
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE
ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

DIEGO REGINATTO DE LIMA

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL
NO MUNICÍPIO DE BENTO GONÇALVES.**

Porto Alegre

Dezembro 2014

DIEGO REGINATTO DE LIMA

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NO MUNICÍPIO DE BENTO
GONÇALVES.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato

Porto Alegre

Dezembro 2014

DIEGO REGINATTO DE LIMA

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NO MUNICÍPIO DE BENTO
GONÇALVES.**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **11/12/2014** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....
Prof. Msc. Marcos Imério Leão - Departamento de Hidromecânica e Hidrologia -
Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS

.....
Geól. Msc. Raquel Barros Binotto - Gerência de Relações Institucionais e
Desenvolvimento - Superintendência de Porto Alegre - CPRM

.....
Geól. Roberto Eduardo Kirchheim - Gerência de Recursos Hídricos e Gestão
Territorial- Superintendência de Porto Alegre - CPRM

Conceito:.....

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares por todo apoio, incentivo e por criar condições propícias ao desenvolvimento não só deste trabalho, mas de toda a minha graduação.

Agradeço também, ao meu professor orientador, Pedro Antônio Roehe Reginato, por toda a atenção, paciência e disponibilidade durante todo o processo de execução deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os colegas e professores que me acompanharam e guiaram durante esta graduação, contribuindo para minha formação profissional e proporcionando inúmeros momentos agradáveis.

“A dúvida não é uma condição
agradável, mas a certeza é um absurdo”.

Voltaire

RESUMO

LIMA, D.R. AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NO MUNICÍPIO DE BENTO GONÇALVES, 2013. 73 f. Trabalho de Conclusão (Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O presente trabalho avaliou a vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e a carga contaminante potencial associada a fontes pontuais e difusas de modo a caracterizar o risco de contaminação das águas subterrâneas do município de Bento Gonçalves. O procedimento de avaliação de vulnerabilidade adotado incluiu o levantamento de dados hidrogeológicos relativos aos pontos de captação de água subterrânea descritos no SIAGAS, que subsidiou a aplicação do método GOD. Analisou-se também, a densidade de lineamentos buscando-se avaliar o possível impacto dessas estruturas sobre a vulnerabilidade do SASG. A análise da carga contaminante potencial foi realizada com base no método POSH e contemplou fontes difusas, avaliadas com base em mapas de uso e ocupação do solo, e fontes pontuais, avaliadas com base em dados da FEPAM. A vulnerabilidade do SASG foi classificada, segundo o índice GOD, como baixa na maior parte do município e a densidade de lineamentos variou entre 0.72 e 2.53 km/km². A carga contaminante potencial difusa identificada na região variou entre reduzida e moderada. Na análise das fontes potenciais pontuais predominaram, dentre os empreendimentos avaliados, atividades de reduzida carga contaminante. Por fim, com base nas análises realizadas, o risco de contaminação no município foi caracterizado como baixo (93,3%) e moderado (6,7%).

Palavras chave: Vulnerabilidade, GOD, POSH, Risco de Contaminação.

ABSTRACT

LIMA, D.R. ASSESSMENT OF GROUNDWATER CONTAMINATION RISK ON THE SERRA GERAL AQUIFER SYSTEM IN THE CITY OF BENTO GONÇALVES 2013. 73 P. Environmental Engineering Graduation Work, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

The present work evaluated the vulnerability of the Serra Geral Aquifer System (SASG) and the potential contaminant load from point and diffuse pollution sources in order to characterize the risk of groundwater contamination in the city of Bento Gonçalves. The vulnerability assessment procedure included the collection of hydrogeological data from groundwater extraction points described in SIAGAS that supported the implementation of GOD method. The lineament density was also analyzed in order to evaluate the possible impact of fractures on the vulnerability. The potential contaminant load was analyzed using the POSH method and included diffuse sources, evaluated by maps of use and occupation, and point sources, evaluated based on data from FEPAM. The resulting vulnerability of the SASG was classified according to the GOD index as low in most of the city and the lineament density ranged between 0.72 and 2.53 km/km². Diffuse potential contaminant load ranged from low to moderate. In the evaluation of point sources, It predominated sources of low contaminant load. Finally, based on the analyzes, the risk of contamination in the city was characterized as low (93.3%) and moderate (6.7%).

Keywords: Vulnerability, GOD, POSH, Contamination Risk

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bento Gonçalves - Localização	16
Figura 2: Bento Gonçalves - Geologia	19
Figura 3: Modelo Conceitual do Risco de Contaminação	21
Figura 4: Parâmetros Avaliados pelo Método GOD	29
Figura 5: Matriz do Risco de Contaminação de Aquíferos	33
Figura 6: Poços Avaliados	46
Figura 7: Histograma dos Dados Coletados junto ao Siagas	46
Figura 8: Solos e Litotipos descritos nos Perfis Geológicos dos Poços	47
Figura 9: Carta do Parâmetro G	49
Figura 10: Carta do Parâmetro O	50
Figura 11: Carta do Parâmetro D	51
Figura 12: Carta Resultante do Método GOD	52
Figura 13: Histograma de Vulnerabilidade - GOD	53
Figura 14: Densidade de Lineamentos	55
Figura 15: Gráfico de Dispersão da Análise de Lineamentos	56
Figura 16: Distribuição dos Empreendimentos e Carga Contaminante Associada	58
Figura 17: Bento Gonçalves - Destinação dos Efluentes Sanitários	60
Figura 18: Carga Contaminante Potencial Difusae em Bento Gonçalves	61
Figura 19: Carga Contaminante Potencial Total em Bento Gonçalves	62
Figura 20: Risco de Contaminação do SASG em Bento Gonçalves	63
Figura 21: Histograma do Risco de Contaminação	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fenômenos Envolvidos na Atenuação de Contaminantes.....	23
Quadro 2: Parâmetros Avaliados pelo Método DRASTIC.....	26
Quadro 3: Classes de Vulnerabilidade (GOD)	28
Quadro 4: Método POSH para Avaliação de Fontes Difusas	31
Quadro 5: Método POSH para Avaliação de Fontes Pontuais.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados Climáticos Médios Mensais do Município de Bento Gonçalves.....	17
Tabela 2: Empreendimentos Instalados em Bento Gonçalves.....	18
Tabela 3: Classes de Risco Definidas.....	44
Tabela 4: Poços Avaliados e Parâmetros Associados.....	48
Tabela 5: Empreendimentos Avaliados na Análise de Carga Contaminante Pontual.....	57
Tabela 6: Usos do Solo em Bento Gonçalves.....	59

LISTA DE SIGLAS

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SASG: Sistema Aquífero Serra Geral

SAG: Sistema Aquífero Guarani

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEE: Fundação de Economia e Estatística

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PIB: Produto Interno Bruto

SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

ETE: Estação de tratamento de efluentes

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. JUSTIFICATIVA	15
1.2. OBJETIVOS	15
1.2.1. Objetivos Gerais	15
1.2.2. Objetivos Específicos.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. LOCALIZAÇÃO E ÁREA DE ESTUDO	16
2.2. GEOLOGIA E PEDOLOGIA REGIONAL.....	18
2.3. HIDROGEOLOGIA REGIONAL	20
2.3. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	21
2.4. VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS	22
2.4.1. Método DRASTIC	25
2.4.2. Método GOD	27
2.5. AVALIAÇÃO DA CARGA CONTAMINANTE E RISCO POTENCIAL.....	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA ..	36
3.1.1 Grau de Confinamento.....	37
3.1.2. Estratos de cobertura.....	38
3.1.3. Distância do nível de água.....	38
3.1.4. Combinação dos Parâmetros	39
3.1.5. Avaliação da Densidade de Lineamentos.....	39
3.2. IDENTIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DA CARGA CONTAMINANTE.....	40
3.2.1. Fontes pontuais.....	40
3.2.2. Fontes Difusas	42
3.3. AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO	43
4. RESULTADOS	45
4.1. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE	45
4.1.1. Parâmetro G	49
4.1.2. Parâmetro O	50

4.1.3. Parâmetro D	51
4.1.4. Vulnerabilidade Intrínseca – Método GOD	52
4.1.5. Densidade de Lineamentos	54
4.2. CARGA CONTAMINANTE POTENCIAL	57
4.2.1. Carga Pontual	57
4.2.2. Fontes Difusas	59
4.2.3. Carga Contaminante Potencial Total.....	62
4.3. ANÁLISE DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO	62
5. CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXO I – POÇOS EMPREGADOS NAS ANÁLISES.....	73
ANEXO II – BAIROS DE BENTO GONÇALVES	74

1. INTRODUÇÃO

Aquíferos são reservas de água geralmente de boa qualidade, acessíveis e pouco suscetíveis a oscilações sazonais quando em comparação com as águas superficiais. Além de sua importância ecológica, as águas subterrâneas têm sido extensivamente utilizadas pelo homem para o fornecimento de água necessária ao consumo e desempenho de atividades econômicas. Entretanto, a superexploração e o risco de contaminação representam sérias ameaças a esta reserva estratégica de água. (MORRIS et. al. 2005).

O risco de contaminação das águas subterrâneas é função de fatores hidrogeológicos, como a acessibilidade dos aquíferos e a capacidade de atenuação dos estratos superiores, e de fatores antrópicos, notadamente a existência e distribuição das atividades humanas desenvolvidas em superfície e subsuperfície que definem a quantidade, frequência, forma de lançamento e propriedades químicas dos contaminantes gerados.

Neste trabalho é apresentada a avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas pertencentes ao Sistema Aquífero Serra Geral no município de Bento Gonçalves, que contemplou uma análise de vulnerabilidade do aquífero em questão, realizada por meio do método GOD, e a identificação das fontes potenciais de contaminação, seguida de sua caracterização segundo o método POSH.

1.1. JUSTIFICATIVA

As águas subterrâneas, em especial as pertencentes ao Sistema Aquífero Serra Geral, que devido a sua localização mais próxima da superfície são as mais facilmente exploráveis, representam um recurso estratégico para o município de Bento Gonçalves possibilitando uma reserva relativamente segura para o abastecimento futuro, tanto em um cenário de comprometimento da oferta das águas superficiais, quanto no caso de aumento da demanda. Diante disto, este trabalho visa aumentar o entendimento sobre a qualidade das águas subterrâneas no município de Bento Gonçalves através da análise do seu risco de contaminação.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o risco de contaminação das águas subterrâneas pertencentes ao Sistema Aquífero Serra Geral na área do município de Bento Gonçalves.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a. Avaliar a vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral no município de Bento Gonçalves;
- b. Identificar as fontes potenciais de contaminação da água subterrânea existentes no município;
- c. Determinar a carga contaminante potencial associada a cada fonte identificada;
- d. Combinar os produtos das análises de vulnerabilidade e carga contaminante potencial de modo a caracterizar o risco de contaminação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. LOCALIZAÇÃO E ÁREA DE ESTUDO

Bento Gonçalves é um município localizado na Serra Gaúcha, estado do Rio Grande do Sul, tendo como municípios limítrofes Nova Roma do Sul, Santa Teresa, Farroupilha, Garibaldi, Monte Belo do Sul, Veranópolis e Cotiporã (Figura 1).

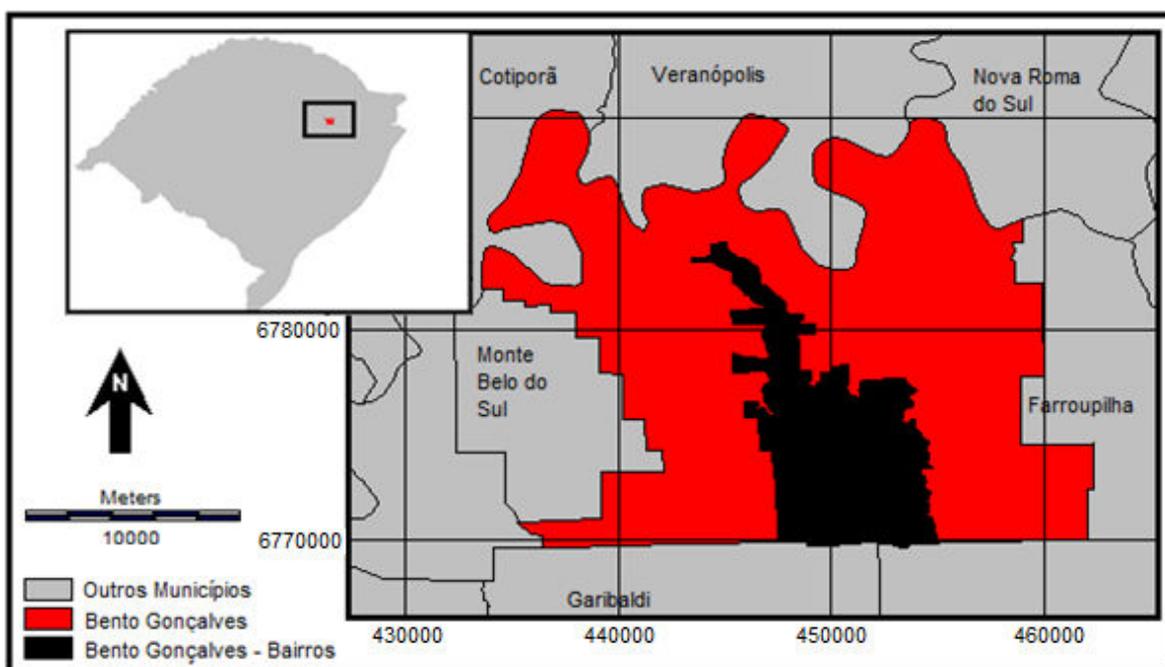


Figura 1: Bento Gonçalves - Localização

A altitude média do município de Bento Gonçalves é de 482 metros em relação ao nível do mar. O município possui um relevo acidentado, com altitudes variando entre 80 metros, no noroeste do município, e 770 ao sudeste do município. (FILIPPETO, 2010).

Segundo Valladares & Luz (2005), a vegetação nativa da área de estudo é a Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Mata de Araucária ou Pinheiral. A Mata de Araucária é um ecossistema característico da região Sul do Brasil, que abriga uma

grande variedade de espécies, mas caracterizada pelo predomínio da *Araucária angustifolia* (pinheiro-brasileiro) e outras gimnospermas.

Quanto ao clima, segundo a classificação de Koppen, Bento Gonçalves apresenta clima temperado subtropical (Cfb) caracterizado pela ausência de estação seca, e temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C. (VALLADARES & LUZ, 2005). Na Tabela 1, são apresentados os dados climáticos médios mensais relativos ao município de Bento Gonçalves no período de 1961 a 1990, incluindo a pluviosidade, fator que afeta diretamente a recarga e, conseqüentemente, a vulnerabilidade de um aquífero, sendo inclusive um dos parâmetros avaliados pelo método DRASTIC, conforme será posteriormente discutido no decorrer deste trabalho.

Tabela 1: Dados Climáticos médios mensais do Município de Bento Gonçalves - Período de 1961 a 1990.

Mês	Temperatura (°C)	Pluviosidade (mm)	Evapotranspiração Potencial (mm)	Excedente/Déficit Hídrico (mm)
Janeiro	21,8	140	110	30
Fevereiro	21,7	139	99	40
Março	20,3	128	92	36
Abril	17,5	114	64	50
Mai	14,5	107	44	63
Junho	12,8	157	32	125
Julho	12,9	161	32	128
Agosto	13,6	165	38	127
Setembro	14,9	185	46	139
Outubro	17,0	156	65	91
Novembro	18,9	140	82	58
Dezembro	20,7	144	103	41

Fonte: VALLADARES & LUZ (2005)

Com uma população residente de 102.278 e uma área de 382 km², o município possui uma densidade demográfica de 280,86 hab/km². A população do município é

predominantemente urbana (92,4%). O IDH é de 0,778, consideravelmente elevado para os padrões brasileiros (IBGE, 2010).

Segundo dados do IBGE (2011), o PIB do município é de R\$ 3.349.603.000,00 sendo que o valor adicionado bruto provém dos serviços (60,9 %), indústria (35,9%) e agricultura (3,3%). Dentre as indústrias, as que mais se destacam são a moveleira, onde Bento Gonçalves desponta como um dos principais polos do país; a metalúrgica; de transportes e a de bebidas, em especial a produção de vinhos. Na agricultura, segundo dados do IBGE (2012), os principais produtos cultivados são a uva e pêsego. A seguir, na tabela 2, são apresentados dados relativos ao número de empreendimentos implantados no município.

Tabela 2: Empreendimentos instalados em Bento Gonçalves

Segmento Industrial	Nº de indústrias
Vinícolas	47
Móveis	253
Metalúrgicas	295
Vestuário	122
Alimentação	46
Outras	386
Transportadoras	363

Fonte: FILIPPETO (2010)

2.2. GEOLOGIA E PEDOLOGIA REGIONAL

De acordo com o mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008) Bento Gonçalves localiza-se na região de ocorrência da Formação Serra Geral. Na área de abrangência do município há ocorrência de duas unidades vulcânicas principais, denominadas de Palmas/Caxias e Gramado (Figura 2). A unidade Palmas/Caxias é

caracterizada por rochas vulcânicas ácidas, sendo que as principais litologias são riodacitos e riolitos. A unidade Gramado é marcada por rochas vulcânicas básicas, sendo o basalto a principal litologia. Quanto aos solos, segundo Flores et. al. (2012) são encontrados no município solos do tipo Argilossolo, Cambissolo, Chernossolo, Neossolo e Nitossolo.

