



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GEOLOGIA

GERÔNIMO TAVARES CASSALI IOP

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO POTENCIAL DE
CONTAMINAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE
VENÂNCIO AIRES - RS**

Porto Alegre – Rio Grande do Sul

2019

GERÔNIMO TAVARES CASSALI IOP

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO POTENCIAL DE
CONTAMINAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE
VENÂNCIO AIRES - RS**

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

Orientadores:

Prof. Dr. Pedro Antônio Roehe Reginato

Prof^a. Dr^a Maria Luiza Correa da Câmara Rosa

Porto Alegre – Rio Grande do Sul

2019

CIP - Catalogação na
Publicação

Iop, Gerônimo

Avaliação da vulnerabilidade e do risco potencial
de contaminação de água subterrânea no município de
Venâncio Aires - RS / Gerônimo Iop. -- 2019.

116 f.

Orientador: Pedro Reginato.

Coorientadora: Maria Luiza Rosa.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2019.

1. Vulnerabilidade. 2. Risco de contaminação. 3.
GOD. 4. POSH. 5. Aquíferos. I. Reginato, Pedro,
orient. II. Rosa, Maria Luiza, coorient. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO MUNICÍPIO DE VENÂNCIO AIRES – RS**, elaborado por Gerônimo Tavares Cassali Iop, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Alfonso Risso

Prof^a. Dr^a. Maria Lidia Medeiros Vignol

Prof. Dr. Nelson Lisboa

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à minha mãe, Kátia, que dedicou sua vida inteira para poder dar uma educação de qualidade aos seus filhos. Agradeço ao meu irmão, Gabriel, que, junto de nossa mãe, sempre esteve ao meu lado nas horas em que eu precisei.

Agradeço à minha namorada, Yasmin, que me acompanhou por toda a jornada da graduação. Agradeço pela sua camaradagem, pelo seu amor e pelos seus ensinamentos. Agradeço também aos meus amigos, que ajudaram a amenizar os problemas com as suas companhias.

Agradeço aos meus professores orientadores Pedro e Maria Luiza, pela sua paciência, carinho, dedicação, compromisso, acessibilidade, conselhos e direcionamentos. Sem os dois, a realização deste trabalho não seria possível.

Agradeço à UFRGS, por ter proporcionado esta experiência, e por sempre ter fornecido toda a estrutura necessária para a minha formação. Agradeço, também, por todos os professores e profissionais que encontrei durante o curso, seus ensinamentos foram essenciais nessa etapa da minha vida.

Agradeço aos meus colegas de curso, que passaram, junto a mim, por altos e baixos, a empatia entre nós foi crucial. Também agradeço pelas amizades que surgiram aqui dentro, muitas das quais irão perdurar por muito tempo.

RESUMO

A demanda por água subterrânea tem aumentado nas últimas décadas. Frente a essa situação, torna-se necessário a tomada de medidas preventivas quanto ao consumo inadequado de água subterrânea. O proposto trabalho visou analisar e identificar a vulnerabilidade e o risco de contaminação dos aquíferos da região de Venâncio Aires. Através do levantamento de dados e do trabalho de campo foram elaboradas as caracterizações geológicas e hidrogeológicas da região. A vulnerabilidade dos aquíferos foi avaliada por meio da aplicação da metodologia GOD e o risco de contaminação foi determinado através da metodologia POSH. Na região há a ocorrência do sistema aquífero Guarani (SAG), que ocorre de maneira livre e confinada e do sistema aquífero Serra Geral (SASG), que ocorre nas fraturas das vulcânicas da Fm. Serra Geral. As análises foram feitas em cima de dados de 271 poços na região. Os poços do SAG possuem vazões que variam entre 1,01 e 75 m³/h, com média de 17,39 m³/h e nível estático médio de 21,89 m. Os poços do SASG possuem vazões que variam de 0,5 a 47 m³/h, com média de 11,53 m³/h e nível estático médio de 9,1 m. Para o SAG, houve predomínio das classes de vulnerabilidade baixa e média, com 44,27% e 38,16% da área, respectivamente. Para o SASG, houve predomínio de média vulnerabilidade, com 85,79% da sua área nessa classe. Das fontes de contaminação difusas mapeadas, 41,4% da área do município foi classificada com potencial moderado, e 2,6% com potencial reduzido. Foram mapeadas 73 fontes de contaminação pontuais, sendo 23 delas com potencial reduzido, 30 com potencial moderado e 20 com potencial elevado. Em relação ao SASG, o perigo de contaminação das fontes difusas possuiu predomínio da classe moderada, com 35,7% da área nessa classe. Em relação ao SAG, o predomínio foi de perigo baixo e moderado, com 19,5% e 15,2% da sua área nessas classes, respectivamente. Os resultados obtidos com esse estudo poderão servir como uma ferramenta de apoio para a gestão de recursos hídricos e para a prevenção de possíveis contaminações dos mesmos.

