metalmeccânico, plástico e de serviços.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, o município possui uma taxa de cobertura de resíduos sólidos de 100 por cento em relação a população total e ainda uma taxa de cobertura de coleta seletiva, porta a porta de 100 por cento em relação a população urbana (SNIS, 2020). Quanto as questões de resíduos sólidos, mais especificamente destinação do lixo, em 2010 o município possuía 76% das residências urbanas com coleta por serviço de limpeza e 24% coletado por caçambas de serviço de limpeza. Já no meio rural, 53% das residências eram cobertas por coleta por serviço de limpeza, 35% coletado por caçambas de serviço de limpeza, 7% das residências queimava na propriedade, 3% era enterrado na propriedade, 1% era jogado em terreno baldio ou logradouro e o 1% restante era classificado como "outro destino"(INFOSANBAS, 2010).

Em questões de esgotamento sanitário, na área urbana do município de Flores da Cunha, 68% dos domicílios destina o esgoto sanitário produzido para a rede geral de esgoto ou rede pluvial, enquanto 24% dos domicílios destina aos sistemas de fossa séptica existentes, os demais 5% destina à fossas rudimentares e os 3% restantes destinam para rio. Já na área rural 25% dos domicílios destina o esgoto sanitário produzido para a rede pluvial, enquanto 25% dos domicílios destina aos sistemas de fossa séptica existentes, 39% destinam à fossas rudimentares, outros 4% destinam para rio, 6% destinam para valas e o 1% restante destina para "outro escoadouro"(INFOSANBAS, 2010).

Segundo Camargo (2013) Flores da Cunha está em sua maioria coberta por vegetação nativa densa, aproximadamente 48%, e a vegetação nativa esparsa conta com 3,1%. O restante divide-se em áreas agrícolas e áreas para cultivos de espécies exóticas.

Flores da Cunha possui um clima subtropical úmido (Cfa) (KÖPPEN, 2020), com uma precipitação abundante e distribuída homoganeamente ao longo do ano. O verão caracteriza-se por ser longo, com temperaturas médias e muito úmido, já o inverno caracteriza-se por ser curto e com temperaturas baixas. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 7 °C a 27 °C e raramente é inferior a 0 °C ou superior a 31 °C (VENTURES, 2016).

Segundo o Plano Municipal de Saneamento do município (MUNICIPAL, 2014), Flores da Cunha está inserido no Planalto dos Campos Gerais, que se caracteriza pela matriz florestal representada pela Floresta Ombrófila Mista – área antropizada. A concepção de Floresta Ombrófila Mista procede da ocorrência da mistura de floras de diferentes origens, definindo padrões fitofisionômicos típicos em zona climática pluvial.

O município de Flores da Cunha está inserido no Bioma Mata Atlântica. A Mata Atlântica é uma das mais ricas em diversidade biológica do mundo. O Bioma está fortemente ameaçado de extinção por conta de desmatamentos, avanços das fronteiras agrícolas,

crescimento urbano irregular e graves falhas no sistema de fiscalização e aplicação das leis ambientais (MUNICIPAL, 2014).

Em questões geomorfológicas, Flores da Cunha está inserido no domínio morfoestrutural denominado *Bacias e Coberturas Sedimentares*, dentro deste domínio, o município está localizado na região morfológica denominada *Planalto das Araucárias*. Nesta região morfológica, o município é coberto por duas unidades geomorfológicas denominadas *Planalto dos Campos Gerais* e *Serra Geral*, que podem ser visualizadas na figura 3 abaixo (IBGE, 2018).

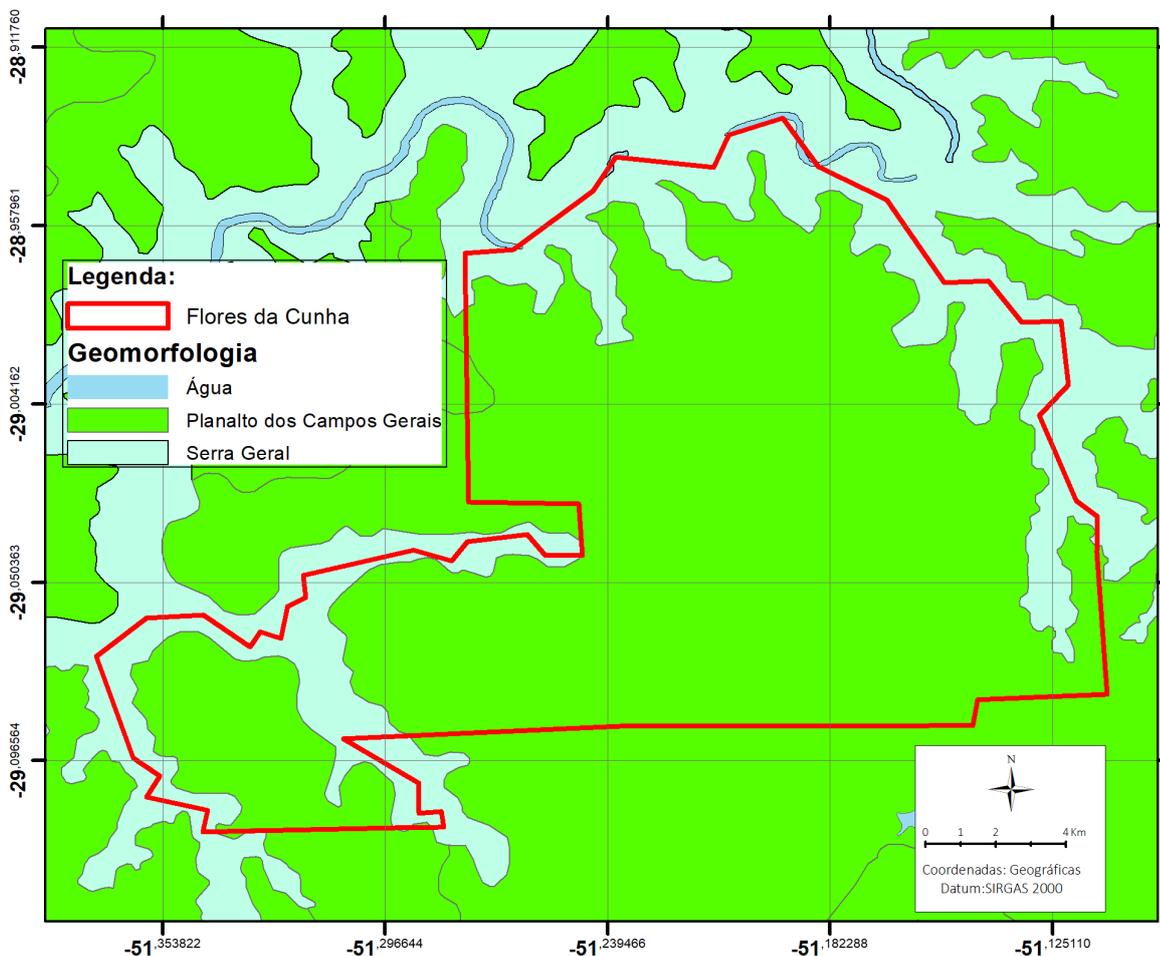


Figura 3 – Mapa geomorfológico simplificado da Bacia do Paraná. Fonte: (IBGE, 2018)

Segundo o estudo realizado na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul, caracterizado pelo nome "Levantamento semi detalhado de solos: Região da Serra Gaúcha - Rio Grande do Sul", o município de Flores da Cunha possui quatro solos predominantes na sua porção territorial, visualizados na figura 4, são eles : Argissolos, Cambissolos, Neossolos e Nitossolos (FLORES et al., 2007).

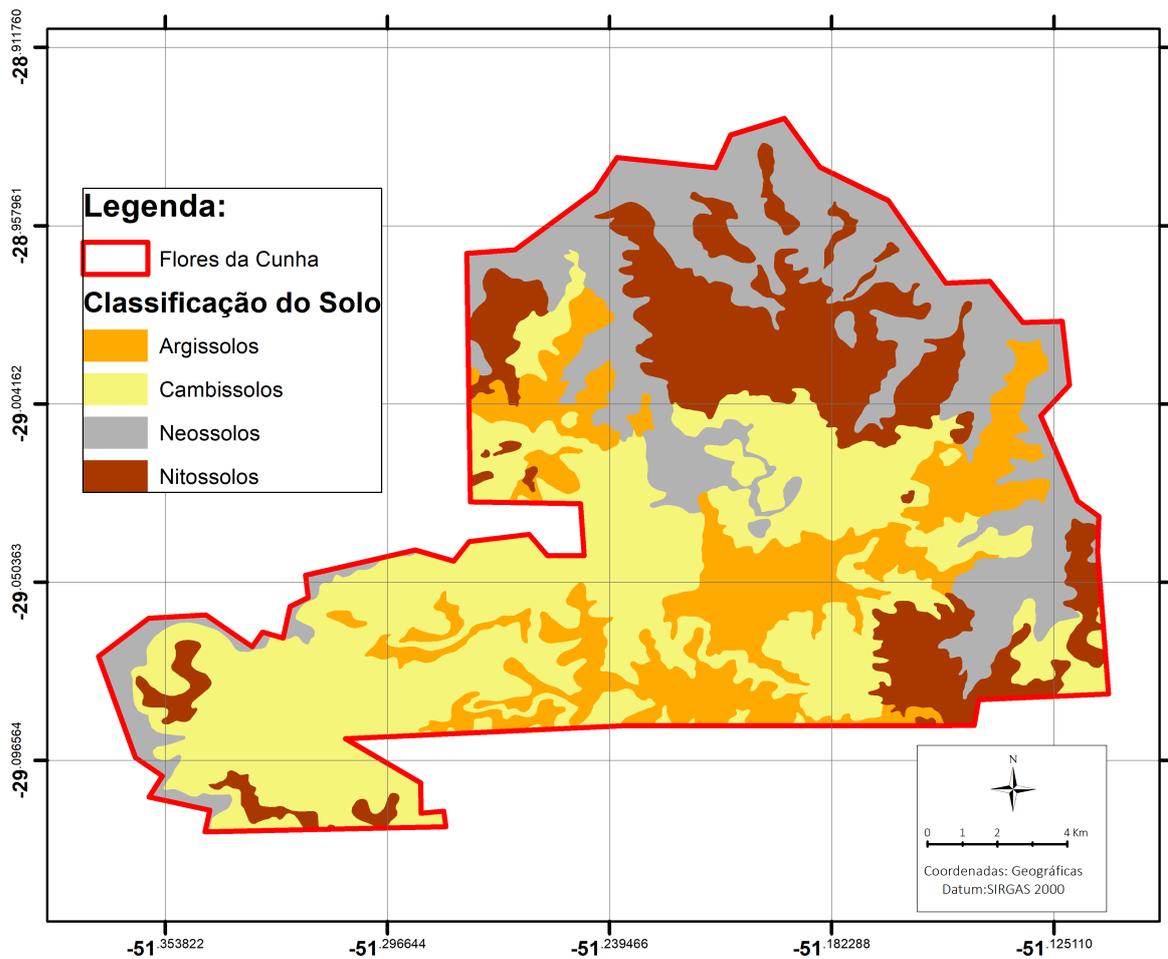


Figura 4 – Mapa de solos para o município de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de Flores et al. (2007)

Os Argissolos são solos geralmente profundos e bem drenados e podem apresentar limitações químicas devido à baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio, sendo também de alta suscetibilidade à erosão e degradação. Podem ser usados com culturas anuais e campo nativo, preferencialmente com plantio direto e em rotação de culturas com plantas protetoras e recuperadoras do solo durante o inverno (STRECK et al., 2008).

Os Cambissolos por sua vez são solos rasos a profundos, em processo de transformação. Apresentam opções para o uso com pastagem nativa e silvicultura, como na região dos Campos de Cima da Serra. São de forte acidez e baixa disponibilidade de nutrientes, requerendo práticas conservacionistas intensivas e aplicação de elevados níveis de corretivos e fertilizantes (STRECK et al., 2008).

Os Neossolos são solos pouco desenvolvidos e normalmente rasos, de formação muito recente, encontrados nas mais diversas condições de relevo e drenagem. Nas áreas

de relevo classificadas de suave ondulado a ondulado podem ser utilizadas para pastagens permanentes e nas regiões de relevo forte ondulado para reflorestamento e fruticultura. As áreas muito íngremes devem ser reservadas para preservação permanente (STRECK et al., 2008).

Os Nitossolos por sua vez, são solos profundos, apresentam um horizonte B com uma estrutura mais desenvolvida com revestimento brilhante (cerosidade). São ácidos com predomínio de caulinita e óxidos de ferro na sua constituição. Em função da profundidade, boa drenagem, porosidade, estrutura e condições do relevo, possuem geralmente boa aptidão agrícola servindo tanto para culturas de inverno como de verão (STRECK et al., 2008).

6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

6.1 Contexto Geológico

A Bacia do Paraná faz parte de uma grande região sedimentar na América do Sul e possui em sua extensão uma sequência de rochas sedimentares e vulcânicas com idades entre o Neo-Ordoviciano e o Neo-Cretáceo. Ainda, geograficamente, a bacia cobre uma área total de mais de 1.500.000 quilômetros quadrados e inclui os cinturões territoriais do sul do Brasil, leste do Paraguai, nordeste da Argentina e norte do Uruguai. A bacia tem formato elíptico, com seu longo eixo no meridiano, e é um importante representante do conceito de bacias intra cratônicas: completamente contidas na placa sul-americana e não diretamente relacionadas à borda da placa (MILANI, 2004). Na figura 5 é possível visualizar o mapa simplificado, com a localização da Bacia do Paraná e suas subdivisões.

Milani, Filho e Ramos (1997) identificaram em seu estudo, seis unidades de ampla escala na Bacia do Paraná, que foram separados temporalmente 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 encontram-se os sedimentos eólicos originários da Formação Botucatu e os magmáticos originários da Formação Serra Geral.

O município de Flores da Cunha está na região que é marcada pela ocorrência das unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná, representadas pelos arenitos da Formação Botucatu e pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

A Formação Botucatu é caracterizada por arenitos quartzosos, que variam de finos a grossos com coloração avermelhada, grãos uniformemente arredondados e com alta esfericidade, possuindo estratificação cruzada variando entre médio e grande porte, numa assinatura faciológica característica de um ambiente desértico. A Formação Serra Geral é definida por derrames de basaltos, basalto andesitos, riolitos e riolitos, de filiação toleítica, onde intercalam-se arenitos intertrápicos da Formação Botucatu na base e litarenitos e sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo da sequência (WILDNER et al., 2008).

Segundo o mapa Geológico do Rio Grande do Sul (WILDNER et al., 2008), o município de Flores da Cunha localiza-se na área ocorrência das fácies vulcânicas Caxias e Gramado da Formação Serra Geral, visualizadas na figura 6.

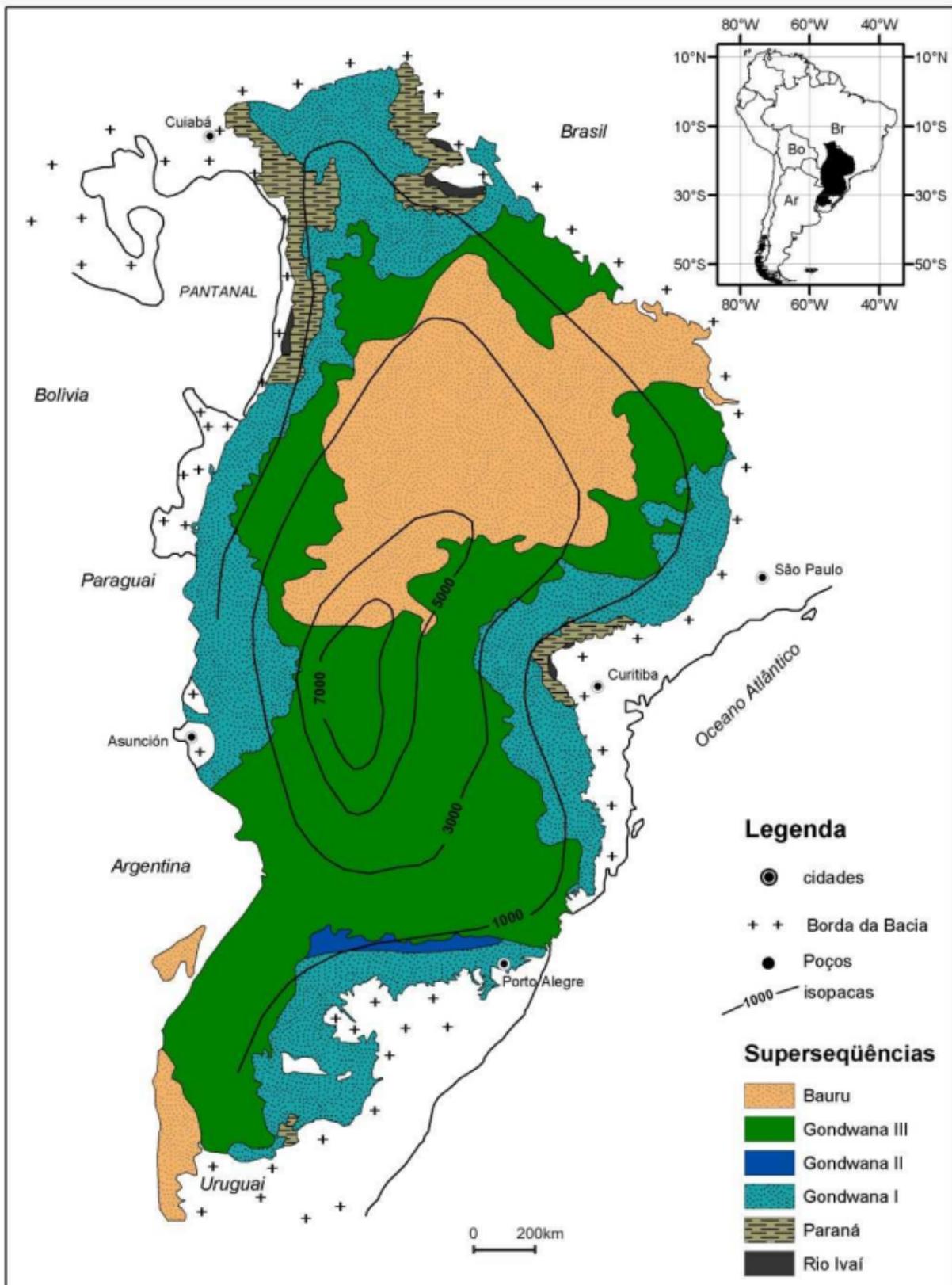


Figura 5 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná. Fonte: (MILANI, 2004)

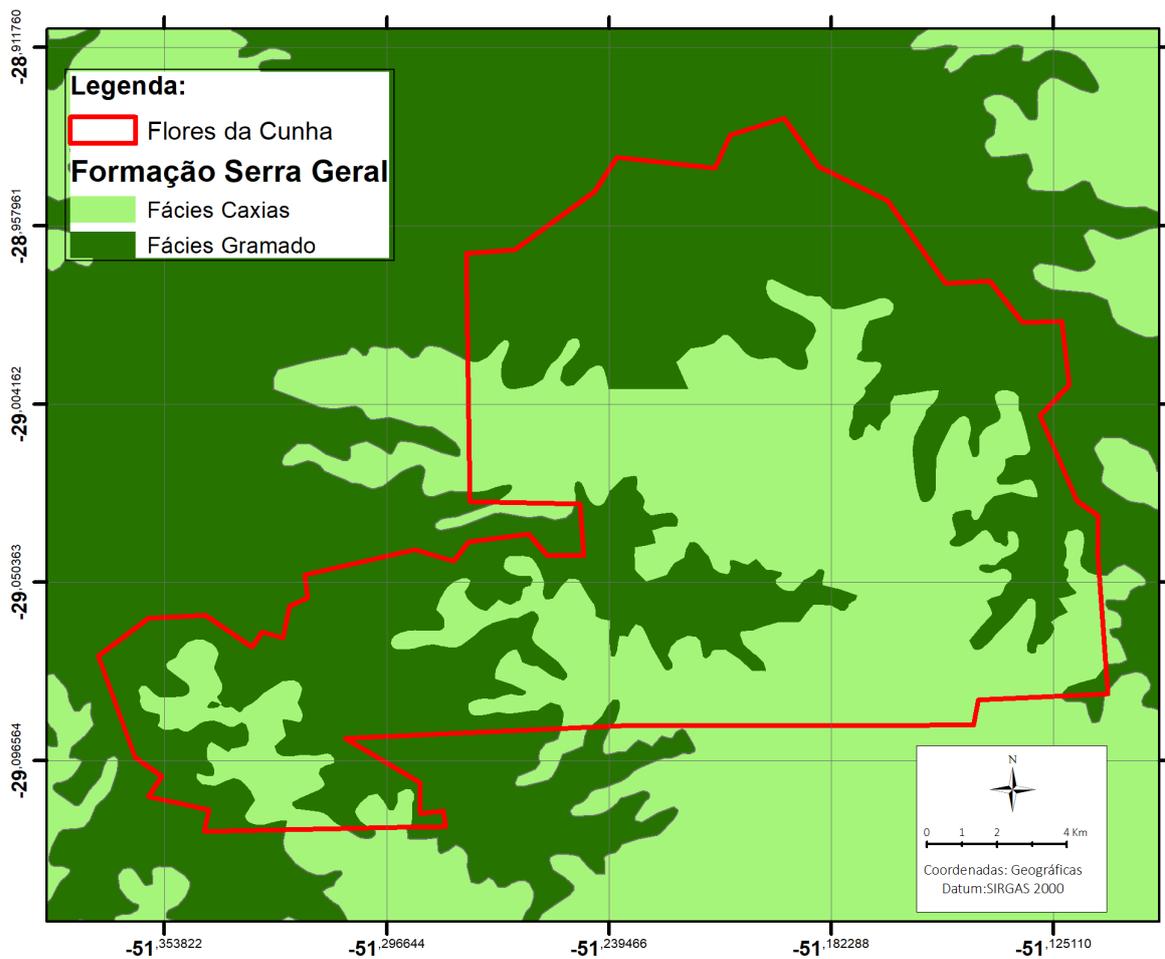


Figura 6 – Geologia de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de [WILDNER et al. \(2008\)](#).

Caracterizada por litologias de dois tipos, riolitos e riodacitos as rochas da Fácies Caxias apresentam diferentes colorações, variando de cinza claro a cinza esverdeada a azulada, apresentando ainda uma textura que pode ser classificada como fanerítica fina e com aspecto mosqueado. Este tipo de rocha, com as características já citadas acima estão estruturadas em derrames com espessuras médias de 50 metros, que possuem as seguintes características: zona basal maciça, uma zona central com uma ampla disjunção (tabular ou horizontal) e uma zona de topo vesicular a amigdalóide, com possibilidades de ocorrência em brechas que estão associadas a base dos derrames. Na Fácies Gramado verifica-se a ocorrência de basaltos e andesibasaltos, cujas características são representadas por rochas de coloração cinza escura, castanha à marrom, possuindo texturas faneríticas que variam entre muito fina e afanítica, na qual se dispõe em derrames de espessuras baixas, normalmente inferiores a 30 metros. Os derrames por sua vez são caracterizados pela comum ocorrência de zonas que variam entre vesiculares a amigdalóides na qual são preenchidas por diferentes minerais ([REGINATO; AHLERT, 2013](#)).

Em um trabalho realizado no município de Caxias do Sul, [Travassos, Nunes e Bressani \(2003\)](#) realizaram um mapeamento das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sendo que os autores identificaram a ocorrência de rochas do tipo Dacito. Ao todo, foram mapeadas 5 diferentes rochas vulcânicas dacíticas, com particularidades macro e microscópicas diferentes, sendo elas: Dacito Forqueta, Dacito Caxias, Dacito Canyon, Dacito Ana Rech e Dacito Galópolis.

[Frenzel \(2017\)](#), em seu trabalho na região de Garibaldi, Rio Grande do Sul, constatou a predominância de rochas de composição riodacítica (fácies Caxias) em afloramentos situados a mais de 526 m de altitude, já afloramentos em altitudes menores apresentaram rochas com um tipo de composição basáltica (fácies Gramado) .

[Pacheco \(2019\)](#), em seu trabalho no município de Nova Petrópolis, no Rio Grande do Sul, realizou a caracterização geológica do município e constatou que, em altitudes acima de 510 m, há predominância de rochas de composição riodacítica (fácies Caxias), enquanto que, em afloramentos localizados em altitudes mais baixas, as rochas possuem composição basáltica (fácies Gramado).

6.2 Contexto Hidrogeológico

A água subterrânea no Rio Grande do Sul, foi relatada e estudada por primeiro no trabalho de [Hausman \(1964\)](#). Anos depois, [Hausman \(1995\)](#) realizou uma revisão e ampliação do seu trabalho apresentado em 1964, que fora fundamentado no avanço dos conhecimentos geológicos do Rio Grande do Sul e no grande número de poços perfurados desde então. Essa revisão resultou no que é considerado o primeiro mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul.

[Lisboa et al. \(2004\)](#) concluiu que a geomorfologia é fator de primeira ordem no modo de ocorrência das águas subterrâneas, que tem influência no zoneamento da pluviometria, na distribuição das áreas de recarga, no confinamento e descarga dos aquíferos. Forneceu ainda, subsídio para a primeira qualificação generalizada dos principais sistemas de aquíferos do estado, analisando as características hidrogeológicas dos materiais que compõem os estratos litológicos.

6.2.1 Sistema aquífero Guarani (SAG)

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) possui ampla distribuição no sudeste e sul do país, ocupando uma área total de 890.899 km².

O SAG é definido ainda por uma deposição de espessas sequências sedimentares continentais clásticas de origem eólica e subordinadamente fluvial tornando-se assim um dos aquíferos com o melhor potencial no Estado do Rio Grande do Sul([LISBOA et al.](#),

2004).

Em um estudo realizado por MACHADO e Freitas (2005), foi feita a identificação, caracterização e compartimentação do SAG no Rio Grande do Sul, na figura 7 é possível visualizar os compartimentos estruturais que ocorrem no Estado.

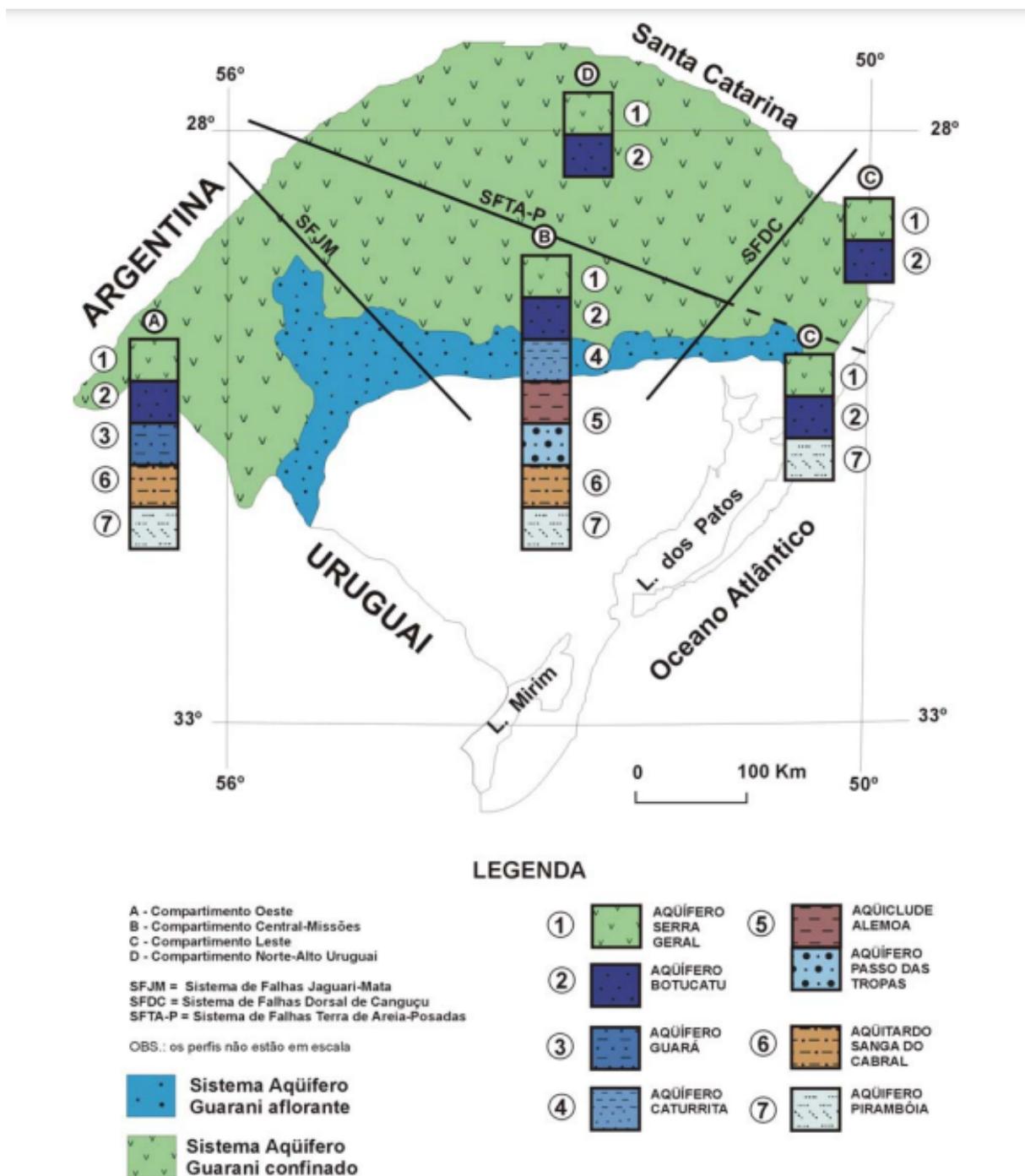


Figura 7 – Arcabouço hidroestratigráfico dos compartimentos estruturais do SAG proposto para o Rio Grande do Sul. Fonte: (MACHADO; FREITAS, 2005)

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. 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 Piramboia (MACHADO; FREITAS, 2005).

O Compartimento Oeste, a parte superior do SAG está posicionado, predominantemente, na direção oeste enquanto as linhas de fluxo posicionam-se principalmente na direção das grandes áreas drenantes. Esse compartimento ainda caracteriza-se por possuir as direções das linhas do fluxo das áreas confinadas orientadas para o Rio Uruguai na divisa com a Argentina. Em direção ao Uruguai os fluxos de água são inexpressivos (MACHADO, 2006).

No Compartimento Leste, a parte superior do SAG mergulha na direção sul e as linhas de fluxo nesse compartimento direcionam-se principalmente para o sudeste, na qual encontram-se nas áreas de afloramento. Porém, não podem ser considerados como fluxos contínuos pelo fato de existirem várias falhas localizadas que podem interromper a continuidade das camadas aquíferos. Somente os fluxos não capturados pelas drenagens superficiais alcançam as áreas de descarga na zona litorânea (MACHADO, 2006).

No Compartimento Norte, mais precisamente a região do alto Uruguai, o aprofundamento do SAG está direcionado para oeste enquanto as linhas de fluxo posicionam-se da direção nordeste e norte do compartimento, na região de Lagoa Vermelha (RS) e Chapecó(SC), para a região sul, onde está situado o Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas. O limite do Estado do Rio Grande do Sul e da Argentina é alcançado por pequena parte do fluxo, sendo que as áreas de descarga estão presentes junto da calha do rio Uruguai (MACHADO, 2006).

O Compartimento Central, na região das Missões do Rio Grande do Sul, o SAG mergulha predominantemente na direção norte enquanto as linhas de fluxo dirigem-se para o Sistema de Falhas Terra de Areia (Posadas ao norte). Já na parte localizada na região das Missões, uma porção do fluxo direciona-se para a calha do Rio Uruguai. Nas áreas aflorantes os fluxos direcionam-se no sentido das drenagem superficiais principais. Quanto as áreas de recarga e descarga do SAG não são possíveis de serem classificadas como aquífero transfoteiriço devido as suas características. (MACHADO, 2006).