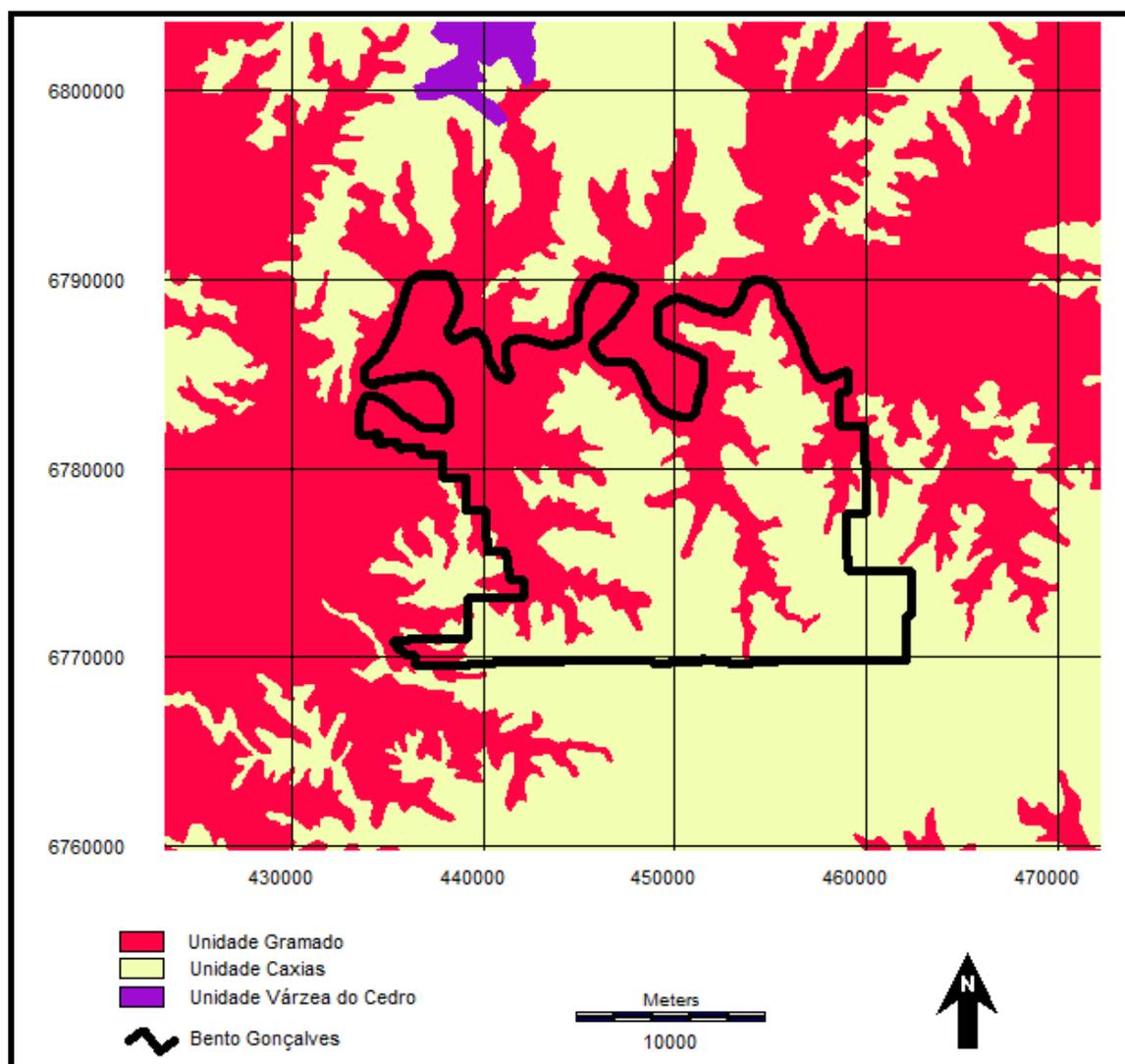


Figura 2: Bento Gonçalves - Geologia

Fonte: Adaptado do mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008)

2.3. HIDROGEOLOGIA REGIONAL

As águas subterrâneas na região de Bento Gonçalves estão associadas a dois sistemas aquíferos dispostos um sobre o outro: O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) está associado às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e encontra-se sobreposto ao Sistema Aquífero Guarani (SAG), que por sua vez está associado a rochas sedimentares, localizando-se a maiores profundidades.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um aquífero granular com porosidade primária, mas influenciado por estruturas tectônicas que dão origem a uma porosidade secundária e a possibilidade de conexão com o SASG. Associado a rochas sedimentares, pertencentes principalmente à Formação Botucatu, o Sistema Aquífero Guarani apresenta-se, na região de Bento Gonçalves, confinado pelas rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral (REGINATO et. al., 2013).

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), é o mais importante da região, ocorrendo em toda a área do município, sendo o mais explorado para fornecimento de água. Trata-se de um aquífero fraturado, onde a existência e o fluxo de água estão condicionados aos fraturamentos existentes nas rochas de origem vulcânica.

Segundo o mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (MACHADO & FREITAS, 2005), o SASG pode ser dividido em diferentes sistemas, sendo que na região de Bento Gonçalves, há ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral II, na qual predominam riolitos, riodacitos e basaltos fraturados. Segundo Reginato et. al. (2013), nesta região, o SASG é caracterizado por possuir um comportamento hidrogeológico heterogêneo, apresentando, de um modo geral, forte anisotropia e valores baixos de transmissividade, capacidade específica e vazão.

2.3. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Aquíferos podem ser uma fonte de água relativamente acessível, de boa qualidade e sustentável, desde que bem manejados, o que confere a este recurso um caráter estratégico dentro do contexto de abastecimento de água urbano e rural. Ameaças aos aquíferos incluem sua contaminação, oriunda das atividades humanas desenvolvidas em superfície e que podem levar a deterioração de sua qualidade, e sua superexploração, que pode levar a sua depleção ou mesmo à ocorrência de intrusão salina em aquíferos localizados em regiões litorâneas (MORRIS et. al., 2003).

O risco de contaminação das águas subterrâneas associado às atividades humanas pode ser interpretado, conceitualmente, como a associação de duas componentes semi-independentes: a carga poluidora e a vulnerabilidade do aquífero (MORRIS et. al., 2003).

A Figura 3 ilustra a interação destas duas componentes de modo a caracterizar o risco.

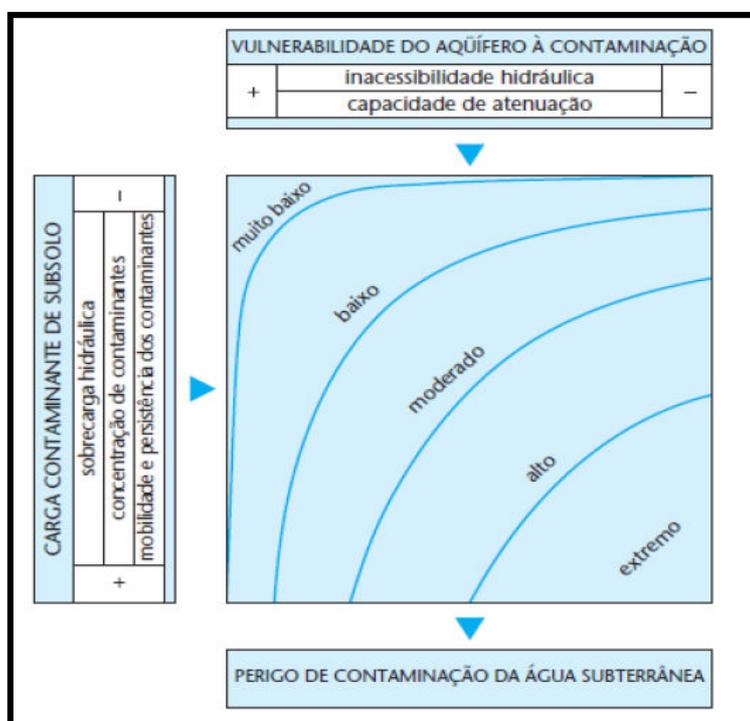


Figura 3: Modelo Conceitual do Risco de Contaminação

Fonte: FOSTER et. al. (2006)

A carga poluidora é caracterizada pela quantidade, condições de lançamento e propriedades dos contaminantes, sendo usualmente definida pelas atividades antrópicas existentes na região. Já a vulnerabilidade é função de propriedades físicas e hidrogeológicas, como acessibilidade hidráulica e capacidade de atenuação dos estratos superiores. A seguir, serão discutidas detalhadamente tanto a carga poluidora quanto a vulnerabilidade de aquífero, bem como alguns dos métodos usualmente empregados na caracterização das mesmas.

2.4. VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS

Vulnerabilidade intrínseca, ou, simplesmente vulnerabilidade de um aquífero é sua propensão natural de ser afetado por uma carga poluidora. Trata-se de uma propriedade inerente ao sistema aquífero em questão, essencialmente dependente de suas características físicas e hidrogeológicas. Ao tratar-se de vulnerabilidade, existe ainda o conceito de vulnerabilidade específica, que exprime a propensão de um aquífero ser degradado por um contaminante específico.

Segundo Foster & Hirata (1988), a vulnerabilidade intrínseca de um aquífero é função da inacessibilidade hidráulica a penetração de contaminantes e da capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero.

No que diz respeito à atenuação, durante o percurso dos contaminantes, um conjunto de reações químicas, físicas e biológicas pode ocorrer e ser responsável pela destruição e imobilização dos mesmos, seja no solo, na zona não saturada ou na própria zona saturada do aquífero. Esses fenômenos acabam por proporcionar uma redução do aporte de contaminantes e são função especialmente das características hidrogeológicas e físicas.

No quadro 1, são apresentados os principais fenômenos envolvidos na atenuação de contaminantes e, de um modo genérico, suas respectivas relevâncias. Ressalta-se que a efetividade de cada fenômeno envolvido na atenuação é consideravelmente variável, sendo afetada também pelas propriedades dos contaminantes.

Quadro 1: Fenômenos envolvidos na atenuação de contaminantes

	Diluição	Sorção	Troca Iônica	Filtração	Precipitação	Hidrólise	Complexação	Volatilização	Biodegradação
Solo	+	+++	++	+++	+	++	+++	+++	+++
Zona não saturada	+	+ / ++	++	++	++	++	?	+	+ / ++
Zona saturada	+++	+ / +++	+ / +++	++	+ / +++	++	?	+	+ / +++

+++ : Provável grande redução das concentrações dos contaminantes

++ : Provável redução considerável das concentrações dos contaminantes

+ : Improvável redução significativa das concentrações de contaminantes

? : Processo não bem compreendido ou documentado

Fonte: MORRIS et. al. (2003)

Ainda com relação à atenuação de contaminantes, percebe-se no quadro 1, o papel consideravelmente importante da zona saturada no controle dos contaminantes, fato não considerado em alguns dos métodos de avaliação de vulnerabilidade como, por exemplo, o GOD.

De acordo com Foster & Hirata (1988), a carga poluidora pode ser controlada ou modificada, o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural, que é uma propriedade intrínseca do aquífero. Assim, no intuito de preservar a qualidade das águas subterrâneas, a

maneira mais efetiva é pelo controle da distribuição espacial das atividades humanas em função da vulnerabilidade de cada local.

Neste contexto, surge a necessidade do mapeamento da vulnerabilidade dos aquíferos como ferramenta de suporte a tomada de decisão, especialmente no que diz respeito à definição de políticas de zoneamento dos usos do solo e gerenciamento da distribuição das atividades antrópicas; análise dos riscos atuais e definição de programas de controle das eventuais fontes de poluição já existentes; e definição das áreas recomendadas para instalação de poços de extração de águas subterrâneas.

De fato, segundo Hirata (2001), a cartografia de vulnerabilidade tem servido a racionalizar ações de proteção de aquíferos, na medida em que tenta compatibilizar as atividades antrópicas com a capacidade do terreno em suportá-las, sem prejuízo das águas subterrâneas.

Os métodos existentes para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas podem ser divididos em três categorias (NATIONAL RESEARCH CONCIL, 1993):

1. Métodos de índices de sobreposição: Fazem uso de índices definidos com base na sobreposição de mapas regionais de determinados parâmetros. Os parâmetros avaliados são valorados de acordo com uma escala predefinida e combinados de modo a gerar um índice representativo da vulnerabilidade. Dentro desta categoria, os métodos mais difundidos são o DRASTIC (ALLER et. al., 1987) e GOD (FOSTER & HIRATA, 1988).
2. Métodos baseados em modelos determinísticos: Fazem uso de modelos matemáticos de embasamento físico para simular os fenômenos complexos de fluxo e transporte de contaminantes no subsolo.

3. Modelos estatísticos: Incorporam dados conhecidos relativos a distribuições reais de contaminantes e por meio de análises estatísticas e extrapolações, definem o risco de contaminação para a área estudada.

Os métodos baseados em índices de sobreposição são usualmente de mais simples execução, não requerendo um extensivo banco de dados nem modelagens matemáticas complexas, e são conseqüentemente os mais comumente aplicados (SORICHETTA, 2011).

A seguir, são apresentados alguns dos métodos disponíveis na literatura científica para a avaliação da vulnerabilidade intrínseca de aquíferos.

2.4.1. Método DRASTIC

Um dos métodos mais populares para a avaliação da vulnerabilidade de aquíferos, o método DRASTIC foi desenvolvido por Aller et. al. (1987) para a USEPA - U.S. Environmental Protection Agency.

Tal método faz uso de um conjunto de sete parâmetros físicos e hidrológicos que combinados geram um índice representativo da vulnerabilidade (Quadro 2). A cada parâmetro (P) é atribuído um valor entre 1 e 10, previamente definido pelo método, e no processo de combinação são atribuídos pesos diferenciados (W) a cada um dos parâmetros de modo a representar a importância relativa de cada um. Matematicamente o índice DRASTIC é expresso pela seguinte equação:

$$I_{DRASTIC} = \sum_{i=1}^7 (P_i \times W_i)$$

São premissas usadas no desenvolvimento do método DRASTIC:

1. O contaminante é introduzido na superfície do terreno;

2. O contaminante é transportado verticalmente até o aquífero pela água de infiltração;
3. O contaminante tem a mesma mobilidade da água;
4. A área mínima avaliada de 0,4 km²

Quadro 2: Parâmetros avaliados pelo método DRASTIC

Parâmetro	Descrição	Fator Ponderador
Profundidade do Aquífero (D)	Representa a distância entre as superfícies do aquífero e do solo. Uma maior profundidade implica em maior caminho a ser percorrido pelo contaminante antes de atingir o aquífero, e conseqüentemente maior degradação e adsorção neste caminho. Assim, uma maior profundidade está associada a uma menor vulnerabilidade.	5
Recarga (R)	Consiste no volume de água que atinge a área de estudo e infiltra até atingir o aquífero. Considerando que a recarga é o veículo pelo qual o contaminante é transportado, uma maior recarga implica em maior vulnerabilidade.	4
Meio Aquífero (A)	Refere-se ao material do qual o aquífero é composto, bem como suas propriedades que controlam o processo de atenuação dos contaminantes.	3
Solo (S)	Associado a camada superficial da superfície terrestre, que controla os processos de recarga e infiltração.	2
Topografia (T)	Refere-se à forma da superfície da terra, que define se haverá infiltração ou escoamento superficial das águas subterrâneas.	1
Impacto da Zona Vadosa (I)	Refere-se à zona não saturada que se encontra abaixo da superfície da terra e acima da superfície do aquífero e controla processos de atenuação e transporte dos contaminantes	5
Condutividade Hidráulica	Refere-se à condutividade hidráulica do aquífero, que controla o transporte dos contaminantes no ser interior.	3

Uma vez obtido o Índice DRASTIC, o grau de vulnerabilidade pode ser definido, com base no resultado numérico, nas seguintes classes:

1. Vulnerabilidade baixa, se $I_{DRASTIC} < 120$
2. Vulnerabilidade intermediária, se $I_{DRASTIC}$ entre 120 e 159
3. Vulnerabilidade alta, se $I_{DRASTIC}$ entre 160 e 198
4. Vulnerabilidade muito alta, se $I_{DRASTIC} > 199$

O DRASTIC possui também algumas versões alternativas, com mudanças nos fatores de ponderação e critérios de valoração dos parâmetros avaliados, visando melhor representar contaminantes específicos ou determinados contextos geológicos. Exemplos incluem o método SINTACS (CIVITA & MAIO, 1997), desenvolvido originalmente para o contexto geológico da Itália e o DRASTIC para pesticidas (ALLER et. al. 1987), criado de modo à melhor refletir o comportamento desta classe de contaminantes.