Palavras chave: Água subterrânea; vulnerabilidade; perigo de contaminação; GOD; POSH.

ABSTRACT

The demand for groundwater has been increasing in the last decades. Due to the situation presented, it becomes necessary taking preventive measures regarding the inadequate groundwater consumption. This research intended to analyze and identify the vulnerability and the contamination risk of the aquifers in Venâncio Aires's region. The geological and hydrogeological characterizations were elaborated through data survey and fieldwork. The aquifers's vulnerability was evaluated through GOD methodology, and the contamination risk was evaluated through POSH methodology. In the study area, two main aquifer systems were identified: the Guarani aquifer system (SAG), that is both confined and unconfined, and the Serra Geral aquifer system (SASG), formed by the systems of fractures that occur in the volcanic rocks from Serra Geral formation. The analysis was made on data obtained from 271 wells located in the area. The SAG's wells have flow rates that ranges from 1,01 and 75 m³/h, with an average value of 17,39 m³/h, and the mean water level is 21,89 m. The SASG's wells have flow rates that ranges from 0,5 and 47 m³/h, with an average value of 11,53 m³/h and the mean water level is 9,1m. In the SAG, there was predominance of the low and medium vulnerabilities classes, with 44,27% and 38,16% of it's area, respectively. In the SASG, there was predominance of the medium vulnerability class, with 85,79% of it's area in this class. Regarding the diffuse contamination sources, 41,4% of the county's area was classified as moderate potential, and 2,6% was classified as reduced potential. In all, 73 punctual contamination sources were mapped, of which 23 were classified as reduced potential, 30 as moderate potential, and 20 as elevated potential. In relation to SASG, the contamination danger of the diffuses sources had the predominance of the moderate class, with 35,7% of it's area within this class. Regarding SAG, the contamination danger was low and moderate, with 19,5% and 15,2% of it's area within these classes, respectively. The results obtained from this research could serve as a support tool for the water sources management and to prevent possible contamination of these resources.