Em um estudo realizado no município de Nova Petrópolis, Pacheco (2019) concluiu que a maioria dos poços do SAG no município possuíam profundidades inferiores a 100 m, que estão geralmente locados em regiões de altitudes baixas, próximos a rios, drenagens e afloramentos de rochas sedimentares. Quanto ao nível estático, a maioria das medidas é baixa, entre o intervalo de 10 a 20 m.

Em um estudo na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, realizado por [Matos \(2020\)](#), área que incluía o município de Flores da Cunha, verificou que há a ocorrência de poços que captam água do SAG em grandes profundidades (772 e 650 metros de profundidade), evidenciando que este sistema aquífero na região de estudo pode ser encontrado em grandes profundidades, estando confinado pelo pacote de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

Analisando a área de estudo deste trabalho, através do mapa hidrogeológico, é possível identificar que não há ocorrência do SAG em superfície, sendo que o mesmo será encontrado em maiores profundidades, abaixo das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

6.2.2 Sistema Aquífero Serra Geral

O sistema aquífero Serra Geral cobre mais de 50% da área territorial do Rio Grande do Sul, sendo de extrema importância ao abastecimento de água subterrânea. A formação Serra Geral é caracterizada por derrames de rochas vulcânicas que apresentam diferentes estruturas deformacionais (juntas, falhas e zonas de fraturas) e estruturas primárias geradas pelo fluxo e resfriamento da lava ([REGINATO, 2003](#)).

Esse aquífero é caracterizado por dimensões reduzidas com pequenas espessuras saturadas na qual está condicionado principalmente pelos tipos de solos ali presentes, pela litologia, pela topografia e pelo clima local. Sua recarga está relacionada diretamente a precipitação pluviométrica que é ainda, condicionada por diversos fatores como condições geomorfológicas e estruturais, coberturas vegetais, topografia, declividades, sistema de fraturas e entre outros ([VIERO et al., 2021](#)).

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 circulação e armazenamento de água nos aquíferos fraturados que forma esse sistema está relacionada a descontinuidades físicas da rocha como fraturas, falhas geológicas e superfícies inter derrames. Segundo [Rebouças e Fraga \(1988\)](#) essas características, classificam o SASG como um reservatório heterogêneo e anisotrópico.

Na região do município de Flores da Cunha, segundo o mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul, figura 8, o aquífero predominante é o Aquífero Serra Geral II. A área do sistema Aquífero Serra Geral II está compreendida na parte oeste do Estado, os limites das rochas vulcânicas com o rio Uruguai e as litologias gonduânicas além da extensa área nordeste do planalto associada com os derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral. A litologia desse sistema é predominantemente riolitos, riodacitos e em menor proporção, basaltos fraturados. A capacidade específica em geral é baixa, aproximadamente 0,5

$\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ com algumas exceções em áreas de fraturas chegando a $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. As salinidades apresentam valores baixos, geralmente inferiores a $250 \text{ mg}/\text{l}$ (MACHADO; FREITAS, 2005).

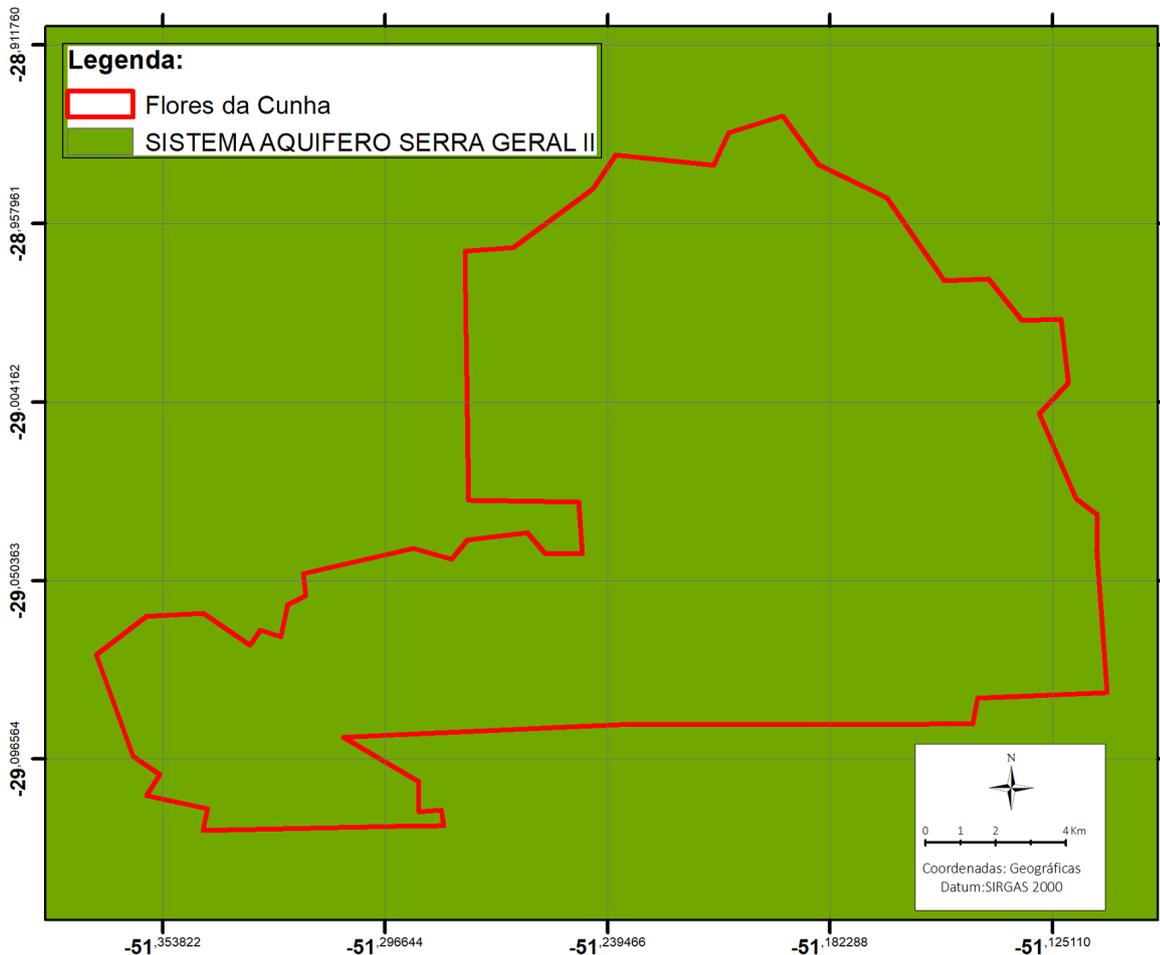


Figura 8 – Hidrogeologia de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de MACHADO e Freitas (2005)

Em um trabalho realizado no município de Carlos Barbosa, próximo ao município de estudo deste trabalho, Bortolin (2014) analisou 137 poços, na qual apresentaram capacidades específicas entre 0 e $0,3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e vazão variando entre 5 a $20 \text{ m}^3/\text{h}$. A maioria desses poços apresenta profundidade entre 50 e 150 m e nível estático entre 0 e 5 m, além de possuírem entre 1 a 3 entradas de água, localizadas em torno de 50 a 100 m de profundidade. Essas entradas de água ficam localizadas preferencialmente em zonas de média a alta densidade de fraturas, as quais apresentam orientação preferencial para noroeste.

Já Frenzel (2017) em seu trabalho realizado no município de Garibaldi, próximo ao município de estudo deste presente trabalho, constatou que as entradas de águas dos

poços do município ocorrem normalmente em intervalos das rochas que se encontram altamente fraturadas, ou com grande densidade de amígdalas e vesículas, ou alteradas, além de estarem frequentemente associadas a contatos de camadas ou derrames e zonas de brecha. Analisando 162 poços, os resultados indicaram que a profundidade média é de 125,35 m, variando entre 14 e 270 m. O nível estático dos poços do município se encontra em média nos 19,9 m, sendo que a maioria (49%) possui NE entre os 10 primeiros metros. A capacidade específica se encontra com uma média de 0,920 m³/h/m, com um valor máximo de 8,718 m³/h/m e um mínimo de 0,006 m³/h/m. Quanto a vazão, apresenta uma média de 13,96 m³/h, com a maioria dos poços (32%) mostrando valores entre 5 e 10 m³/h. As entradas de água dos poços (30% dos poços) estão a uma profundidade entre 25 e 50 m, sendo a média encontrada de 58,65 m. Constatou-se que os poços de maior produção encontram-se em sua maioria associados à lineamentos com orientação nos intervalos N60-90E e N60-90W, seguidos dos intervalos N30-60W e N30-60E.

No estudo realizado no município de Caxias do Sul, próximo a área de estudo deste trabalho, [Vargas et al. \(2022b\)](#) constatou que as direções de lineamentos com maiores frequências de ocorrência e com maiores vazões de água eram representadas pelas orientações NE-SW e NW-SE. Segundo o autor, há uma boa circulação de água nos grandes lineamentos na direção NE-SW, enquanto na direção NW-SE, os pequenos lineamentos apresentam maiores vazões subterrâneas.

6.3 Vulnerabilidade de Aquíferos

Por definição geral, a vulnerabilidade de aquíferos tem seu conceito caracterizado como a maior ou menor capacidade de atenuação das camadas mais superiores do aquífero à passagem de poluentes. A vulnerabilidade está associada a características físicas do aquífero, bem como o comportamento do mesmo quando exposto a impactos naturais e antrópicos. Segundo [Foster, Napa e Hirata \(1987\)](#), a vulnerabilidade de um aquífero está associada ao conjunto de características intrínsecas das camadas que separam o aquífero saturado da superfície do solo, determinando qual sucessibilidade o mesmo terá de sofrer efeitos de cargas contaminantes.

A diferença entre a vulnerabilidade intrínseca e específica é que a intrínseca aborda a possibilidade de ocorrer contaminação sem levar em consideração o contaminante, enquanto a específica está relacionada a vulnerabilidade a um contaminante isolado ([OLIVEIRA; LOBO-FERREIRA, 2004](#)).

Em 1996, a *American Society for Testing Materials*, trouxe para a comunidade uma outra definição de vulnerabilidade das águas subterrâneas, que caracterizava a vulnerabilidade como a facilidade de um determinado contaminante à migrar para as águas subterrâneas ou ainda para um aquífero em diferentes situações como: características

do contaminante, uso do solo e condições da área. Logo, a vulnerabilidade depende das características do aquífero, da superfície (uso do solo, topografia, geomorfologia, etc.) e do contaminante.

Ainda, segundo [Rahman \(2008\)](#), o mapeamento da vulnerabilidade é definido como uma técnica que quantifica a sensibilidade do meio e contribui por ser uma ferramenta de visualização das áreas vulneráveis, onde se objetiva o planejamento ambiental. A utilização de softwares para modelagem tem mostrado uma eficiente ferramenta para avaliação e gerenciamento ambiental.

De acordo com [Miguel \(2004\)](#) dois conceitos são de interesse para o estudo da vulnerabilidade: a vulnerabilidade intrínseca e a vulnerabilidade específica. A vulnerabilidade intrínseca trata da fragilidade natural do aquífero e a específica está ligada ao perigo de contaminação com relação à presença de uma carga contaminante.

Assim é possível diferenciar a vulnerabilidade intrínseca da específica, justamente pelo fato de intrínseca trabalhar somente com as características do aquífero, já a específica leva-se em consideração as atividades antrópicas no local de estudo, como o uso e a ocupação do solo na possibilidade de contaminação das águas frente às condições do aquífero.

Mais tarde, [Nobre et al. \(2007\)](#), definiu que os modelos de vulnerabilidade e risco são falhos por não levar em consideração alguns fatores importantes, como por exemplo: a caracterização geológica e a interação do contaminante com o meio.

Com o passar do tempo, variadas metodologias de análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição foram sendo criadas. A seleção do método, dependente das necessidades e da disponibilidade dos dados, para os caso em estudo. Algumas das principais metodologias podem ser verificadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais métodos de classificação de vulnerabilidade de aquíferos. Fonte: Própria do Autor

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS	REFERÊNCIA
DRASTIC	Está associado a um conjunto de procedimentos que permitem integrar diversos parâmetros caracterizados da porção subterrânea e da sua especificidade	Aller et al. (1985)
IS	Método mais utilizado quando trata-se de caracterizar a vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição agrícola.	Francés et al. (2001); Paralta et al. (2001); Ribeiro (2005)
GOD	Simplicidade conceitual e de aplicação.	Foster; Hirata (1988)
SINTACS	Baseado no método DRASTIC, porém com estrutura mais complexa tanto para entrada quanto para saída de dados.	Civita et al. (1990)
EPPNA	Baseado no tipo de aquífero e material geológico associado	Plano nacional da água (1998), Artuso et al. (2004)
AVI	Baseado em dois parâmetros físicos dos aquíferos: espessura das camadas acima da freática e condutividade hidráulica de cada camada.	Van Stempvoort (1993)
EKv	Classificação para aquíferos livres, baseada na profundidade da superfície freática e na condutividade vertical da zona não saturada.	Auge (2004)

A metodologia utilizada para o presente estudo trata-se da metodologia GOD (*Ground Water Occurrence, Overall Lithology of the Unsaturated Zone, Depth To The Water Table*). Essa metodologia foi escolhida pois para os tipos de aquíferos e dados hidrogeológicos disponíveis, julga-se a mais adequada, e, ela será descrita detalhadamente a seguir.

Desenvolvida por Foster (1998) e aperfeiçoada mais tarde Foster et al. (2002), a metodologia GOD leva em consideração três parâmetros hidrogeológicos que quando interpolados resultam na vulnerabilidade do aquífero em estudo. Os parâmetros envolvidos na metodologia são:

- Grau de confinamento (G) - Ocorrência do lençol freático (livre, confinado, semi-confinado);
- Litologia da zona vadosa e camadas confinantes (O);
- Profundidade do aquífero (D) - Espessura da zona vadosa;

Para cada parâmetro em questão, é atribuído um valor que varia de 0 a 1, dependendo das características do ponto de estudo. Esses valores de cada parâmetro são

interpolados de forma a multiplicar cada um deles, resultando em um valor final, que representará a classificação de vulnerabilidade, variando entre: desprezível, baixa, média, alta e extrema. A figura 35 abaixo mostra detalhadamente as classificações possíveis dentro de cada parâmetro bem como o valor que o representa.

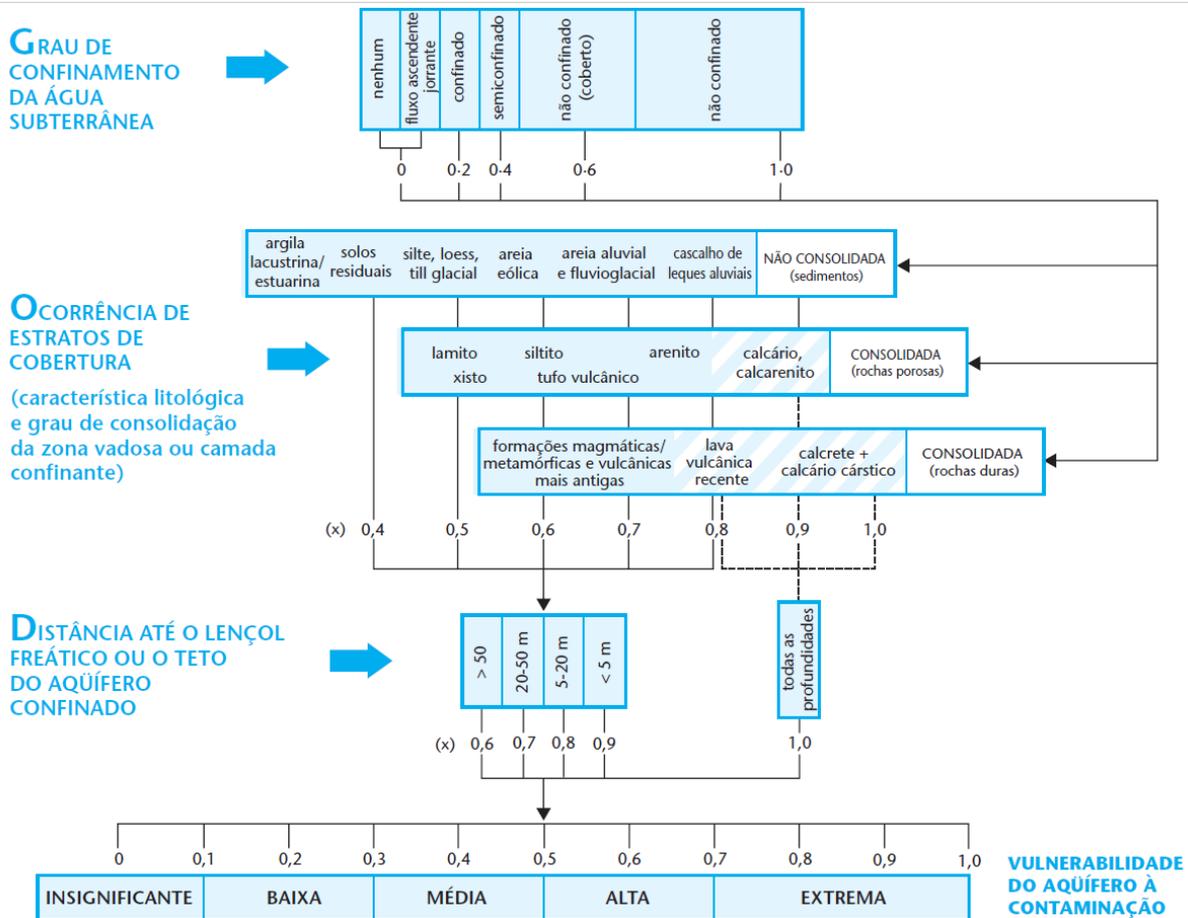


Figura 9 – Parâmetros de avaliação do método GOD. Fonte: (FOSTER et al., 2002)

Vale ressaltar que em lugares com uma litologia variável, para a especificação da ocorrência de estratos de cobertura deve-se selecionar a litologia predominante ou limitante, em termos de sua permeabilidade. Devido à facilidade e ao baixo custo de sua aplicação, a metodologia GOD costuma ser amplamente utilizada em países em desenvolvimento (FOSTER et al., 2002).

Em seu trabalho, Löbler et al. (2013) aplicou a metodologia GOD para o Sistema Aquífero Guarani, no município de Restinga Seca, no Rio Grande do Sul. O estudo apontou índice de vulnerabilidades do aquífero à contaminação para todo o município, variando de média (0,02%), insignificante (51,00%) e baixa (48,98%); Quando considerou apenas a área urbana, observou-se uma vulnerabilidade média foi em 23,00% desta área, enquanto que em 67,00% desta área o índice de vulnerabilidade foi considerado insignificante.

Reginato e Ahlert (2013) aplicaram as metodologias GOD e DRASTIC no Sistema Aquífero Serra Geral, na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente no setor central da bacia hidrográfica Taquari-Antas. Através da metodologia GOD identificou-se classe de vulnerabilidade baixa em 79,1% da área e média em 20,9%. Já através da metodologia DRASTIC indicou que em 45,6% da área a vulnerabilidade é baixa, em 54,1% é intermediária e em 0,4% é alta.

No município de Bento Gonçalves, no Rio Grande do Sul, mais especificamente na ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral, Lima (2014) aplicou a metodologia GOD. Os resultados indicaram que a vulnerabilidade do SASG é baixa na maior parte do município, a densidade de lineamentos varia entre 0.72 e 2.53 km/km², mas apresentou de um modo geral, baixa correlação com o índice GOD.

Capalonga (2017) aplicou a metodologia DRASTIC no Sistema Aquífero Serra Geral, na Região da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Os resultados mostraram que 14% da região estudada possuía baixa vulnerabilidade, 82% possuía vulnerabilidade média, enquanto apenas 4% da área possuía índices de vulnerabilidade alta.

Em seu estudo, Iop (2019) aplicou a metodologia GOD nos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani, presentes no município de Venâncio Aires, no Rio Grande do Sul. O estudo da vulnerabilidade dos aquíferos resultou em predomínio de vulnerabilidade média para o SASG, os valores percentuais para o SASG foram: 85,79% da área com vulnerabilidade média, 13,15% com vulnerabilidade alta e 1,06% com vulnerabilidade baixa.

Em um trabalho realizado no Município de Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul, abrangendo o Sistema Aquífero Serra Geral, Souza, Vargas e Belladonna (2021) aplicou a metodologia DRASTIC-LD e DRASTIC-LDLU. Com a metodologia DRASTIC-LD identificou-se que 70,73% da área da região é considerada como de vulnerabilidade alta, 17,04% moderada e 12,17% muito alta. Já com método DRASTIC-LDLU, 55,35% da área foi classificada como de vulnerabilidade alta, 19,65% extrema, 14,66% muito alta e 10,31% moderada.

GOMES et al. (2021) aplicou a metodologia DRASTIC no Sistema Aquífero Serra Geral, em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. Utilizou dados de 760 poços (poços dentro e fora do limite municipal) e identificou vulnerabilidades insignificantes (0,49%), muito baixa (39,26%), baixa (57,55%) e moderada (2,7%).

Em um estudo realizado no Sistema Aquífero Serra Geral, no município de Ipê, Rio Grande do Sul, Marcon (2021) obteve para a vulnerabilidade a partir do método DRASTIC, que 71,33% da área refere-se a vulnerabilidade baixa e 28,67% da área apresenta vulnerabilidade intermediária. A metodologia GOD apontou que 13,52% da área é composta por uma vulnerabilidade baixa e 86,48% da área apresenta vulnerabilidade média.

Através do estudo realizado no município de Caxias do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, [Vargas et al. \(2022a\)](#) avaliou a vulnerabilidade intrínseca da água subterrânea no município através da metodologia *DRASTIC-DL*, constatando que houve uma predominância da classe alta de vulnerabilidade em todas as bacias de captação do município. As classes moderada e muito alta, também apresentaram porcentagens consideravelmente relevantes nas bacias. Por outro lado, as classes extrema e baixa ocuparam áreas ínfimas no mapa de vulnerabilidade.

6.4 Contaminação da Água Subterrânea e Risco Potencial de Contaminação

Durante toda a civilização humana o solo atuou como um receptor de resíduos que são gerados pelas atividades do dia a dia. Ao longo dos anos o crescimento populacional vem alterando a ordem de grandeza de produção de resíduos, e conseqüentemente, esses solos receptores de resíduos, com capacidades limitadas de depuração e atenuação, vem sofrendo uma sobrecarga, na qual impacta diretamente as águas subterrâneas, que podem ser poluídas ou contaminadas a medida que esses poluentes atravessam a camada não saturada do solo.

Assim, [Foster et al. \(2002\)](#) ressalta que atividades humanas, das mais variadas possíveis, podem ser geradoras de cargas contaminantes, embora geralmente apenas algumas atividades sejam responsáveis pelos eventos mais graves de contaminação das águas subterrâneas. A intensidade da contaminação do aquífero geralmente não é um resultado direto da escala de atividades potencialmente poluidoras na superfície. Em muitos casos, atividades industriais menores (por exemplo, oficinas mecânicas) podem ter um impacto dramático na qualidade das águas subterrâneas. Estas atividades industriais menores são onipresentes e geralmente usam quantidades significativas de substâncias tóxicas e, às vezes, operam sem registros comerciais formais ou são encobertos e, portanto, fora dos controles ambientais e de saúde pública usuais. As indústrias mais complexas e maiores normalmente têm maior controle e monitoramento do manuseio e descarte de produtos químicos e efluentes para evitar problemas externos decorrentes de descarte inadequado de efluentes ou liberação acidental de produtos químicos armazenados.

O risco potencial de contaminação é caracterizado pela interação e associação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante que é descarregada no solo ([FOSTER, 1998](#)), sendo que, o esquema conceitual pode ser visualizado na figura 10. Vale ressaltar que o termo “perigo de contaminação da água subterrânea” ([FOSTER et al., 2002](#)) possui o mesmo sentido que “risco de contaminação da água subterrânea” ([FOSTER, 1998](#)).

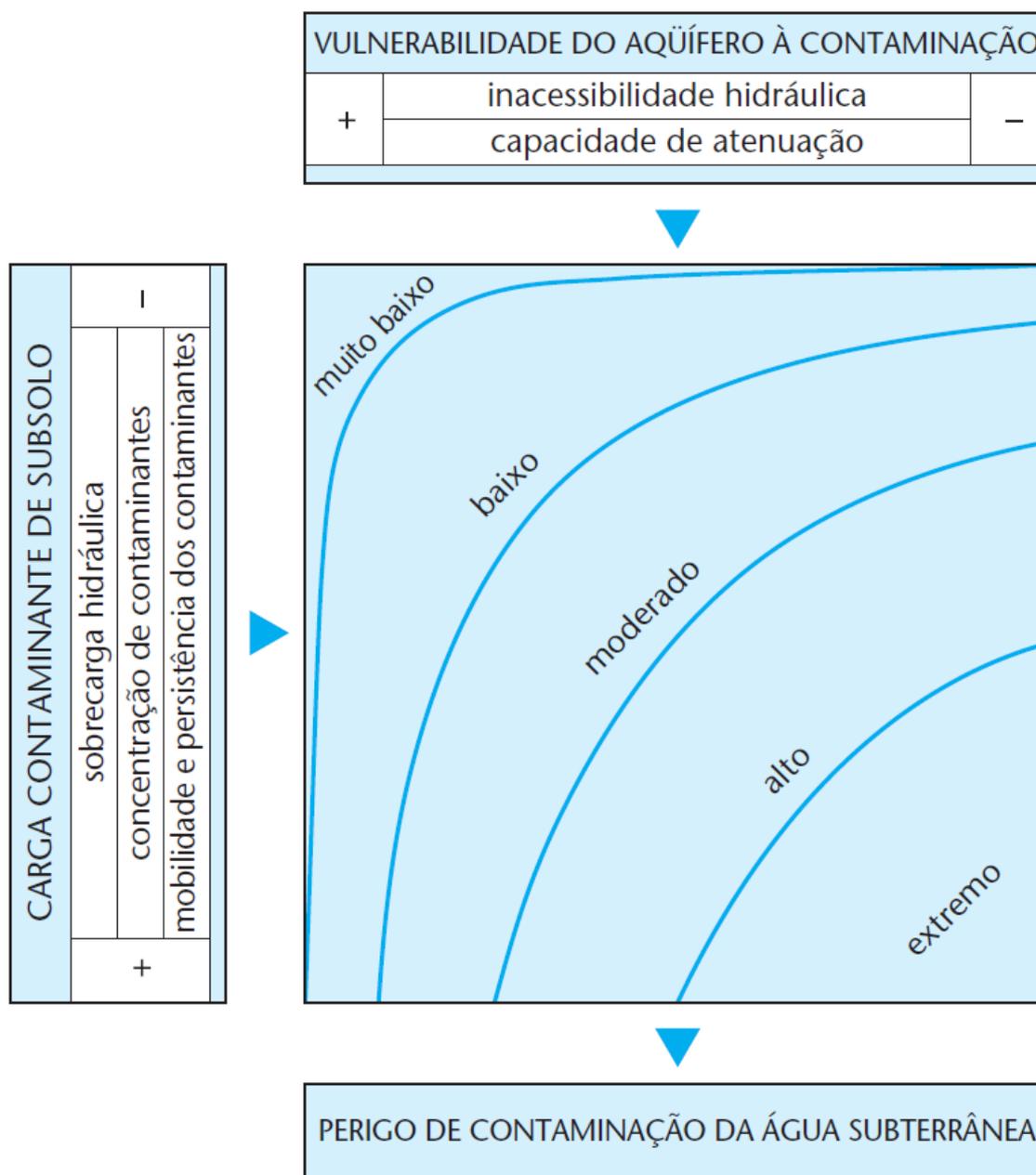


Figura 10 – Esquema conceitual para avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea. Fonte: Foster et al. (2002)

Segundo Foster et al. (2002), classificar as atividades potencialmente poluentes com base na distribuição espacial fornece uma visualização mais direta e clara do tipo de ameaça de contaminação subterrânea e de quais medidas de controle serão necessárias:

- As fontes de contaminação difusas não possuem a capacidade de gerar plumas de contaminação bem definidas, mas normalmente afetam uma área e um volume muito maior do aquífero;

- as fontes de contaminação pontuais são geradoras de plumas bem definidas e bem concentradas, facilitando sua identificação e, em alguns casos, o controle. No entanto, quando as atividades de poluição de fontes pontuais são pequenas e numerosas, elas acabam por representar uma fonte amplamente difusa em termos de identificação e controle.

Um outro ponto de extrema importância, segundo [Foster et al. \(2002\)](#), é considerar se a geração de cargas contaminantes subsuperficiais é parte inevitável ou inseparável de qualquer atividade humana (fossas sépticas), ou se as cargas são contingentes ou acidentais. Uma outra maneira de classificação das atividades poluentes é baseada em sua perspectiva histórica, que também tem implicações importantes para os métodos usados para controlá-las.

Para caracterizar a carga contaminante, é necessário levar em consideração as várias formas de classificação durante o levantamento das fontes potenciais de carga contaminante de subsolo. Porém, essa metodologia de caracterização envolveria muitas variáveis, tornando assim mais conveniente classificar as fontes potenciais de carga contaminante de subsolo com base em duas características ([FOSTER et al., 2002](#)):

- A probabilidade da presença de contaminantes, que, segundo se sabe ou se espera, são persistentes e móveis no subsolo;
- A existência de uma carga hidráulica associada (sobrecarga) capaz de gerar o transporte advectivo dos contaminantes para os sistemas aquíferos.

Com essas condições, [Foster et al. \(2002\)](#) desenvolveu a metodologia POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*), que levou em consideração que as informações descritas acima nem sempre estão prontamente à disposição ou até mesmo serão de difícil acesso, e com frequência é necessário trabalhar com suposições simplificadoras:

- Associar a probabilidade da presença de substância poluente com o tipo de atividade humana;
- Estimar a provável sobrecarga hidráulica com base no uso da água pela atividade em questão.

Assim, o método POSH baseia-se em duas características: a origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica. O método POSH produz três níveis qualitativos de “potencial para gerar uma carga contaminante no subsolo”: reduzido, moderado e elevado (figura 11 e figura 12).

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

Figura 11 – Classificação e mapeamento das fontes de contaminação difusas segundo o sistema POSH. Fonte: (FOSTER et al., 2002)

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				
	deposição de resíduos sólidos	áreas industriais*	lagoas de águas residuais	outras (urbanas)	mineração e exploração de petróleo
Elevado	resíduo industrial tipo 3, resíduo de origem desconhecida	indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >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 tráfico 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>					

Figura 12 – Classificação e ranqueamento das fontes de contaminação pontuais segundo o sistema POSH. Fonte: (FOSTER et al., 2002)

Em uma avaliação do perigo de contaminação no Estado de São Paulo, [Barbosa et al. \(2011\)](#) identificou que a principal fonte difusa de poluição são agrotóxicos utilizados na agricultura, na qual 9% da área estudada foi classificada com um alto perigo de contaminação.

Em estudo realizado no município de Bento Gonçalves, que avaliou o perigo de contaminação de água no Sistema Aquífero Serra Geral, [Lima \(2014\)](#) obteve os resultados da análise da carga contaminante potencial associada a fontes difusas utilizando o método POSH, sendo que a classificação predominante foi a Reduzida (61%) seguida pela Moderada (39%).

Em um estudo de avaliação do perigo à contaminação dos aquíferos Passo das Tropas, Caturrita e no Aquiclude Alemoa, na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul [Pinheiro et al. \(2015\)](#), identificou 35 postos de combustíveis, 6 cemitérios, 3 áreas de disposição de resíduos. Dentre todas essas fontes, o autor constatou que mais da metade das fontes potenciais de contaminação é pontual e muitas, ainda, estão inseridas em áreas que estão sucessíveis a poluição dos solos e dos aquíferos.