2.4.2. Método GOD

O método GOD, desenvolvido por Foster & Hirata (1988) avalia três parâmetros hidrogeológicos, que combinados via multiplicação simples, geram um índice variável entre 0 e 1, representativo da vulnerabilidade do aquífero.

Trata-se de um método relativamente simples e amplamente aplicado nos países da América Latina em virtude do seu bom desempenho, menor custo e maior facilidade de obtenção das informações nele utilizadas (CUTRIM & CAMPOS, 2010).

Os parâmetros avaliados são:

1. Grau de Confinamento (G): A avaliação do grau de confinamento do aquífero visa analisar o nível de acessibilidade das águas subterrâneas por

parte dos contaminantes superficiais. Um maior confinamento implica em menor acessibilidade e uma conseqüente menor vulnerabilidade.

2. Estratos de Cobertura: A avaliação dos estratos de cobertura busca refletir o papel da zona vadosa e/ou camada confinante, cujas propriedades interferem diretamente nos processos de atenuação que ocorrem com os contaminantes.
3. Profundidade do Aquífero (D): Similarmente ao que ocorre no método DRASTIC, a distância entre as superfícies do aquífero e do solo é um parâmetro considerado, justamente por refletir o grau de degradação ou adsorção do contaminante associado a um maior ou menor percurso do contaminante até atingir o aquífero.

Do produto dos três parâmetros é gerado um índice, que por sua vez é enquadrado em cinco categorias de vulnerabilidade (Quadro 3).

Quadro 3: Classes de Vulnerabilidade (GOD)

Classe	I_{GOD}	Definição
Extrema	0.7 – 1	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação.
Alta	0.5 – 0.7	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os facilmente adsorvíveis/transformáveis) em muitas condições de exposição.
Moderada	0.3 – 0.5	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente se continuamente lançados ou lixiviados.
Baixa	0.1 – 0.3	Vulnerável somente a contaminantes persistentes, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados.
Insignificante	0 – 0.1	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea.

Fonte: FOSTER et. al. (2006)

Na Figura 4, apresenta-se a forma de valoração dos parâmetros avaliados no método GOD.

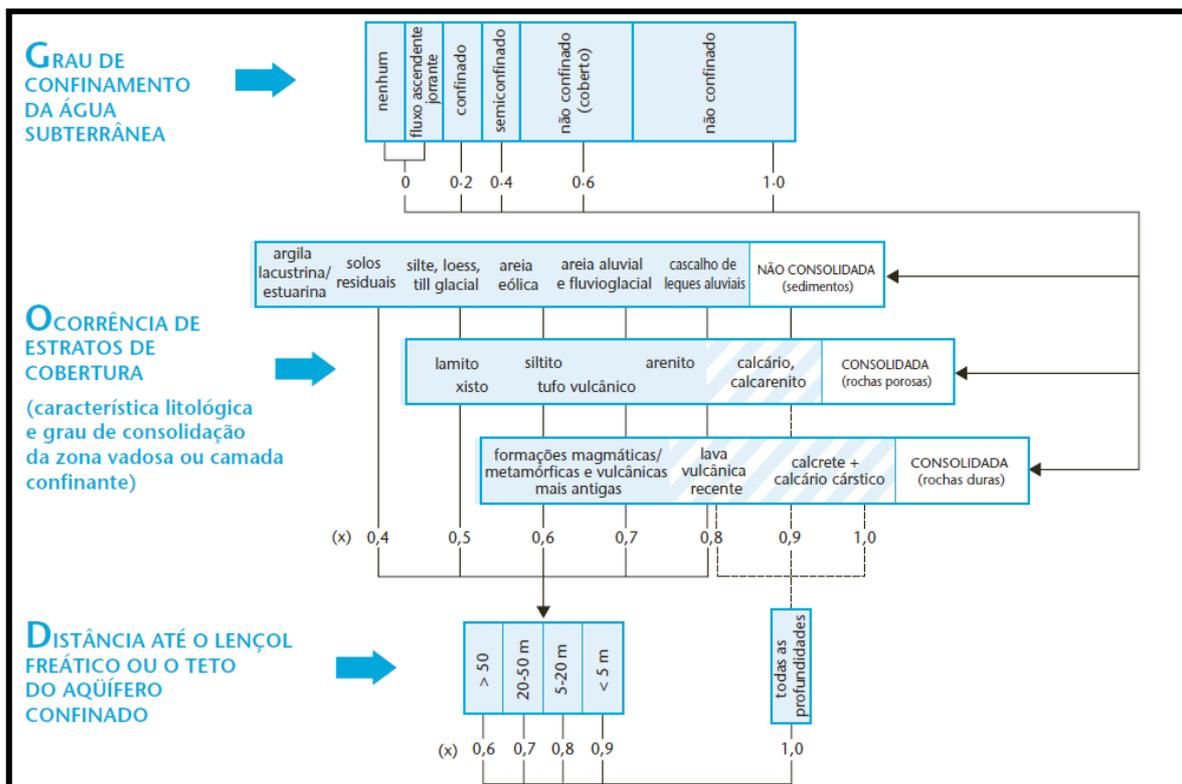


Figura 4: Parâmetros Avaliados pelo Método GOD

Fonte: FOSTER et. al. (2006)

O método GOD, apresenta também uma variante, que busca melhor representar o papel da camada superficial do solo no processo de atenuação dos contaminantes. Trata-se do método GODS (PAEZ et. al., 1999), aplicável especialmente às zonas rurais, devido ao menor grau de antropização do solo quando em comparação as zonas urbanas.

2.5. AVALIAÇÃO DA CARGA CONTAMINANTE E RISCO POTENCIAL

A carga contaminante é a componente do risco de contaminação das águas subterrâneas diretamente associadas às atividades humanas. Sua interação com a vulnerabilidade intrínseca do aquífero define a magnitude de uma eventual contaminação das águas subterrâneas.

De acordo com Foster & Hirata (1988), os quatro principais aspectos necessários à caracterização da carga contaminante são:

1. Classe do contaminante, que afeta algumas de suas propriedades como mobilidade e persistência;
2. Intensidade da contaminação, definida pela provável concentração do contaminante e pela proporção da recarga do aquífero afetada;
3. Modo de deposição, definido pela sobrecarga hidráulica e profundidade onde o contaminante é inserido;
4. Duração da aplicação da carga, definida pela probabilidade da descarga, que pode ser intencional, incidental ou acidental, e o período de sua aplicação.

Entretanto, realizar tal caracterização por completo, pode ser um tanto quanto difícil, especialmente em uma escala regional. Uma alternativa para a caracterização da carga contaminante é o método POSH (Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically), desenvolvido por Foster et. al. (2002).

O método POSH caracteriza a carga contaminante em três níveis de acordo com sua origem e com a sobrecarga hidráulica associada. A origem define os tipos de contaminantes esperados, e conseqüentemente algumas de suas propriedades como

mobilidade e persistência. Por sua vez, a sobrecarga hidráulica influencia o transporte advectivo dos contaminantes para os sistemas aquíferos (FOSTER et. al., 2006).

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 (Quadro 4).

Quadro 4: Método POSH para avaliação de Fontes Difusas

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

Fonte: FOSTER et. al. (2006)

O saneamento *in situ*, que inclui técnicas como as latrinas, fossas negras e fossas sépticas, implica em um tratamento não plenamente eficaz dos efluentes sanitários, em sobrecarga hidráulica e na possibilidade de percolação e contaminação dos aquíferos por organismos patogênicos, compostos de nitrogênio e, eventualmente, produtos químicos orgânicos sintéticos. A avaliação dos efeitos do saneamento *in situ* segundo o método POSH é realizada com base na densidade populacional e na taxa de cobertura da rede de esgotamento sanitário (FOSTER et. al., 2006).

Em ambiente rural, as principais fontes de contaminação difusa consideradas no método POSH são as áreas de cultivo e pastagem, nas quais os empregos de fertilizantes,

agrotóxicos e irrigação podem implicar em contaminação do solo e águas subterrâneas e sobrecarga hidráulica. A classificação destas fontes segundo o método POSH varia conforme as práticas agrícolas empregadas.

No caso das fontes pontuais, o método POSH avalia a carga contaminante associada à deposição 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. O Quadro 5 apresenta os parâmetros adotados para classificação de cada uma destas fontes.

Quadro 5: Método POSH para avaliação de Fontes Pontuais

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 tráfego regular de produtos químicos perigosos	algumas atividades de mineração/ extração de materiais inertes
Reduzido	chuva <500 mm/a com resíduos residenciais/ agroindustriais/ industriais tipo 1	indústria tipo 1	águas residuais residenciais, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração de não metálicos	cemitérios	
<p>* solos contaminados de indústrias abandonadas devem ter a mesma classificação que a da própria indústria</p> <p>Indústrias Tipo 1: madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos</p> <p>Indústrias Tipo 2: fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão</p> <p>Indústrias Tipo 3: oficinas de engenharia, refinarias de gás/petróleo, fábricas de produtos químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas, processamento de metal</p>					

Fonte: FOSTER et. al. (2006)

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. Uma das formas para realizar tal combinação, sugerida por Foster et. al. (2006) é através de uma matriz, conforme Figura 5.

		ZONAS DE VULNERABILIDADE DO AQUIFERO À CONTAMINAÇÃO*		
		baixa	média	alta
CARGA CONTAMINANTE POTENCIAL	reduzida	3	3	2
	moderada	2	2	1
	elevada	2	1	1

NÍVEL DE PRIORIDADE		
1 = alto	2 = médio	3 = baixo

* Número de zonas/áreas reduzidas para simplificar a representação.

Figura 5: Matriz do Risco de Contaminação de Aquíferos

Fonte: FOSTER et. al. (2006)

A avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas baseada em análises associadas de vulnerabilidade e carga contaminante já vem sendo empregada em inúmeros trabalhos, o que reforça sua aceitação pela comunidade acadêmica. Cutrim & Campos (2010) aplicaram os Métodos DRASTIC e POSH para a determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas, na cidade de Rondonópolis, Mato Grosso. Meira et. al. (2014) avaliou a vulnerabilidade natural e o perigo de contaminação da zona de recarga do Aquífero Guarani na região da bacia do Rio Parnaíba, Goiás, segundo os métodos GOD e POSH. Monteiro & Peixoto (2013), também utilizaram os métodos GOD

e POSH para avaliar o risco de contaminação de aquíferos nas bacias hidrográficas do Alto Aguapeí e Alto Peixe, oeste de São Paulo. Em ambos os trabalhos, os autores afirmam ter obtido bons resultados, mas salientam as limitações dos estudos devido às simplificações inerentes aos métodos utilizados e à disponibilidade e confiabilidade dos dados empregados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O conjunto de análises necessárias ao desenvolvimento do presente trabalho foi organizado em três macroetapas:

- 1) Caracterização hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral e avaliação da vulnerabilidade intrínseca;
- 2) Identificação e definição da carga contaminante potencial associada às fontes pontuais e difusas;
- 3) Avaliação do risco potencial de contaminação, combinando os produtos gerados nas duas fases anteriores.

Para a definição do método a ser aplicado em cada uma das etapas, foram consideradas as metodologias disponíveis na literatura científica sobre o tema, a disponibilidade de dados e o contexto hidrogeológico e socioeconômico no qual a área de estudo se situa.

A obtenção dos dados necessários à realização das análises se deu por meio de consultas a bancos de dados, incluindo o SIAGAS mantido pela CPRM, o cadastro de processos ambientais da FEPAM, Censos e produtos cartográficos disponibilizados pelo IBGE. Também foram obtidos dados junto a trabalhos acadêmicos realizados na região. Uma ressalva a ser realizada é que o município de Pinto Bandeira, recentemente emancipado em 2013, foi também considerado na análise, em virtude da não atualização de alguns dos bancos de dados e produtos cartográficos utilizados.

A seguir apresentar-se-á um maior detalhamento dos dados empregados e métodos utilizados no decorrer das etapas deste trabalho.

3.1. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA

Para avaliação da vulnerabilidade foi utilizado método GOD (FOSTER & HIRATA, 1988) associado ao parâmetro densidade de lineamentos, buscando levar em consideração o efeito destas estruturas que têm uma importante influência na vulnerabilidade dos aquíferos fraturados, condicionando o acesso dos contaminantes ao aquífero, bem como os processos de propagação no seu interior.

A escolha do método GOD se deu devido a sua maior simplicidade sem detrimento da qualidade dos resultados e, especialmente, em função da disponibilidade de dados na região, que limita a aplicação de métodos mais complexos. Ademais, métodos como o DRASTIC seriam menos adequados ao contexto da região, devido ao alto grau de urbanização de parcelas significativas da área de estudo que implica em grandes alterações no solo e dificultando assim a caracterização deste parâmetro. Além disso, nas cidades ocorre frequentemente a violação de algumas premissas usadas no desenvolvimento do método DRASTIC, notadamente a inserção do contaminante na superfície do terreno, que não ilustra corretamente a situação de certos contaminantes gerados na zona urbana, incluindo efluentes de fossas sépticas e compostos associados aos eventuais vazamentos em tanques subterrâneos de postos de gasolina.

Para a caracterização hidrogeológica da área de estudo e determinação dos valores relativos aos três parâmetros utilizados no método GOD: grau de confinamento do aquífero, ocorrência de estratos de cobertura e profundidade das águas subterrâneas foi necessário um conjunto de análises sobre as informações hidrogeológicas regionais existentes. Os dados necessários à execução de tais análises foram obtidos junto ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), um banco de dados mantido pela

CPRM que disponibiliza informações relativas aos pontos de captação de água. Na caracterização hidrogeológica e valoração dos parâmetros empregados no método GOD, foram considerados apenas os poços com dados de perfil geológico, nível estático e profundidade das entradas de água. Foram avaliados os poços localizados em Bento Gonçalves, bem como alguns dos poços localizados em cidades vizinhas, mas próximas dos limites com Bento Gonçalves, buscando-se obter uma melhor distribuição dos pontos e assim aprimorar a qualidade da análise.

A seguir, uma breve descrição do processo de avaliação da vulnerabilidade, incluindo a análise de densidade de lineamentos e a forma de valoração de cada parâmetro do método GOD, uma vez que este apenas sugere intervalos de valores a serem seguidos, restando ao usuário certa discricionariedade quanto a sua escolha.

3.1.1 Grau de Confinamento

O Sistema Aquífero Serra Geral é caracterizado por ser um aquífero fraturado, podendo apresentar diferentes graus de confinamento conforme a profundidade de suas águas subterrâneas e a ocorrência das fraturas, o que dificulta a caracterização deste parâmetro. Reginato & Ahlert (2013) fizeram uso do valor 0.5 para o parâmetro G em sua análise de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral na região nordeste do Rio Grande do Sul, onde Bento Gonçalves esta inserida. Já Dutra (2008), adotou o valor 0.7 para o parâmetro G no Sistema Aquífero Serra Geral ao avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas na microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira, Santa Maria, Rio Grande do Sul. Diante disto, no presente trabalho optou-se por valorar o parâmetro G em 0.6 para poços onde, com base na análise do nível estático e profundidade da primeira entrada de água descrita no SIAGAS, apresentam comportamento de aquífero livre e 0.5 nos outros casos, onde o aquífero apresenta algum grau de confinamento.

3.1.2. Estratos de cobertura

As camadas acima do aquífero têm um papel fundamental na atenuação dos contaminantes. Na presente análise, para a valoração do parâmetro estratos de cobertura (O), foram avaliadas as camadas litológicas descritas no SIAGAS e localizadas acima da primeira entrada de água nos poços considerados. Os valores foram atribuídos conforme método GOD e nos casos em que estavam presentes mais de uma litologia de cobertura, realizou-se uma ponderação baseada na profundidade relativa de cada camada.

3.1.3. Distância do nível de água

A profundidade onde estão localizadas as águas tem influência sobre o grau de acessibilidade dos contaminantes ao aquífero. Quanto mais profundo o aquífero, menor sua acessibilidade e por consequência menor a vulnerabilidade de suas águas.

Para a valoração do parâmetro distância do nível de água, considerou-se a distância até a primeira entrada de água descrita nos poços presentes no SIAGAS. De modo a obter-se uma distribuição contínua, os valores correspondentes a cada poço foram atribuídos por interpolação linear entre os limites das classes descritas no método GOD.

A escolha da profundidade da primeira entrada de água ao invés do nível estático se deve ao fato do Sistema Aquífero Serra Geral ser fraturado e de que os poços que captam água desse aquífero podem apresentar mais de uma entrada de água, o que pode causar divergências no nível de água. Ademais, escolheu-se a primeira entrada de água em detrimento das demais entradas mais profundas, pois aquela representa o ponto onde o aquífero é mais acessível a contaminantes, justamente devido a sua maior proximidade com a superfície. Entretanto, tal escolha pode implicar em uma superestimação da vulnerabilidade do aquífero.