Keywords: Groundwater; vulnerability; contamination danger; GOD; POSH.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do município de Venâncio Aires, destacando a sua localização no Estado do Rio Grande do Sul, e a localização do Estado no Mapa do Brasil. Produzido pelo autor, a partir dos dados do IBGE (2010).	16
Figura 2. Mapa simplificado, com a localização da Bacia do Paraná e suas subdivisões em supersequências (WILDNER E LOPES, 2010).....	19
Figura 3. Mapa Hidrogeológico do município de Venâncio Aires. Elaborado pelo autor, adaptado do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, CPRM (2005).	21
Figura 4. Avaliação da vulnerabilidade pelo método GOD (FOSTER et al., 2006).	28
Figura 5. Esquema conceitual para avaliação do perigo de contaminação de água subterrânea. Extraído de Foster et al. (2006). Adaptado de Foster & Hirata (1988).	30
Figura 6. Fluxograma simplificado das diferentes etapas da metodologia do projeto. Elaborado pelo autor.	34
Figura 7. Produção do mapa de vulnerabilidade de acordo com a metodologia GOD. Extraído de Foster et. al. 2006.	39
Figura 8. Reclassificação dos índices de vulnerabilidades em classes de vulnerabilidade. Extraído de Foster et. al. 2006.	39
Figura 9. Poço tubular pertencente à Rede hídrica João Guttenberg, localizado na parte noroeste do município. Capta água do SASG.....	41
Figura 10. Poço escavado no pátio da casa de um morador. Capta água de um aquífero granular livre associado ao manto de alteração existente sobre as rochas sedimentares.	42
Figura 11. Poço tubular na região norte do município. Capta água dos aquíferos fraturados do SASG.	42
Figura 12. Poço de pequeno diâmetro com artesianismo, localizado na parte sul do município. Profundidade de 86m. Capta água da Formação Santa Maria, pertencente ao SAG.	42
Figura 13. Distribuição geográfica dos poços levantados através do portal SIAGAS. Elaborado pelo autor, com base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005).	43
Figura 14. Distribuição geográfica dos poços levantados através do portal SIAGAS. Separados por pontos de captação comunitários, públicos (CORSAN e Prefeitura) e Associações e Redes Hídricas. Elaborado pelo autor, com base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005).	44
Figura 15. Distribuição geográfica dos poços levantados em campo e em bancos de dados da vigilância sanitária de Venâncio Aires e de empresas de perfuração de poços, bem como dos poços levantados através do portal SIAGAS. Elaborado pelo autor, com base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005).	45

Figura 16. Mapa geológico da região, com linha de perfil geológico traçado. Elaborado pelo autor, adaptado do Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008).	46
Figura 17. Perfil esquemático simplificado da ocorrência das unidades geológicas no Município de Venâncio Aires.	47
Figura 18. Intercalações entre argilitos, siltitos e arenitos finos, com laminação plano-paralela.....	47
Figura 19. Grandes pacotes com espessura métrica de argilitos, siltitos e arenitos finos da Formação Santa Maria.....	48
Figura 20. Perfil construtivo de poço tubular em Cruzeiro do Sul (UTM 6730518/395474), próximo à fronteira nordeste de Venâncio Aires, mostrando rochas da Formação Serra Geral sobrepondo as rochas da Formação Santa Maria. Extraído do portal SIAGAS (CPRM).	48
Figura 21. Afloramento de arenito Botucatu, na parte oeste do município.	49
Figura 22. Perfis construtivos de poços tubulares. À esquerda, poço localizado em Venâncio Aires (UTM 6728193/385325) mostrando intercalação entre o arenito Botucatu e basaltos da Fm. Serra Geral. À direita, poço também localizado em Venâncio Aires (UTM 6730835/383000) mostrando as rochas da Formação Serra Geral sobrepondo as rochas da Formação Botucatu. Extraído do portal SIAGAS (CPRM).	50
Figura 23. Corte de estrada com derrames maciços de basalto afanítico empilhados (Fácies Gramado).	51
Figura 24. Nível de zeolita associado à superfície de contato entre derrames, evidenciado a percolação de fluidos (Fácies Gramado).....	52
Figura 25. Água vertendo de uma superfície de contato entre dois derrames, característico dos aquíferos fraturados do Sistema Aquífero Serra Geral.	52
Figura 26. Detalhe de vesículas preenchidas por zeolitas em base de derrame (Fácies Gramado).	52
Figura 27. Histograma de profundidade dos poços do SASG, indicando espessuras das rochas vulcânicas interceptadas pelos poços nessa região. ...	53
Figura 28. Traçado dos lineamentos para a região de Venâncio Aires e arredores. Limites do município evidenciados na cor vermelha. Elaborado pelo autor.	54
Figura 29. Diagrama de roseta com as direções dos lineamentos. Obtido através do <i>software Stereo 32</i>	55
Figura 30. Histograma dos comprimentos dos lineamentos das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.	56
Figura 31. Mapa de densidade de lineamentos da área de estudo. Tons esverdeados são áreas com menor densidade de lineamentos, tons amarelados e vermelhos são os com maior densidade, respectivamente. Elaborado pelo autor.	56
Figura 32. Mapa hidrogeológico da região de estudo, com identificação e classificação dos três aquíferos presentes na área. Elaborado pelo autor com	