[Capalonga \(2017\)](#) identificou em seu estudo as fontes de contaminação difusas no Sistema Aquífero Serra Geral, na região compreendida pela Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Os resultados mostraram que 56% das cargas potenciais de contaminação estão classificadas na classe moderada, enquanto 0,3% estão classificadas em reduzido e 3% em elevado. Já a análise do risco de contaminação da água subterrânea mostrou que 47% da área possui risco moderado, 9% risco baixo, 4% alto e apenas 0,3% possui risco desprezível.

7 METODOLOGIA

Para realizar o proposto trabalho foram empregados diferentes processos metodológicos para cada etapa, sendo que as mesmas encontram-se descritas e simplificadas no fluxograma, figura 13 abaixo.

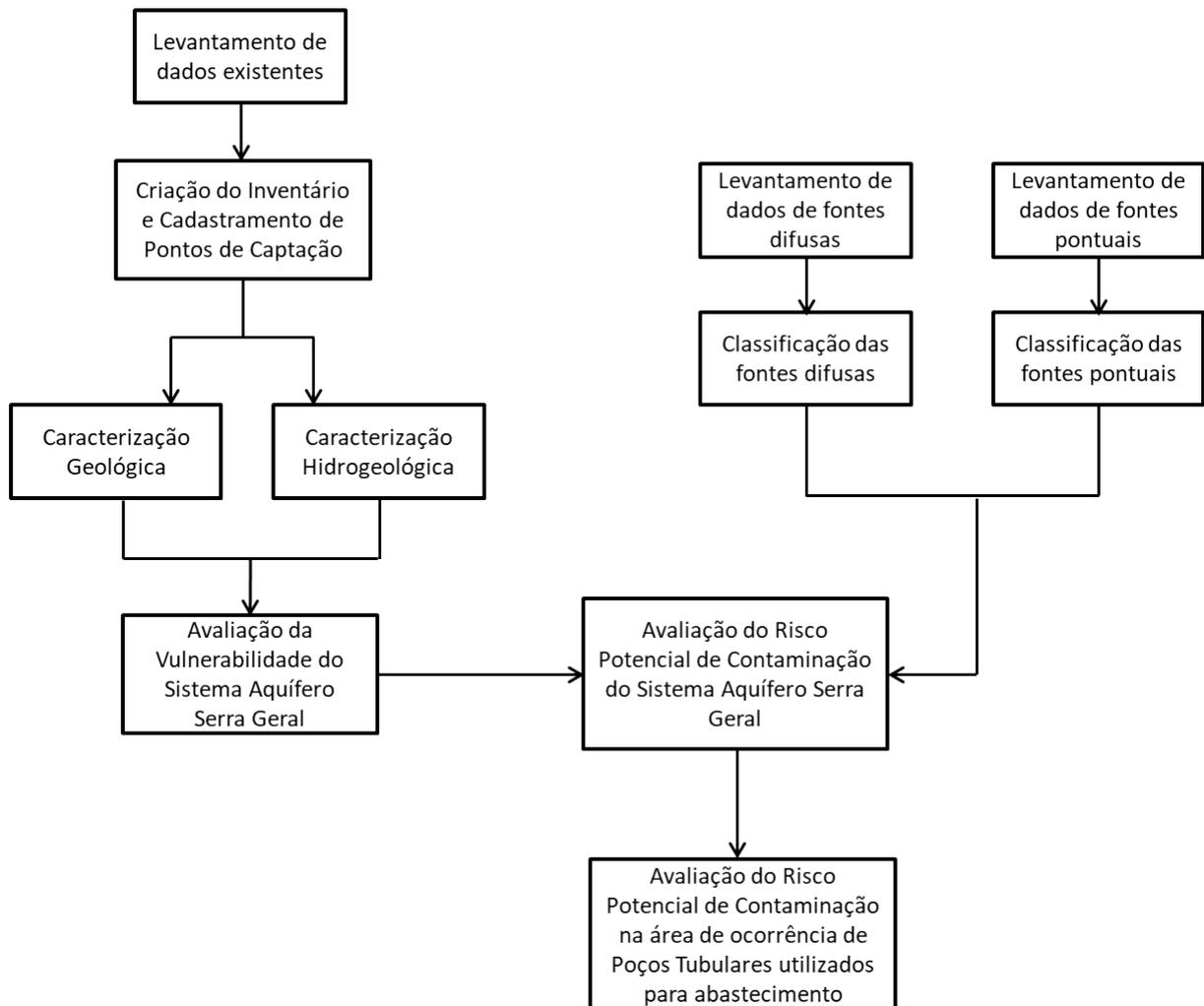


Figura 13 – Fluxograma simplificado das diferentes etapas da metodologia do projeto.
Fonte: Própria do Autor

7.1 Levantamento de Dados Existentes

O primeiro procedimento realizado para o início do projeto foi o levantamento dos dados que já existem, dentro do meio acadêmico e científico, sobre os assuntos abordados. Nessa etapa foram coletadas as informações existentes a respeito da Geologia

e da Hidrogeologia da área que esse estudo está sendo realizado. Essas informações foram coletadas através de publicações em artigos, trabalhos científicos, teses, dissertações, projetos, relatórios de estudos, boletins e notas técnicas de órgãos governamentais como SEMA, FEPAM, SGB-CPRM, etc.

Uma parcela deste levantamento está presente no tópico da revisão bibliográfica na qual aborda informações a respeito do conhecimento prévio sobre assuntos que auxiliam e embasam o estudo a ser realizado na área desse trabalho.

7.2 Inventário e Cadastramento de Pontos de Captação

Esta etapa baseou-se na identificação e coleta dos dados de poços tubulares que estão presentes na região de estudo, município de Flores da Cunha. Este levantamento foi realizado através da consulta ao banco de dados da CORSAN, SIOUT, CPRM (SIAGAS - Sistema de Informação de Águas Subterrâneas), Prefeitura Municipal e seus órgãos responsáveis e empresas de perfuração (Hidrogeo).

Os dados a respeito da hidrogeologia e da litologia foram organizados em um inventário, na forma de tabelas, através do software Microsoft Excell. Nestas tabelas, disponibilizadas no apêndice [A](#) através de um link estão presentes dados de extrema importância para o estudo em questão, como por exemplo: os dados de localização geográfica (cotas e coordenadas geográficas), características construtivas (profundidade), geológicas (formação geológica e litologias), hidrogeológicas (nível estático) e hidrodinâmicas (vazão específica) dos poços do Sistemas Aquíferos Serra Geral na região de estudo.

Tais dados foram utilizados para identificar as formas de captação e os usos da água subterrânea, na caracterização dos aquíferos da região e na determinação dos valores dos parâmetros da metodologia GOD.

7.3 Caracterização Geológica

A etapa da caracterização geológica na região de estudo foi realizada através das análises e interpretações do mapa geológico do Estado do Rio Grande do sul ([WILDNER et al., 2008](#)), e complementada com informações de trabalhos realizados na região ou próximos a ela.

Realizou-se também, uma caracterização morfoestrutural através dos lineamentos presentes na área de estudo. Esses lineamentos são os responsáveis pelo condicionamento dos aquíferos fraturados do Sistema Aquífero Serra Geral. Para tal foram utilizados os dados do estudo de mapeamento de estruturas realizados por [Reginato \(2003\)](#) e assim, foram avaliadas as orientações preferenciais dos lineamentos, suas dimensões e a sua

densidade de ocorrência. As extrações desses dados foram realizados utilizando o software *ArcGis*.

Essa interpretação e análise é de extrema importância pois estas morfoestruturas são condicionantes dos aquíferos fraturados, além de serem potenciais indicadores na acessibilidade ao meio aquífero e na capacidade de atenuação que as rochas podem exercer sobre o acesso de algum possível contaminante.

7.4 Caracterização Hidrogeológica

Nesta etapa realizou-se a Caracterização Hidrogeológica da região de estudo com base nas informações obtidas pelo levantamento de dados existentes, pela confecção do inventário e cadastramento de pontos de captação. A caracterização regional da área de estudo foi realizada com base no Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (MACHADO; FREITAS, 2005) e em outros estudos já realizados na região ou nas proximidades.

A caracterização hidrogeológica foi feita com base na avaliação de propriedades como nível estático, vazão específica e profundidades dos poços. Para isso, realizaram-se análises estatísticas dos diferentes parâmetros para a caracterização dos sistemas aquíferos na região.

7.5 Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral

A etapa da avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos da região foi realizada através do uso da metodologia já citada anteriormente, que trata-se da metodologia *GOD* (Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table) (FOSTER et al., 2002).

- Grau de confinamento (G) - Ocorrência do lençol freático (livre, confinado, semi-confinado);
- Litologia da zona vadosa e camadas confinantes (O);
- Profundidade do aquífero (D) - Espessura da zona vadosa;

Para cada um destes parâmetros foram definidos valores baseados na interpretação dos dados adquiridos nas etapas de elaboração do inventário e do cadastramento de pontos de captação, caracterizações geológica e hidrogeológica.

O parâmetro G foi avaliado considerando o SASG como um aquífero não confinado com diferentes graus de cobertura. Sendo assim, os valores desse parâmetro foram definidos entre 0,5 e 1,0, tendo como base as espessuras dos solos existentes na região. Para a

avaliação das espessuras foram analisados os dados dos perfis geológicos dos poços, bem como a espessura média do tipo de solo existente na região onde se encontra o poço. Para os poços que se encontram na presença dos Neossolos, solos com espessuras médias baixas, utilizou-se o valor de 0,9 para o parâmetro em questão. Para os poços na presença de Cambissolos, solos muito parecido com os Neossolos, utilizou-se o valor de 0,8. Já para os Argissolos e Nitossolos, solos com espessuras médias mais elevadas, utilizou-se o valor de 0,7 e 0,6 respectivamente.

O parâmetro O foi definido com base no tipo de litologia e, também, com base nos tipos de solos. Os solos foram utilizados, sendo que nesse caso realizou-se a avaliação do tipo de solo e sua resistência a impactos ambientais com base o estudo realizado por [FEPAM \(2001\)](#) que traz a classificação de solos e sua resistência a impactos ambientais. Para solos com a espessura média mais baixa como é o caso dos Neossolos e Cambissolos adotou-se o valor de 0,7 para o parâmetro O . Já para os solos com a espessura média mais elevada como é o caso dos Argissolos e Nitossolos adotou-se o valor de 0,6 para o parâmetro O .

Por fim, o parâmetro D foi definido com base na profundidade do nível estático e nos valores definidos pela metodologia GOD. Para poços que não tem informações de valores de NE, serão adotados os valores de média ou mediana (o que for mais representativo) obtidos na avaliação e caracterização hidrogeológica da área.

Com esses parâmetros foram gerados mapas através do software *ArcGis* que são de fundamental importância para o andamento do estudo. Estes mapas por sua vez foram multiplicados entre si (figura 14) com o objetivo de gerar os mapas de vulnerabilidade dos aquíferos da região, com índices que variam de zero a um, sendo classificados de acordo com os intervalos de vulnerabilidade estabelecidos pela metodologia (figura 15):

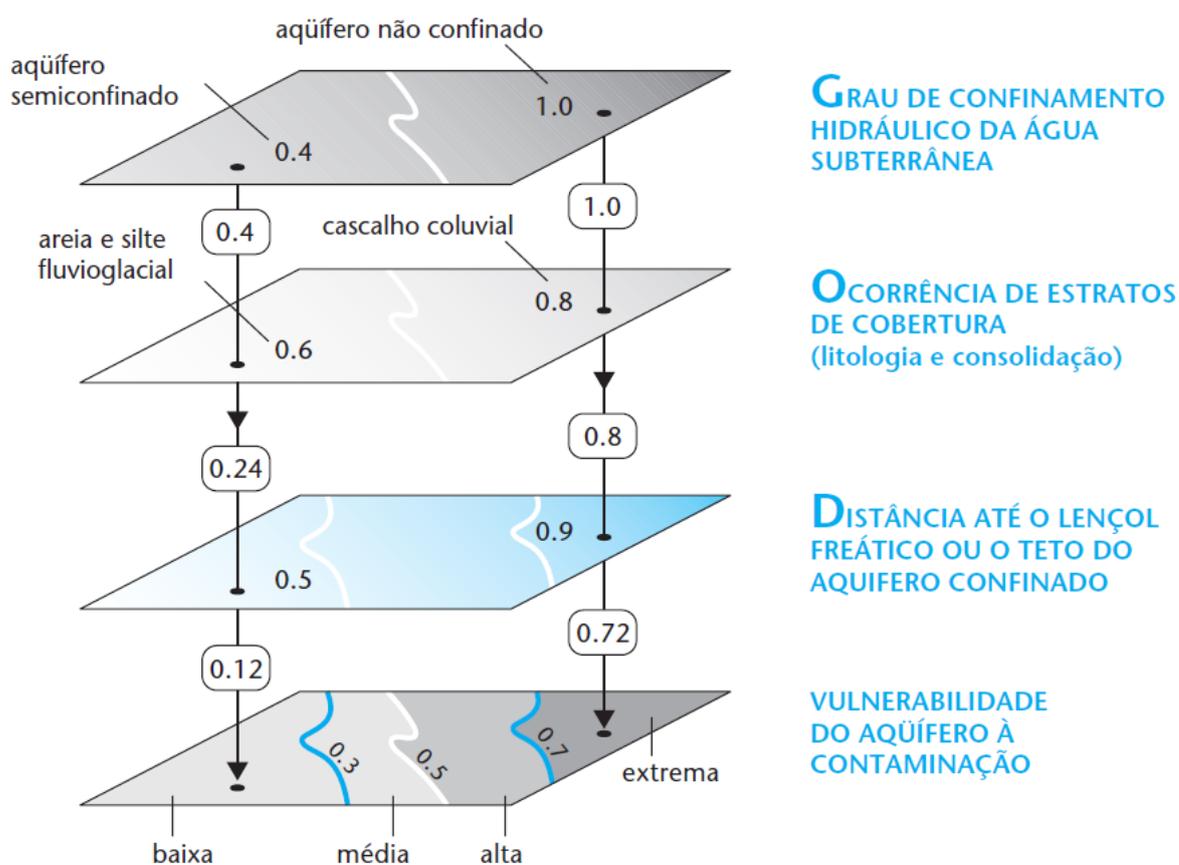


Figura 14 – Produção do mapa de vulnerabilidade de acordo com a metodologia GOD.
Fonte: (FOSTER et al., 2002)

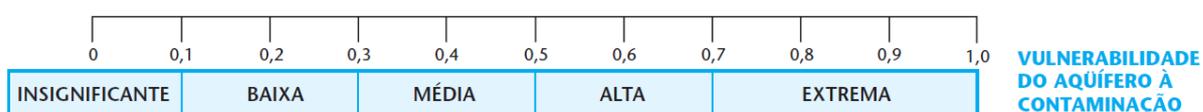


Figura 15 – Classificação dos índices de vulnerabilidades em classes de vulnerabilidade.
Fonte: (FOSTER et al., 2002)

7.6 Avaliação do Risco Potencial de Contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral

A avaliação do risco potencial de contaminação do SASG foi realizada através do mapeamento de fontes de contaminação (pontuais e difusas) juntamente com a aplicação da metodologia POSH (FOSTER et al., 2002).

Para identificação das fontes de contaminação difusas (áreas urbanas e atividades agropecuárias), foi elaborado um mapa de uso e ocupação do solo, através da interpretação de imagens de satélite disponíveis, com uma resolução espacial adequada para tal estudo. Foram definidas diferentes classes de classificação do uso do solo, cada qual com sua assinatura espectral, identificadas através de análise visual. No caso das fontes difusas, o método *POSH* identifica duas possibilidades distintas para a geração de carga contaminante: o saneamento *in situ* e as práticas agrícolas empregadas nos ambientes rurais, visualizado na figura 16.

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

Figura 16 – Método POSH para avaliação de Fontes Difusas. Fonte: (FOSTER et al., 2002)

Para as áreas urbanas as fontes pontuais de contaminação foram identificadas através da análise de imagens (Google Earth e Google Maps) e através do levantamento de dados junto a FEPAM. No caso das fontes pontuais, o método POSH avalia a carga contaminante associada à disposição de resíduos sólidos, áreas industriais, lagoas de águas residuais, mineração e extração de petróleo e outras fontes urbanas tais como vias, postos de gasolina e cemitérios, como visualizado na figura 17.

POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	FONTES DE CONTAMINAÇÃO				mineração e exploração de petróleo
	deposição de resíduos sólidos	áreas industriais*	lagoas de águas residuais	outras (urbanas)	
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 tráfico 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>					

Figura 17 – Método POSH para avaliação de Fontes Pontuais. Fonte: (FOSTER et al., 2002)

Por fim, se faz necessário a combinação dos resultados das análises de vulnerabilidade e carga contaminante de modo a caracterizar o risco de contaminação das águas subterrâneas. O resultado da combinação foi utilizado na elaboração de um mapa de fontes de contaminação que, seguindo a metodologia visualizada na figura 18, foi gerado com uso do *ArcGis* e da ferramenta "Map Algebra" do mesmo, multiplicando o mapa da vulnerabilidade natural do SASG com o mapa de classificação POSH, buscando identificar regiões que apresentam diferentes riscos de contaminação.

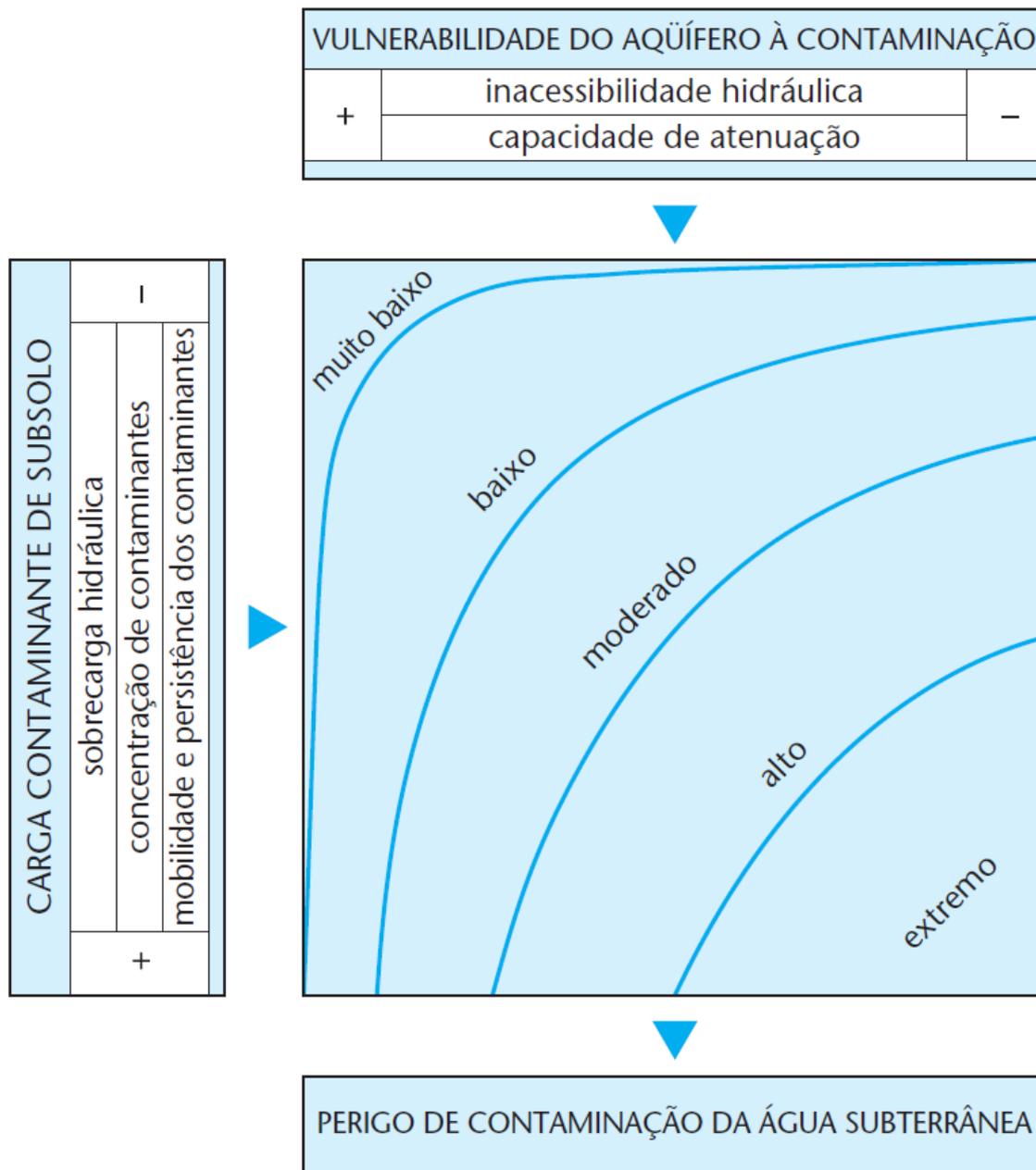


Figura 18 – Matriz do Risco de Contaminação dos Aquíferos. Fonte: Foster et al. (2002)

7.7 Avaliação do Risco Potencial de Contaminação na área de ocorrência de Poços Tubulares utilizados para abastecimento

Nesta etapa, gerou-se um mapa temático através do cruzamento dos mapas de risco potencial de contaminação, lineamentos e poços. Na área onde estão localizados os poços tubulares utilizados para abastecimento será feita a avaliação do risco e das estruturas existentes (lineamentos), procurando identificar poços que apresentam o maior

risco potencial a contaminação.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Flores da Cunha

Os recursos hídricos subterrâneos no município de Flores da Cunha são utilizados para diversas finalidades de uso como por exemplo agricultura, indústrias e principalmente para o abastecimento e consumo humano. A parte urbana é abastecida pela CORSAN enquanto que nas localidades mais afastadas dos centros urbanos o abastecimento é realizado através de poços particulares perfurados pelos moradores ou associações de água.

No município de Flores da Cunha, de acordo com uma consulta realizada ao SIAGAS em maio de 2022, foram encontrados registros de aproximadamente 97 poços cadastrados no portal, cada um com suas particularidades e quantidade de informações diferentes, podendo apresentar diferentes detalhamentos a respeito da geologia, hidrogeologia, perfis construtivos e dados hidroquímicos.

Juntamente com os dados encontrados no SIAGAS, a empresa CORSAN e a Secretaria de Habitação de Saneamento (SEHABS), forneceram informações a respeito dos poços que a mesmas utilizam para o abastecimento público, assim, foi necessário realizar uma conferência e uma complementação dos dados fornecidos pelas mesmas em relação aos que estavam presentes no SIAGAS. Ainda, visando buscar uma caracterização completa dos recursos hídricos subterrâneos presentes no município de Flores da Cunha foram consultados os processos de outorga que constavam no SIOUT-RS em junho de 2022, nesse portal foram identificados 197 cadastros de poços tubulares e escavados, sendo que desse montante apenas 37 deles estão em processo de outorga, podendo estar classificados como dispensa de outorga, outorga concedida, outorga suspensa e entre outros.

A distribuição dos poços pelo município está concentrada mais na região central do mesmo, como é possível de ser visualizado na figura [19](#) abaixo.

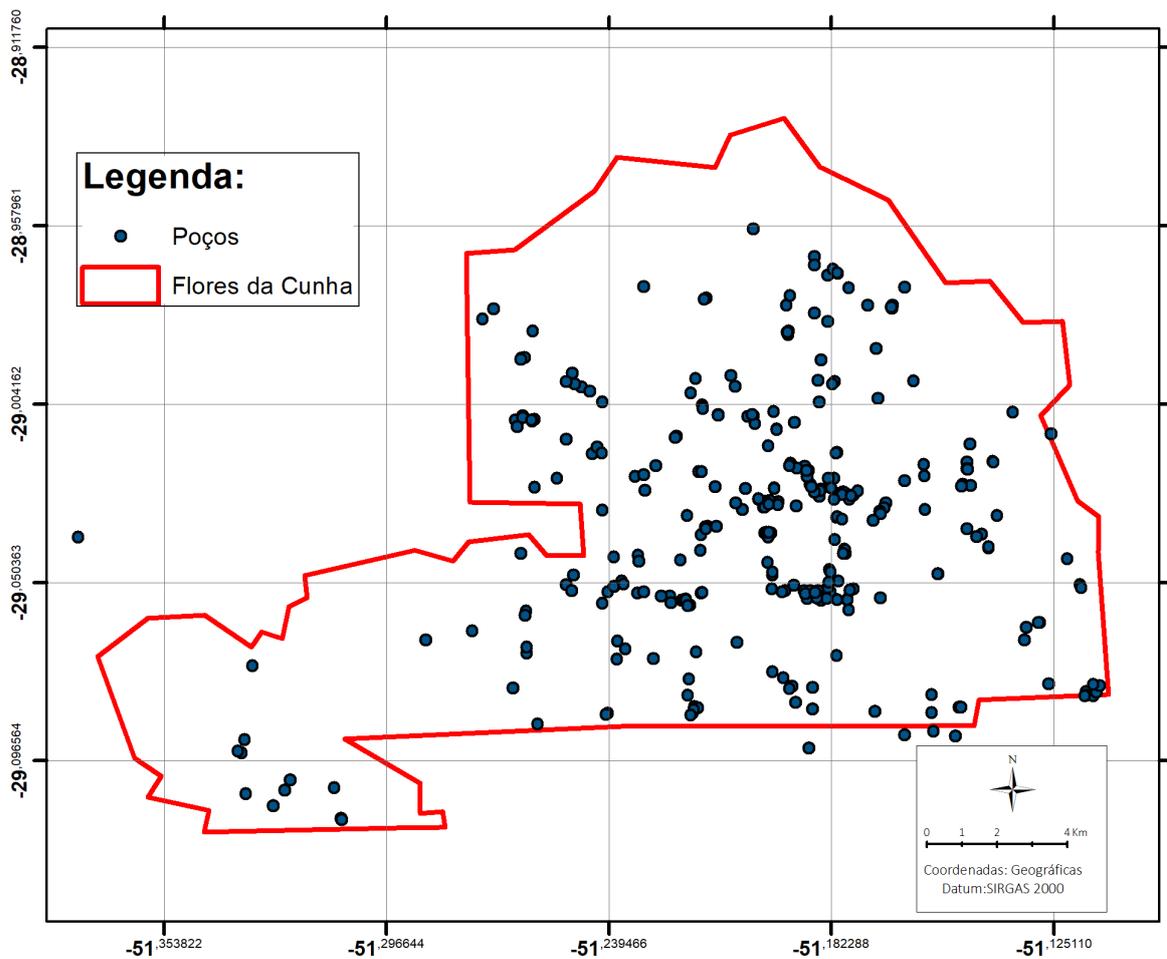


Figura 19 – Poços de abastecimento do município de Flores da Cunha Fonte: Própria do Autor

8.2 Caracterização Geológica

Baseado no Mapa Geológico do Rio Grande do Sul [WILDNER et al. \(2008\)](#), nos dados de perfis geológicos dos poços tubulares fornecidos pela CORSAN, SEHABS, CPRM (portal SIAGAS) e por empresas de perfuração de poços foi possível determinar que nos limites municipais de Flores da Cunha há a ocorrência de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

A Formação Serra Geral, de acordo com [ROISENBERG e VIERO \(2000\)](#) é caracterizada pela ocorrência de duas sequências principais de rochas vulcânicas classificadas como ácida e básica a intermediária. Assim, de acordo com [WILDNER et al. \(2008\)](#), o município de Flores da Cunha encontra-se na ocorrência de diferentes rochas vulcânicas que dividem-se em duas unidades denominadas: Fácies Caxias e Fácies Gramado. A figura 20 abaixo representa o mapa geológico do município de Flores da Cunha, exibindo as duas

ocorrências litológicas que afloram na área de estudo.

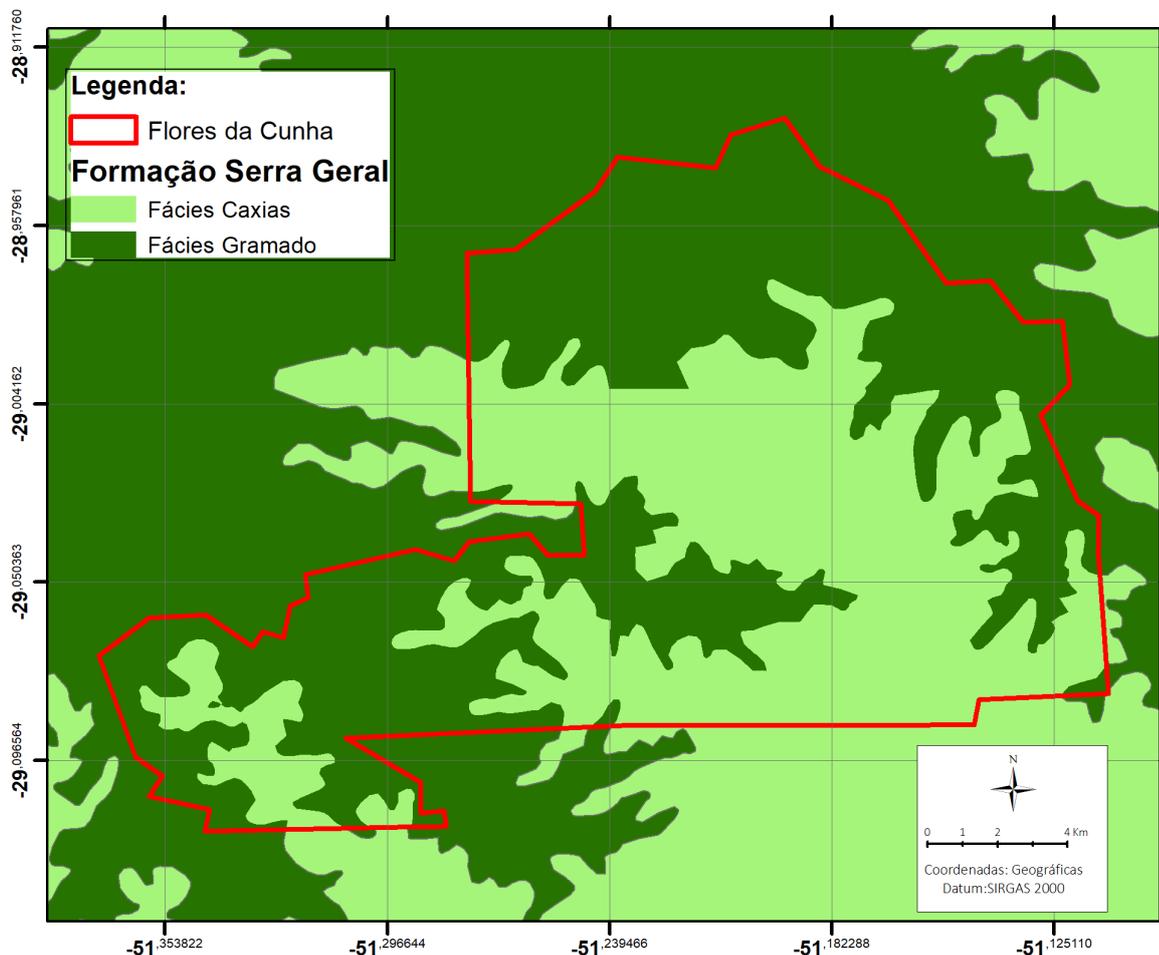


Figura 20 – Geologia de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de [WILDNER et al. \(2008\)](#).