3.1.4. Combinação dos Parâmetros

Uma vez valorados os parâmetros, realizou-se sua interpolação visando converter os dados pontuais relativos a cada poço em uma distribuição espacial contínua abrangendo toda a área do município. Entretanto, salienta-se que há limitações no procedimento de interpolação adotado na tentativa de representar a realidade física da área de estudo, especialmente por se tratar de um aquífero fraturado e de propriedades heterogêneas. Para a interpolação fez-se uso da ferramenta INTERPOL, presente no software IDRISI. O método de interpolação usado foi o inverso do quadrado da distância. Em seguida, as três cartas obtidas por interpolação, correspondentes aos parâmetros avaliados pelo método GOD, foram combinadas através da ferramenta OVERLAY-modalidade multiplicação, também presente no software IDRISI.

3.1.5. Avaliação da Densidade de Lineamentos.

Com o objetivo de melhor adequar a avaliação de vulnerabilidade ao contexto de um aquífero fraturado como o Sistema Aquífero Serra Geral, uma análise complementar ao método GOD foi realizada: a carta de vulnerabilidade resultante da aplicação do método GOD foi cruzada com uma carta de densidade de lineamentos, de modo a possibilitar a identificação de uma possível relação entre o grau de fraturamento do aquífero e o índice GOD, o que poderia indicar uma maior vulnerabilidade em certas áreas, uma vez que as fraturas são o principal meio de acesso e propagação dos contaminantes em um aquífero fraturado. De fato, o parâmetro densidade de lineamentos já foi empregado em outros trabalhos acadêmicos, incluindo Nanni et. al. (2005) que avaliou a vulnerabilidade intrínseca e risco de contaminação do Aquífero Serra Geral pela suinocultura na região das Missões, estado do Rio Grande do Sul.

Para a confecção da carta de densidade de lineamentos, fez-se uso de um trabalho previamente realizado por Reginato & Ahlert (2011), que por meio de uso de imagens de radar, identificou e caracterizou os lineamentos existentes na região nordeste do Rio Grande do Sul. Com base neste trabalho e, com o auxílio da ferramenta Linear Density presente na suíte de aplicativos ArcGis, construiu-se uma carta de densidade de lineamentos. Os parâmetros usados foram tamanhos de célula de 100 m por 100 m e raio de busca de 1 km. A carta obtida foi então cruzada com os resultados da análise do índice GOD com auxílio da ferramenta Regress presente no software Idrisi, de modo a gerar um gráfico de dispersão de ambas as variáveis e analisar a possível ocorrência de áreas com vulnerabilidade elevada e grande concentração de fraturas.

3.2. IDENTIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DA CARGA CONTAMINANTE

3.2.1. Fontes pontuais

Para a caracterização da carga contaminante potencial associada às fontes de poluição pontuais, procedeu-se, em um primeiro momento, a identificação dos empreendimentos existentes no município e criação de um banco de dados, incluindo informações como localização, porte e ramo de atividade das empresas. Para a construção de tal banco de dados, fez-se uso de informações apresentados na FEPAM, relativas aos processos de licenciamento ambiental desenvolvidos no município. De modo a reduzir o número de empreendimentos considerados e tornar o processo de análise e manipulação dos dados exequível, optou-se por eliminar os empreendimentos menores. Assim, adotou-se um critério de corte baseado no porte dos empreendimentos, conforme classificação da FEPAM variável para cada atividade. Desta maneira, foram apenas considerados os empreendimentos de portes médio, grande e excepcional. Ademais, consideraram-se todos

os empreendimentos, incluindo os com licenças vencidas, uma vez que, mesmo teoricamente não mais em funcionamento, eles ainda podem representar um passivo ambiental. Por outro lado, não se considerou empreendimentos em processo de implantação. Os empreendimentos cadastrados sofreram um processo de triagem, visando eliminar entradas duplicadas. Para a localização dos empreendimentos, fez-se uso das coordenadas geográficas disponíveis na maioria das licenças de operação. Quando ausentes as coordenadas, procedeu-se sua localização com base nos endereços informados.

Uma vez identificados e localizados os empreendimentos do município, deu-se início ao processo de definição das cargas contaminantes associadas. Para tal, fez-se uso do Método POSH, e com base no tipo de atividade descrito nos processos de licenciamento, classificou-se os empreendimentos identificados. Buscou-se avaliar todos os tipos de atividades descritas pelo método POSH, à exceção das vias com tráfego regular de produtos químicos. No caso de atividades não previstas no método POSH o processo de enquadramento se deu por analogia a atividades similares. Visando facilitar uma futura manipulação matemática dos dados, foram atribuídos valores variando entre 1, para classe reduzida e 3, para a classe elevada.

De posse das informações relativas à classificação e localização da carga contaminante associada a fontes pontuais, passou-se ao processo de construção de uma carta com sua distribuição espacial. Para facilitar as análises e melhor simular a realidade, buscou-se transformar os dados pontuais relativos à localização dos empreendimentos em uma informação espacialmente contínua. Assim, com auxílio do software IDRISI, criou-se uma zona de buffer de 250 metros no entorno dos empreendimentos avaliados de modo a agrupá-los, e interpolou-se os valores atribuídos durante a análise POSH através do método inverso do quadrado da distância no interior destas zonas de buffer. Tal procedimento foi adotado com o objetivo de possibilitar futuras manipulações matemáticas e sua

combinação com a carga contaminante difusa, de caráter contínuo por natureza, bem como aprimorar e facilitar o processo de análise, permitindo identificar zonas da cidade que apresentam uma maior concentração de empreendimentos potencialmente poluidores.

3.2.2. Fontes Difusas

Para a identificação das fontes difusas potencialmente geradoras de carga contaminante fez-se uso do mapa de uso e cobertura dos solos desenvolvido pelo IBGE (2010) para o Estado do Rio Grande do Sul em escala 1:100.000. No município de Bento Gonçalves, os principais usos identificados são lavoura permanente frutífera, uso diversificado de corpo de água continental, vegetação florestal/pastagem/lavoura diversificada e área urbanizada. de posse do mapa de usos do solo, passou-se a definição da carga contaminante potencial com base no método POSH.

No caso das áreas ocupadas por lavouras permanentes frutíferas, para a aplicação do método POSH, foram identificadas as principais culturas permanentes desenvolvidas no município, considerando os dados do IBGE relativos à produção agrícola municipal no ano de 2012, e avaliadas as características das mesmas quanto aos métodos de cultivo.

Na área urbana, a principal fonte de contaminação difusa avaliada foi o saneamento in situ. Segundo o método POSH, os dois principais parâmetros a serem analisados visando à definição de sua carga contaminante potencial são a cobertura da rede de esgoto e a densidade populacional. O cálculo da densidade populacional considerou a população urbana residente no município de acordo com o Censo de 2010 e a área correspondente à mancha urbana demarcada no mapa de usos do solo. Quanto a grau de cobertura da rede de esgotamento sanitário, também foram considerados os dados do IBGE relativos ao Censo de 2010.

Por fim, as áreas identificadas como Vegetação Florestal/Pastagem/Lavoura Diversificada e Uso Diversificado de Corpo de água Continental foram classificadas com base em uma avaliação qualitativa no software Google Earth.

De posse dos dados relativos à classificação de cada classe de uso do solo, confeccionou-se, com auxílio dos softwares Idrisi e ArcGIS, a carta com a distribuição espacial da carga contaminante potencial associadas a fontes difusas. Apenas com o objetivo de facilitar manipulações matemáticas futuras, foram atribuídos os valores 1 para áreas de carga contaminante potencial difusa de classe reduzida, 2 para moderado e 3 para elevado.

3.3. AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO

A definição de risco de contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral em Bento Gonçalves foi realizada com base na combinação dos resultados das análises de vulnerabilidade e de carga contaminante associada às cargas pontuais e difusas, as duas componentes conceituais do risco de contaminação das águas subterrâneas, conforme discutido no item 2.3.

Assim, iniciou-se pela combinação dos produtos gerados nas análises de carga contaminante potencial associada às fontes difusas e pontuais de modo a gerar uma única carta representativa da carga contaminante no município, o que foi feito pela soma dos valores atribuídos a cada classe. Ressalta-se que, Bento Gonçalves possui, em geral, áreas industriais e residenciais mistas, de tal modo que se considerou que a adição das cargas potencial difusa e pontual como um procedimento apropriado de agregação das mesmas.

Uma vez obtida a carta da carga contaminante potencial total, realizou-se sua associação com a carta correspondente ao índice GOD através de multiplicação, obtendo-

se assim o risco de contaminação na área de estudo. O procedimento matemático adotado para análise de risco neste trabalho pode ser expresso pela seguinte equação:

$$R = (C_p + C_d) * I_{GOD}$$

Onde: R = risco e contaminação

C_p = Carga Pontual definida pelo método POSH (1 a 3)

C_d = Carga Difusa definida pelo método POSH (1 a 3)

I_{GOD} = Resultado da análise de vulnerabilidade pelo Índice GOD (0 a 1)

Deste modo, obteve-se um índice de risco variável entre 0 e 6, que por sua vez foi classificado em 4 categorias conforme Tabela 3:

Tabela 3: Classes de Risco Definidas

Faixa de valores	Risco
0 à 1	Baixo
1 à 3	Moderado
3 à 5	Alto
5 à 6	Extremo

Ressalta-se que, decidiu-se por não fazer uso do parâmetro densidade de lineamentos na análise de risco de contaminação, pois os resultados não apresentaram grande correlação com o índice GOD, conforme será discutido no item 4.1.5., de modo que provavelmente não afetariam significativamente a análise de risco, e pela falta de um referencial acadêmico consolidado e amplamente aceito pela comunidade científica sobre o tema.

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE

No município de Bento Gonçalves, de acordo com consultas realizadas em outubro de 2014, foram encontrados 30 poços cadastrados no SIAGAS, dos quais 21 apresentaram o nível de detalhamento requerido à execução deste trabalho. Dentre estes poços, um captava água do Sistema Aquífero Guarani e foi desconsiderado, pois se localiza num contexto hidrogeológico totalmente diferente do Sistema Aquífero Serra Geral, alvo deste trabalho. Ademais, foram considerados também outros 11 poços de captação de água encontrados em outros municípios da região, mas nos limites com Bento Gonçalves, totalizando assim, 31 poços empregados neste trabalho (Figura 6).

Os poços avaliados são tubulares, e possuem profundidades descritas no SIAGAS variando entre 52 e 204 metros. Em relação ao nível estático nos poços, este variou entre 0 e 158,6 com média de 39,3 metros. Histogramas dos dados coletados junto ao SIAGAS relativos a entradas de água, profundidade dos poços e nível estático são apresentados na Figura 7. Um maior detalhamento dos poços empregados nas análises, incluindo coordenadas UTM, nível estático, entradas de água, código SIAGAS e profundidade pode ser encontrado no anexo 1.

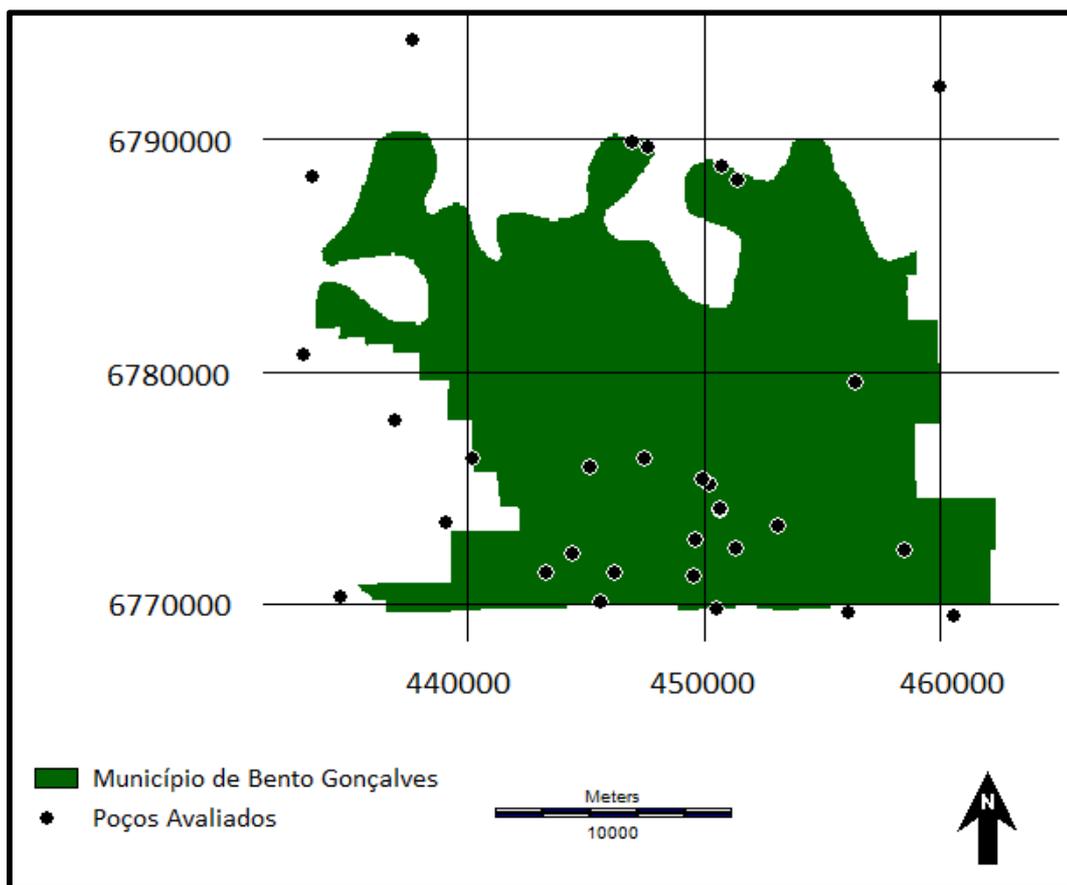


Figura 6: Poços Avaliados

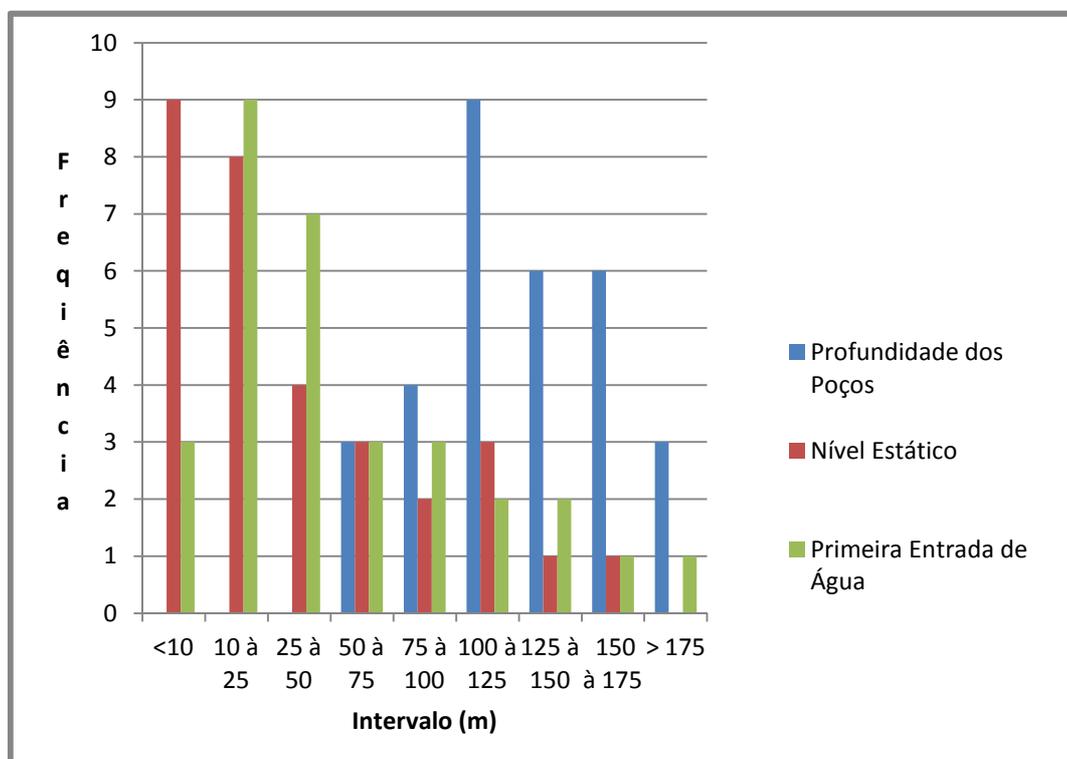


Figura 7: Histograma dos dados coletados junto ao SIAGAS

De acordo com os perfis geológicos constantes no SIAGAS, dentre os poços considerados, a litologia predominante foi o basalto e suas variações, com a presença de riolitos e riodacitos e vidro vulcânico em uma menor proporção.