base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005).	58
Figura 33. Mapa hidrogeológico da região com localização dos poços cadastrados no banco de dados, classificados de acordo com qual aquífero eles captam água. Elaborado pelo autor com base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul.	59
Figura 34. Distribuição da quantidade de poços em cada aquífero.....	59
Figura 35. Gráfico de profundidade de todos os poços da região.	60
Figura 36. Gráfico de profundidade dos poços no SASG.....	61
Figura 37. Gráfico de nível estático dos poços do SASG.....	62
Figura 38. Gráfico de profundidade das entradas d'água dos poços do SASG.	63
Figura 39. Gráfico de vazão dos poços do SASG.	64
Figura 40. Dados de localização dos poços pertencentes ao SASG dispostos sobre mapa de densidade de lineamentos.....	65
Figura 41. Gráfico de profundidade dos poços do SAG.	66
Figura 42. Gráfico de nível estático dos poços dos SAG.	67
Figura 43. Gráfico de vazão dos poços do SAG.	67
Figura 44. Mapa de solos para a região norte do município de Venâncio Aires. Elaborado pelo autor, a partir dos <i>shapefiles</i> do projeto Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010).	71
Figura 45. Mapa do parâmetro G do SASG.	72
Figura 46. Mapa do parâmetro O do SASG.	73
Figura 47. Mapa do parâmetro D do SASG.....	74
Figura 48. Distribuição percentual dos poços do SASG nas diferentes classes de vulnerabilidade.	75
Figura 49. Mapa de vulnerabilidade do SASG na região de Venâncio Aires. ..	75
Figura 50. Mapa do parâmetro G do SAG.....	77
Figura 51. Mapa do parâmetro O do SAG.....	78
Figura 52. Mapa do parâmetro D do SAG.....	79
Figura 53. Distribuição percentual dos poços do SAG nas diferentes classes de vulnerabilidade.	80
Figura 54. Mapa de vulnerabilidade do SAG na região de Venâncio Aires.....	81
Figura 55. Mapa de uso e ocupação do solo para a região de Venâncio Aires. Elaborado pelo autor, com base em imagens de satélite do satélite Landsat 8.	84
Figura 56. Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de uso e ocupação do solo.....	84
Figura 57. Mapa de potencial de contaminação das fontes difusas de Venâncio Aires.	85
Figura 58. Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de potencial de contaminação das fontes difusas de Venâncio Aires. ...	86
Figura 59. Perigo de contaminação para os aquíferos do SASG.	86