A Fácies Caxias é caracterizada pelas litologias de riodacitos e riolitos apresentando texturas faneríticas finas com aspectos mosqueados, possuindo ainda características como: zona basal maciça, zona central com ampla disjunção e zona topo vesicular a amigdaloides. A Fácies Gramado é caracterizada pelas litologias de basaltos e andesibasaltos com texturas faneríticas que variam entre muito fina e afanítica, possuindo ainda características como: zonas variando entre vesiculares a amigdaloides. Baseado em dados de perfis geológicos disponibilizados pelo portal SIAGAS, pela CORSAN e por outras empresas de perfurações de poços da região é possível perceber uma homogeneidade da presença de basaltos em muitos dos perfis analisados, característica marcante das rochas vulcânicas da formação Serra Geral.

Através de um estudo realizado por [Reginato \(2003\)](#) que identificou e caracterizou lineamentos (escala 1:50.000) na região da Serra Gaúcha, no Rio Grande do Sul (figura 21), foi possível extrair os lineamentos para o município de Flores da Cunha. A partir dos 545

lineamentos no município foi possível elaborar um diagrama de rosetas com as direções dos lineamentos bem como um gráfico representativo sobre a frequência de ocorrência dos comprimentos dos lineamentos, medidos em metros.

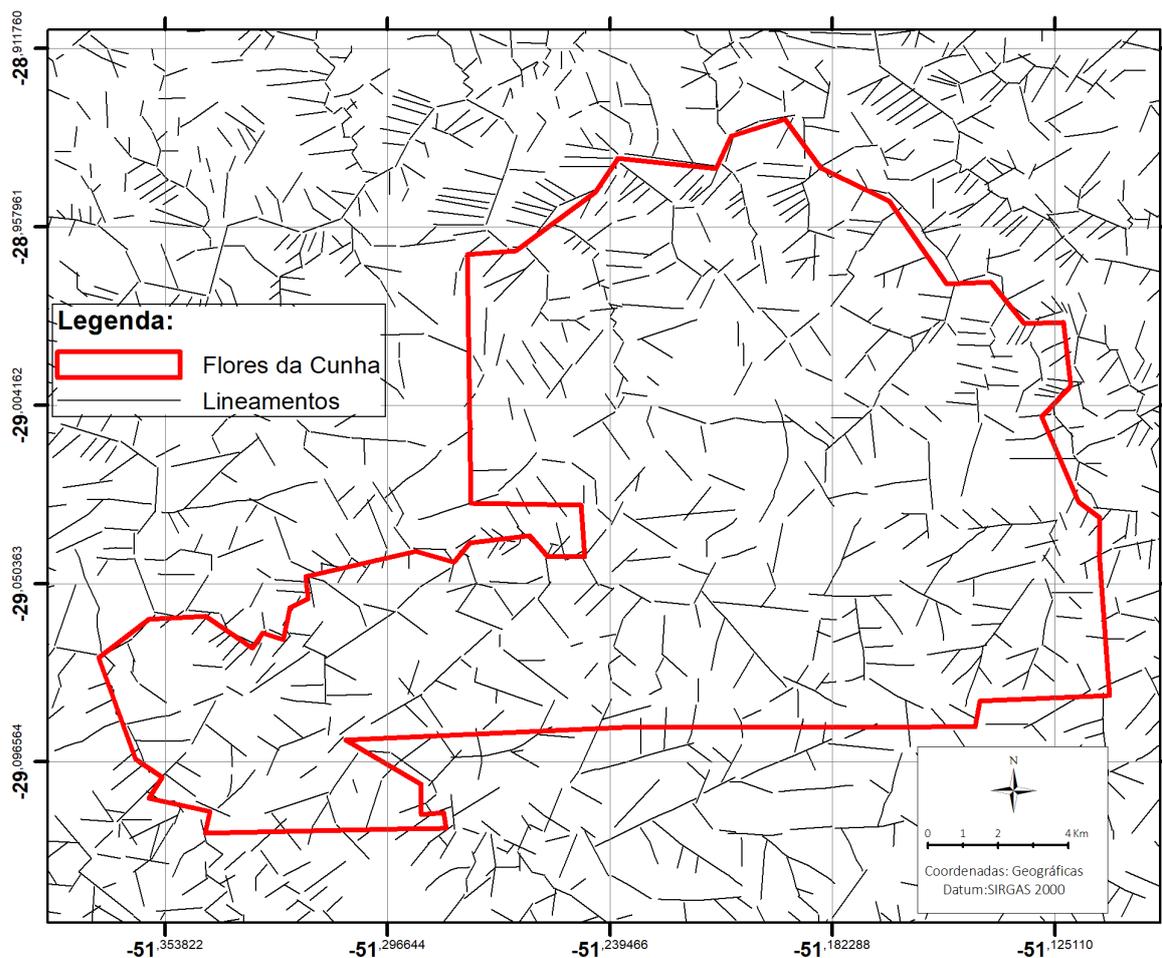


Figura 21 – Lineamentos identificados para a região da Serra Gaúcha. Fonte: [Reginato \(2003\)](#)

De acordo com o diagrama de roseta da figura 22, os lineamentos identificados para a área de estudo possuem orientações preferenciais nas direções N20-50E, seguidos por uma orientação E-W e orientações noroeste N0-20W e N30-50W.

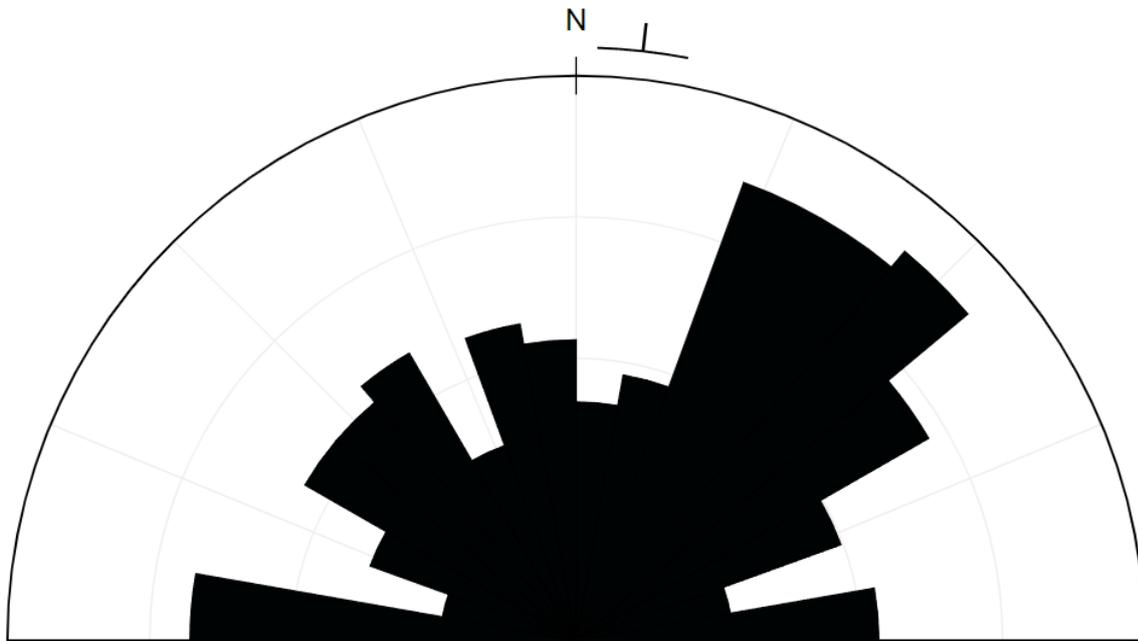


Figura 22 – Diagrama de roseta com as direções dos lineamentos. Fonte: Própria do autor.

Seguindo a classificação proposta por Tomasi e Roisenberg (2019) que classifica o comprimento dos lineamentos em pequeno porte (<2 km), médio porte (2-4 km) e grande porte (>4 km), os lineamentos deste estudo ficaram caracterizados por possuírem a maioria dos lineamentos classificados como de pequeno porte, com aproximadamente 532 ocorrências (98%). Já o restante, 13 lineamentos (2%) foram classificados como de médio porte, sendo que esta divisão está representada na figura 23 abaixo. A variação do comprimento dos lineamentos ficou entre o intervalo de 3 a 3450 metros de comprimento.

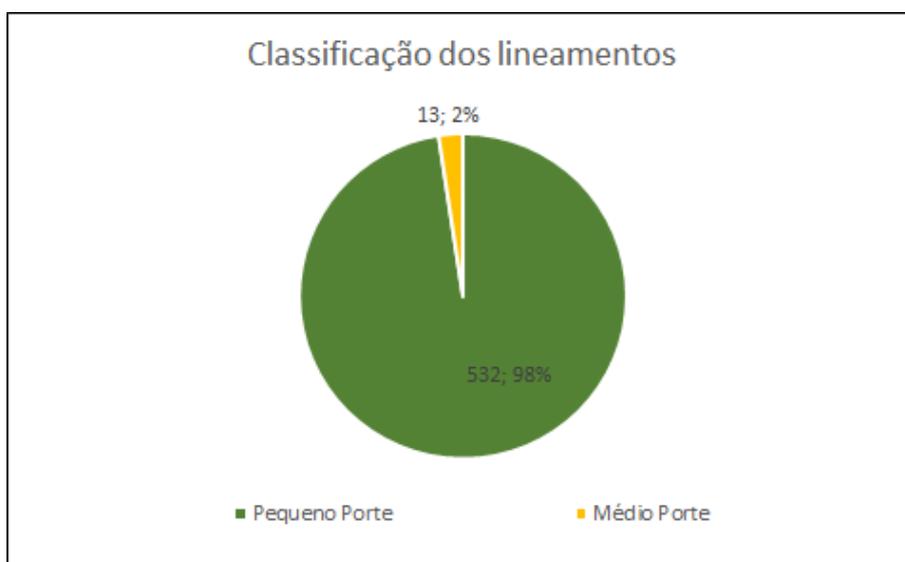


Figura 23 – Frequência dos comprimentos dos lineamentos. Fonte: Própria do Autor.

Com os 545 lineamentos presentes município foi possível elaborar um mapa da densidade dos lineamentos, que identifica e caracteriza as zonas de acordo com a quantidade de lineamentos presentes por km². Esse mapa pode ser utilizado para identificar áreas que são mais vulneráveis a contaminação originada da superfície.

Para uma melhor interpretação dividiu-se essas faixas de classificações da densidade de lineamentos em três grupos, utilizando como base o estudo realizado por Trevisan (2021) e adaptando os valores para este estudo. Assim, a baixa densidade (valores entre 0 a 1,5 lineamentos por km²), média densidade (valores entre 1,5 a 2,5 lineamentos por km²) e alta densidade (valores entre 2,5 a 3,7 lineamentos por km²). Através dessa divisão é possível perceber um predomínio das baixas densidades de lineamentos bem espalhadas em todo o território do município, algo que acontece de forma semelhante para as médias densidades de lineamentos. Já as altas densidades de lineamentos estão presentes em pontos mais isolados do município, recebendo um destaque na parte norte do mesmo, onde é possível perceber uma maior presença de lineamentos e conseqüentemente cores mais avermelhadas no mapa da figura 24.

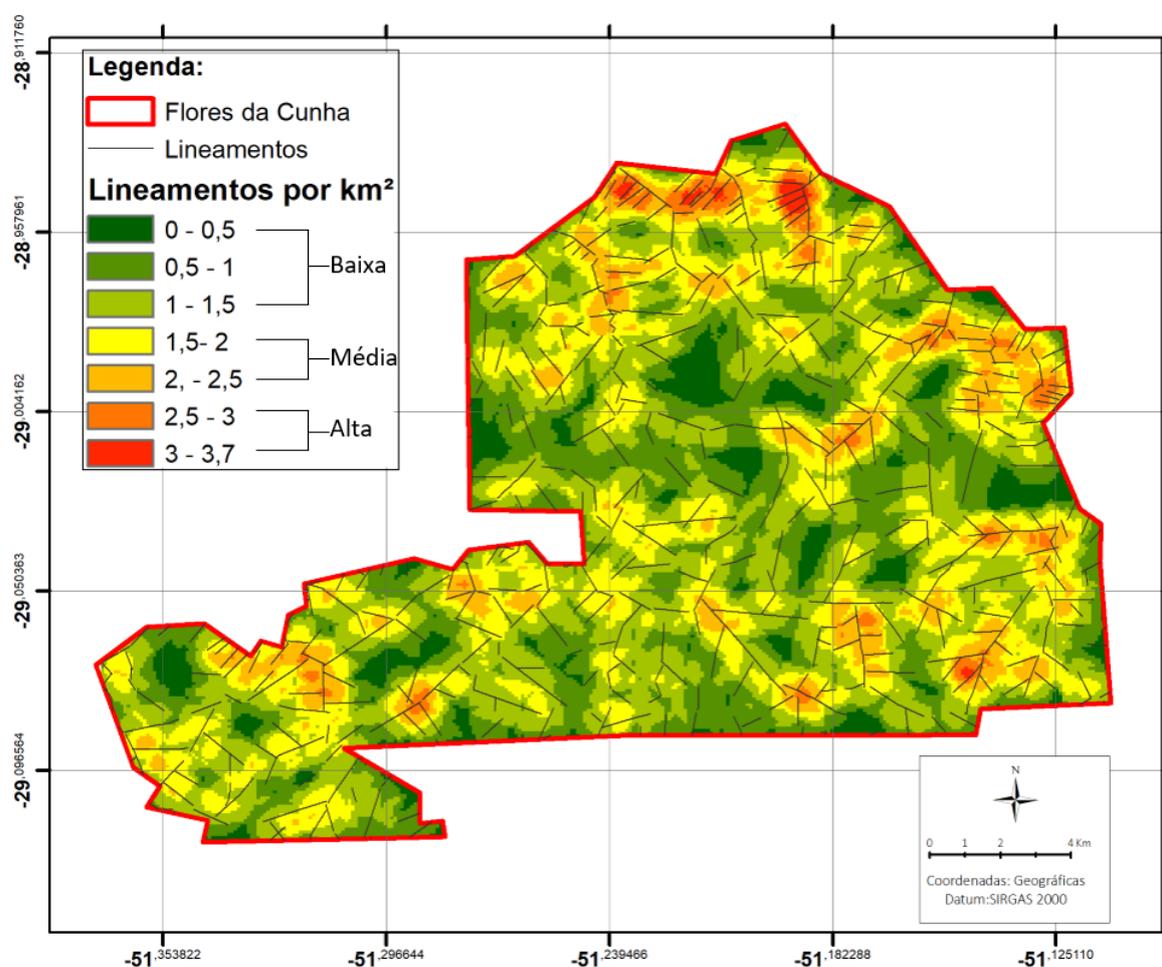


Figura 24 – Mapa da densidade de lineamentos. Fonte: Adaptado de Reginato (2003).

8.3 Caracterização Hidrogeológica

Na região de estudo, município de Flores da Cunha, há a ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral (Serra Geral II), de acordo com MACHADO e Freitas (2005), visualizado na figura 25. Ainda, em profundidades elevadas, é possível encontrar o Sistema Aquífero Guarani, porém, de acordo com o banco de dados deste trabalho, apenas um dos poços encontrava-se em profundidades suficiente para estar em situação de exploração de água do mesmo e ainda, esse poço não fora considerado para o presente trabalho.

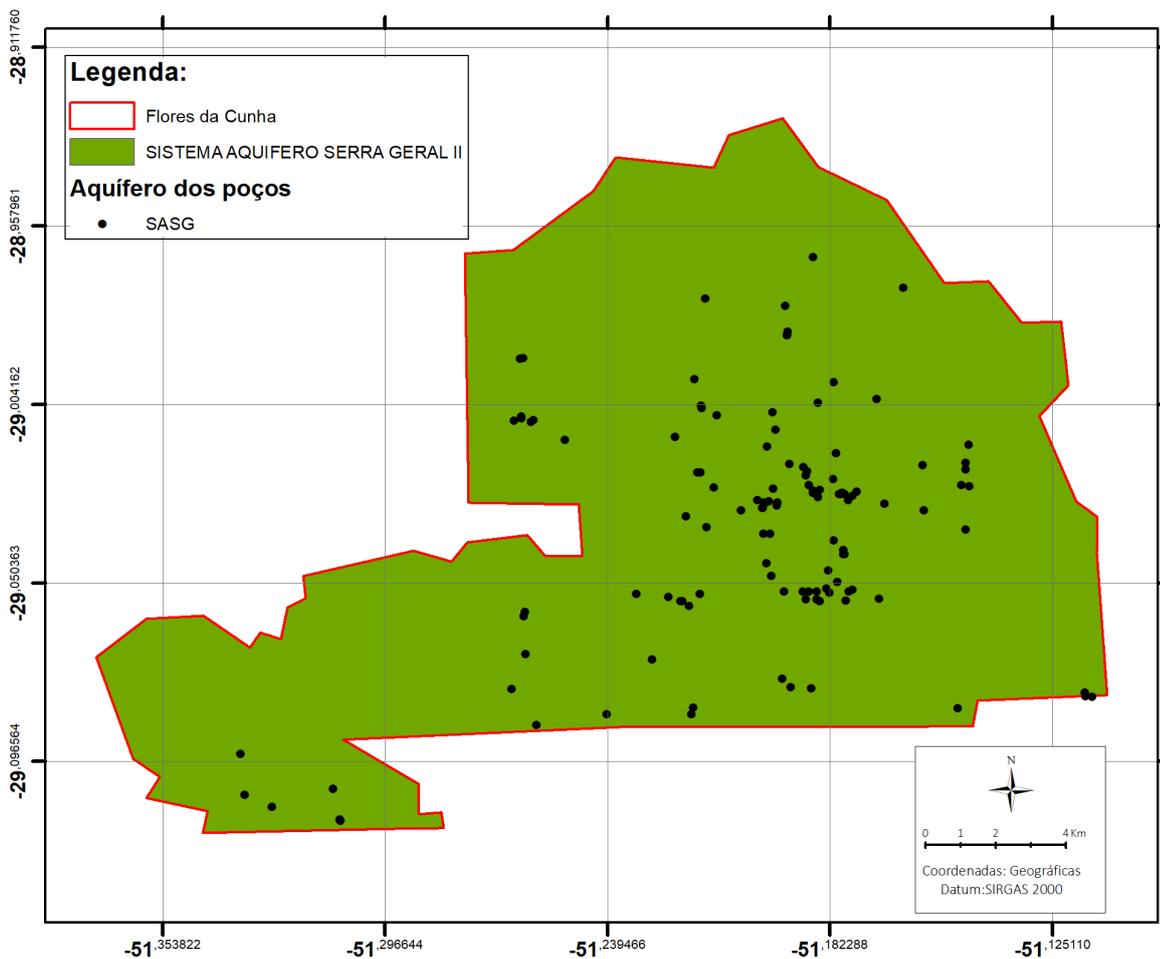


Figura 25 – Unidade hidroestratigráfica do município de Flores da Cunha. Fonte: Adaptado de MACHADO e Freitas (2005)

De todos os dados disponíveis, aproximadamente 322 dados de poços, apenas 122 poços foram utilizados no estudo, visto que apenas estes possuíam dados e informações necessárias para a continuidade e desenvolvimento da metodologia proposta e pertenciam ao SASG. A análise do Sistema Aquífero Serra Geral, que é condicionado através da ocorrência de fraturas tectônicas que cortam as estruturas de resfriamento das rochas

vulcânicas, foi realizada através destes mesmos 122 poços. Na figura abaixo, podemos visualizar a distribuição espacial dos mesmos na figura 26 abaixo.

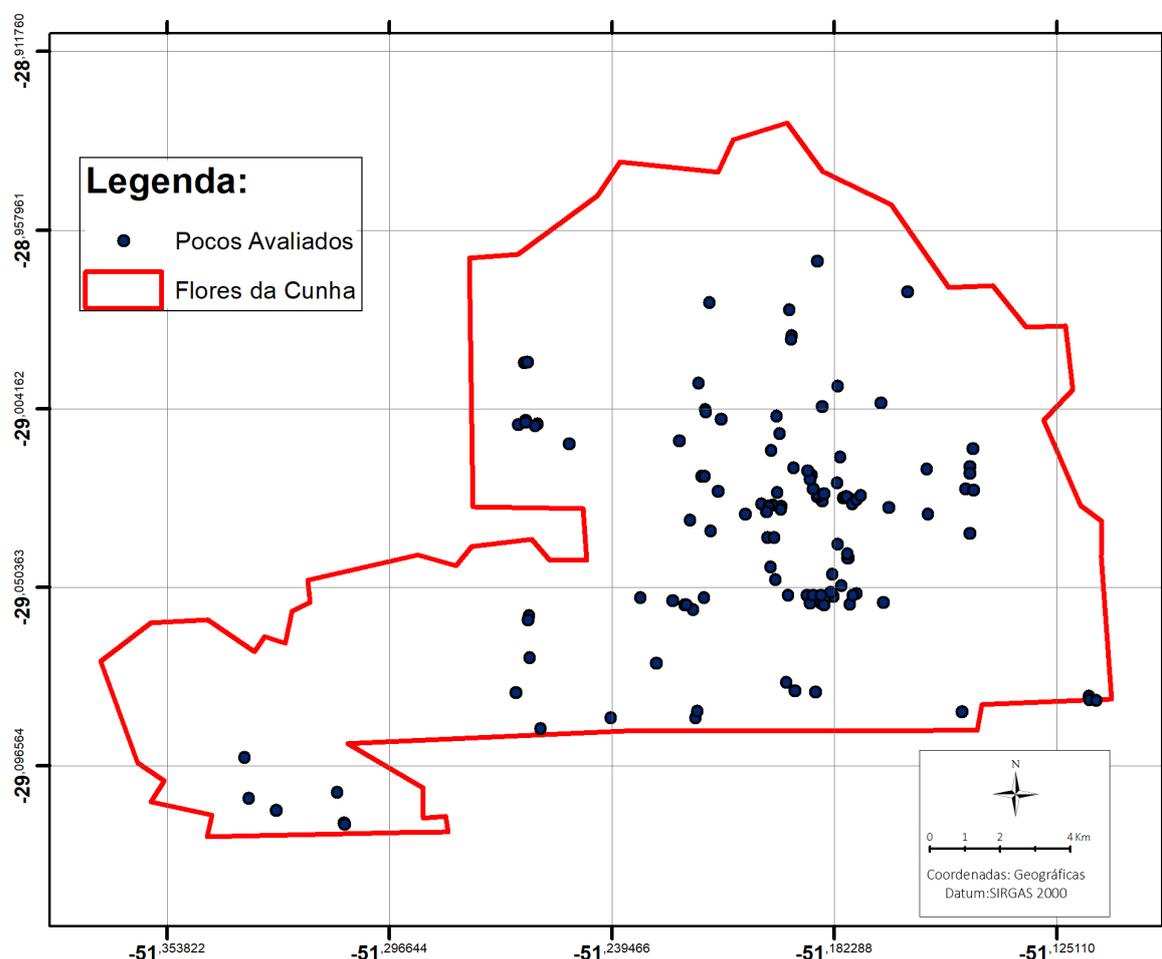


Figura 26 – Poços avaliados para o estudo no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor

Os poços utilizados na elaboração desse estudo são classificados como poços tubulares, com diferentes métodos de perfuração e diferentes características hidrodinâmicas. Através dessas informações foi possível elaborar gráficos de frequência das profundidades, nível estático e vazão de estabilização dos poços. Essas informações podem ser visualizadas abaixo nas figuras 27, 28, 29 respectivamente.

No que diz respeito as profundidades dos poços variaram entre 18 e 306 metros, com uma média de 122 metros de profundidade. Ainda, de acordo com o gráfico de frequência das profundidades é possível perceber uma dominância de poços com profundidades entre 84 e 126 metros com 34% de representação, seguido por uma distribuição mais igualitária de poços com 42 a 84 metros com 20% de representação e poços com 126 a 168 metros de

profundidade com 18% de representação.

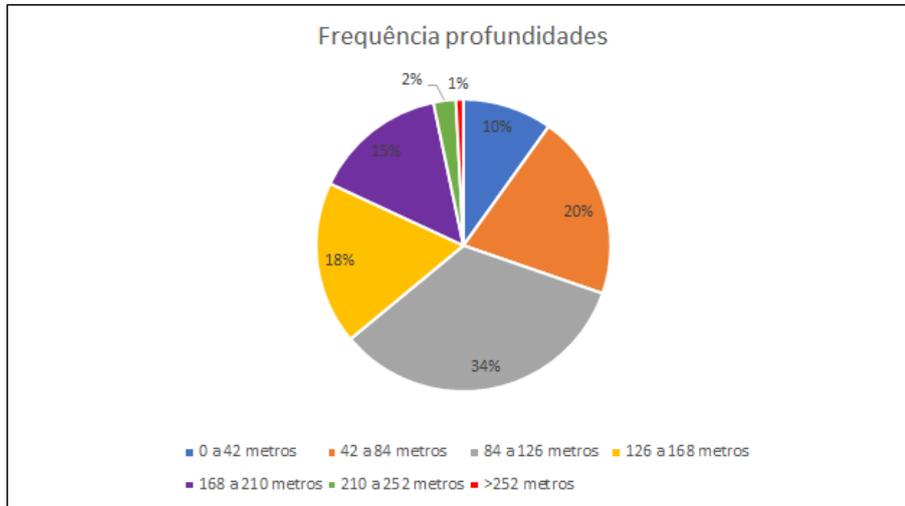


Figura 27 – Profundidade dos poços avaliados. Fonte: Própria do Autor

Já para o nível estático dos poços, a variação ficou entre 0,06 e 70 metros, com uma média de 15 metros. Observando o gráfico de frequência do nível estático é possível visualizar um grande domínio de poços com nível estático entre 0 a 10 metros com 54% de representação. Com uma menor representação, de 18% estão os poços com nível estático entre 10 a 20, com 14% estão os poços com nível estático entre 20 a 30 metros.

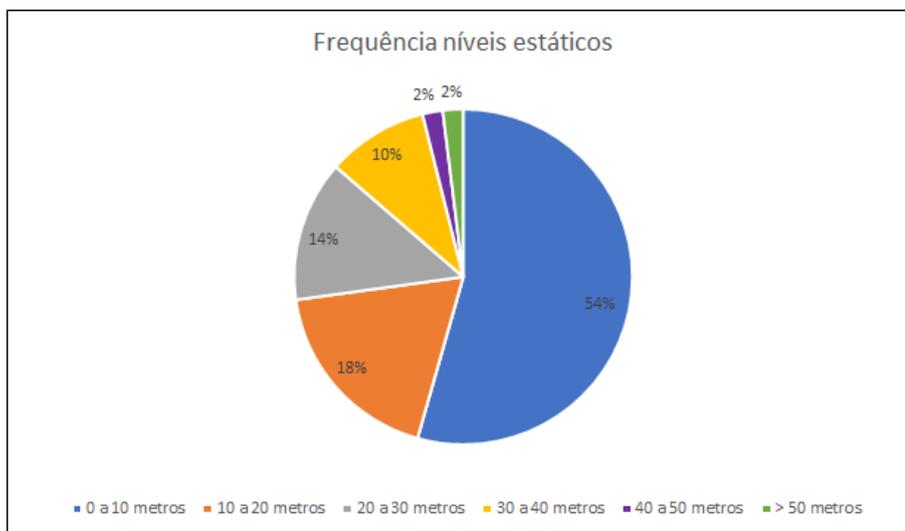


Figura 28 – Nível estático dos poços avaliados. Fonte: Própria do Autor

Por fim, os dados de vazão foram obtidos por meio da análise dos testes de bombeamento, tendo sido avaliada a vazão de estabilização, sendo que a mesma variou entre 0,1 e 184 m³/h com a média em 26,10 m³/h. Analisando o gráfico de frequência

gerado para as vazões de estabilização foi possível observar um domínio da faixa de 0 a 11 m³/h representada por 48% dos poços, seguido de outras duas frações mais representativas de 26% e 14% para 11 a 22 m³/h e 22 a 33 m³/h respectivamente.

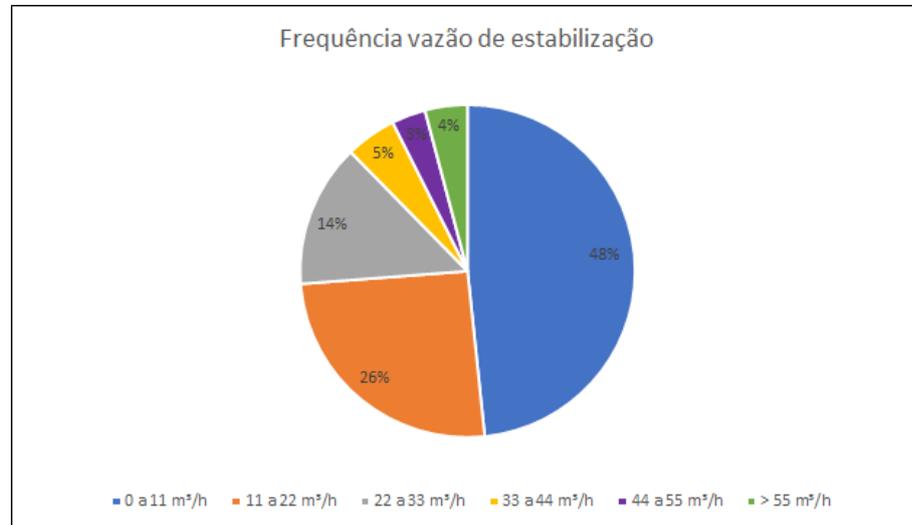


Figura 29 – Vazão de estabilização dos poços avaliados. Fonte: Própria do Autor

8.4 Avaliação da Vulnerabilidade dos Aquíferos

A partir do inventário de dados hidrogeológicos obtidos, como já descrito anteriormente, foi possível a aplicação da metodologia GOD, sendo que cada parâmetro da metodologia será detalhado abaixo nos próximos sub capítulos. Uma tabela contendo todas as informações para a aplicação da metodologia está disposta no apêndice B ao final deste documento.

Durante a confecção de cada mapa para cada parâmetro necessitou-se de uma interpolação, e esta foi realizada através da ponderação pelo inverso da distância (IDW), disponibilizado pelo software ArcGis, utilizando o valor de 2 para o parâmetro de entrada "Power". Este interpolador foi o que melhor se adaptou as necessidades do estudo e o que apresetou os melhores resultados.

8.4.1 Parâmetro G

O parâmetro G corresponde ao grau de confinamento do aquífero, sendo que este parâmetro está relacionado a facilidade de um contaminante superficial atingir as águas subterrâneas, ou seja, quanto maior o confinamento do local em estudo, maior será a dificuldade do contaminante chegar as águas subterrâneas e conseqüentemente mais próximo do valor zero este parâmetro terá seu valor atribuído.

Para determinar o valor do parâmetro G , assim como no trabalho de [Borges, Athayde e Reginato \(2017\)](#), considerou-se o tipo de solo presente em cada poço, na qual levou-se em consideração a espessura média do solo. Assim, o SASG pode ser considerados como aquíferos livres cobertos a livres sem cobertura.

Assim, para fazer a avaliação dos solos e definir o valor dos parâmetros G utilizou-se o mapa da figura 4 sendo que para os solos com espessura média mais baixa, como é o caso dos Neossolos e Cambissolos em que o parâmetro foi definido com o valor de 0,9 e 0,8 respectivamente. Já para os solos com espessuras médias mais altas, como é o caso dos Nitossolos e Argissolos, o parâmetro foi definido como 0,6 e 0,7 respectivamente.

A interpolação dos dados do parâmetro G resultou em um mapa do mesmo para o município de Flores da Cunha que pode ser visualizado na figura 30.

Avaliando o mapa percebe-se uma predominância de menores valores para o parâmetro na porção central ao norte do município, predominando valores médios em quase todo município e ainda com locais pontuais onde os valores do parâmetro são mais elevados, chegando ao valor máximo de 0,9.