Quanto aos solos, predominaram na região os argilosos, sendo também descrita a presença de regolitos, uma ocorrência de solos arenosos (poço 4300009452) e outra ocorrência de solos areno-argilosos (poço 4300009981). Uma parcela significativa dos perfis geológicos dos poços apenas descrevia a presença de solos, de um modo genérico, sem especificar seu tipo. Os solos, de um modo geral, eram pouco profundos, sendo usualmente inferiores a 5 metros (58,1%), sendo que frequentemente estavam ausentes (29,0%).

A Figura 8 apresenta os principais tipos de solo e litologias descritos para os poços da região no SIAGAS. Ressalta-se que, embora frequentemente questionáveis e não uniformizados, especialmente no que diz respeito à classificação das litologias e solos, os dados presentes no SIAGAS ainda são a melhor base de dados de domínio público existente sobre o tema.

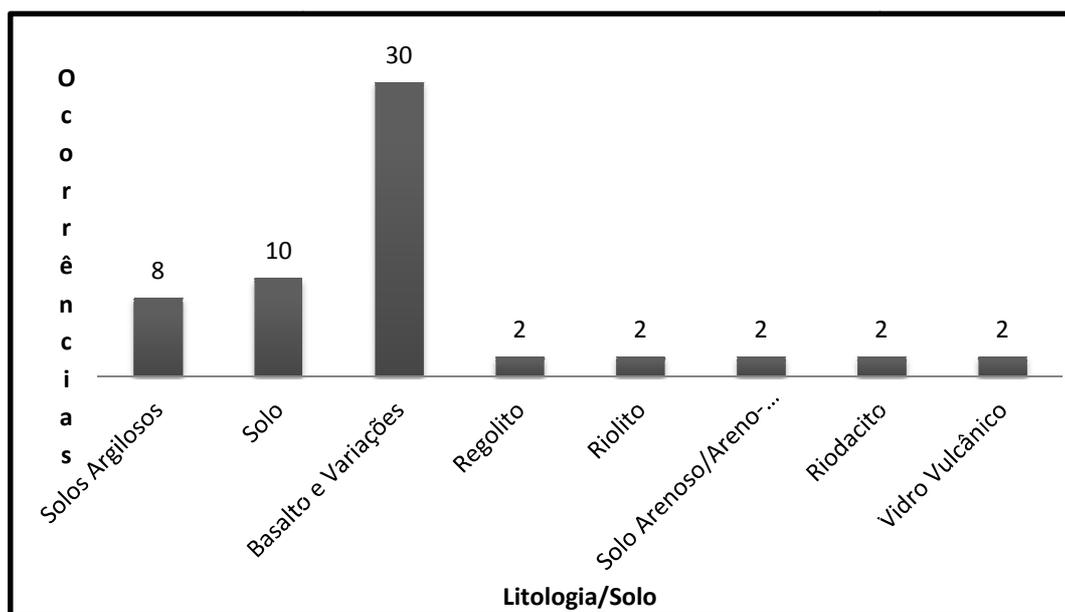


Figura 8: Solos e Litotipos descritos nos perfis geológicos dos poços

Os dados hidrogeológicos levantados no SIAGAS, foram utilizados para a valoração dos parâmetros definidos no método GOD em cada poço analisado. A Tabela 4 apresenta uma síntese dos resultados encontrados.

Tabela 4: Poços Avaliados e parâmetros associados

Poço	G	O	D
4300001734	0.5	0.65	0.85
4300001735	0.6	0.62	0.81
4300001736	0.6	0.70	0.81
4300001765	0.5	0.69	0.79
4300002043	0.6	0.47	0.87
4300002045	0.5	0.70	0.65
4300002046	0.5	0.68	0.72
4300002047	0.5	0.70	0.60
4300002048	0.5	0.65	0.85
4300006610	0.5	0.70	0.81
4300009452	0.5	0.70	0.60
4300009453	0.6	0.69	0.69
4300012479	0.6	0.69	0.60
4300017030	0.5	0.59	0.67
4300021396	0.6	0.70	0.64
4300021397	0.6	0.69	0.62
4300021686	0.5	0.68	0.74
4300021687	0.5	0.69	0.60
4300021688	0.6	0.55	0.89
4300022386	0.5	0.69	0.60
4300021282	0.5	0.67	0.60
4300010709	0.5	0.70	0.75
4300010700	0.5	0.70	0.72
4300010703	0.5	0.70	0.83
4300010704	0.5	0.70	0.79
4300010805	0.6	0.70	0.94
4300021712	0.6	0.57	0.75
4300010011	0.5	0.67	0.81
4300021456	0.5	0.68	0.76
4300009981	0.5	0.69	0.76
4300021960	0.5	0.70	0.60

A seguir, apresenta-se uma discussão mais detalhada dos resultados individuais de cada parâmetro.

4.1.1. Parâmetro G

O grau de confinamento do aquífero avalia o nível de acessibilidade das águas subterrâneas por parte dos contaminantes superficiais. Um maior confinamento, representado por valores próximos de 0, implica em menor acessibilidade e consequentemente menor vulnerabilidade. Os valores atribuídos aos poços para o parâmetro grau de confinamento do aquífero (G) variaram entre 0.6, onde o aquífero apresenta o comportamento de livre coberto, e 0.5 nos outros casos, onde o aquífero apresentou algum grau de confinamento. O valor médio atribuído aos poços foi de 0.53. A Figura 9 apresenta os resultados da interpolação do parâmetro G para a área de estudo.

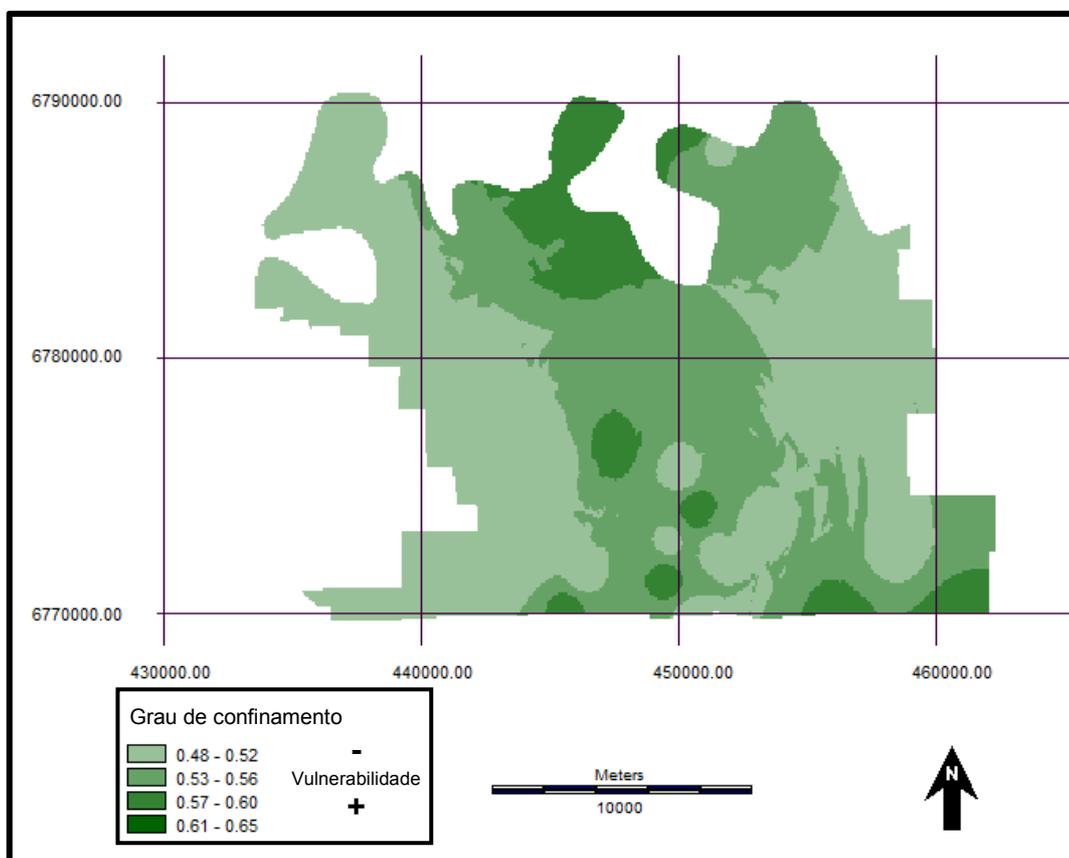


Figura 9: Carta do Parâmetro G

4.1.2. Parâmetro O

O parâmetro O, que representa os estratos de cobertura e sua capacidade de atenuação de contaminantes, foi valorado por uma média ponderada dos valores definidos pelo método GOD para as camadas localizadas acima da primeira entrada de água nos poços considerados. Valores altos, próximos de 1, implicam em menor capacidade de atenuação dos estratos de cobertura e uma consequente maior vulnerabilidade. Na área de estudo, os valores atribuídos variaram entre 0.47 e 0.7, com média 0.67. Na Figura 10, são apresentados os resultados da interpolação para o parâmetro estratos de cobertura.

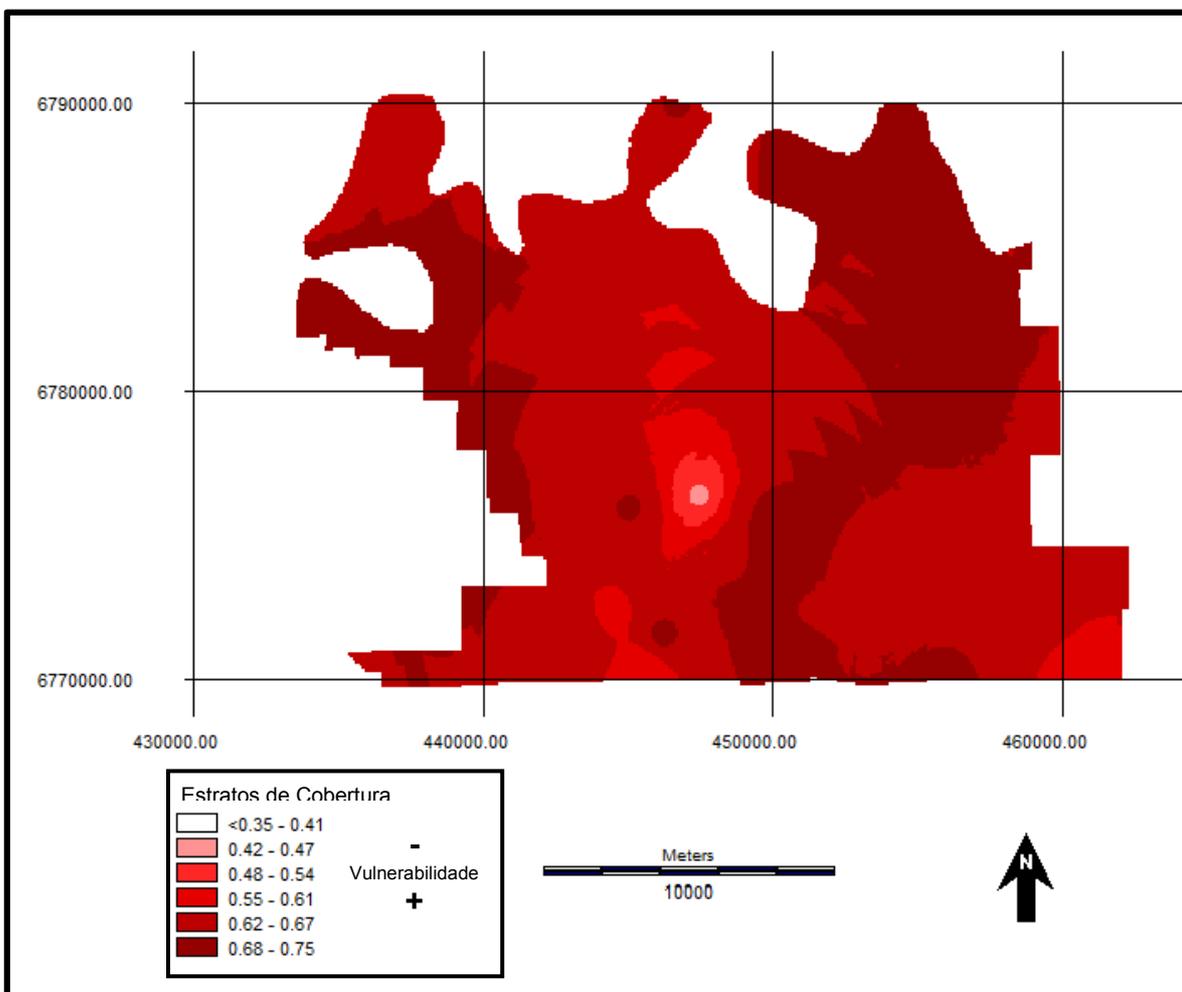


Figura 10: Carta do Parâmetro O

4.1.3. Parâmetro D

O parâmetro D, que representa a profundidade das águas subterrâneas estando diretamente ligado ao grau de acessibilidade do sistema aquífero aos contaminantes, foi valorado conforme a distância entre o solo e a primeira entrada de água descrita no SIAGAS. Os poços possuíam a primeira entrada de água variando entre 3 e 194 metros, recebendo, respectivamente, valores oscilando entre 0.94 e 0.6 para o parâmetro D, com média 0.73. A Figura 11 apresenta os resultados para o parâmetro profundidade das águas subterrâneas.

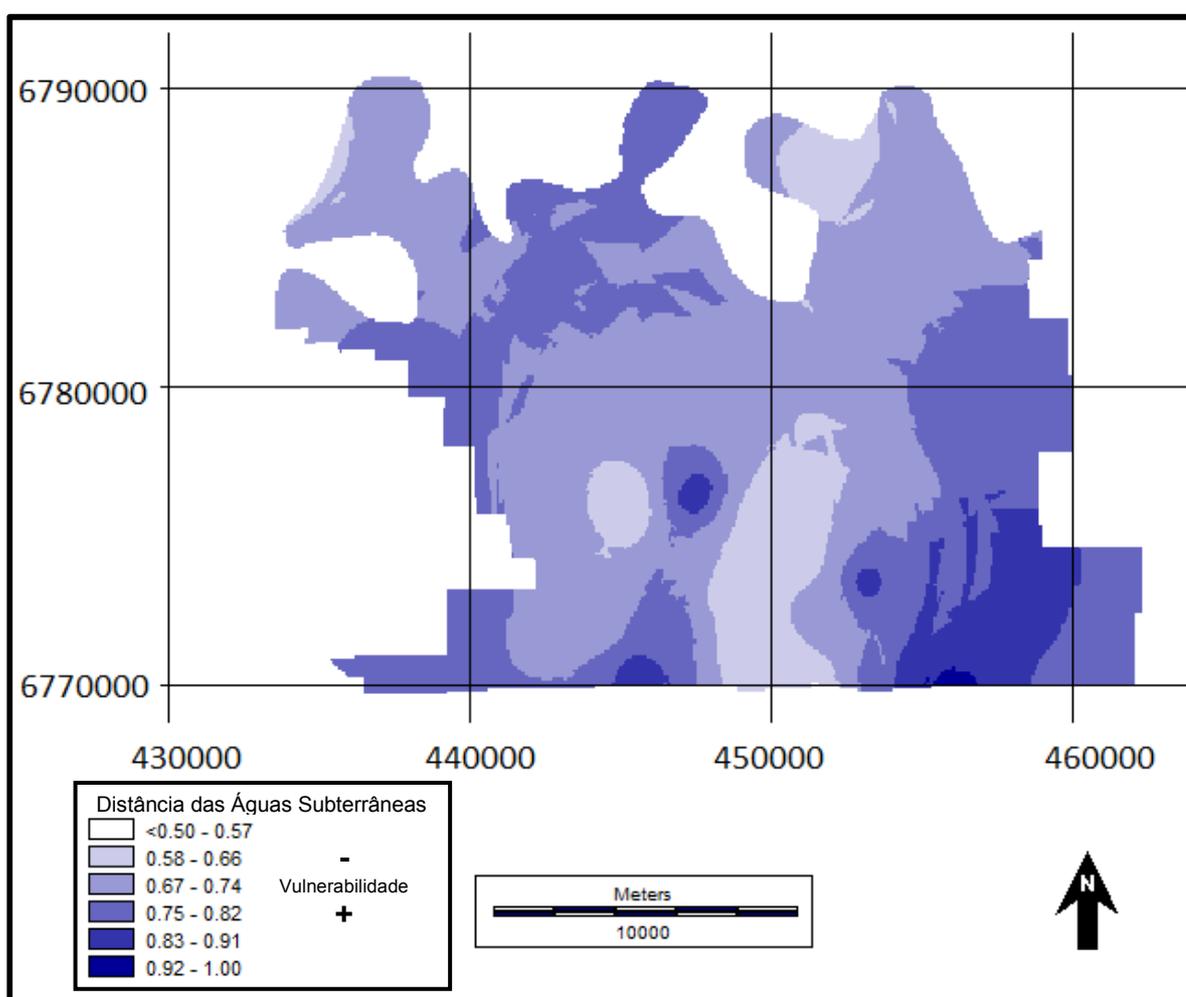


Figura 11: Carta do Parâmetro D

4.1.4. Vulnerabilidade Intrínseca – Método GOD

Da combinação dos três parâmetros avaliados obteve-se a carta de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral para o município de Bento Gonçalves. Na área de estudo, predominou a classe de vulnerabilidade baixa (95.8%) seguida pela classe média de vulnerabilidade (4.2%). Outras classes não foram encontradas. Abaixo, na Figura 12, apresenta-se o resultado final da análise de vulnerabilidade segundo o método GOD:

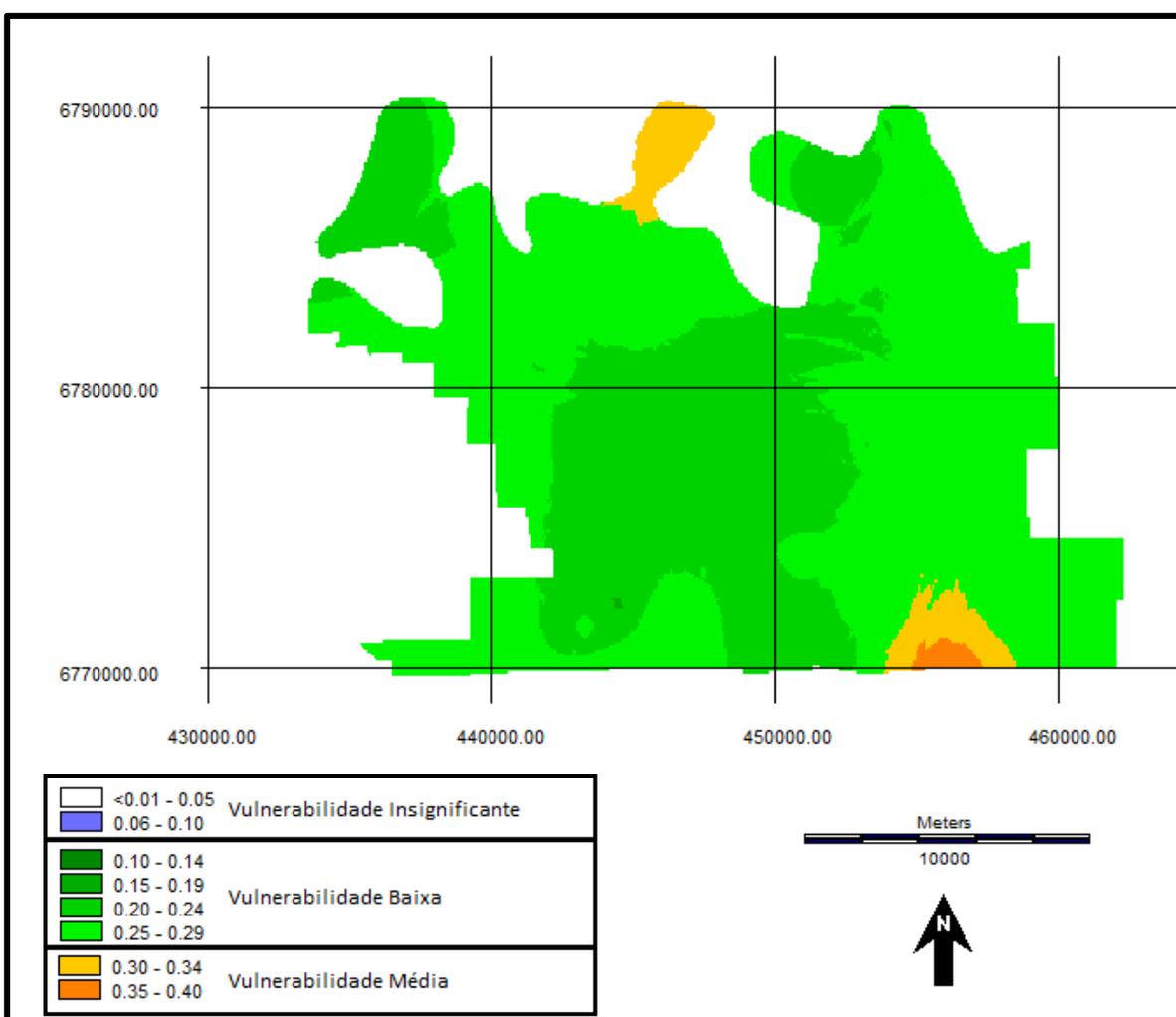


Figura 12: Carta Resultante do Método GOD

A Figura 13 apresenta o histograma dos resultados da análise de vulnerabilidade segundo o método GOD para o município de Bento Gonçalves. Os valores do índice GOD variaram entre 0.198 e 0.391, com média 0.259. De um modo geral, a região central do município, que inclui a mancha urbana, apresentou valores baixos de vulnerabilidade, enquanto valores um pouco mais elevados, mas ainda enquadrados na categoria média pelo método GOD, foram encontrados na porção sudeste do município, em especial no entorno do poço 4300010805, cujo índice GOD correspondente é de 0.395, e no extremo norte do município, no entorno dos poços 4300001736 (índice de 0.341) e 4300001735 (índice de 0.301).

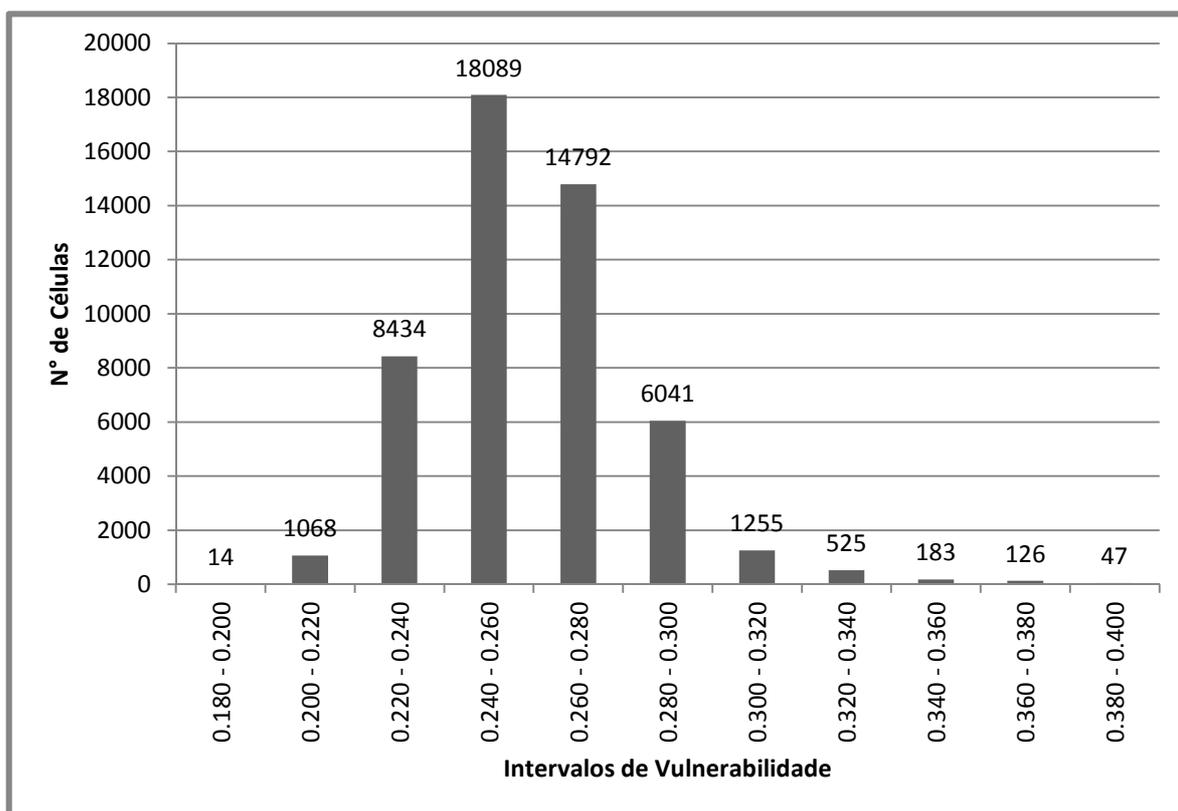


Figura 13: Histograma de Vulnerabilidade - GOD

Os resultados obtidos no presente trabalho foram razoavelmente compatíveis com os apresentados em outros trabalhos acadêmicos já desenvolvidos na região. Reginato & Ahlert (2013), por exemplo, analisaram por meio dos métodos GOD e DRASTIC, a vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, da qual Bento Gonçalves faz parte. Segundo o método GOD, os autores identificaram na região a predominância da classe de vulnerabilidade baixa (79,1%), seguida da classe moderada (20,9%). Outras classes de vulnerabilidade não foram identificadas. Já com o método DRASTIC os resultados indicaram a existência das classes de vulnerabilidade intermediária (54,1%), baixa (45,6%) e alta (3,3%).

4.1.5. Densidade de Lineamentos

Em um segundo momento, procedeu-se a análise da densidade de lineamentos, parâmetro não avaliado no método GOD, mas efetuada de modo a representar o importante papel desta variável no processo de contaminação de um aquífero fraturado. A densidade de lineamentos resultante, no município de Bento Gonçalves, variou entre 0.72 km/km² e 2.53 km/km², com média 1.53 km/km² (Figura 14).

Na análise da densidade de lineamentos buscou-se identificar a possível ocorrência de áreas onde a concentração de fraturas no aquífero e o índice GOD do aquífero são elevadas, o que poderia indicar a existência de regiões ainda mais vulneráveis, uma vez que as fraturas poderiam atuar como pontos de entrada e transmissão dos contaminantes no aquífero, contribuindo para o aumento da vulnerabilidade. Ressalta-se, porém, que mesmo áreas com baixo índice GOD podem ter sua vulnerabilidade significativamente aumentada por uma alta densidade de lineamentos, o que poderia ser melhor avaliado pela parametrização da variável densidade de lineamentos e sua incorporação ao método de análise. Entretanto optou-se por não adotar tal procedimento em virtude da dificuldade em

definir a importância efetiva desta variável na vulnerabilidade de aquíferos. Assim, o objetivo da presente análise foi apenas identificar e aprofundar as discussões sobre as áreas mais críticas segundo o índice GOD e a densidade de lineamentos.

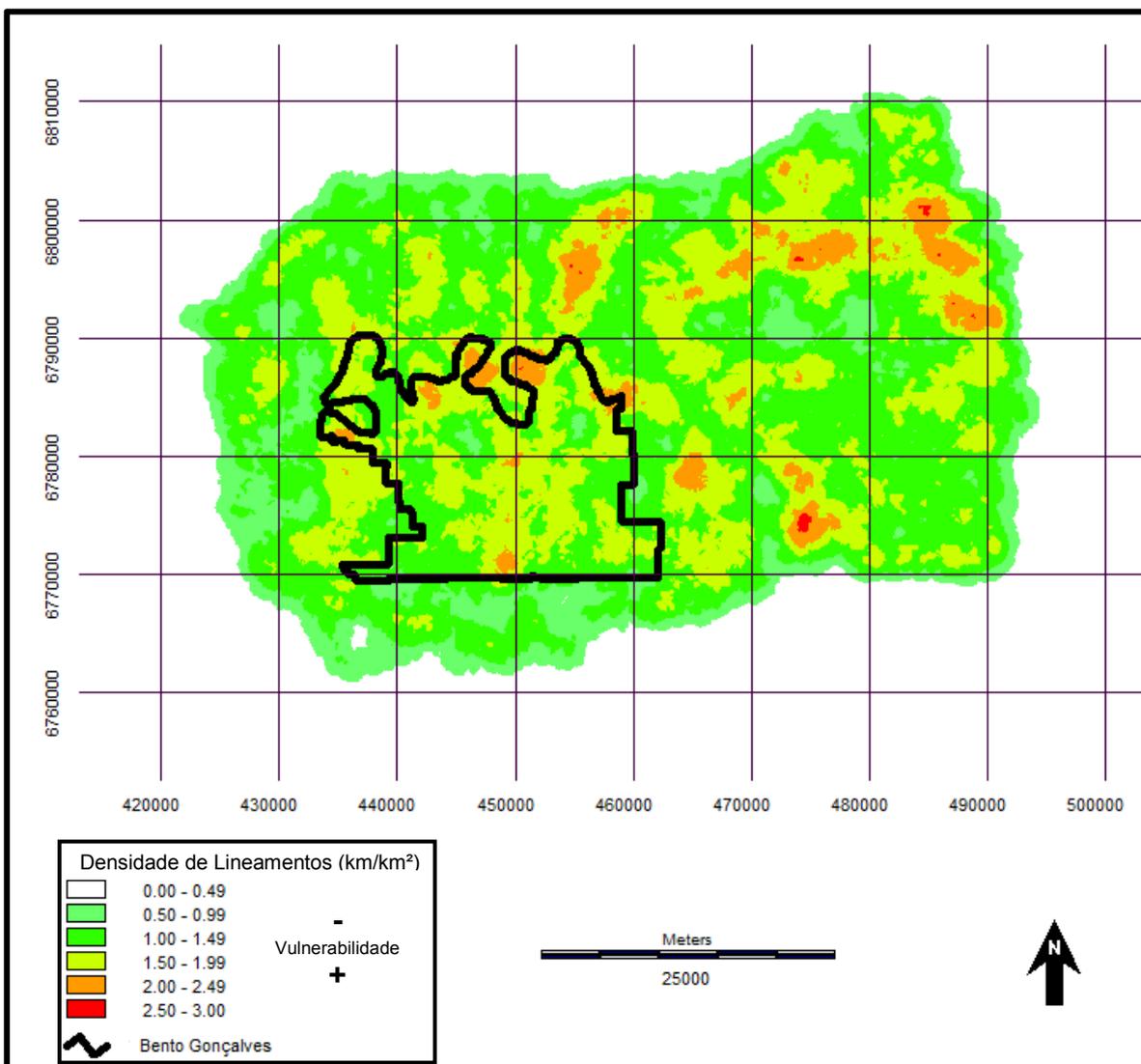


Figura 14: Densidade de Lineamentos

Para a análise de densidade de lineamentos, foi gerado um gráfico de dispersão das duas variáveis (Figura 15). Como se pode observar, há baixa correlação entre o índice GOD e a densidade de lineamentos. De fato, ao analisar as cartas e o gráfico de dispersão gerado conjuntamente, percebe-se que as áreas de maior vulnerabilidade segundo o índice GOD apresentam, de um modo geral, densidades de lineamentos relativamente baixas, à exceção da porção extrema norte do município, no entorno dos poços 4300001736 (índice

GOD de 0.341) e 4300001735 (índice GOD de 0.301), ambos pertencentes ao Ministério do Exército, e onde as densidades de lineamento podem chegar perto de 2.5 km/km², dentre as mais altas encontradas em Bento Gonçalves e na própria região nordeste do estado. Entretanto, ressalta-se que tal área é ocupada essencialmente por mata ciliar do Rio das Antas, e embora se possa identificar algumas pequenas propriedades, não foram encontradas, com base nos dados da FEPAM, fontes de contaminação pontuais relevantes. De qualquer modo, mesmo não havendo cargas contaminantes significativas, a região merece maiores investigações, especialmente na eventual instalação de novos empreendimentos.