Figura 60. Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de perigo de contaminação do SASG.	87
Figura 61. Perigo de contaminação para os aquíferos do SAG.	87
Figura 62. Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de perigo de contaminação do SAG.	88
Figura 63. Distribuição das fontes pontuais de contaminação cadastradas sobre mapa de vulnerabilidade na área representada pelo SASG.	90
Figura 64. Distribuição das fontes pontuais de contaminação cadastradas sobre mapa de vulnerabilidade na área representada pelo SAG.	90
Figura 65. Gráfico da distribuição, em porcentagem, das fontes de contaminação classificadas nos diferentes níveis de perigo de contaminação em relação ao SAG.	91
Figura 66. Detalhe da área com maior concentração de fontes pontuais no centro urbano e industrial de Venâncio Aires.	92
Figura 67. Detalhe do aglomerado de fontes de contaminação com potencial elevado na zona industrial de Venâncio Aires.	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classes de Vulnerabilidade para Aquíferos segundo o método AVI. Adaptado de Van Stempvoor et al. (1992).	26
Quadro 2. Classificação das fontes de contaminação difusas segundo a metodologia POSH. Extraído de Foster et al. (2006).	31
Quadro 3. Classificação das fontes de contaminação pontuais segundo a metodologia POSH. Extraído de Foster et al. (2006).	32
Quadro 4. Dados de espessura das rochas vulcânicas interceptadas pelos poços na Formação Serra Geral.	54
Quadro 5. Dados de profundidade de todos os poços da região.	60
Quadro 6. Dados de profundidade dos poços no SASG.	62
Quadro 7. Dados de nível estático dos poços do SASG.	62
Quadro 8. Dados de profundidade das entradas d'água dos poços do SASG.	63
Quadro 9. Dados de vazão dos poços do SASG.	64
Quadro 10. Dados de profundidade dos poços do SAG.	66
Quadro 11. Dados de nível estático dos poços do SAG.	67
Quadro 12. Dados de vazão dos poços do SAG.	68
Quadro 13. Classificação do perigo de contaminação em relação às fontes de contaminação. Modificado de Barbosa et al. (2011)	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVI	<i>Aquifer Vulnerability Index</i>
CORSAN	Companhia Rio-grandense de Saneamento
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
Fm	Formação
GOD	Grau de confinamento; Ocorrência de estratos de cobertura; Distância do nível freático
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQD	Inverso do Quadrado da Distância
km	Quilômetros
km ²	Quilômetros quadrados
m	Metros
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
POSH	<i>Pollutant origin, Surchage hydraulically</i>
RS	Rio Grande do Sul
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 LOCALIZAÇÃO	16
2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	17
3. ESTADO DA ARTE	18
3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO	18
3.2 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	20
3.2.1 Sistema Aquífero Guarani (SAG)	22
3.2.2 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)	23
3.3 VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS.....	24
3.4 RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS.....	29
4. METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO	34
4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES.....	34
4.2 INVENTÁRIO E CADASTRAMENTO DE PONTOS DE CAPTAÇÃO	35
4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA.....	36
4.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	37
4.5 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS	37
4.6 AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM VENÂNCIO AIRES	41
5.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA:	45
5.2.1 Formação Santa Maria	47
5.2.2 Formação Botucatu	49
5.2.3 Formação Serra Geral	51
5.3 .CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA.....	57
5.3.1 Sistema Aquífero Serra Geral	61
5.3.2 Sistema Aquífero Guarani	65
5.4 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS PELA METODOLOGIA GOD70	
5.4.1 Avaliação da Vulnerabilidade do SASG	70
5.4.2 Avaliação da Vulnerabilidade do SAG	76
5.5 AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS.....	82
5.5.1 Análise das fontes difusas	83
5.5.2 Análise das fontes pontuais	89
6. CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS	96
ANEXO A – INVENTÁRIO DE POÇOS	103
ANEXO B – LISTA DE POÇOS E PESOS ATRIBUÍDOS NA METODOLOGIA GOD	111
ANEXO C – LISTA DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS CADASTRADAS	115

1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea é um recurso natural essencial para o desenvolvimento do bem estar humano, sendo utilizada para diferentes fins, como abastecimento urbano e doméstico, e desenvolvimento de atividades industriais comerciais e agrícolas. No mundo inteiro, os aquíferos estão, cada vez mais, sob perigo de contaminação em decorrência de atividades humanas, tais como agricultura extensiva, mineração, urbanização, e desenvolvimento industrial. Para que a água subterrânea seja usada, especialmente para o consumo e abastecimento público, é necessário que sua qualidade, enquanto bruta, seja ótima e constante, visto que os processos de tratamento e desinfecção são de alta complexidade técnica e custo financeiro. Em função disso, se torna necessária a tomada de medidas de prevenção e proteção dos aquíferos e da qualidade da água, o que se justifica tanto sob critérios de sustentabilidade ambiental quanto sob critérios econômicos (FOSTER et al. 2002).