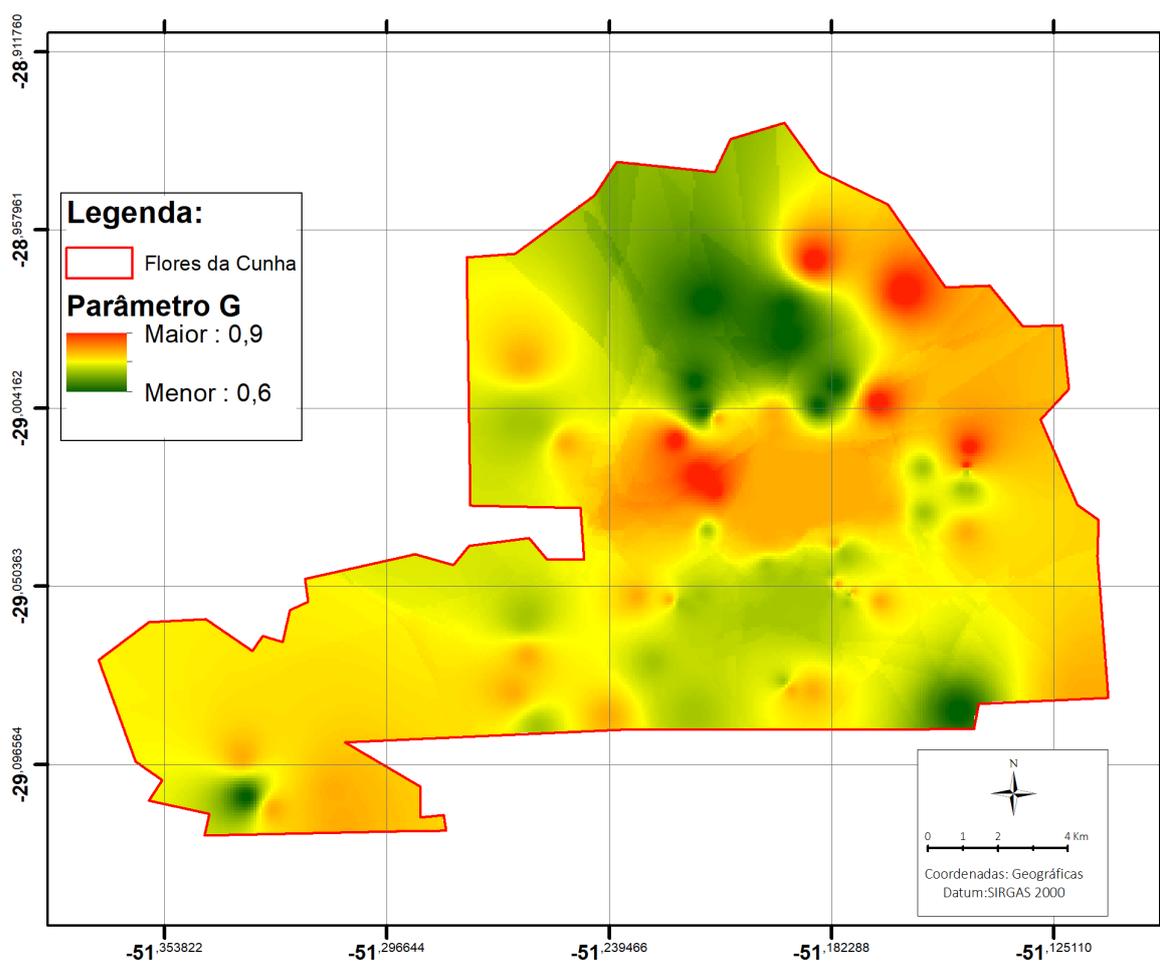


Figura 30 – Mapa do Parâmetro G. Fonte: Própria do Autor

8.4.2 Parâmetro O

O parâmetro O corresponde aos estratos de cobertura e a capacidade de atenuação com contaminantes que estejam na superfície. Para este parâmetro é necessário considerar o material geológico que ocorre acima das entradas de água, sendo que esse material no estudo em questão tratam-se principalmente de rochas vulcânicas.

Para determinar o valor do parâmetro O considerou-se os solos presentes acima de cada poço, sendo que na região de ocorrência dos Neossolos e Cambissolos (solos mais rasos), os valores foram definidos como 0,7. Já para os lugares de ocorrência de Nitossolos e Argissolos (solos mais profundos), os valores foram definidos em 0,6.

A interpolação dos dados do parâmetro O resultou em um mapa do mesmo para o município de Flores da Cunha que pode ser visualizado na figura 31. Avaliando o mapa percebe-se uma predominância de menores valores para o parâmetro na porção central norte e sul do município, predominando valores altos na porção central e na porção leste

do município e ainda valores médios na porção oeste.

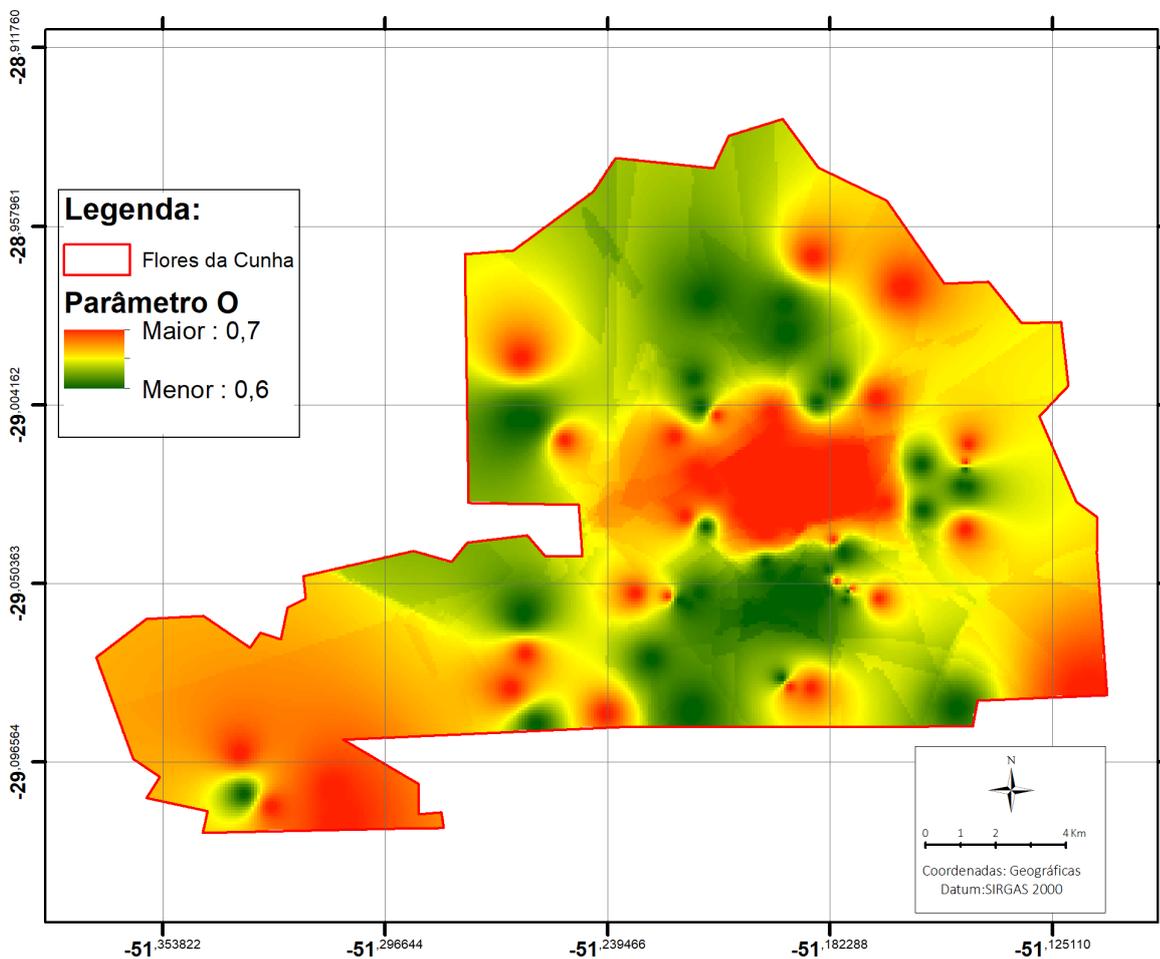


Figura 31 – Mapa do Parâmetro O. Fonte: Própria do Autor

8.4.3 Parâmetro D

O parâmetro D corresponde a profundidade das águas subterrâneas sendo relacionado diretamente ao grau de acessibilidade dos contaminantes ao sistema aquífero. Para a determinar o valor do parâmetro D utilizou-se o valor do nível estático dos poços, sendo que dos 122 registros apenas 19 não possuíam valores de nível estático e esses foram completados com o valor da média dos níveis estáticos dos demais poços, com o valor de 15,01 metros.

Os valores deste parâmetro variaram entre 0,6 e 0,9, seguindo a metodologia de GOD para o parâmetro D . A interpolação dos dados do parâmetro D resultou em um mapa do mesmo para o município de Flores da Cunha que pode ser visualizado na figura 32. Avaliando o mapa percebe-se uma predominância de menores valores para o parâmetro

na porção oeste do município, predominando valores altos na porção central e na porção leste do município e ainda valores médios bem distribuídos ao longo de toda área.

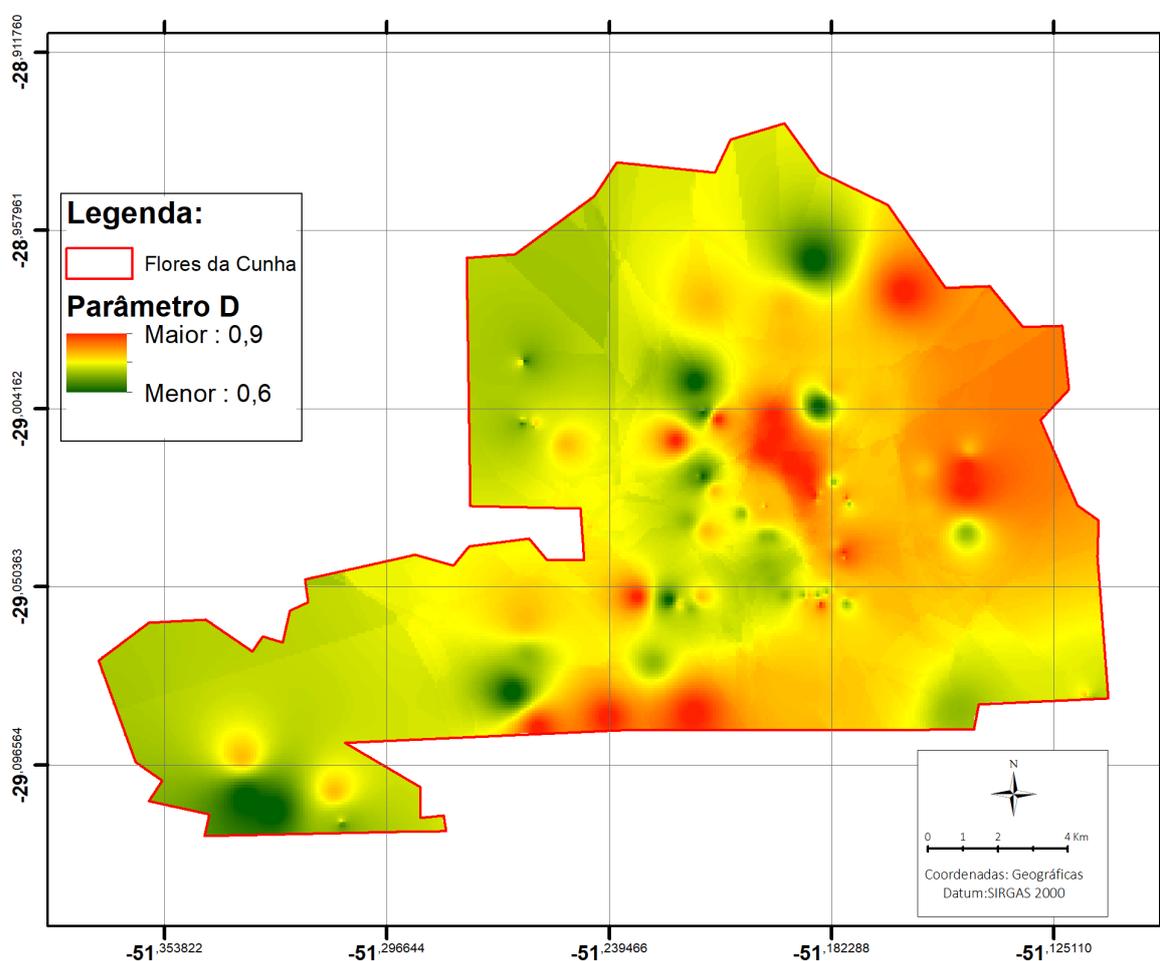


Figura 32 – Mapa do Parâmetro D. Fonte: Própria do Autor

8.4.4 Vulnerabilidade Intrínseca - GOD

Através dos resultados obtidos em cada parâmetro descrito anteriormente foi possível multiplicar os mesmos com a finalidade de obter o mapa da vulnerabilidade intrínseca para todo o município de Flores da Cunha. Para analisar e identificar os poços com maiores vulnerabilidades também foi realizado um mapa que retrata apenas a classificação de cada poço em relação a metodologia *GOD*, sem realizar a interpolação. O mapa da classificação dos poços e os percentuais das classificações dos poços podem ser visualizados na figura 33 e na figura 34 respectivamente.

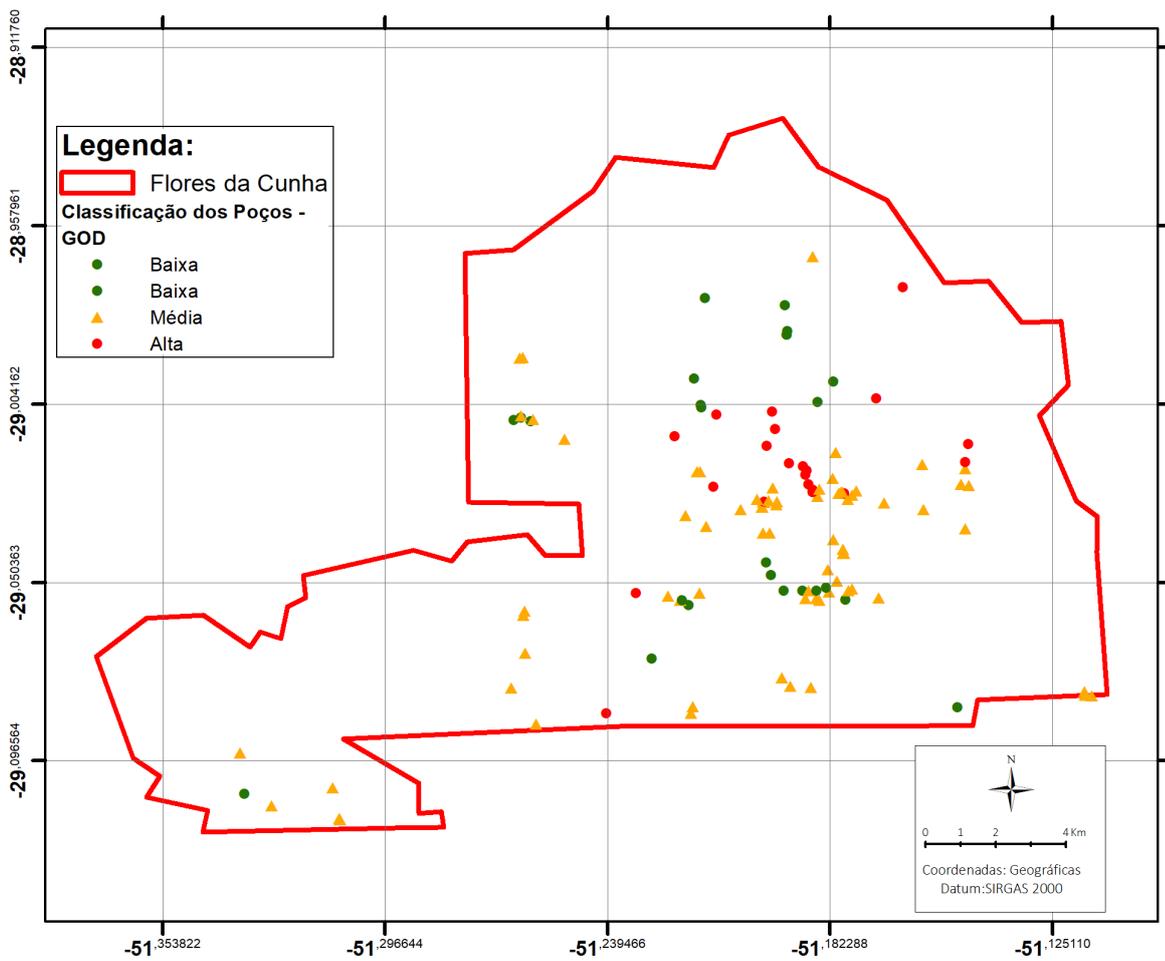


Figura 33 – Classificação de cada poço segundo a metodologia *GOD*. Fonte: Própria do Autor

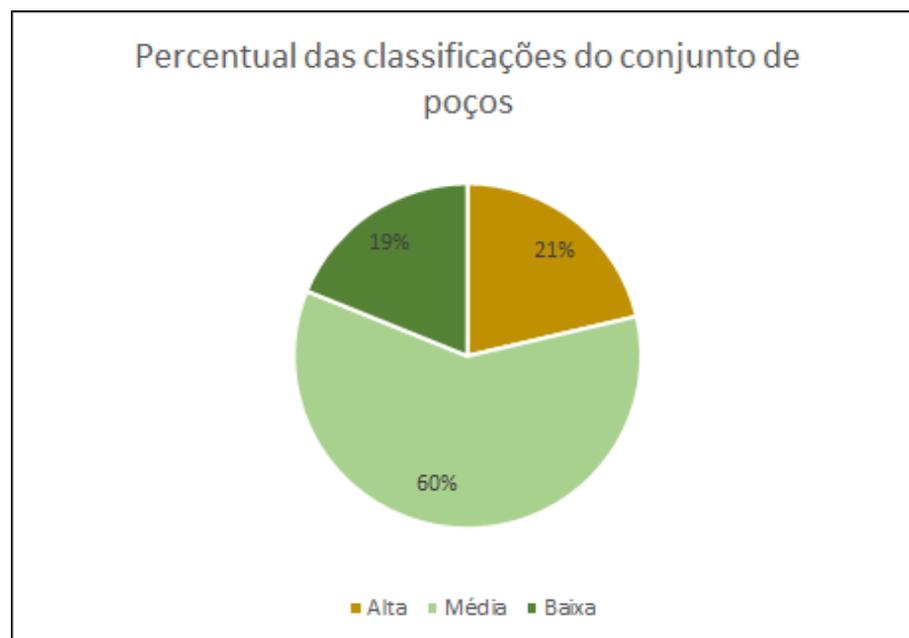


Figura 34 – Distribuição percentual dos poços do SASG nas diferentes classes de vulnerabilidade. Fonte: Própria do Autor

Analisando o gráfico é possível visualizar um predomínio muito grande de poços classificados com média vulnerabilidade, representados por 60% das ocorrências. As demais classificações distribuem-se quase que igualmente sendo que para a classificação baixa temos 19% de ocorrências e 21% para a classificação alta de vulnerabilidade através da metodologia *GOD* para os poços avaliados.

A multiplicação dos parâmetros citados acima através da ferramenta "Map Algebra" disponibilizada pelo software ArcGis e baseou-se na multiplicação descrita pela fórmula 8.1 abaixo, que resultou no mapa da vulnerabilidade do SASG, visualizado na figura 35 abaixo.

$$VulnerabilidadeNaturaldoSASG = ParametroG \times ParametroO \times ParametroD \quad (8.1)$$

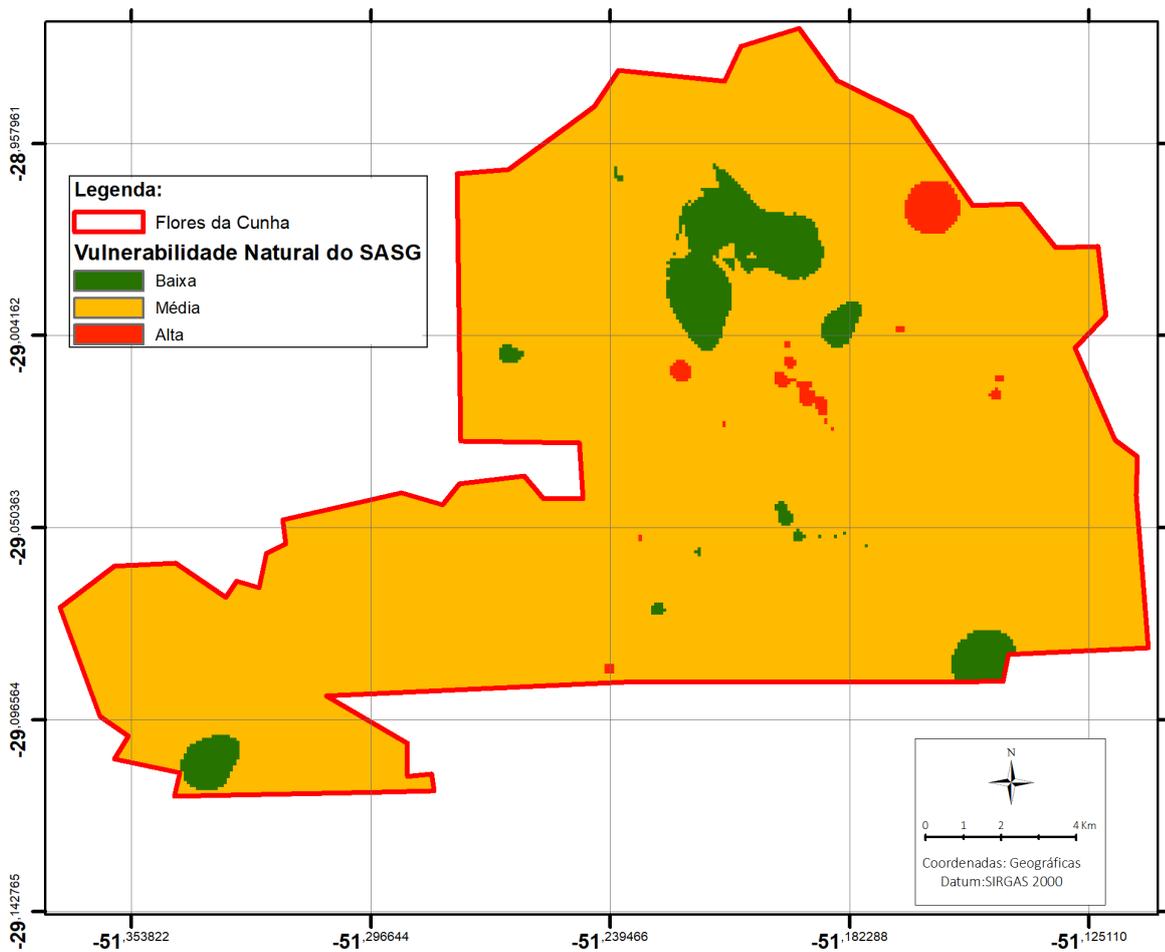


Figura 35 – Mapa da Vulnerabilidade no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor

No geral, no SASG, na área de estudo, é possível perceber um predomínio muito grande da classificação de média vulnerabilidade no município, com aproximadamente 257 km² da área coberta por essa classificação. Ainda, em porções menores, aproximadamente outros 13 km² da área, apresentam a classificação de baixa vulnerabilidade e, o restante, 2,4 km² de área com classificação de alta vulnerabilidade. A distribuição percentual da área coberta por cada classe de vulnerabilidade pode ser visualizada na figura 36.

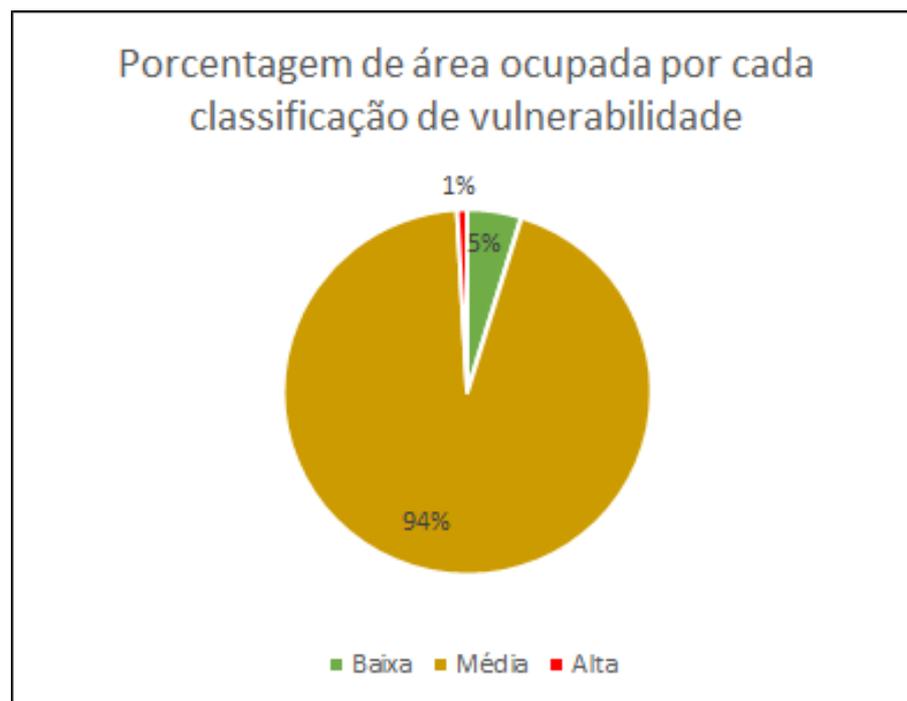


Figura 36 – Porcentagem da área da Vulnerabilidade no município de Flores da Cunha.
Fonte: Própria do Autor

Os maiores valores de vulnerabilidade estão diretamente ligados a presença de solos específicos na região, ou seja, ocorrem na presença de solos com baixas espessuras. O predomínio da vulnerabilidade média está atrelado ao grande percentual de área com solos com espessuras menos elevadas (valor dos parâmetros G e O mais altos) e níveis estáticos de baixo valor, elevando o valor do parâmetro D , combinando esses resultados acabamos por ter um valor médio de vulnerabilidade. Já as regiões onde os solos tendem a apresentar maior espessura os níveis estáticos encontram-se mais afastados da superfície indicando áreas classificadas como baixa vulnerabilidade.

8.5 Avaliação do Risco Potencial de Contaminação dos Aquíferos

Para realizar a análise do risco de contaminação necessita-se de uma combinação entre as possíveis fontes de contaminação, sejam elas pontuais ou difusas, e o estudo de vulnerabilidade do sistema aquífero. Para uma melhor compreensão e análise, as fontes de contaminação foram divididas em dois tópicos descritos na sequência.

Ainda, a análise das fontes foi realizada de acordo com o quadro da figura 37 que representa a metodologia do perigo (risco) de contaminação dos aquíferos (figura 18) de uma forma mais visual.

Perigo de contaminação		Potencial de contaminação (POSH)			
		Não Classificado	Reduzido	Moderado	Elevado
Vulnerabilidade (GOD)	Insignificante	Não Classificado	Muito Baixo	Muito Baixo	Baixo
	Baixa	Não Classificado	Muito Baixo	Baixo	Moderado
	Média	Não Classificado	Baixo	Moderado	Alto
	Alta	Não Classificado	Moderado	Alto	Alto
	Extrema	Não Classificado	Alto	Alto	Extremo

Figura 37 – Classificação do Perigo de Contaminação. Fonte: Adaptado de [Barbosa et al. \(2011\)](#)

8.5.1 Fontes Difusas

A identificação e a análise das fontes difusas de contaminação foi realizada através dos dados de uso e ocupação do solos disponibilizado pela Organização MapBiomas ([JR et al., 2020](#)). A organização produz o mapeamento anual da cobertura e uso da terra para todo o Brasil desde 1985. Para o presente trabalho, utilizou-se os dados relativos ao ano de 2020 que foram publicados em agosto de 2021. As classes geradas para a área de estudo podem ser visualizadas na figura 38 e dividem-se em: formação florestal, silvicultura, formação campestre, pastagem, misto de agricultura e pastagem, área urbanizada, outras áreas não vegetadas, rio ou lago, soja e outras lavouras temporárias.

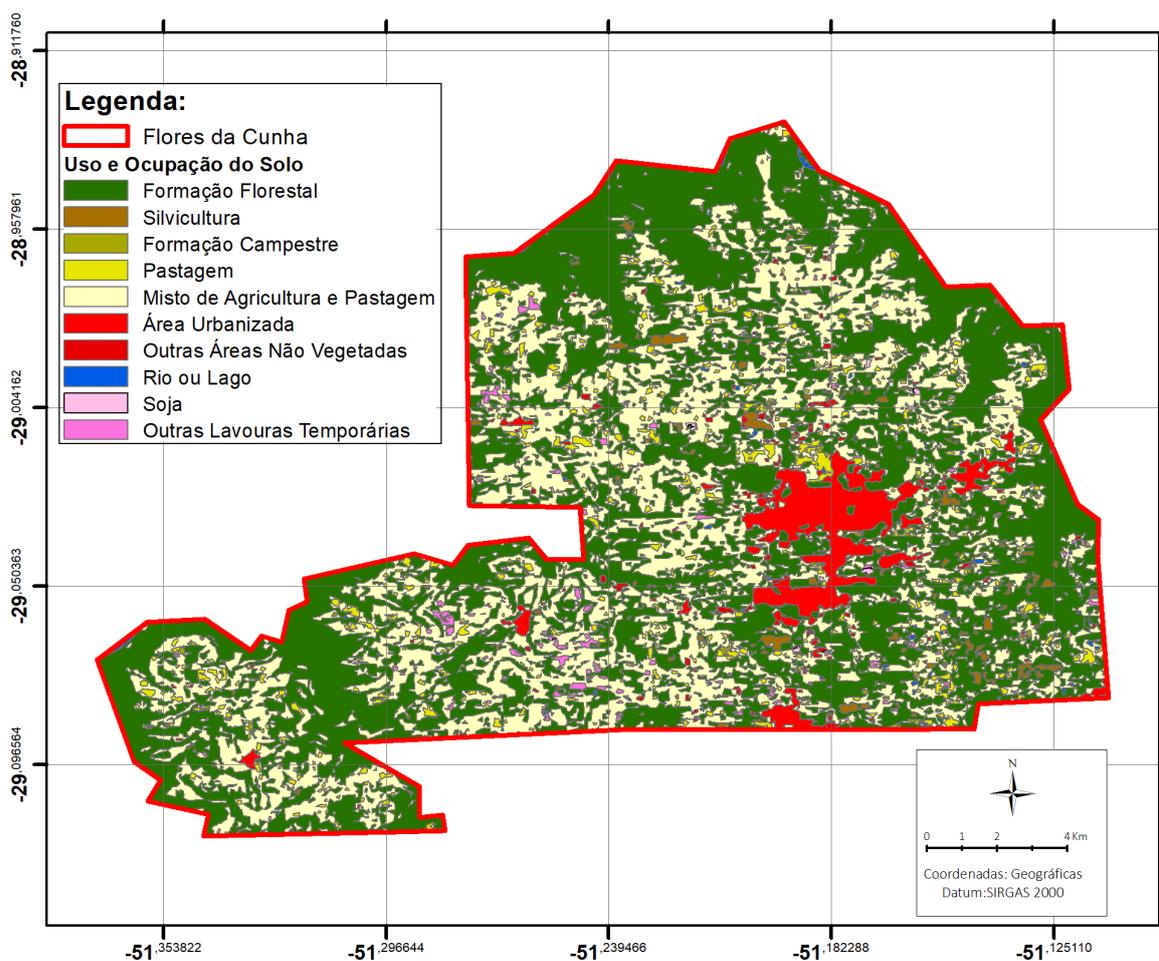


Figura 38 – Uso e ocupação do solo no município de Flores da Cunha. Fonte: MapBiomias (JR et al., 2020)

Através do mapa foi possível determinar a área em km² correspondente a cada uso e ocupação do solo, na qual percebe-se um predomínio de três principais usos, denominados: formação florestal, misto de agricultura e pastagem e área urbanizada. Dentre esses três usos, destacam-se os dois principais, que cobrem grande parte da extensão territorial do município, sendo que a formação florestal ocupa aproximadamente 46% do território e o misto de agricultura e pastagem cobre aproximadamente 44% da área, restando apenas 10% para a classificação de área urbanizada. Os demais usos não são expressivos se comparados ao todo resultando em baixas porcentagens de área, como pode ser visualizado na tabela 2.