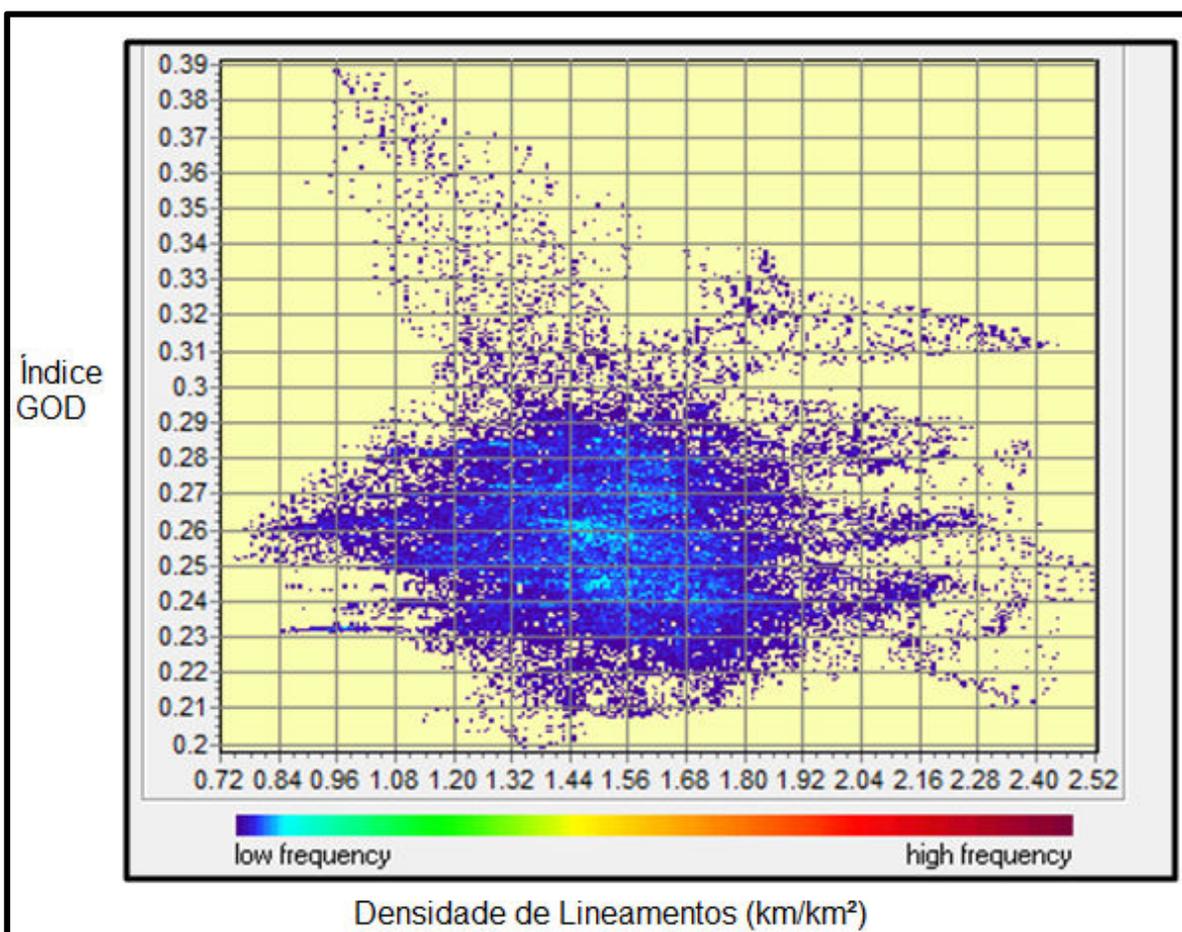


Figura 15: Gráfico de Dispersão da Análise de Lineamentos

4.2. CARGA CONTAMINANTE POTENCIAL

4.2.1. Carga Pontual

Dentre os empreendimentos cadastrados na FEPAM para o município de Bento Gonçalves, foram encontrados 199 empreendimentos enquadrados nos portes médio ou superior. De um modo geral, predominaram atividades classificadas como possuidoras de carga contaminante potencial reduzida segundo o método POSH, notadamente indústrias de bebidas e moveleiras/madeira. Também foram encontradas diversas indústrias do tipo metalúrgicas e mecânicas (carga potencial elevada) e postos de combustíveis e transportadoras (carga potencial moderada). A Tabela 5 sintetiza os resultados obtidos:

Tabela 5: Empreendimentos Avaliados na análise de Carga Contaminante Potencial Pontual

Atividade	Nº de estabelecimentos			Carga Contaminante Potencial
	Médio	Grande	Excepcional	
Alimentos	4		1	Reduzida
Bebidas	14	6	1	Reduzida
Cemitério	1			Reduzida
Gráfica	1			Reduzida
Materiais não Metálicos	3	1		Reduzida
Móveis e Madeira	53	13	4	Reduzida
Transportadoras e Postos de Gasolina	32	4	1	Moderada
Processamento/Aterro/Triagem de Resíduo Classe II A	5	3	1	Moderada
Papel e Celulose	1	1		Moderada
Borracha, Artefatos de Couro e Calçado (sem curtimento)	5	3		Moderada

Pedreiras	2			Moderada
ETE	1			Moderada
Coleta/Armazenamento/Transporte /Destinação Embalagens de Óleo e Lubrificantes			1	Elevada
Metalúrgicas e Mecânicas e Revestimentos Metálicos	22	5		Elevada
Plásticos	6	2		Elevada
Eletrônica	2			

A figura 16 apresenta a distribuição dos empreendimentos avaliados. A carga contaminante potencial pontual se concentrou majoritariamente na zona urbana e ao longo das rodovias RST 470 e RST 444 e RST 453. Os bairros onde se identificou uma maior concentração de cargas contaminantes pontuais são Maria Goretti, Licorsul, Pomarosa, Botafogo, Cidade Alta, Juventude da Enologia, Progresso e Vila Nova. No anexo 2, é apresentado uma carta com a distribuição dos bairros do município.

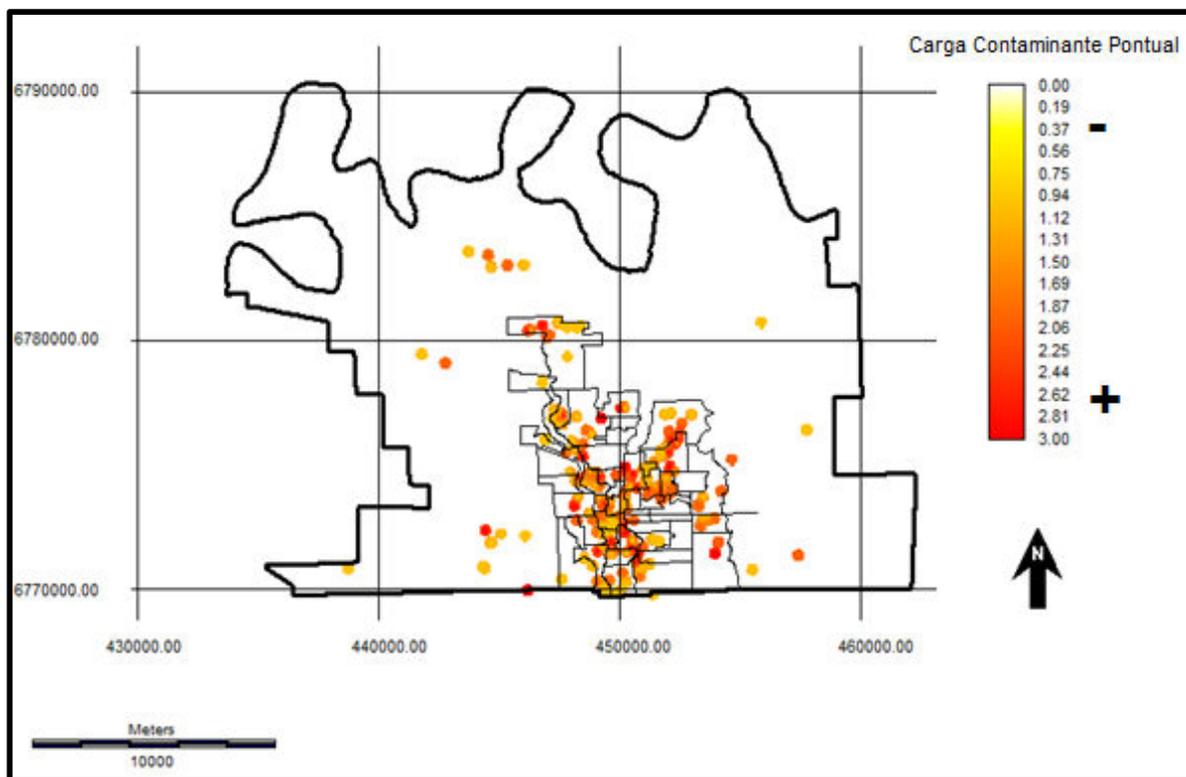


Figura 16: Distribuição dos empreendimentos avaliados e carga contaminante associada

4.2.2. Fontes Difusas

As fontes de contaminação difusa foram classificadas com base no método POSH. Os principais usos de solo identificados no município de Bento Gonçalves, assim como suas respectivas áreas de coberturas e carga contaminante potencial são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Usos do Solo em Bento Gonçalves

Uso do Solo	Área Relativa	Categoria POSH
Lavouras permanentes frutíferas	33.1%	Moderado
Vegetação Florestal/Pastagem/Lavoura diversificada	59.8%	Reduzido
Uso diversificado de corpo de água continental	1.2%	Reduzido
Mancha Urbana	5.9%	Moderado

Na zona urbana a principal fonte difusa de contaminação considerada foi o saneamento in situ, avaliada, segundo o método POSH, com base em dois critérios: a densidade demográfica e a cobertura da rede de coleta de esgoto sanitário. O município de Bento Gonçalves apresenta uma mancha urbana com área de 22,5 km² e com base nos dados do IBGE (2010), a população urbana residente é de 99.069 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 4396 hab/km². Ainda, a cobertura do sistema de esgotamento sanitário no município é de 47 % (Figura 17). De posse destas informações, a zona urbana foi classificada como pertencente à categoria de carga contaminante moderada, segundo o método POSH.

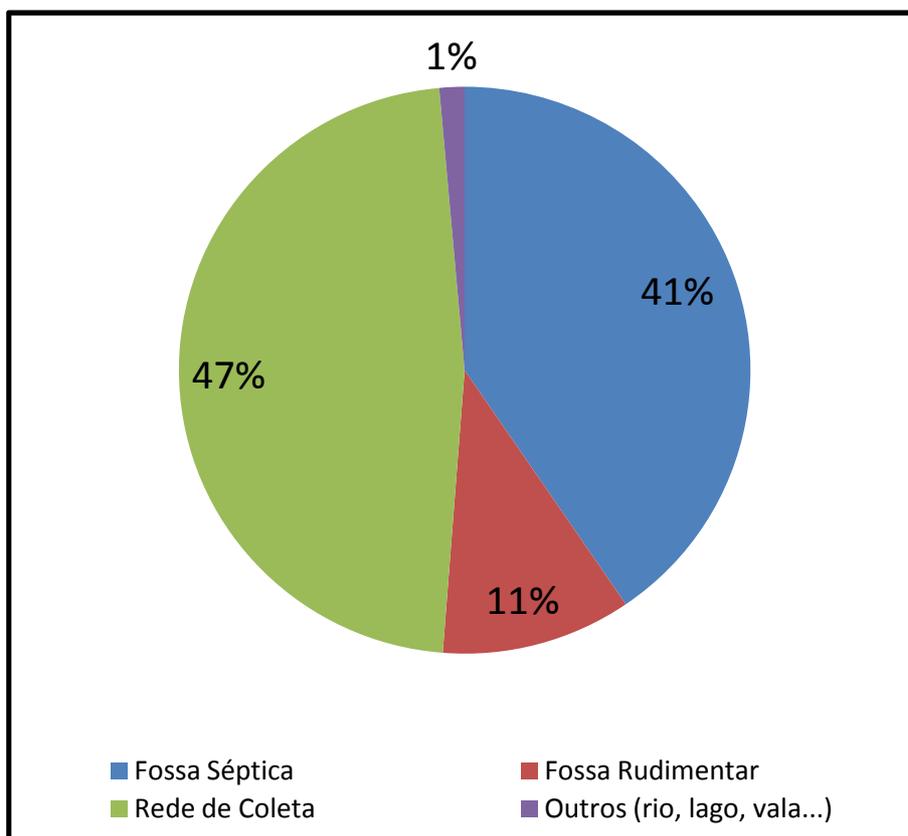


Figura 17: Bento Gonalves - Destinao dos Efluentes Sanitários

Fonte: IBGE, 2010

No caso das áreas ocupadas por lavouras permanentes frutíferas, com base nos dados do IBGE relativos à produo agrícola municipal (2012), os principais cultivos permanentes identificados foram p essego e uvas. Considerando as peculiaridades destes cultivos no município caracterizados por pequenas propriedades, perenidade, uso de agroquímicos e baixo emprego de irrigao, a carga contaminante associada a este uso do solo foi enquadrado como pertencente à categoria moderada pelo método POSH.

Quanto às áreas ocupadas pelas classes definidas como vegetao florestal/pastagem/lavoura diversificada, por meio da análise qualitativa realizada pelo software Google Earth, identificou-se a grande predominância de formaes florestais fechadas e, em menor proporo, pequenas propriedades e campos. Deste modo, a categoria de carga contaminante potencial reduzida foi considerada adequada. Em relao

à categoria de uso diversificado de corpo de água continental, verificou-se sua associação ao Rio das Antas, o principal rio do município, cujas margens são predominantemente ocupadas por mata ciliar. Novamente a categoria de risco reduzida foi considerada adequada. Os resultados da análise da carga contaminante potencial associada a fontes difusas são apresentados na Figura 18. A categoria POSH predominante foi a Reduzida (61%) seguida pela Moderada (39%).

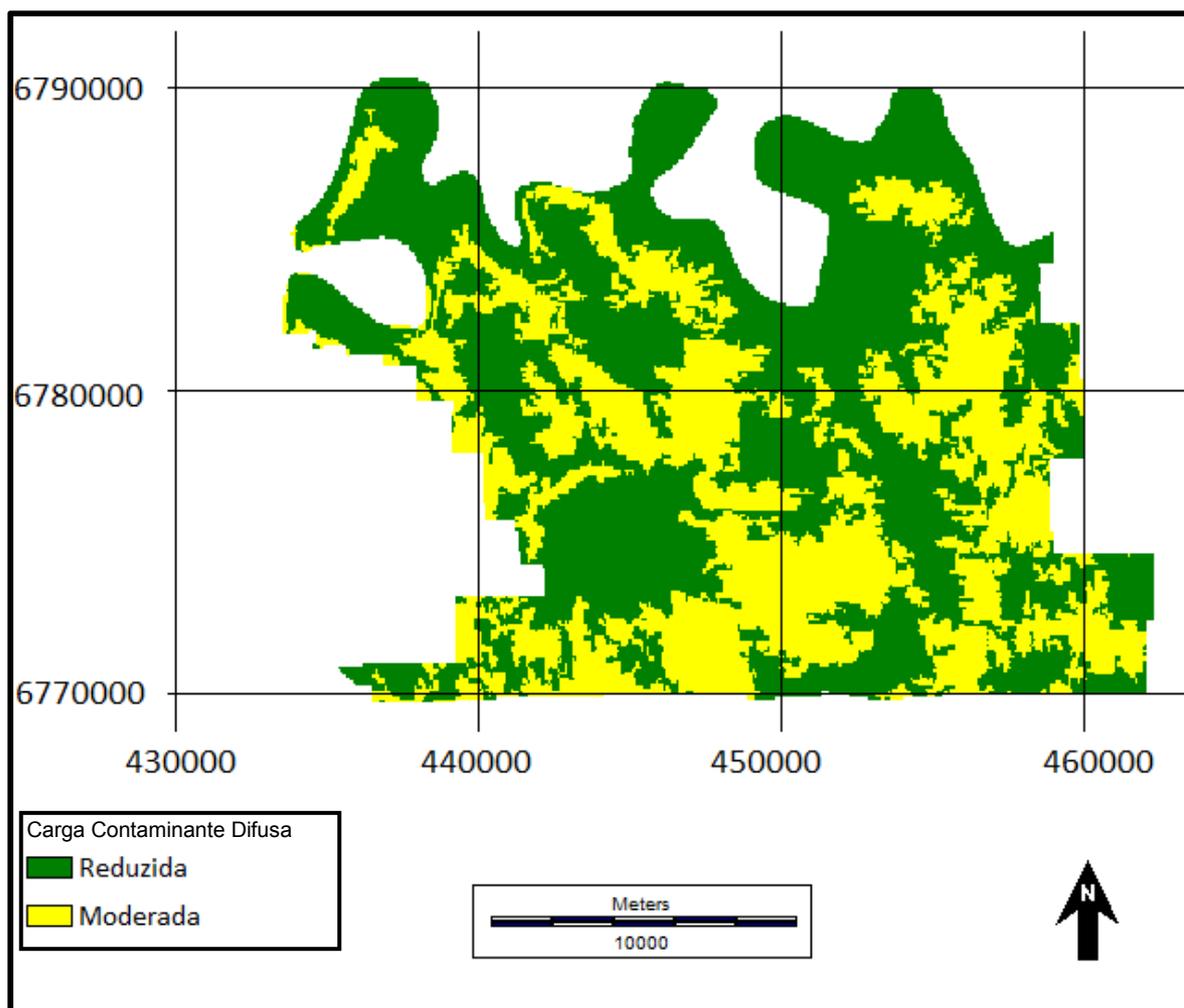


Figura 18: Carga Contaminante Potencial Difusa em Bento Gonçalves

4.2.3. Carga Contaminante Potencial Total

A combinação das cargas contaminantes associadas a fontes pontuais e difusas foi realizada via adição das cartas correspondentes. A Figura 19 apresenta os resultados deste procedimento.



Figura 19: Carga contaminante Potencial total em Bento Gonçalves

4.3. ANÁLISE DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO

Os produtos das análises de vulnerabilidade, segundo o método GOD, e de carga contaminante potencial, segundo o método POSH, foram combinados via multiplicação simples, gerando como produto a carta do risco de contaminação do SASG no município de Bento Gonçalves (Figura 20), posteriormente classificada em quatro categorias de acordo com o risco de contaminação correspondente.