A maior parte da água subterrânea se origina a partir da infiltração de água da chuva na superfície do solo, sendo que tal processo é controlado pelas condições geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de uso e ocupação do solo próximas à superfície. Conseqüentemente, atividades antrópicas poluidoras podem gerar cargas contaminantes, que podem ser lixiviadas e carregadas para os aquíferos, dependendo das características físico-químicas dos contaminantes e do meio. Com estes conceitos em mente, Foster et al. (1987), definiram a vulnerabilidade de um aquífero à contaminação como o conjunto das características intrínsecas das camadas que separam o aquífero da superfície do solo, e que determinam sua suscetibilidade a sofrer efeitos de determinada carga contaminante na superfície. Somado a isso, as características físico-químicas do contaminante também podem interferir na probabilidade de um aquífero ser contaminado. Então, Foster & Hirata (1988), definiram o conceito de risco de contaminação, que consiste na “associação e interação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante no solo ou em sub-superfície”. De acordo com esta definição, são possíveis

situações onde um aquífero com alta vulnerabilidade à contaminação não possua um risco elevado de ser contaminado, pois pode não haver carga contaminante que o afete, e o mesmo pode se dizer do contrário.

A demanda por água doce tem se tornado cada vez maior, devido ao crescimento populacional, logo, torna-se de vital importância a realização de estudos de vulnerabilidade de aquíferos e risco potencial de contaminação. Tais estudos contribuem com a gestão socioambiental de recursos naturais, e também com a prevenção ou mitigação de possíveis degradações ambientais que podem ser causadas pela intervenção humana. Nos contextos onde a água subterrânea é utilizada para consumo humano, estudos deste tipo tornam-se ainda mais importantes.

A água subterrânea, no Município de Venâncio Aires, região centro-leste do estado do Rio Grande do Sul, tem grande importância, sendo a mesma utilizada para diferentes fins. O aumento da população e o crescimento sócio-econômico têm influência direta no aumento da demanda, bem como no aumento de modificações do uso e ocupação do solo. Em função disso, a cada ano são perfurados novos poços para atender a demanda, como também a cada ano, modificações ocorrem no uso e ocupação do solo, como por exemplo, a implantação de novos loteamentos, instalação de empresas, desenvolvimento de atividades agrícolas entre outros. As alterações do 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. Para avaliar o risco potencial de contaminação da água subterrânea de uma região é necessário desenvolver estudos da vulnerabilidade de aquíferos e de avaliação das fontes e cargas contaminantes. Esses estudos, em escalas que abrangem áreas municipais são raros, portanto não se conhece o risco potencial de contaminação existente nos municípios.

Devido ao fato de que esse tipo de avaliação ainda não foi realizado para o município de Venâncio Aires, e que a água subterrânea é um recurso de grande importância para a região, se torna necessário que sejam desenvolvidos estudos hidrogeológicos que envolvam a caracterização dos

aqüíferos, avaliação da vulnerabilidade e risco potencial de contaminação da água subterrânea. O presente trabalho é proposto com o intuito de realizar estes estudos nos aqüíferos presentes na área abrangida pelo município de Venâncio Aires.

1.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo, como já anteriormente citada, se localiza no município de Venâncio Aires, situado na região centro-leste do estado do Rio Grande do Sul, na latitude $S29^{\circ}30'$ e longitude $W52^{\circ}12'$ (Figura 1). Sua área é de aproximadamente 772,228 km² e sua população é de cerca de 65.946 habitantes (IBGE). Possui fronteiras com os municípios de Santa Cruz do Sul, Passo do Sobrado, Vale Verde, General Câmara, Taquari, Bom Retiro do Sul, Cruzeiro do Sul, Mato Leão, Santa Clara do Sul, Sério, Boqueirão do Leão e Sinimbu.