Utilizando a metodologia POSH, já mostrada anteriormente na figura 16, foi possível também reclassificar cada uso e ocupação do solo de acordo com o potencial de carga contaminante de subsolo. Em função da dificuldade de determinar especificamente a agricultura realizada no local denominado "Misto de Agricultura e Pastagem" optou-se por classificar estas áreas como potenciais contaminadores moderados.

Para as áreas urbanizadas e outras áreas não vegetadas (áreas com urbanização porém no interior do município), segundo dados fornecidos pela própria administração municipal de Flores da Cunha através do plano de saneamento básico as metas para a cobertura da rede de esgoto seriam de 70% até 2024, sendo classificados assim através da metodologia POSH como potenciais contaminadores moderados. As áreas de formação campestre e formação florestal caracterizam-se por áreas naturais e por isso foram definidas como não classificado. Já a área de silvicultura, por tratar-se de área de reflorestamento pode estar associada ao uso de algum agroquímicos para combater pragas, por isso, classificou-se como potencial contaminador reduzido.

Tabela 2 – Área de cada uso e ocupação e classificação segundo o método POSH. Fonte: Própria do Autor

Uso e Ocupação	Área (km²)	Classificação POSH
Área Urbanizada	793,02	Moderado
Formação Campestre	0,54	Não Classificado
Formação Florestal	3557,18	Não Classificado
Misto de Agricultura e Pastagem	3378,18	Moderado
Outras Áreas Não Vegetadas	1,82	Moderado
Lavouras Temporárias (Rotação de Culturas)	2,10	Reduzido
Pastagem	8,96	Reduzido
Rio ou Lago	0,82	Não Classificado
Silvicultura	2,76	Reduzido
Soja	0,21	Elevado

Após as reclassificações do uso e ocupação do solo seguindo a metodologia POSH, o mapa resultante com o potencial contaminador pode ser visualizado na figura 39 abaixo. A distribuição percentual do potencial contaminador podem ser visualizadas no gráfico da figura 40 abaixo na qual percebe-se que em 40% da área a classificação foi de potencial contaminação moderado e em 55% a classificação foi de nulo. Os demais valores foram inexpressíveis em porcentagens e área, com a Soja possuindo uma classificação elevada em 0,19 km² e pastagens, lavouras temporárias (rotação de culturas) e silvicultura possuindo uma classificação reduzida com a soma de 13,84 km².

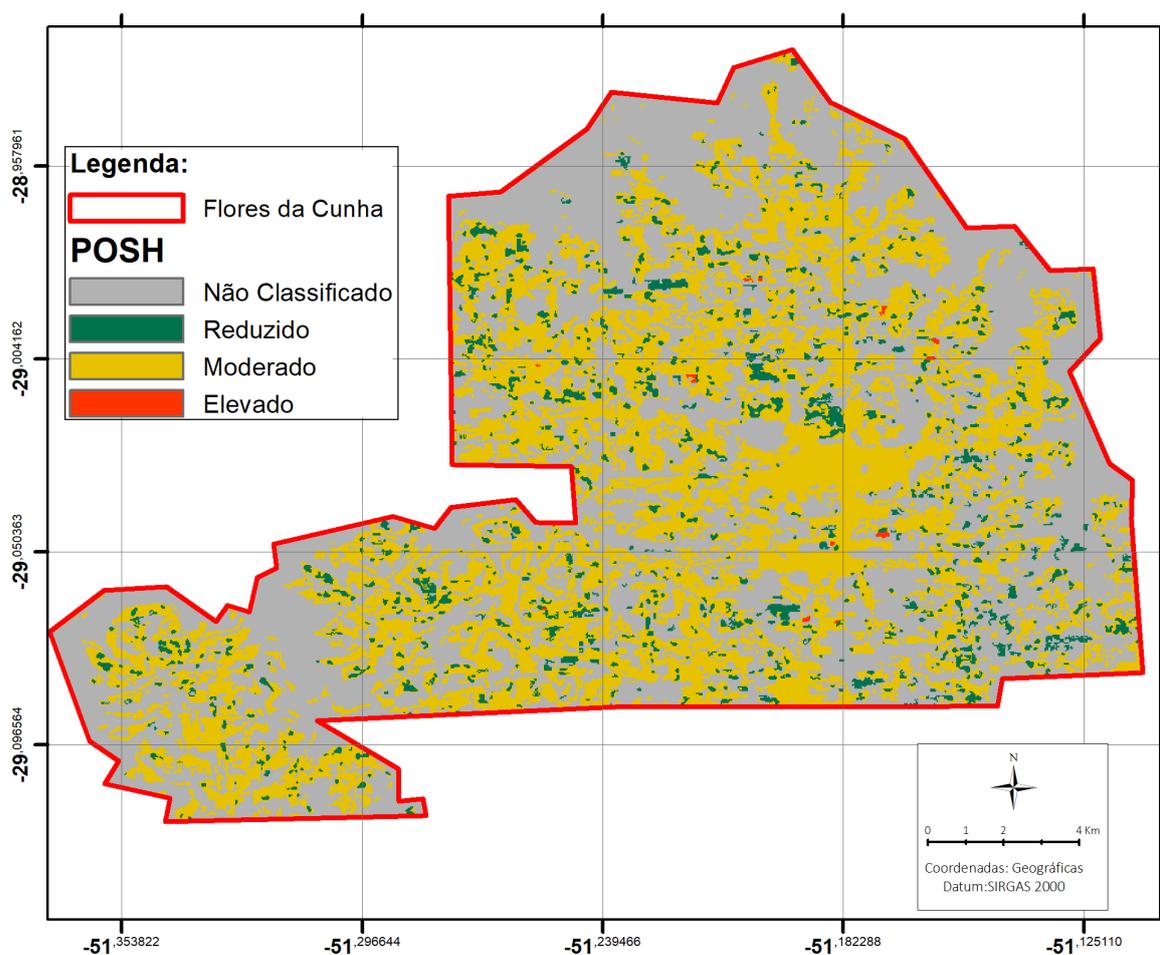


Figura 39 – Mapa do potencial de contaminação das fontes difusas do município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor

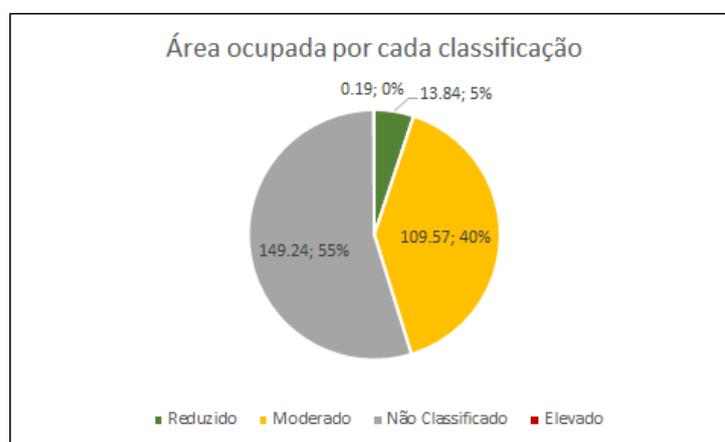


Figura 40 – Distribuição percentual das áreas do potencial de contaminação das fontes difusas do município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor

Através do cruzamento do mapa da vulnerabilidade natural do SASG (figura 35) e do mapa do potencial de contaminação das fontes difusas (figura 39) foi possível analisar e classificar a área do município quanto ao risco potencial de contaminação. O mapa resultante do cruzamento está apresentado na figura 41 abaixo.

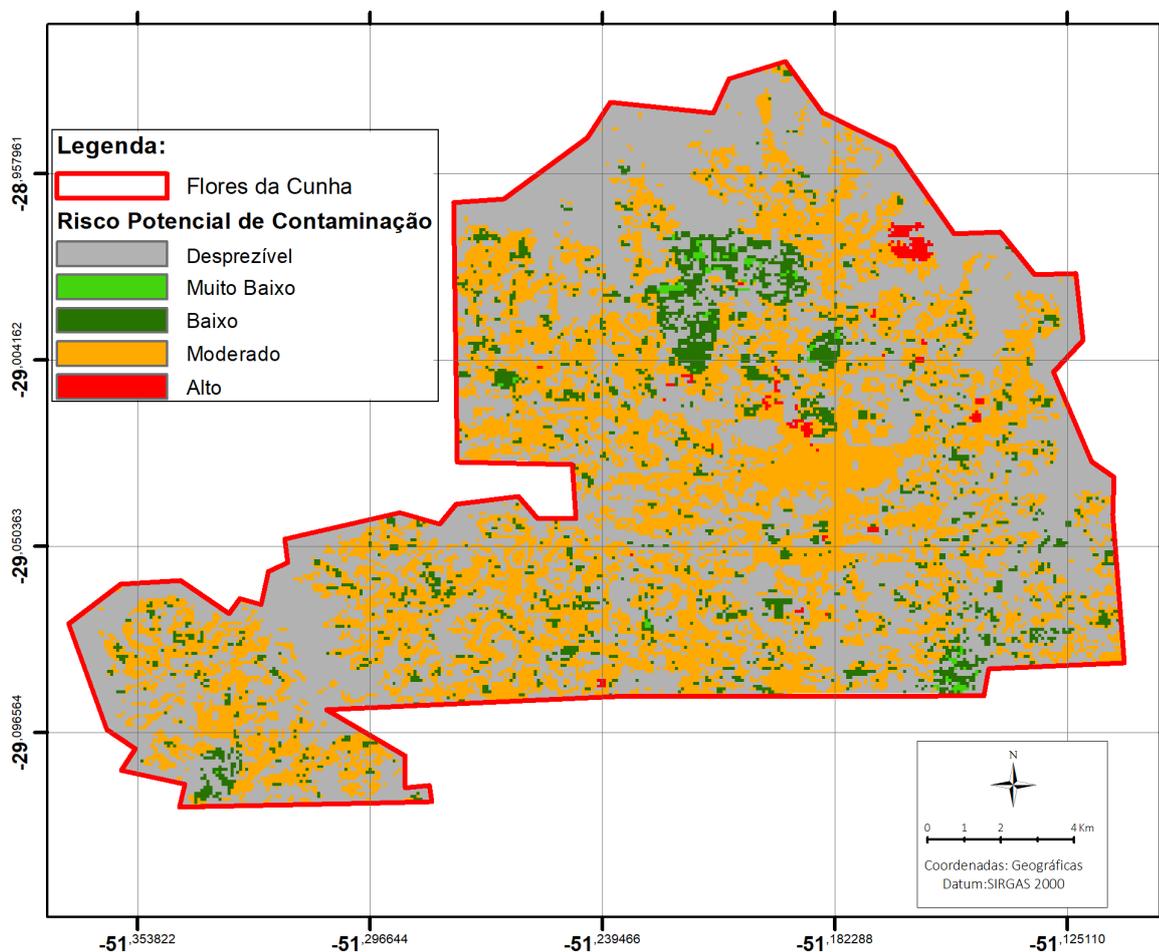


Figura 41 – Risco potencial de contaminação do município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor

As distribuições percentuais das áreas classificadas nos diferentes níveis de risco potencial de contaminação podem ser visualizadas no gráfico da figura 42 abaixo. De acordo com a figura 41 e o gráfico da figura 42 é possível perceber que as classificações do risco potencial de contaminação dividem-se principalmente em três classificações mais expressivas em questões de área total em km² e outras duas classificações menos expressivas.

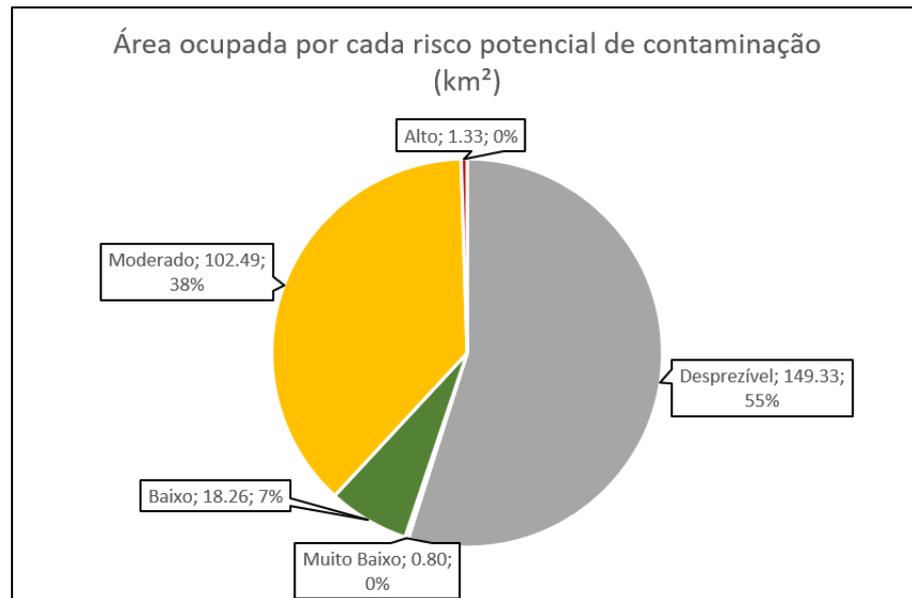


Figura 42 – Gráfico com distribuição percentual do risco potencial de contaminação das fontes difusas. Fonte: Própria do Autor

A classificação de risco potencial *muito baixo* ocorre em locais mais ao norte e a sudeste do município, ocupando aproximadamente 0,8 km² de área, associado principalmente a locais com a vulnerabilidade natural do SASG classificada como baixa e com o potencial contaminante classificado como reduzido, sendo que este potencial reduzido está diretamente relacionado ao uso e ocupação classificados com silvicultura ou pastagens.

Em locais pontuais, mais especificamente na região central e na região nordeste do município, com aproximadamente 1,33 km² de área somados, a classificação de risco potencial *alto* encontra-se associado principalmente a uma alta vulnerabilidade natural multiplicada a um moderado potencial contaminante sendo que este potencial está diretamente ligado ao uso e ocupação do solo que é caracterizado por um misto entre agricultura e pastagem.

Ocupando uma maior porção da área do município, com aproximadamente 18,26 km² de área, a classificação de risco potencial *baixo* está associada a locais onde a vulnerabilidade natural está classificada como baixa e o potencial contaminante como moderado, diretamente ligado a solos onde o uso e ocupação do solo é caracterizado por misto entre agricultura e pastagens.

Classificado como risco potencial *moderado*, ocupando aproximadamente 102,5 km² de área e distribuída de forma homogênea ao longo de toda a região do município de Flores da Cunha, esta classificação está associada principalmente a vulnerabilidade natural classificada como média e ao potencial contaminante classificado como moderado estando diretamente ligado as áreas de uso e ocupação do solo caracterizadas pelo misto

de agricultura e pastagem e também por áreas urbanizadas e não vegetadas (pequenas comunidades rurais).

Por fim, a classificação com o maior número de cobertura de área do município, ocupando aproximadamente 149 km² e distribuída de forma bem espaçada e homogênea ao longo do município trata-se da classificação de risco potencial *desprezível*. Esta classificação está associada principalmente ao potencial contaminante nulo que é caracterizado pela ocorrência do uso e ocupação dos solo das formações florestal e campestre, e, dos rios ou lagos.

8.5.2 Fontes Pontuais

As fontes pontuais de contaminação foram identificadas na área do município através de imagens de satélite (Google Maps e Google Earth) e principalmente através de informações fornecidas pela FEPAM na qual foram disponibilizados dados das licenças de operação de empreendimentos com potencial poluente no município. Através da metodologia POSH (FOSTER et al., 2002), apresentada na figura 43 abaixo e já citada na metodologia, foi possível classificar as fontes pontuais quanto ao potencial de gerar carga contaminante no subsolo.

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: madeiras, 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>					

Figura 43 – Classificação das fontes de contaminação pontuais segundo o sistema POSH.
Fonte: (FOSTER et al., 2002)

Ao todo foram mapeadas e identificadas 184 fontes pontuais de contaminação ao longo de toda extensão do município na qual podem ser visualizadas na figura 46.

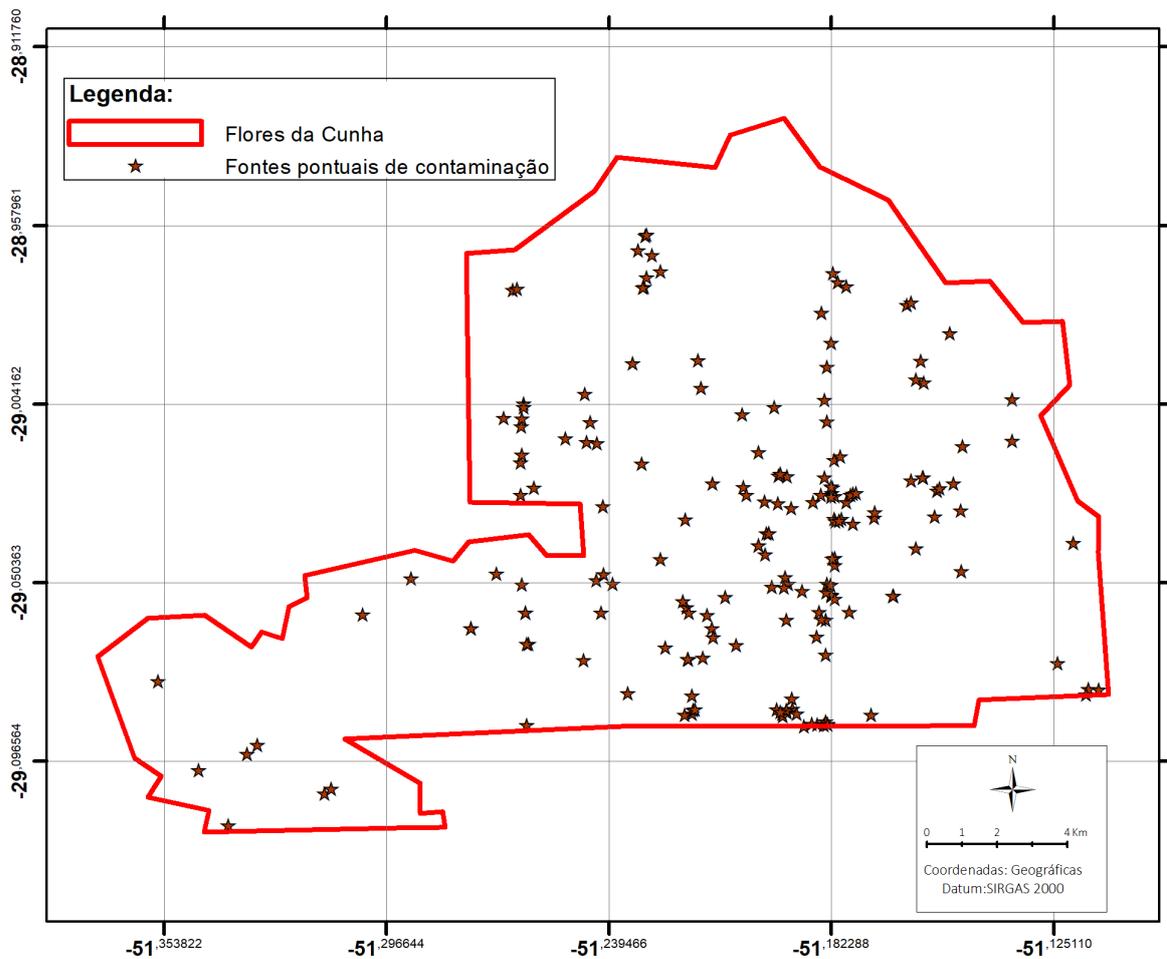


Figura 44 – Fontes de contaminação pontuais identificadas no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor

Das 184 fontes pontuais de contaminação, 135 fontes foram classificadas com potencial reduzido (73%), apenas 16 fontes foram classificadas com potencial moderado (9%) e o restante, 33 fontes, foram classificadas com potencial elevado (18%). A tabela com as informações a respeito do inventário de fontes pontuais pode ser visualizado no apêndice C.

O grupo das fontes pontuais de contaminação classificados como reduzido são representadas por empresas do ramo de alimentos e bebidas como vinícolas, distribuidoras de ração animal e distribuidoras de bebidas. Juntamente nesse grupo, encontram-se empreendimentos da construção civil como fábricas de móveis (serrarias), de artefatos de cimento e de vidros. E, ainda, junto a esse grupo foram adicionados os cemitérios da cidade que foram mapeados através das imagens de satélite. O grupo das fontes pontuais moderadas é representado por poucos empreendimentos principalmente do ramo de aplicação de efluentes tratados no solo agrícola, fabricação de papel, reciclagem e postos

de gasolina. Já o grupo das fontes pontuais de contaminação classificados como elevados são representados por empreendimentos de fabricações metálicas, fabricações de plásticos, usinagens de asfalto e curtumes.

Realizando o cruzamento do mapa da vulnerabilidade do SASG e das fontes pontuais de contaminação foi possível gerar e analisar o mapa (figura 45), na qual foi possível identificar que dentro da classe de vulnerabilidade natural baixa do SASG encontram-se 7 fontes pontuais de contaminação reduzido e 1 elevada. Já na classe de vulnerabilidade natural média é possível visualizar nela estão presentes 126 fontes pontuais reduzidas de contaminação, 16 moderadas e 32 elevadas. Por fim, na classe de vulnerabilidade natural elevada há a ocorrência de apenas 2 fontes de contaminação pontuais classificadas como reduzidas.

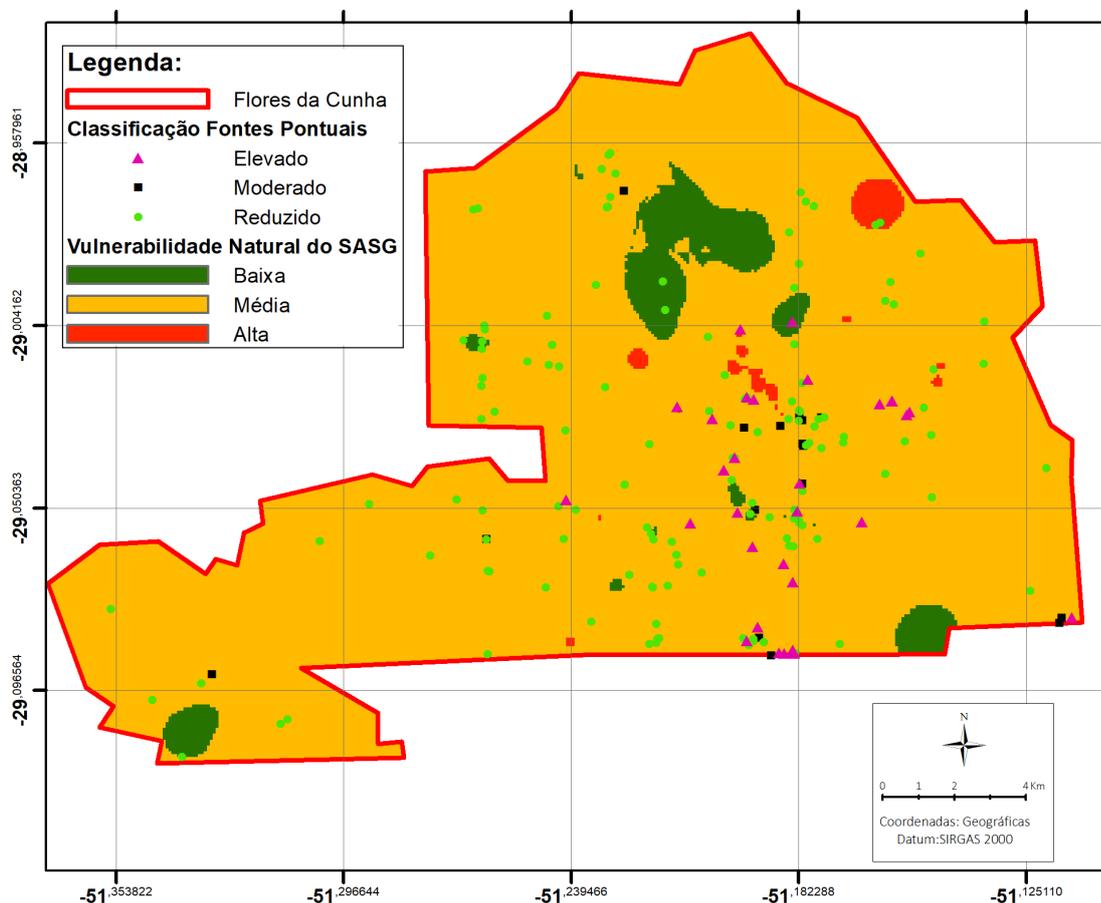


Figura 45 – Classificação das fontes de contaminação pontuais identificadas no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor

Através do cruzamento realizado anteriormente foi possível também determinar o risco potencial de cada fonte de contaminação pontual, visualizado na figura 46 abaixo. Desse cruzamento foram identificadas duas principais zonas onde a concentração de fontes

pontuais são mais elevadas e concentradas, sendo que as duas regiões serão apresentadas nas figuras 47 e 48 abaixo.

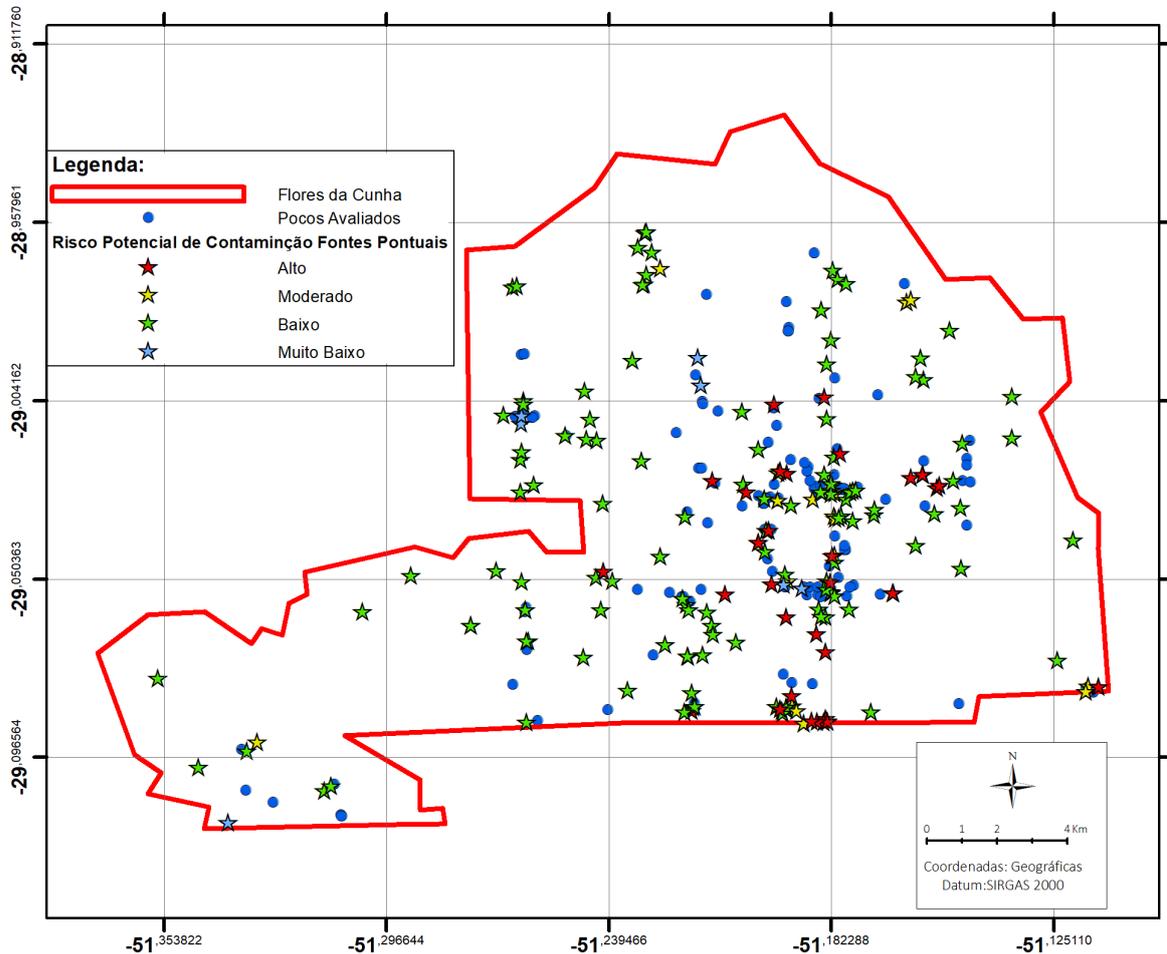


Figura 46 – Risco potencial de contaminação das fontes pontuais identificadas no município de Flores da Cunha. Fonte: Própria do Autor

A primeira zona, figura 47, trata-se da região central do município que contempla principalmente a porção urbana do mesmo. Dentro dessa zona representada pelo círculo tracejado em vermelho estão presentes 75 fontes de contaminação pontuais, sendo que 23 fontes possuem o risco potencial de contaminação alto, 9 fontes possuem risco moderado, 40 fontes possuem risco baixo e apenas 2 possuem o risco muito baixo. Observa-se também que dentro da área urbana com uma densidade maior de domicílios concentram-se principalmente as fontes pontuais com risco potencial de contaminação moderados e baixos, associadas principalmente a postos de combustível e a empresas do ramo alimentício e de bebidas. Já as fontes pontuais com o risco potencial de contaminação elevado distribuem-se de maneira mais espaçada ao longo da zona delimitada pela linha tracejada vermelha e

estão representadas principalmente por indústrias de fabricações metálicas, plásticas e curtumes.