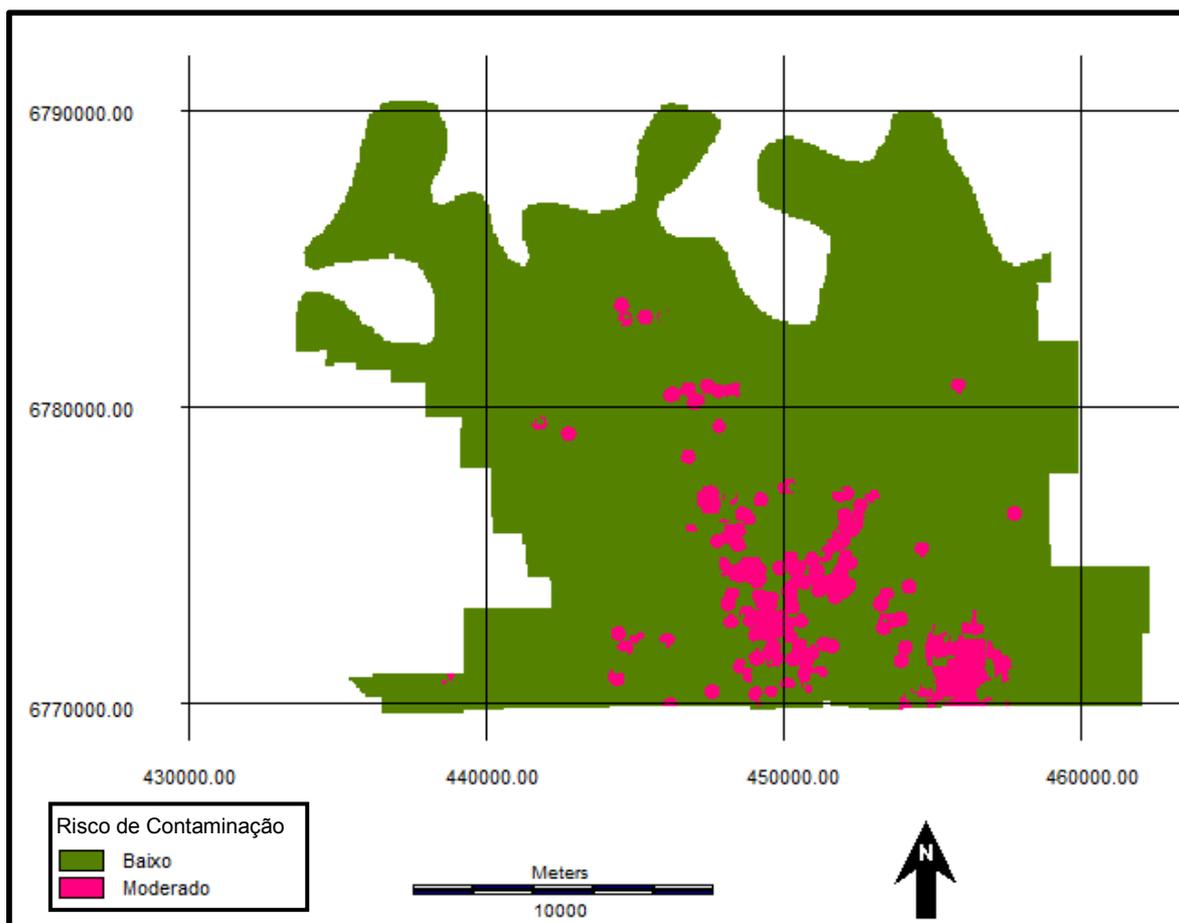


Figura 20: Risco de Contaminação do SASG em Bento Gonçalves

O risco de contaminação das águas subterrâneas encontrado na presente análise variou entre 0.203 e 1.443, com média 0.387. Assim sendo, o risco de contaminação do SASG em Bento Gonçalves foi classificado como baixo na maior parte da área de município (93,3%) atingindo apenas em algumas porções do município a categoria de risco moderado (6,7%). Tais resultados são devidos, sobretudo, aos índices de vulnerabilidade baixos encontrados segundo o método GOD. Entretanto, salienta-se que a heterogeneidade característica do SASG na região e a presença de fraturas podem levar a subestimação da vulnerabilidade.

Os valores mais elevados de risco de contaminação potencial estão concentrados nos bairros Botafogo, Juventude da Enologia, Licorsul, Pomarosa e Vila Nova, sendo também encontrados pontualmente em outras partes da cidade. No entorno do poço

4300010805, existe também uma área de risco de contaminação potencial moderado, justificada pela maior vulnerabilidade intrínseca do SASG nesta porção do município.

Quanto à densidade de lineamentos, as áreas sujeitas ao risco de contaminação moderado ficaram, em sua maioria, em porções do município cujas densidades variaram 1,5 e 2 km/ km², valores medianos dentro da área de estudo. Os pontos de maior densidade de lineamentos se encontraram na zona rural do município, não possuindo significativas cargas contaminantes potenciais pontuais associadas. A única exceção é o bairro Verona, no extremo sul do município, que possui porções de seu território com densidades de lineamentos oscilando entre 2 e 2,5 km/km² e, embora pouco urbanizado, possui alguns empreendimentos industriais implantados, merecendo assim uma maior atenção.

A Figura 21 apresenta o histograma dos resultados das análises de risco de contaminação. Uma vez que a vulnerabilidade não teve uma grande variabilidade espacial, apresentando valores baixos na maior parte da área do município, foi a carga contaminante potencial a maior responsável pela variabilidade do risco de contaminação no município. De fato, analisando-se conjuntamente o histograma e produtos cartográficos gerados, identificam-se claramente duas curvas relativamente gaussianas no histograma das análises do risco de contaminação: a primeira gaussiana está associada às áreas ocupadas por usos diversificados do solo que corresponde essencialmente a florestas e pequenas propriedades de reduzida carga contaminante difusa e que de um modo geral não apresentam cargas contaminantes potenciais pontuais. A segunda gaussiana corresponde às áreas ocupadas pela mancha urbana e lavouras temporárias, que além de possuir uma carga contaminante difusa moderada, apresenta uma maior concentração de cargas contaminantes potenciais pontuais.

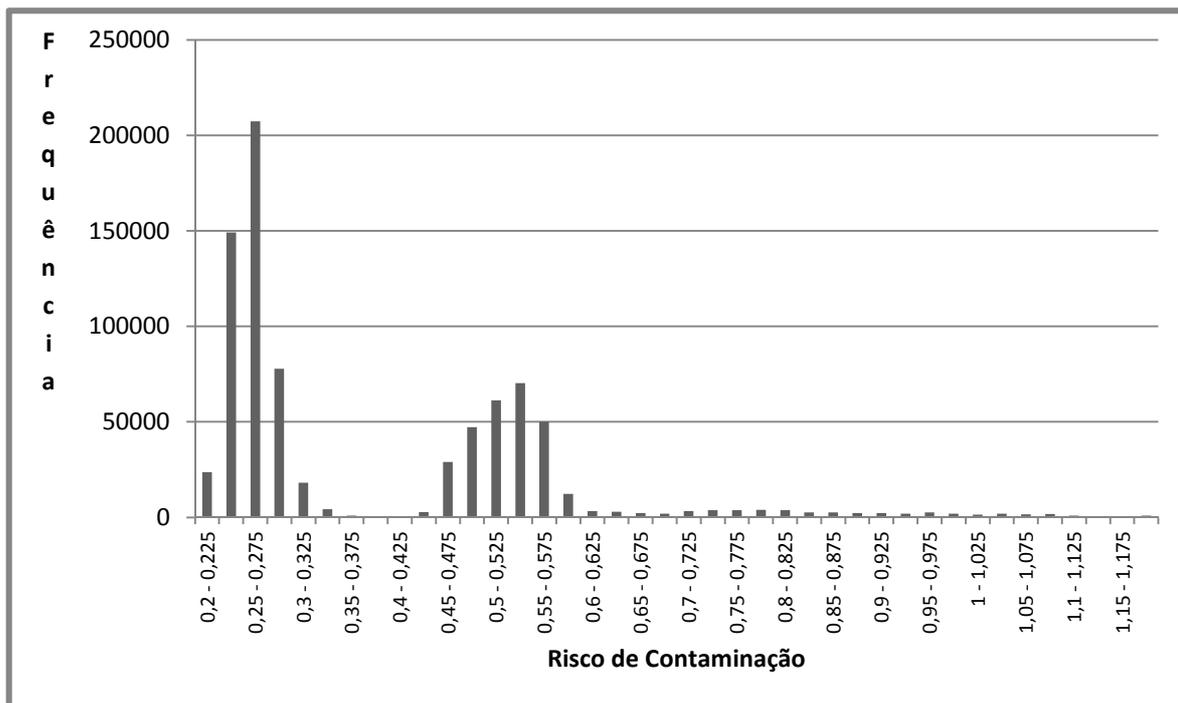


Figura 21: Histograma do Risco de Contaminação

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar o risco de contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral do município de Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, fazendo uso de algumas das metodologias consolidadas na literatura científica como os métodos POSH e 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. Quanto às cargas contaminantes difusas, identificou-se na região a ocorrência de zonas de carga potencial variando entre reduzida a moderada. Na análise das fontes potenciais pontuais predominaram, dentre os empreendimentos avaliados, atividades de reduzida carga contaminante, especialmente indústrias moveleiras e de bebidas, ainda que tenham sido identificados diversos postos de gasolina e indústrias metal-mecânicas possuidoras, respectivamente, de carga contaminante potencial moderada e elevada, segundo o método POSH.

No que diz respeito ao risco definido com base na combinação dos resultados das análises de vulnerabilidade do SASG e carga contaminante potencial, identificou-se, de um modo geral, um baixo risco de contaminação das águas subterrâneas do município, mas salienta-se que tal resultado não deve ser interpretado como absoluto, devido a limitações deste trabalho e mesmo devido ao contexto hidrogeológico da região, uma vez que trata-se de um aquífero basáltico, com grande heterogeneidade e onde fraturas podem proporcionar um meio preferencial para a entrada e transmissão de contaminantes, mesmo em uma área de menor vulnerabilidade.

Quanto às limitações deste trabalho, algumas se dão em função da disponibilidade de dados, como o número de poços e qualidade dos perfis geológicos. Outras limitações

decorrem da necessidade de realizar-se simplificações de modo a tornar o processo de análise exequível diante dos recursos disponíveis.

De qualquer modo, espera-se que o presente trabalho contribua para o aumento do nível de conhecimento existente sobre as águas subterrâneas do município de Bento Gonçalves, subsidiando futuros trabalhos mais profundos sobre o tema e, eventualmente, suportando a tomada de decisão em atividades de prevenção da contaminação da água subterrânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.; HA-CKETT, G. **DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings**. US E.P.A. – EPA/600/2-87/035, 1987.

CIVITA, M.; DE MAIO, M. **SINTACS Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, Metodologia e automazione**. Pitagora Ed., Bologna, 1997.

CPRM, **Carta Geológica do Estado do Rio Grande do Sul**, 2008.

CPRM, **Portal SIAGAS**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 14 out. 2014.

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

DUTRA, D.A. **Plano de proteção de aquíferos a partir de variáveis ambientais**. 2005. 113 p. Dissertação (Mestrado Geomática). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

FEPAM, Sistema de consultas aos processos de licenciamento ambiental. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/Area1/default.asp>. Acesso em: 25 out. 2014.

FILIPETTO, L. M. **A Educação Ambiental como forma de desenvolver a cidadania: investigação sobre a percepção ambiental dos estudantes do curso Técnico em Enologia do IFRS – Bento Gonçalves (RS)**. 2010. 93 p. Dissertação (Mestrado em Educação Agrícola). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2010.

FLORES, C.A.F.; POTTER, R.O.; FASOLO, P.J.; HASENACK, H.; WEBER, E. **Levantamento Semi detalhado dos solo: Região da Serra Gaúcha – Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre; editor da UFRGS, no prelo.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/ Banco Mundial, 2006.

FOSTER, S. S. D. e R. Hirata. 1988. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHOPAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru.

HIRATA, R. C. A. 2001. I Seminario - Taller: **Protección de Acuíferos frente a la contaminación, Toluca, Mexico**. 2001. Disponível em: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/Hirata.html>. Acesso em: 13 nov. 2014

IBGE, **Censo Demográfico 2010**. Disponível em:
<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430210&search=||info%EF5es-completas>. Acesso em: 15 nov.2014

IBGE, **Produção Agrícola Municipal - 2012**. Disponível em:
<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430210&search=||info%EF5es-completas>. Acesso em: 15 nov. 2014

IBGE, **Produto Interno Bruto dos Municípios – 2011**. Disponível em:
<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=430210&idtema=125&search=rio-grande-do-sul|bento-goncalves|produto-interno-bruto-dos-municipios-2011>. Acesso em: 29 nov. 2014

IBGE, **Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:100.000 Disponível em:
ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/uso_da_terra/cartas_escalas_100mil/RS/. Acesso em: 15 nov. 2014

MACHADO, J. L.; FREITAS, M. A. de. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: Escala 1:750.000, relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005. 1 CD-ROM.

MEIRA, J. C. R.; CAMPOS, A. B.; PEREIRA, L. C. Avaliação Da Vulnerabilidade, Risco E Perigo À Contaminação De Zona De Recarga Do Aquífero Guarani Com Aplicação Dos Métodos God E Posh. **Revista Águas Subterrâneas**, 28(1): 31-46, 2014.

MONTERO, R. C.; PEIXOTO, A. S. P. Vulnerabilidade E Perigo De Contaminação Dos Aquíferos No Alto Aguapeí E Alto Peixe, Sp. **Revista Ciência & Engenharia**, 22(1): 115-124, 2013.

MORRIS, B L, LAWRENCE, A R L, CHILTON, P J C, ADAMS, B, CALOW R C AND KLINCK, B A. (2003). **Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management**. Early Warning and Assessment Report Series, RS. 03-3. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

NANNI, A. S.; TEDESCO, M. A.; FREITAS, M. A.; BINOT-TO, R. B. **Vulnerabilidade e Risco de Contaminação do Aquífero Serra Geral pela Suinocultura na região das Missões, RS**. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. João Pessoa, Anais, 2005.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Groundwater vulnerability assessment: contamination potential under conditions of uncertainty**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1993.

PAEZ, G. **Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en el Valle del Cauca**. Informe Ejecutivo. Corpo Regional del Valle del Cauca. Cauca, Colômbia, 1999.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S. **Uso de imagens de radar na identificação de lineamentos e caracterização de aquíferos fraturados associados à formação Serra**

Geral, na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, Anais. 2011.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S. Vulnerabilidade do sistema aquífero Serra Geral na região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Águas Subterrâneas.** ABAS. São Paulo, 27(2): 32-46, 2013.

REGINATO, P. A. R.; SCHNEIDER, V. E.; AHLERT, S. Caracterização hidroquímica do sistema aquífero Serra Geral na região Nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Águas Subterrâneas.** ABAS. São Paulo. 27(1): 65-78, 2013.

SORICHETTA, A. **Groundwater vulnerability assessment using statistical methods.** Tese de doutorado. 2011. 149P. UNIVERSITA DEGLI STUDI DI MILANO, Milão, 2011.

VALLADARES, G. S.; LUZ, N. B. **Levantamento pedológico do Campo Experimental da Embrapa Uva e Vinho em Bento Gonçalves.** Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Campinas, 2005.

ANEXO I – POÇOS EMPREGADOS NAS ANÁLISES

Poço	UTM sul	UTM Leste	Nível Estático	Profundidade Final	Primeira Entrada de Água
4300001734	6773534	453136	2.5	66.0	12.0
4300001735	6789775	447600	54.5	112.0	18.0
4300001736	6789973	446979	29.2	69.0	18.0
4300001765	6779675	456400	10.1	150.0	24.0
4300002043	6776450	447500	14.0	93.0	9.0
4300002045	6775350	450250	18.3	132.0	73.0
4300002046	6772570	451375	0.0	100.0	45.0
4300002047	6775575	449950	85.9	150.0	108.0
4300002048	6772500	458475	0.0	102.0	13.0
4300006610	6771568	446251	1.8	90.0	18.0
4300009452	6769969	450507	83.8	180.0	127.0
4300009453	6788950	450750	61.6	106.0	56.0
4300012479	6771391	449545	120.0	145.0	120.0
4300017030	6772333	444437	34.2	120.0	65.0
4300021396	6774244	450635	138.2	160.0	82.0
4300021397	6774299	450693	110.9	120.0	90.0
4300021686	6771562	443333	3.7	52.0	38.0
4300021687	6772934	449655	52.0	187.0	157.0
4300021688	6770274	445599	6.0	80.0	6.0
4300022386	6776079	445146	121.9	170.0	125.0
4300021282	6788487	433435	44.2	94.0	82.0
4300010709	6776455	440213	21.4	174.0	34.0
4300010700	6780891	433052	14.6	126.0	43.0
4300010703	6778048	436915	11.5	132.0	15.0
4300010704	6773728	439128	5.9	150.0	23.0
4300010805	6769818	456113	15.0	100.0	3.0
4300021712	6769729	460548	33.9	114.0	35.0
4300010011	6770511	434644	4.0	130.0	18.0
4300021456	6794359	437703	1.5	100.0	32.0
4300009981	6792367	459946	16.4	138.0	32.0
4300021960	6788369	451377	158.6	204.0	194.0

ANEXO II – BAIROS DE BENTO GONÇALVES