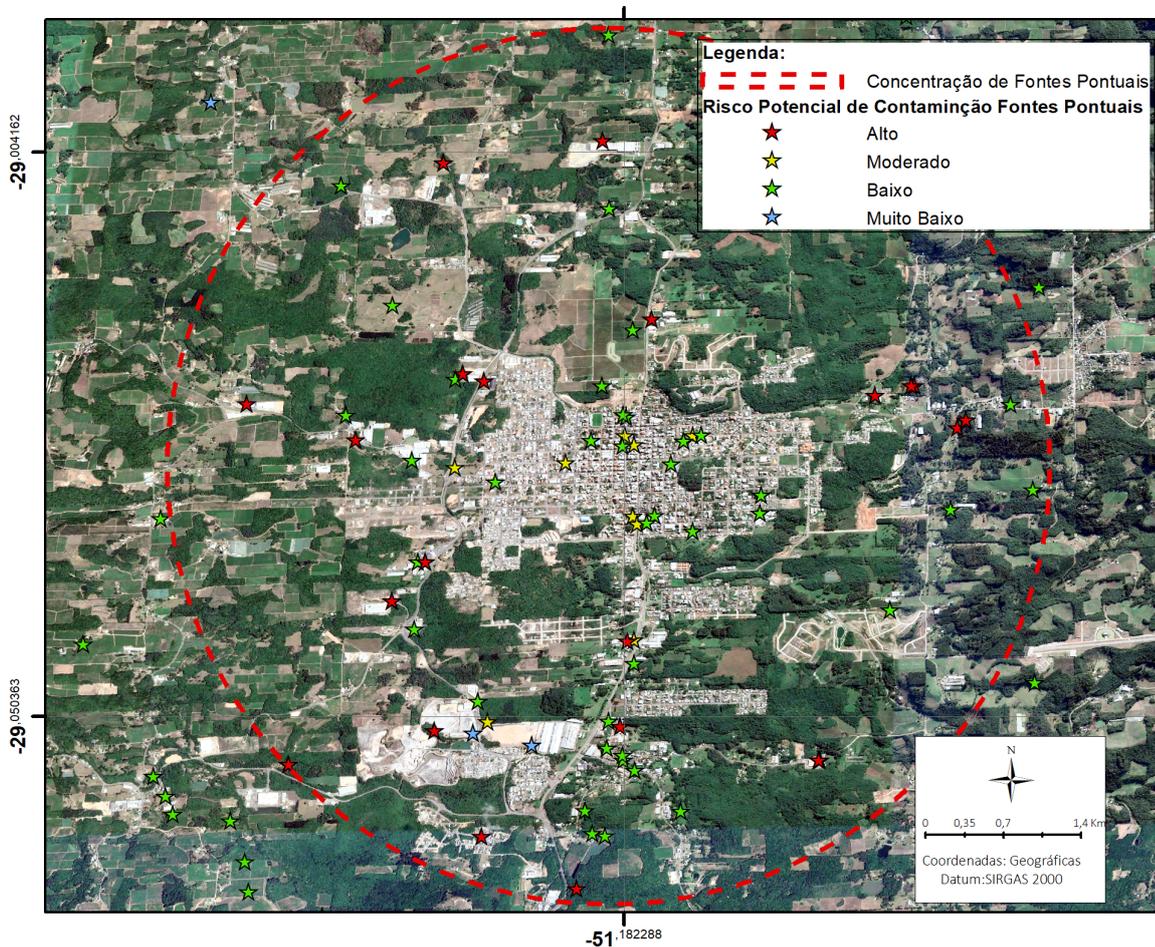


Figura 47 – Detalhe da primeira zona do aglomerado de fontes pontuais de contaminação classificadas quanto ao risco de contaminação. Fonte: Própria do Autor

De maneira geral esta primeira zona está diretamente relacionada a vulnerabilidade natural do SASG classificada como moderada, uma vez que 72 das 75 fontes pontuais de contaminação estão localizadas sobre a vulnerabilidade classificada como moderada, enquanto as 3 restantes estão localizadas sobre a vulnerabilidade classificada como baixa.

A segunda zona com uma concentração de fontes pontuais de contaminação no município localiza-se ligeiramente ao sul da primeira zona citada acima e trata-se de um pequeno vilarejo ou até mesmo um bairro do município, figura 48. Dentro dessa zona representada também pelo círculo tracejado vermelho estão presentes 16 fontes pontuais de contaminação sendo que 7 delas foram classificadas com um risco potencial de contaminação alto, 2 fontes foram classificadas como risco potencial moderado e as 7 restantes foram classificadas como risco potencial baixo. Dentro desta mesma zona pode-se observar duas

concentrações principais, uma na margem esquerda a rodovia que divide a zona ao meio e a outra a direita da mesma rodovia. Na margem esquerda predominam fontes pontuais com risco de contaminação baixo, já na margem direita percebe-se um predomínio das fontes com risco de contaminação alto. Dentre essas fontes pontuais estão indústrias do ramo de metais e empresas de transporte de resíduos (risco alto), postos de gasolina (risco moderado) e empresas e indústrias do ramo alimentício (risco baixo).

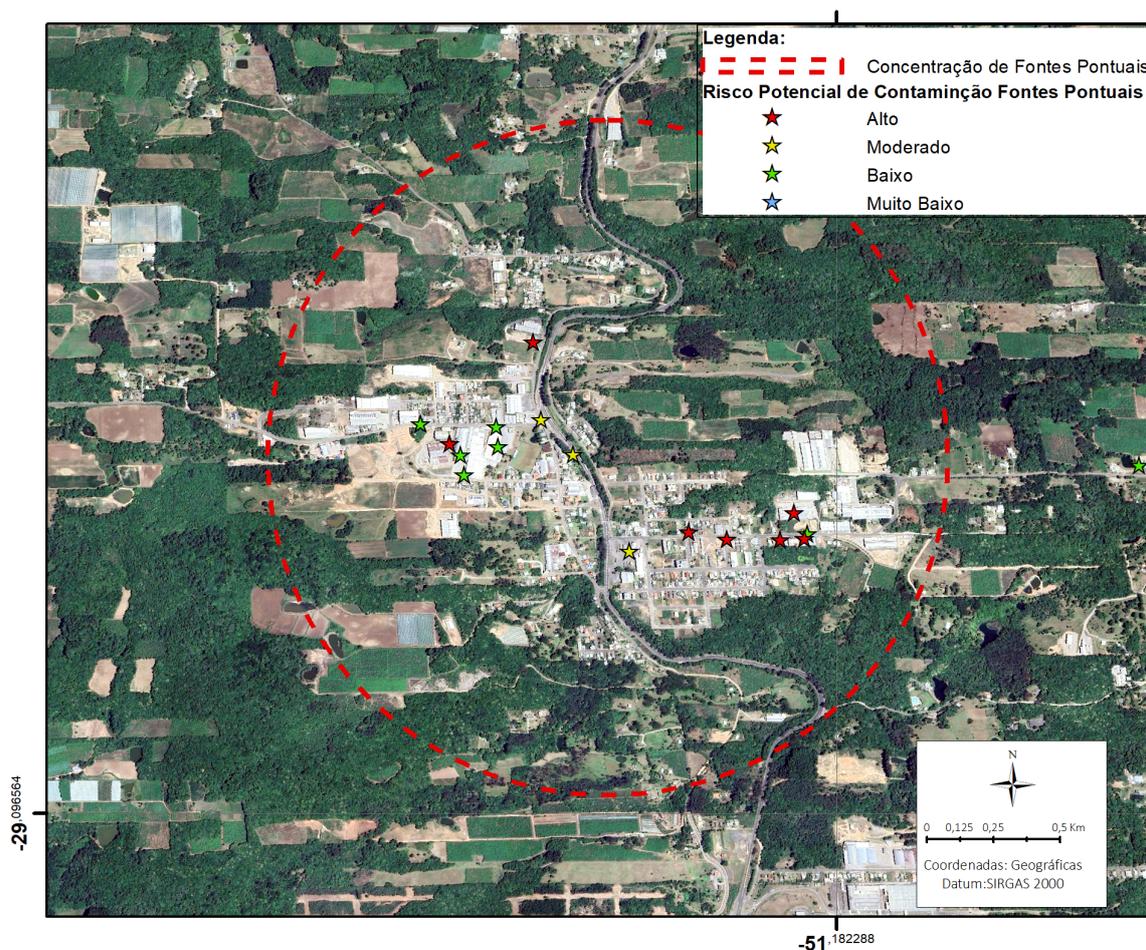


Figura 48 – Detalhe da segunda zona do aglomerado de fontes pontuais de contaminação classificadas quanto ao risco de contaminação. Fonte: Própria do Autor

De maneira geral esta segunda zona está diretamente relacionada a vulnerabilidade natural do SASG classificada como moderada, uma vez que as 16 fontes pontuais de contaminação estão localizadas sobre a vulnerabilidade classificada como moderada.

Assim é possível determinar que no geral, como visto anteriormente no mapa de vulnerabilidade do SASG para o município, a vulnerabilidade moderada acaba por ocupar grande porção territorial do município, porém, grande parte das fontes pontuais de

contaminação (figura 49) acaba por ser classificada como risco potencial baixo (aproximadamente 67% das fontes), ligado diretamente ao tipo de atividade que estas fontes exercem. Porém essa predominância das fontes com baixo risco não significa que o gerenciamento e manejo dos recursos hídricos subterrâneos deva ser desconsiderado, uma vez que a carga contaminante possa crescer e gerar problemas futuros. Outro detalhe de extrema importância é a fiscalização antes, durante e após a construção e perfuração de poços que devem seguir normas de construção e de operação bem como estarem regulamentados diante do órgão gestor e fiscalizador do estado.

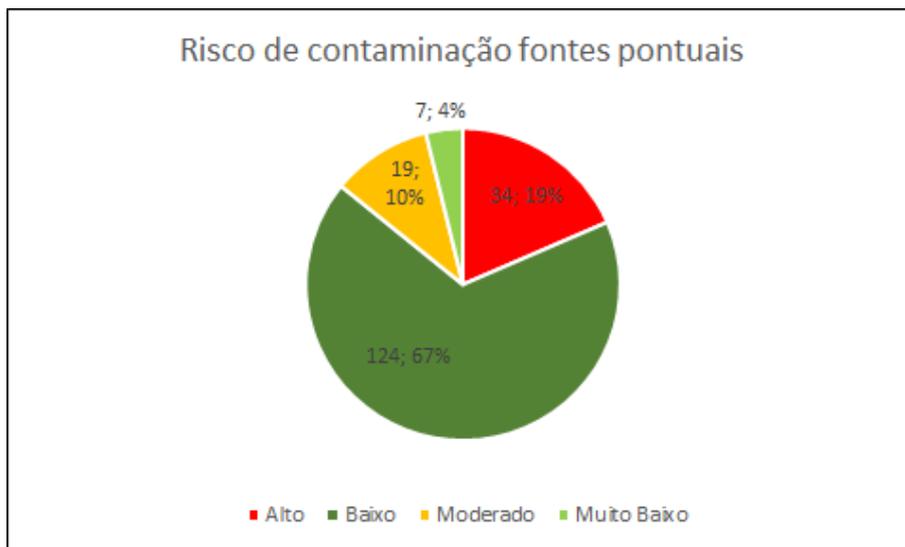


Figura 49 – Gráfico com distribuição percentual do risco potencial de contaminação das fontes pontuais. Fonte: Própria do Autor

8.6 Avaliação do Risco Potencial de Contaminação na área de ocorrência de Poços Tubulares utilizados para abastecimento

Buscando avaliar os poços que apresentam o maior risco potencial de contaminação, elaborou-se mapas temáticos através do cruzamento dos mapas de risco potencial de contaminação por fontes difusas e pontuais, densidade dos lineamentos e poços avaliados no estudo. A densidade dos lineamentos indica os locais com maiores ou menores probabilidades de contaminação, pois tratando-se de aquíferos fraturados podemos considerar que nas áreas com maiores densidades teremos um maior grau de fraturamento que poderia possibilitar maiores fluxos ou infiltrações de contaminantes influenciando diretamente o processo de contaminação.

Através do mapa da densidade de lineamentos e dos mapas de risco potencial de contaminação das fontes difusas e pontuais foi possível identificar que a área central do município tende a significativos riscos de contaminação dos poços. Analisando o mapa da

distribuição dos poços avaliados nesse estudo percebe-se uma grande concentração de poços na região central da cidade. Assim, delimitou-se uma área na região central do município que apresenta maiores riscos de contaminação dos poços. Na figura 50 percebemos que apesar do grande número de poços estarem presentes, a densidade dos lineamentos é baixa a média.

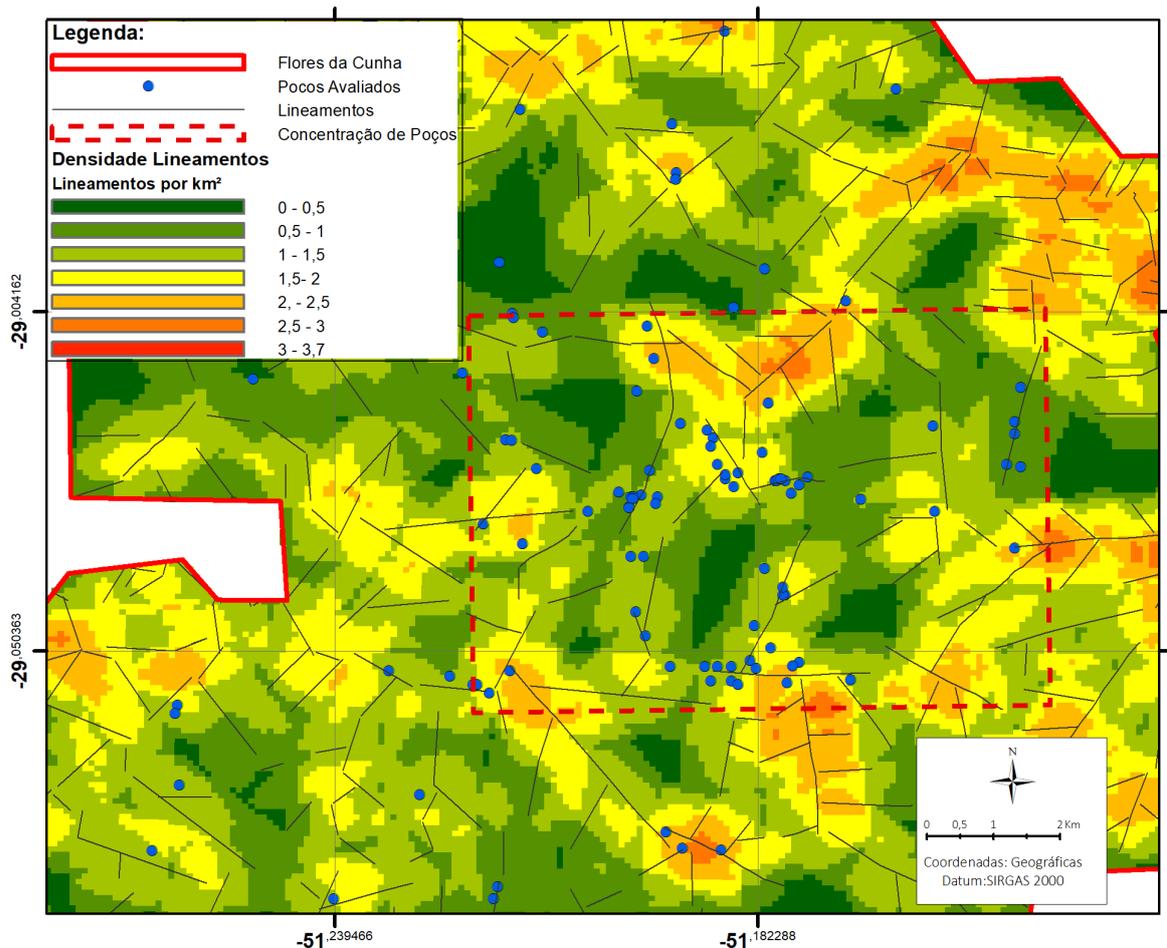


Figura 50 – Densidade de lineamentos na área mais delicada do município. Fonte: Própria do Autor

Avaliando o risco que cada poço está exposto em relação as fontes difusas (figura 51), percebe-se que grande parte dos poços está sob áreas que apresentam risco moderado de contaminação e em alguns locais pontuais os mesmos estão sob as áreas com risco alto de contaminação.

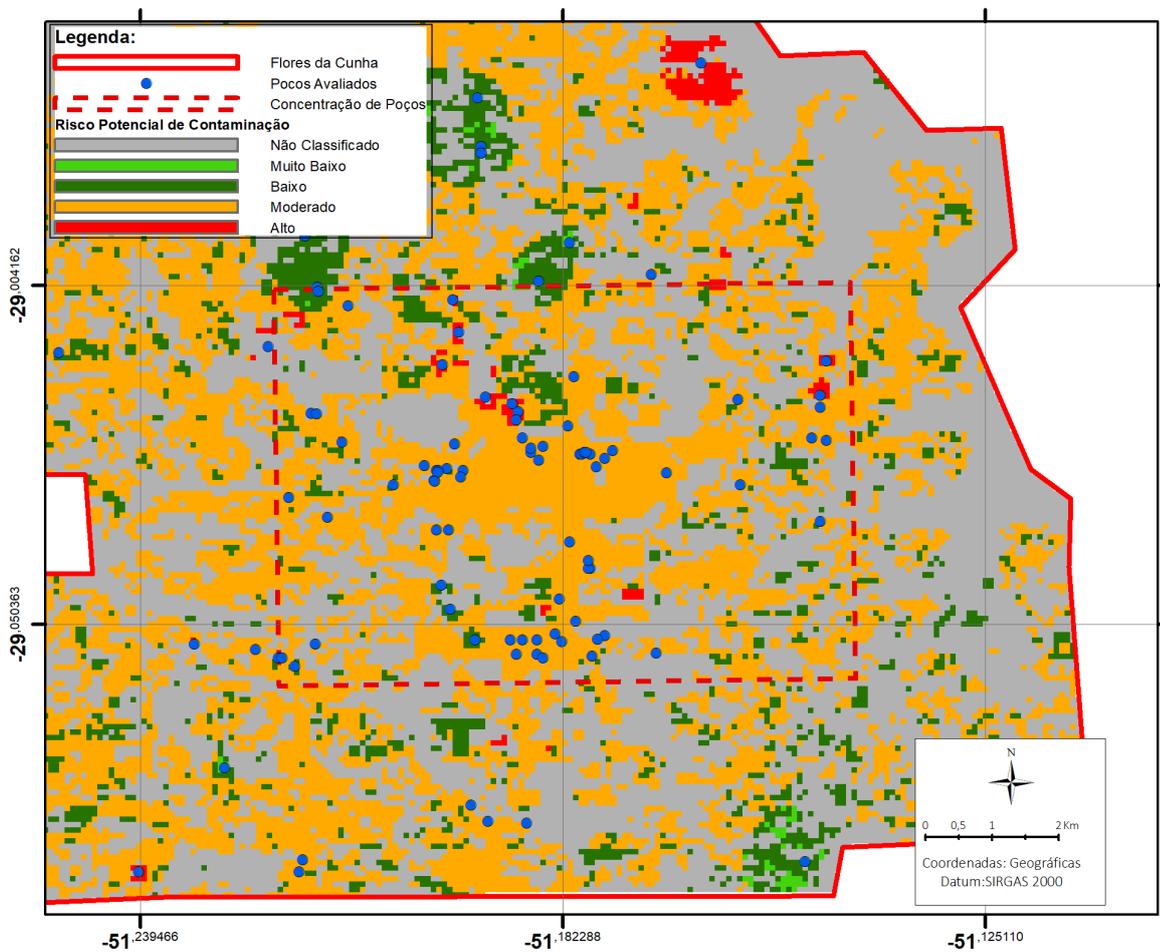


Figura 51 – Risco potencial de contaminação das fontes difusas na área delicada do município. Fonte: Própria do Autor

Esse risco que cada poço está exposto aumenta ainda mais quando inserimos as fontes pontuais de contaminação, visualizadas no mapa da figura 52, na qual percebe-se que há uma enorme concentração de fontes de contaminação, cada uma com seu devido risco classificado, nas proximidades dos poços, indicando que estes estão mais suscetíveis a serem contaminados.

Assim, destacam-se alguns poços com os maiores riscos à sofrerem contaminação, dentre eles estão os poços com os códigos: 4300026413, 4300021287, 4300027213, 4300002913, 4300002907, 4300002907, 4300002903, 4300002904, 4300002904, 4300002901, 4300002902, 4300002900, 4300010539 e 4300002897. Para estes, recomenda-se que monitoramentos constantes sejam realizados nos mesmos, garantindo assim que eventuais contaminações possam ser mitigadas.

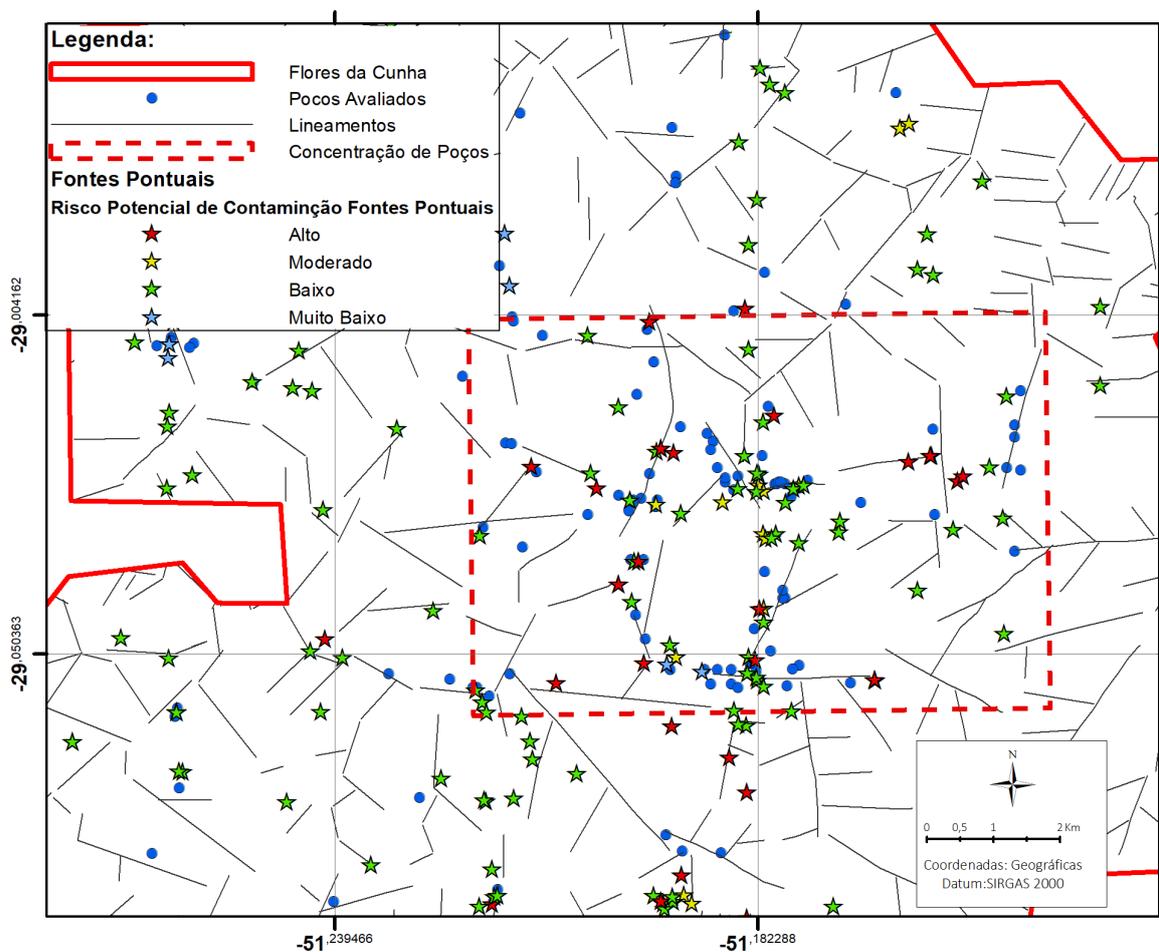


Figura 52 – Risco potencial de contaminação das fontes difusas na área delicada do município. Fonte: Própria do Autor

Logo, torna-se muito válido o uso dos produtos obtidos neste trabalho para a manutenção e gestão dos poços já existentes no município e acaba por sendo ainda mais valioso quando tratamos da perfuração de novos poços visto que podem ser escolhidas áreas com baixos riscos a contaminação, aumentando a segurança do recurso hídrico a ser explorado em relação aos riscos de contaminação.

9 CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar a vulnerabilidade e o risco potencial de contaminação das águas subterrâneas do sistema aquífero Serra Geral no município de Flores da Cunha através de análises geológicas, hidrogeológicas e de fontes de contaminação presentes na área do município, utilizando de métodos conceituados para tal.

O Sistema Aquífero Serra Geral está associado as fraturas presentes nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sendo que este aquífero ocorre de forma livre no município de Flores da Cunha. As duas principais sequências de rochas vulcânicas presentes na área de estudo caracterizam por ácidas e básicas a intermediárias representadas pelas fácies Caxias e Gramado. Os lineamentos por sua vez, para a região de estudo, ficaram caracterizados por baixas e médias densidades espalhadas por todo território, contendo ainda pontos isolados onde as densidades são elevadas.

Dos poços analisados neste estudo, as profundidades variaram entre 18 e 306 metros, com uma média de 122 metros de profundidade. Grande parte dos poços é representado por níveis estáticos com valores baixos e a média e mediana muito próximos, 15 metros e 13 metros respectivamente, caracterizando diferentes níveis de confinamento. As vazões de estabilização dos poços apresentou um comportamento parecido com os níveis sendo que aproximadamente 88% dos poços possui vazão de estabilização de até 33m³/h.

A análise da vulnerabilidade natural do SASG, através da metodologia GOD, resultou em um predomínio elevado da classificação média de vulnerabilidade. Os valores percentuais para cada classificação de vulnerabilidade foram: alta vulnerabilidade com 1% de representatividade, média vulnerabilidade com 94% de representatividade e baixa vulnerabilidade com 5% de representatividade. Ressalta-se que esses resultados não devem ser considerados como absolutos devido a limitações encontradas e ao contexto hidrogeológico da região.

As fontes de contaminação difusas foram analisadas e avaliadas através de um mapa de uso e ocupação do solo e da metodologia POSH. Os resultados mostraram que 55% (149 km² de área ocupado por formação campestre, formação florestal e rio ou lago) foi definida como não classificado, 0% (0.19 km² de área ocupada pelo cultivo de Soja) foi classificada com potencial de contaminação "elevado", 40% (109 km² de área ocupada por área urbanizada, misto de agricultura e pastagem e outras áreas não vegetadas) foi classificada como potencial de contaminação moderado e 5% (13.84 km² de área ocupada por lavouras temporárias ou rotação de culturas, pastagens e silvicultura) foi classificada como potencial de contaminação reduzido.

Para as fontes de contaminação pontuais, através da metodologia POSH, os resul-

tados mostraram que das 184 fontes identificadas, 73% (135 fontes) foram classificadas com potencial reduzido de contaminação, 9% (16 fontes) foram classificadas com potencial moderado de contaminação e os 18% (33 fontes) restantes foram classificados com potencial elevado de contaminação.

Avaliando o risco de contaminação que as fontes difusas e pontuais oferecem na área de estudo concluiu-se que para as fontes difusas 55% (149 km²) da área foi classificado como desprezível, 38% (102 km²) da área foi classificado como risco potencial de contaminação moderado, 7% (18 km²) da área foi classificado como risco potencial de contaminação baixo e valores inexpressíveis de área foram classificados como risco alto (1.33 km²) e risco muito baixo (0.8 km²). Já para as fontes pontuais, 4% (7 fontes) foram classificadas como risco muito baixo, 67% (124 fontes) foram classificadas como risco baixo, 10% (19 fontes) foram classificadas como risco moderado, 19% (34 fontes) foram classificadas como risco alto.

Ressalta-se também que este estudo acaba por ser limitado a alguns fatores como: a disponibilidade de dados tendo como exemplo a falta de informações a respeito de níveis estáticos, vazão e entradas de água, limitações dos métodos aplicados e a defasagem de alguns dados em relação ao ano atual tendo como exemplo a publicação do mapa de uso e ocupação do solo tendo ocorrido em agosto de 2021. Os produtos deste trabalho podem ser melhorados conforme a disponibilidade dos fatores citados anteriormente.

Por fim, este estudo demonstra que, com o aumento da demanda de exploração dos recursos hídricos subterrâneos, há a extrema necessidade de um planejamento por parte do município para que o controle da gestão dos recursos hídricos, do uso e ocupação do solo e do saneamento básico sejam realizados de maneira adequada com a finalidade de garantir a proteção desses recursos hídricos. Assim, espera-se que os produtos deste trabalho sirvam como ferramenta de auxílio para os órgãos gestores do município de Flores da Cunha.

REFERÊNCIAS

- ABAS. *Águas subterrâneas, o que são?* 2022. [Online; Acesso em: 28 de Março de 2022]. Disponível em: <<https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/#:~:text=%C3%81gua%20subterr%C3%A2nea%20%C3%A9%20toda%20a,essencial%20na%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20da%20umidade>>. Citado na página 21.
- BARBOSA, M. C. et al. Avaliação do perigo de contaminação do sistema aquífero guarani em sua área de afloramento no estado de são paulo decorrente das atividades agrícolas. *Águas subterrâneas*, v. 25, n. 1, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 14, 48 e 76.
- BORGES, V. M.; ATHAYDE, G. B.; REGINATO, P. A. R. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero serra geral no estado do paraná-brasil. *Águas subterrâneas*, v. 31, n. 4, p. 327–337, 2017. Citado na página 68.
- BORTOLIN, T. A. Padrões hidroquímicos e isotópicos do sistema aquífero serra geral do município de carlos barbosa, região nordeste do estado do rio grande do sul. 2014. Citado na página 38.
- CAPALONGA, S. Avaliação do risco de poluição da água subterrânea da bacia hidrográfica do rio taquari-antas. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 48.
- FEPAM. *Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais*. 2001. [Online; Acesso em: 25 de Abril de 2022]. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/mapa_solos.pdf>. Citado na página 52.
- FLORES, C. et al. Levantamento semidetalhado de solos: Região da serra gaúcha-rio grande do sul. *Porto Alegre: UFRGS/Embrapa Clima Temperado*, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 13, 28 e 29.
- FOSTER, S. Groundwater protection strategy: Is european experience relevant to latin america? *Águas Subterrâneas*, 1998. Citado 3 vezes nas páginas 21, 41 e 44.
- FOSTER, S. et al. *Protecao da qualidade da agua subterranea um guia para empresas de abastecimento de agua, orgaos municipais e agencias ambientais*. [S.l.], 2002. Citado 14 vezes nas páginas 13, 15, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 51, 53, 54, 55, 56 e 82.
- FOSTER, S. S.; NAPA, M. V.; HIRATA, R. C. A. Contaminación de las aguas subterrâneas; un enfoque ejecutivo de la situación en américa latina y el caribe en relación con el suministro de agua potable. In: *Contaminación de las aguas subterrâneas; un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y El Caribe en relación con el suministro de agua potable*. [S.l.: s.n.], 1987. p. 38–38. Citado na página 39.
- FRENZEL, M. G. Caracterização hidrogeológica do sistema aquífero serra geral (sasg) na região de garibaldi, rs. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 38.
- GOMES, M. G. et al. A vulnerabilidade natural de aquíferos fraturados: Avaliando os modelos drastic e god, originais e adaptados. *Geosciences= Geociências*, v. 40, n. 03, p. 735–749, 2021. Citado na página 43.

- HAUSMAN, A. *Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul, I Semana Hidrogeológica Uruguiaia*. [S.l.]: Montevideo, 1964. Citado na página 34.
- HAUSMAN, A. *Províncias hidrogeológicas do estado do Rio Grande do Sul-RS*. [S.l.]: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1995. Citado na página 34.
- IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. 2018. [Online; Acesso em: 27 de Março de 2022]. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/escala_250_mil/>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 28.
- IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. 2021. [Online; Acesso em: 25 de Março de 2022]. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/flores-da-cunha/panorama>>. Citado na página 26.
- INFOSANBAS. *Informações sobre saneamento básico na palma da mão*. 2010. [Online; Acesso em: 25 de Março de 2022]. Disponível em: <<https://infosanbas.org.br/municipio/flores-da-cunha-rs/>>. Citado na página 27.
- IOP, G. T. C. Avaliação da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação de água subterrânea no município de venâncio aires-rs. 2019. Citado na página 43.
- JR, C. M. S. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, MDPI, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 14, 76 e 77.
- KÖPPEN, W. *Die klimate der Erde*. [S.l.]: de Gruyter, 2020. Citado na página 27.
- LIMA, D. R. d. Avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas do sistema aquífero serra geral no município de bento gonçalves. 2014. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 48.
- LISBOA, N. A. et al. Síntese da ocorrência geológica das águas subterrâneas do rio grande do sul. *Águas Subterrâneas*, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- LÖBLER, C. A. et al. Pontos potenciais de contaminação e vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do município de restinga seca-rs. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 3, p. 500–509, 2013. Citado na página 42.
- MACHADO, J. L. F. Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do sistema aquífero guarani no rio grande do sul. 2005. Citado na página 37.
- MACHADO, J. L. F. Caracterização dos compartimentos estruturais do sistema aquífero guarani no rio grande do sul. *Águas Subterrâneas*, 2006. Citado na página 36.
- MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. d. Projeto mapa hidrogeológico do rio grande do sul. CPRM, 2005. Citado 7 vezes nas páginas 13, 14, 35, 36, 38, 51 e 64.
- MARCON, P. B. Avaliação do perigo e vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea para o município de ipê, região nordeste do estado do rio grande do sul. 2021. Citado na página 43.
- MATOS, A. B. d. Compartimentação estrutural e interações hidrogeológicas entre o sistema aquífero guarani e serra geral na região nordeste do estado do rio grande do sul. 2020. Citado na página 37.

- MENDES, E. A. et al. Mananciais subterrâneos no estado do paraná. * guas Subterrâneas*, 2002. Citado na página 21.
- MIGUEL, A. Vulnerabilidade de a u feros. *Hidrogeologia*, v. 4, 2004. Citado na página 40.
- MILANI, E.; FILHO, N. A.; RAMOS, V. Evolu o tectono-estratigráfica da bacia do paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do gondwana sul-ocidental /. 01 1997. Citado na página 31.
- MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e evolu o tectônica da bacia do paraná. *Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR*, p. 265–291, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 13, 31 e 32.
- MUNICIPAL e-cidades P. *PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO*. 2014. [Online; Acesso em: 25 de Março de 2022]. Disponível em: <<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.floresdacunha.rs.gov.br%2FUP%2FArquivos%2F27072018142620.pdf&cLen=8510710&chunk=true>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- NOBRE, R. et al. Groundwater vulnerability and risk mapping using gis, modeling and a fuzzy logic tool. *Journal of Contaminant Hydrology*, Elsevier, v. 94, n. 3-4, p. 277–292, 2007. Citado na página 40.
- OLIVEIRA, M.; LOBO-FERREIRA, J. Cartografia da vulnerabilidade   polui o das águas do conselho de montemor-o-novo utilizando o método drastic. *CABRAL, JJS  gua subterrânea: a u feros costeiros, aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento. Recife: UFPE*, 2004. Citado na página 39.
- PACHECO, A. R. Caracteriza o hidrogeológica do município de novas petrópolis. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 36.
- PINHEIRO, R. J. et al. Aplica o dos métodos god e posh para determina o da vulnerabilidade e perigo   contamina o dos a u feros na cidade de santa maria-rs. *Revista de Gestão de água da América Latina*, v. 12, n. 2, p. 61–79, 2015. Citado na página 48.
- RAHMAN, A. A gis based drastic model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in aligarh, india. *Applied geography*, Elsevier, v. 28, n. 1, p. 32–53, 2008. Citado na página 40.
- REBOUÇAS, A. da C.; FRAGA, C. G. Hidrogeologia das rochas vulcânicas do brasil. * guas Subterrâneas*, v. 12, n. 1, 1988. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 37.
- REGINATO, P. A. R. Integra o de dados geológicos para prospec o de a u feros fraturados em trecho da bacia hidrográfica taquari-antas (rs). 2003. Citado 6 vezes nas páginas 14, 37, 50, 60, 61 e 63.
- REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S. Vulnerabilidade do sistema a u fero serra geral na região nordeste do estado do rio grande do sul. * guas Subterrâneas*, v. 27, n. 2, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 43.
- ROISENBERG, A.; VIERO, A. P. O vulcanismo mesozóico da bacia do paraná no rio grande do sul. *Geologia do Rio Grande do Sul*, CIGO/UFRGS Porto Alegre, v. 1, p. 355–374, 2000. Citado na página 59.

- SNIS. *SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO*. 2020. [Online; Acesso em: 25 de Março de 2022]. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Citado 3 vezes nas páginas 13, 24 e 27.
- SOUZA, M. E. R. de; VARGAS, T. D.; BELLADONA, R. Assessment of the vulnerability to contamination of fractured aquifers based on drastic method: the influence of the lineament density. *Águas Subterrâneas*, v. 35, n. 3, 2021. Citado na página 43.
- STRECK, E. V. et al. *Solos do Rio Grande do Sul*. [S.l.]: UFRGS: EMATER/RS-ASCAR Porto Alegre, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- TOMASI, L. C.; ROISENBERG, A. Contexto hidrogeológico e sua relação com a tectônica do sistema aquífero serra geral na bacia hidrográfica do rio ijuí, rs. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 42, n. 2, p. 40–49, 2019. Citado na página 62.
- TRAVASSOS, R. P.; NUNES, L. F.; BRESSANI, L. A. Caracterização geológica da área urbana de caxias do sul para fins geotécnicos. *Salão de Iniciação Científica (15.: 2003: Porto Alegre). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2003.*, 2003. Citado na página 34.
- TREVISAN, C. F. Avaliação hidrogeológica do sistema aquífero serra geral nos municípios de paraí e nova araçá-rs. 2021. Citado na página 63.
- VARGAS, T. D. et al. Vulnerabilidade intrínseca da água subterrânea como alicerce na gestão do uso do solo em bacias de captação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 01, p. 710–720, 2022. Citado na página 44.
- VARGAS, T. D. et al. Influence of geological discontinuities on the groundwater flow of the serra geral fractured aquifer system. *Groundwater for Sustainable Development*, Elsevier, v. 18, p. 100780, 2022. Citado na página 39.
- VENTURES, I. C. L. *Clima característico em Flores da Cunha Brasil durante o ano*. 2016. [Online; Acesso em: 25 de Março de 2022]. Disponível em: <

Apêndices

APÊNDICE A – BANCO DE DADOS DE FLORES DA CUNHA

Neste apêndice está apresentado o link do banco de dados para Flores da Cunha, disponível em: drive.google.com/drive/folders/1msQSu4P6kYo83T5amhZ-h8LeOn_uwEdI?usp=sharing

APÊNDICE B – POÇOS AVALIADOS PELA METODOLOGIA GOD

Neste apêndice podemos visualizar os poços avaliados e a aplicação da metodologia GOD conforme descrito nos itens acima deste trabalho.

Código SIAGAS ou dado p/ empresa	Lat	Long	Nível estático (m)	Solo associado	G	O	D
4300002895	-29.0272	-51.1800	13.83	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300002896	-29.0272	-51.1797	11.43	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300002897	-29.0272	-51.1786	2.19	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300002898	-29.0281	-51.1856	5.18	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300002899	-29.0269	-51.1794	9.90	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300002900	-29.0269	-51.1867	0.44	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300002901	-29.0264	-51.1867	1.89	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300002902	-29.0250	-51.1878	4.52	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300002903	-29.0214	-51.1883	3.56	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300002904	-29.0225	-51.1886	2.67	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300002905	-29.0500	-51.1806	7.54	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300002906	-29.0528	-51.1825	7.64	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300002907	-29.0203	-51.1892	0.84	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300002908	-29.0519	-51.1767	6.33	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300002909	-29.0428	-51.1786	2.10	Argissolos	0.7	0.6	0.9
4300002910	-29.0469	-51.1828	15.91	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300002911	-29.0544	-51.1858	17.95	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300002912	-29.0550	-51.1850	2.31	Argissolos	0.7	0.6	0.9
4300002913	-29.0194	-51.1928	4.63	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300002914	-29.0525	-51.1894	20.92	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300002915	-29.0544	-51.1886	16.39	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300007450	-29.0256	-51.2122	16.30	Neossolos	0.9	0.7	0.8
4300009397	-29.0786	-51.1169	20.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300009399	-29.0794	-51.1167	32.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4300010526	-28.9853	-51.1933	18.00	Nitossolos	0.6	0.6	0.8
4300010527	-28.9922	-51.2619	10.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300010528	-29.1114	-51.3083	7.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300010529	-29.0944	-51.3339	11.72	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300010530	-29.0517	-51.1833	31.68	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300010531	-29.0531	-51.2322	4.94	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300010532	-29.0842	-51.2397	3.30	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300010533	-29.0775	-51.1872	15.02	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300010534	-29.0525	-51.1878	8.36	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300010535	-29.0314	-51.1583	5.03	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300010536	-29.0269	-51.1792	9.60	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300010537	-29.0294	-51.1958	9.89	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300010538	-29.0258	-51.1969	14.71	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300010539	-29.0192	-51.1475	0.06	Neossolos	0.9	0.7	0.9
4300010540	-29.0072	-51.2617	15.02	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300010541	-29.0081	-51.2586	15.02	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300010542	-29.0125	-51.2222	3.00	Neossolos	0.9	0.7	0.9
4300010543	-29.0358	-51.2142	15.00	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300010544	-29.0331	-51.2194	30.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4300010545	-29.0561	-51.2186	24.00	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300010546	-29.0842	-51.2181	3.00	Argissolos	0.7	0.6	0.9
4300010547	-29.0772	-51.1925	11.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300010548	-28.9739	-51.1636	2.00	Neossolos	0.9	0.7	0.9
4300010549	-28.9983	-51.1814	8.00	Nitossolos	0.6	0.6	0.8

4300010550	-28.9786	-51.1939	15.02	Nitossolos	0.6	0.6	0.8
4300010551	-28.9767	-51.2144	12.00	Nitossolos	0.6	0.6	0.8
4300010552	-28.9975	-51.2172	70.00	Nitossolos	0.6	0.6	0.6
4300010553	-29.0044	-51.2156	40.00	Nitossolos	0.6	0.6	0.7
4300010554	-29.0261	-51.1850	16.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300010555	-29.0292	-51.1981	15.02	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300010556	-29.0525	-51.1942	34.34	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300010834	-29.0250	-51.1486	4.06	Argissolos	0.7	0.6	0.9
4300016371	-29.0525	-51.1858	36.00	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300021286	-29.0428	-51.1789	5.63	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300021287	-29.0106	-51.1964	1.42	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300021288	-29.0550	-51.2208	6.35	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300021289	-29.0700	-51.2281	21.02	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300021306	-29.0133	-51.2506	17.91	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300021307	-29.0750	-51.1947	11.00	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300022274	-29.0392	-51.1814	14.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300022286	-29.0375	-51.1994	42.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4300022292	-29.0294	-51.1994	30.48	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4300023174	-29.0869	-51.2578	3.10	Argissolos	0.7	0.6	0.9
4300023311	-29.0797	-51.1150	30.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4300024313	-29.0289	-51.1778	21.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4300025002	-29.0483	-51.1975	25.52	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300025004	-29.0686	-51.2606	31.83	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4300025086	-29.0297	-51.1683	10.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300025406	-29.0531	-51.2158	15.02	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300025410	-29.0314	-51.2053	20.78	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4300025411	-29.0233	-51.1817	20.30	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4300025935	-29.0217	-51.2164	26.27	Neossolos	0.9	0.7	0.7
4300025936	-29.0036	-51.1856	63.20	Nitossolos	0.6	0.6	0.6
4300026184	-29.0086	-51.2592	31.00	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300026200	-29.0083	-51.2636	29.90	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300026201	-29.0375	-51.1978	42.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4300026239	-29.0547	-51.1783	27.75	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300026242	-29.0167	-51.1808	6.22	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300026413	-29.0061	-51.1972	0.10	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300026456	-29.0308	-51.1997	13.50	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300026457	-29.0294	-51.1992	3.10	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300026953	-29.0550	-51.2203	35.00	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4300027136	-29.0417	-51.1789	3.90	Argissolos	0.7	0.6	0.9
4300027141	-29.0578	-51.2608	15.02	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300027213	-29.0150	-51.1986	2.59	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300027214	-29.0208	-51.1475	3.86	Argissolos	0.7	0.6	0.9
4300027290	-29.0278	-51.1767	8.00	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300027424	-29.0267	-51.1756	15.02	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300027437	-29.0589	-51.2611	15.02	Argissolos	0.7	0.6	0.8
4300027690	-29.0303	-51.1961	15.02	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4300027721	-29.0069	-51.2114	4.80	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
4300027737	-29.0825	-51.2175	1.75	Argissolos	0.7	0.6	0.9
4300028539	-29.0253	-51.1467	3.83	Argissolos	0.7	0.6	0.9
4046	-29.0524	-51.1776	15.02	Argissolos	0.7	0.6	0.8

3863	-29.0145	-51.1467	15.02	Neossolos	0.9	0.7	0.8
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.0027	-51.1703	6.96	Neossolos	0.9	0.7	0.8
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.0364	-51.1475	20.90	Cambissolos	0.8	0.7	0.7
4051	-29.0288	-51.2011	11.97	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
4056	-29.0451	-51.1988	37.19	Argissolos	0.7	0.6	0.7
4063	-29.0543	-51.1697	8.69	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
3887	-29.0827	-51.1496	22.45	Nitossolos	0.6	0.6	0.7
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.0538	-51.2239	7.86	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.0776	-51.2642	3.66	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
S/ IDENTIFICAÇÃO	-28.9660	-51.1867	6.20	Neossolos	0.9	0.7	0.8
S/ IDENTIFICAÇÃO	-28.9920	-51.2613	4.21	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.0217	-51.2156	24.80	Neossolos	0.9	0.7	0.7
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.1118	-51.3082	2.23	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.0077	-51.2617	26.23	Argissolos	0.7	0.6	0.7
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.1050	-51.3328	15.02	Nitossolos	0.6	0.6	0.8
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.1082	-51.3259	0.50	Cambissolos	0.8	0.7	0.9
S/ IDENTIFICAÇÃO	-28.9862	-51.1934	0.32	Nitossolos	0.6	0.6	0.9
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.0050	-51.2154	4.20	Nitossolos	0.6	0.6	0.9
S/ IDENTIFICAÇÃO	-28.9862	-51.1934	15.02	Nitossolos	0.6	0.6	0.8
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.1035	-51.3101	15.02	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.1118	-51.3082	15.02	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.0198	-51.1586	15.02	Argissolos	0.7	0.6	0.8
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.0297	-51.1992	15.02	Cambissolos	0.8	0.7	0.8
S/ IDENTIFICAÇÃO	-29.0309	-51.1997	15.02	Cambissolos	0.8	0.7	0.8

APÊNDICE C – FONTES PONTUAIS DE CONTAMINAÇÃO

Neste apêndice podemos visualizar o inventário de fontes pontuais de contaminação conforme descrito nos itens acima deste trabalho.

Lat	Long	Identificação	Classificação POSH
-29.03365	-51.17126	INDUSTRIA FLORENSE DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA	Reduzido
-29.04594	-51.18146	OTOBELLI INDUSTRIA COMERCIO E IMPORTACAO DE VIDROS LTDA	Reduzido
-29.08701	-51.18328	VIDRO-FACIL INDUSTRIA DE VIDROS LTDA	Reduzido
-29.04907	-51.19412	MANUFATURA DE COUROS OLIBONI LTDA	Reduzido
-29.00782	-51.26658	CARPINTARIA E MARCENARIA TONET LTDA - ME	Reduzido
-29.01866	-51.18155	ESQUADRIAS J U LTDA	Reduzido
-29.08433	-51.19501	SERRA GAUCHA MOVEIS LTDA	Reduzido
-29.02936	-51.19952	CADERODE MOVEIS PARA ESCRITORIO LTDA	Reduzido
-29.08436	-51.21821	INDUSTRIA DE MOVEIS MONICA LTDA	Reduzido
-29.08405	-51.19374	JCC TOIGO SA IND E COM DE MOVEIS	Reduzido
-29.05390	-51.18233	NAVARRO ARTE EM MOVEIS LTDA - EPP	Reduzido
-29.05168	-51.19453	SELEZIONE IND.DE MOVEIS LTDA-EPP	Reduzido
-29.03517	-51.17670	TREBOLL MOVEIS LTDA	Reduzido
-29.03111	-51.19270	MOVEIS SCHIAVE LTDA	Reduzido
-29.04016	-51.12015	FABRICA DE MOVEIS FLORENSE LTDA	Reduzido
-29.05682	-51.21953	TREBOLL MOVEIS LTDA	Reduzido
-29.02567	-51.20488	SHELDON MOVEIS LTDA	Reduzido
-29.00876	-51.18349	MOVEIS NORDESTE LTDA	Reduzido
-29.02226	-51.19538	VILLE DECOR INDUSTRIA DE MOVEIS E COMPLEMENTOS EIRELLI	Reduzido
-29.05801	-51.18542	VARIETA COMERCIO E INDUSTRIA LTDA	Reduzido
-29.05347	-51.18241	SELEZIONE INDUSTRIA DE MOVEIS LTDA	Reduzido
-29.03336	-51.15576	RESE INDUSTRIA E COMERCIO DE MOVEIS EIRELI	Reduzido
-29.05264	-51.18979	DI FRATELLI INDUSTRIA DE MOVEIS LTDA	Reduzido
-29.02964	-51.17848	PEDRON CONFECcoes LTDA	Reduzido
-28.97040	-51.18196	MATADOURO GAVAZZONI LTDA	Reduzido
-29.02580	-51.18212	GRANJA MENEGON LTDA	Reduzido
-29.08327	-51.19637	TRADICAO GOURMET INDUSTRIA E COMERCIO DE CHOCOLATES EIRELI	Reduzido
-29.02816	-51.18241	PANIFICADORA SAN MARINO LTDA	Reduzido
-29.06993	-51.21530	ELIZEU ANTONIO SCHIO	Reduzido
-29.06728	-51.22507	VINHOS ULIAN LTDA - ME	Reduzido
-29.06220	-51.21309	DALSINIA LUCIA MASCARELLO MOLARDI ME	Reduzido
-29.05885	-51.21423	OSVALDO ULIAN ME	Reduzido
-29.05869	-51.30281	VINHOS BOMBARDELLI LTDA	Reduzido
-29.05828	-51.21893	ILOVIR JOSE CAVAGNOLLI	Reduzido
-29.05825	-51.26091	ADEGA DO VINHO PURO LTDA	Reduzido
-29.05090	-51.26193	S E M INDUSTRIA DE VINHOS LTDA	Reduzido
-29.04986	-51.24279	VINHOS BOLZONI LTDA	Reduzido
-29.04440	-51.22619	VINICOLA RIZZOTO LTDA	Reduzido
-29.03176	-51.14905	VINHOS BELMONT LTDA	Reduzido
-29.01518	-51.14857	INDUSTRIA DE VINHOS SAO JOSE LTDA	Reduzido
-28.97391	-51.23040	VINHOS PELIZZER LTDA	Reduzido
-28.97262	-51.18063	MURARO INDUSTRIA DE VINHOS LTDA ME	Reduzido
-28.97145	-51.22977	VALCIR PELISSER - ME	Reduzido
-28.96564	-51.22841	ORILDO PELIZZER INDUSTRIA DE VINHOS	Reduzido
-28.96075	-51.23020	LUDOVINO PELIZZER ME	Reduzido
-28.96044	-51.22982	MARIO PELIZZER	Reduzido
-29.03765	-51.19840	FANTE INDUSTRIA DE BEBIDAS LTDA	Reduzido
-29.02590	-51.25880	SOCIEDADE DE BEBIDAS MALACARNE LTDA	Reduzido
-29.00687	-51.20524	COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL NOVA ALIANCA LTDA	Reduzido

-29.11332	-51.33733	VINICOLA GIACOMIN LTDA	Reduzido
-29.10502	-51.31258	VINICOLA GAZZARO LTDA - EPP	Reduzido
-29.09893	-51.34492	GIACOMIN INDUSTRIA DE BEBIDAS LTDA - EPP	Reduzido
-29.08467	-51.17206	JACIR CECCATTO	Reduzido
-29.08430	-51.19120	ANTONIO BASSO & FILHOS LTDA	Reduzido
-29.08336	-51.21788	CANTINA VENEZA LTDA	Reduzido
-29.08336	-51.19381	CANTINA VENEZA LTDA	Reduzido
-29.08324	-51.21745	VINICOLA HALBERTH LTDA	Reduzido
-29.07965	-51.21822	VINICOLA BENEDETTI LTDA	Reduzido
-29.07596	-51.35529	VINICOLA ANGELO LUVISON LTDA - ME	Reduzido
-29.07045	-51.24601	VINICOLA TOMAZZONI LTDA	Reduzido
-29.07036	-51.21901	VINICOLA MANOSSO LTDA	Reduzido
-29.07019	-51.21926	VINICOLA GALIOTTO LTDA	Reduzido
-29.06664	-51.20679	VINICOLA GOES & VENTURINI LTDA	Reduzido
-29.06634	-51.26009	VINICOLA GAZZARO LTDA - EPP	Reduzido
-29.06463	-51.21276	IRANI ANTONIO ORTIGARA	Reduzido
-29.06228	-51.27497	VINICOLA VENZ LTDA	Reduzido
-29.06228	-51.27497	VINICOLA VENZ LTDA	Reduzido
-29.06006	-51.18381	VINICOLA PIPA DE OURO LTDA	Reduzido
-29.05985	-51.18487	VINICOLA COLCHETE LTDA	Reduzido
-29.05814	-51.24144	I A SANDI & FILHOS LTDA ME	Reduzido
-29.05805	-51.17770	SOCIEDADE FLORENSE DE BEBIDAS LTDA	Reduzido
-29.05518	-51.22047	VINICOLA OITENTA LTDA EPP	Reduzido
-29.05469	-51.18143	COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL NOVA ALIANCA LTDA	Reduzido
-29.05077	-51.23846	VINICOLA CASA RODRIGUES LTDA	Reduzido
-29.05068	-51.18352	VINHOS MONTE REALE LTDA	Reduzido
-29.04935	-51.29031	CONTE AGROINDUSTRIA LTDA - MATRIZ	Reduzido
-29.04808	-51.26843	VINHOS MARCOLINO LTDA	Reduzido
-29.04752	-51.14892	VINICOLA DANI LTDA	Reduzido
-29.04316	-51.19931	VINHOS BASSANESI LTDA	Reduzido
-29.04160	-51.16065	VINHOS VANISUL LTDA	Reduzido
-29.03413	-51.21990	BEBIDAS VERSUL LTDA	Reduzido
-29.03066	-51.24105	SOCIEDADE DE BEBIDAS MASSAROTTO LTDA - EPP	Reduzido
-29.02777	-51.17745	VINICOLA SALVADOR LTDA	Reduzido
-29.02768	-51.26218	INDUSTRIA DE VINHOS FLORENCA LTDA	Reduzido
-29.02730	-51.17600	UNIAO DE VINHOS DO RIO GRANDE LTDA	Reduzido
-29.02562	-51.18234	COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL NOVA ALIANCA LTDA	Reduzido
-29.02326	-51.18409	LUIZ ARGENTA VINHOS FINOS LTDA	Reduzido
-29.01929	-51.26217	TOSCAN IND DE BEBIDAS LTDA	Reduzido
-29.01735	-51.26190	INDUSTRIA E COMERCIO DE BEBIDAS NATAL LTDA ME	Reduzido
-29.01438	-51.24259	VINICOLA CASA MARTIN LTDA - EPP	Reduzido
-29.01371	-51.13587	VINHOS SCOPEL EIRELI	Reduzido
-29.01315	-51.25065	VINICOLA MIORANZA LTDA	Reduzido
-29.00994	-51.26202	INDUSTRIA DE VINHOS IRMAOS MIORANZA LTDA	Reduzido
-29.00804	-51.26190	TERRASUL VINHOS FINOS LTDA	Reduzido
-29.00403	-51.26142	VINICOLA VIAPIANA LTDA - EPP	Reduzido
-29.00154	-51.24565	SOCIEDADE DE BEBIDAS PANIZZON LTDA	Reduzido
-28.99864	-51.15854	VINICOLA CARRARO LTDA	Reduzido
-28.99788	-51.16067	VINICOLA GAZZARO LTDA - EPP	Reduzido
-28.99455	-51.18351	VINICOLA PICCOLI LTDA	Reduzido

-28.99372	-51.23335	SOCIEDADE DE BEBIDAS BERGOZA LTDA	Reduzido
-28.99293	-51.21654	IRMAOS GUARESE E CIA LTDA	Reduzido
-28.98582	-51.15189	VINHOS MONTE REALE LTDA	Reduzido
-28.98053	-51.18482	MURISABEL IND VINICOLA LTDA	Reduzido
-28.97860	-51.16297	VINICOLA GIACHELIN LTDA	Reduzido
-28.97797	-51.16180	INDUSTRIA DE VINHOS BROGLIATO LTDA - EPP	Reduzido
-28.97474	-51.26415	SOCIEDADE VINICOLA BORDIN LTDA	Reduzido
-28.97444	-51.26306	SOCIEDADE DE BEBIDAS CASCATA DA COLINA LTDA	Reduzido
-28.97406	-51.23071	VINHOS PELIZZER LTDA	Reduzido
-28.97377	-51.17855	INNOVARE INDUSTRIA E COMERCIO DE BEBIDAS LTDA	Reduzido
-28.96444	-51.23194	VINHOS RG BOLZAN LTDA	Reduzido
-29.03388	-51.17979	MURARO & CIA LTDA	Reduzido
-29.05291	-51.18366	LOMAN INDUSTRIA DE BEBIDAS LTDA	Reduzido
-29.03446	-51.18041	MAYOLA IND COM E SERVICOS LTDA	Reduzido
-29.01665	-51.20107	MONTECARLO IND DE BEBIDAS LTDA	Reduzido
-29.07907	-51.23458	CASAGRANDA INDUSTRIA DE VINHOS E SUCOS LTDA - EPP	Reduzido
-29.03765	-51.19901	FANTE INDUSTRIA DE BEBIDAS LTDA	Reduzido
-29.02273	-51.19598	JPS PARTICIPACOES E MINERACAO LTDA	Reduzido
-29.02775	-51.18495	DEGRAFICA IMPRESSOS LTDA	Reduzido
-29.09476	-51.332555	CEMITÉRIO DE MATO PERSO	Reduzido
-29.10376	-51.310926	CEMITÉRIO NA ESTRADA DAS HORTÊNSI	Reduzido
-29.08726	-51.260629	CEMITÉRIO SANTA JUSTINA	Reduzido
-29.08471	-51.219945	CEMITÉRIO LINHA 60	Reduzido
-29.08501	-51.194883	CEMITÉRIO SÃO GOTARDO	Reduzido
-29.01958	-51.231103	CEMITÉRIO	Reduzido
-29.01403	-51.245179	CEMITÉRIO DOUTOR MOUNTAURI	Reduzido
-29.00502	-51.261316	CEMITÉRIO TRAVESSÃO ALFREDO CHAVES	Reduzido
-29.00892	-51.244321	CEMITÉRIO SANTO DOS IMIGRANTES	Reduzido
-29.00007	-51.215825	CEMITÉRIO DE FLORES DA CUNHA	Reduzido
-28.98835	-51.182351	CEMITÉRIO RS 122	Reduzido
-28.99301	-51.159349	CEMITÉRIO EST. UVA BORDO	Reduzido
-29.03221	-51.171119	CEMITÉRIO FLORES DA CUNHA	Reduzido
-29.0248	-51.150909	CEMITÉRIO NOVA ROMA	Reduzido
-29.0713	-51.124205	CEMITÉRIO CAPELA S. VALENTIM	Reduzido
-29.00296	-51.135858	CEMITÉRIO	Reduzido
-29.06625	-51.260599	CEMITÉRIO DE OTÁVIO ROCHA	Reduzido
-29.07801	-51.11630	VINHEDOS INDUSTRIA E COMERCIO DE PAPEIS EIRELI	Moderado
-29.07933	-51.11688	VINHEDOS INDUSTRIA E COMERCIO DE PAPEIS EIRELI	Moderado
-28.96985	-51.22628	ECO DE RECICLAGEM LTDA	Moderado
-29.05818	-51.26090	AUTO POSTO MOLON	Moderado
-29.08760	-51.18931	POSTO SÃO GOTARDO	Moderado
-29.08313	-51.19229	TREBOBRAS POSTOS	Moderado
-29.05074	-51.19335	POSTO SIM	Moderado
-29.04404	-51.18147	POSTO SIM	Moderado
-29.03392	-51.18154	POSTO SIM	Moderado
-29.02955	-51.18700	POSTO PETROBRAS	Moderado
-29.02993	-51.19602	POSTO APARECIDA	Moderado
-29.02734	-51.17671	POSTO ANDREAZZA	Moderado
-29.02731	-51.18221	POSTO FLORES	Moderado
-29.02809	-51.18148	POSTO IPIRANGA	Moderado

-29.03455	-51.18121	POSTO IPIRANGA	Moderado
-29.09242	-51.32983	ANTONIO BASSO & FILHOS LTDA	Moderado
-29.02669	-51.15519	HALDEX DO BRASIL IND E COM LTDA	Elevado
-29.08047	-51.19255	TKA GUINDASTES INDUSTRIAIS E COMERCIO LTDA	Elevado
-29.08630	-51.18373	BASE COMPONENTES INDUSTRIAIS LTDA	Elevado
-29.02604	-51.15451	METAL DESIGN COMPONENTES - EIRELI	Elevado
-29.02770	-51.20408	DALLEMOLE ESTRUTURAS METALICAS LTDA	Elevado
-29.00501	-51.19695	MASTERFER ESTRUTURAS METALICAS LTDA ME	Elevado
-29.00319	-51.18401	DALLEMOLE ESTRUTURAS METALICAS LTDA	Elevado
-29.01781	-51.18005	ITACI ULIAN & CIA LTDA	Elevado
-29.04083	-51.20111	HIDROVER EQUIPAMENTO HIDRAULICOS LTDA	Elevado
-29.05422	-51.20952	KEKO ACESSORIOS S.A.	Elevado
-29.03765	-51.19840	BINOTTO INDUSTRIA DE COMPONENTES HIDRAULICOS LTDA	Elevado
-29.08395	-51.19539	METALDIFFER INDUSTRIA METALURGICA LTDA.-EPP	Elevado
-29.02474	-51.21290	ASPIRAZIONE SYSTEM. EQUIPAMENTOS PARA EXAUSTAO LTDA	Elevado
-29.05390	-51.16638	FORBAL INDUSTRIA AUTOMOTIVE LTDA	Elevado
-29.04083	-51.20111	HIDROVER EQUIPAMENTOS HIDRAULICOS LTDA	Elevado
-29.05386	-51.16648	FORBAL INDUSTRIA AUTOMOTIVE LTDA	Elevado
-29.05111	-51.18258	SANTO INACIO MICROFUSAO LTDA	Elevado
-29.04824	-51.24081	METALBUS INDUSTRIA METALURGICA LTDA	Elevado
-29.07812	-51.11370	POLIPELES CURTUME E MANUFATURA DE PELES LTDA - EPP	Elevado
-29.02406	-51.16189	PELES NOVA ROMA LTDA	Elevado
-29.02326	-51.15871	MANUFATURA DE PELES FLORENSE LTDA	Elevado
-29.02323	-51.15893	GIACOMET & CIA LTDA	Elevado
-29.05149	-51.19769	CONGRESUL ENGENHARIA LTDA	Elevado
-29.06010	-51.19387	ROMEU JOSE ORLANDI ME	Elevado
-29.04415	-51.18202	PLASTILINE PLASTICOS LTDA	Elevado
-29.02287	-51.19367	PLASTILINE PLASTICOS LTDA	Elevado
-29.02226	-51.19538	PLASTILINE PLASTICOS LTDA	Elevado
-29.06916	-51.18377	PANIZZON INDUSTRIA E COMERCIO DE PLASTICOS LTDA	Elevado
-29.08722	-51.18419	METAL CROMO FLORES LTDA	Elevado
-29.08717	-51.18338	TECNOMETAL IND METALURGICA LTDA	Elevado
-29.08720	-51.18600	INDUSTRIA DE MOVEIS MONICA LTDA	Elevado
-29.06440	-51.18615	MAGECOR PINTURA ELETROSTATICA LTDA	Elevado
-29.08696	-51.18730	TRANSRESIND TRANSPORTES DE RESIDUOS INDUSTRIAIS LTDA.	Elevado