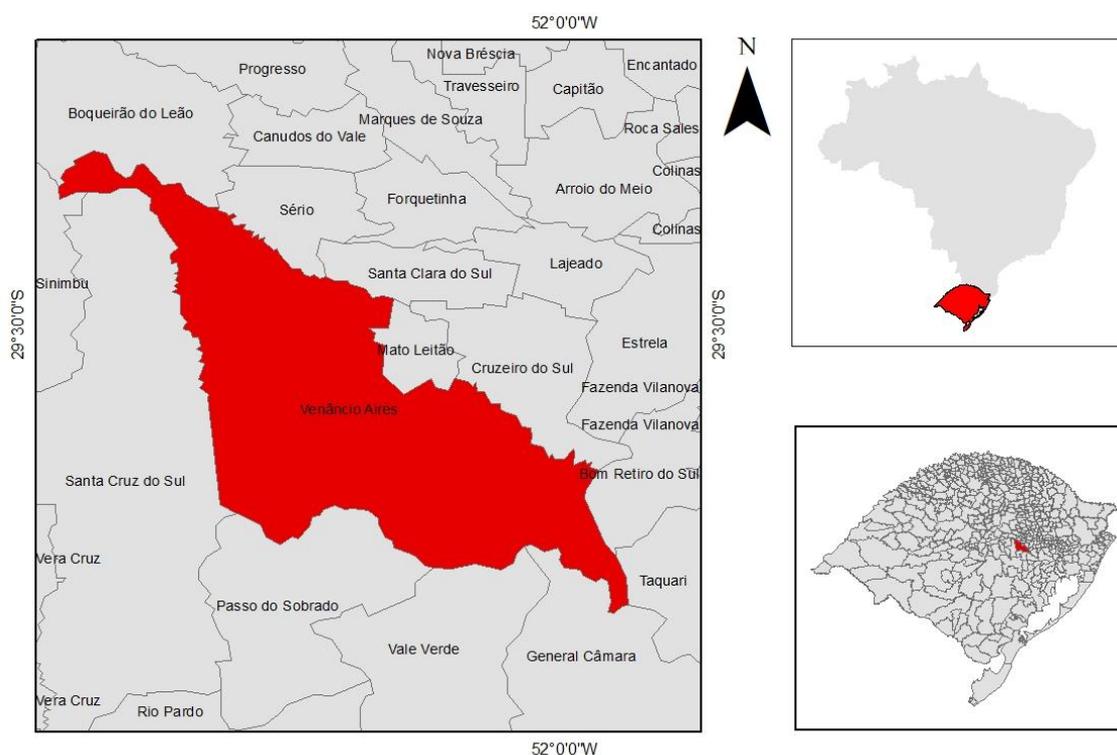


Figura 1. Mapa de localização do município de Venâncio Aires, destacando a sua localização no Estado do Rio Grande do Sul, e a localização do Estado no Mapa do Brasil. Produzido pelo autor, a partir dos dados do IBGE (2010).

2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem como objetivo principal realizar o estudo da vulnerabilidade natural e do risco potencial de contaminação dos aquíferos existentes na região abrangida pelo Município de Venâncio Aires.

Já os objetivos específicos são:

- Avaliar os tipos de captação e usos da água subterrânea na área do município;
- Caracterizar os sistemas aquíferos existentes na área de estudo;
- Avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos da região com base na aplicação do método GOD;
- Identificar e classificar as fontes de contaminação existentes na área de estudo;
- Avaliar o risco potencial de contaminação dos aquíferos existentes na área de estudo;

3. ESTADO DA ARTE

3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

O município de Venâncio Aires se localiza na porção sul da Bacia do Paraná, próximo da borda norte da depressão Periférica. Na região de estudo ocorrem unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná, representadas pelos lamitos da Formação Santa Maria, arenitos da Formação Botucatu e pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (CPRM, 2008).

A Bacia do Paraná, localizada na parte central da América do Sul, cobre uma área equivalente a 1.500.000 km², incluindo porções territoriais do sul do Brasil, leste do Paraguai, nordeste da Argentina e norte do Uruguai. Possui forma ovalada, eixo maior orientado N-S e uma espessura total máxima em torno dos 7000 m (MILANI, 2004). No Brasil, ocupa a maior parte dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e parte de Minas Gerais e Goiás. É considerada uma bacia sedimentar intracratônica completamente desenvolvida sobre a placa sul-americana e preenchida por sucessões vulcano-sedimentares (MILANI, 2004).

Milani et al. (1997) reconheceram e subdividiram a Bacia do Paraná em seis unidades de ampla escala, materializados na forma de pacotes rochosos, cada um correspondendo a intervalos temporais com dezenas de milhões de anos de duração, separados por amplas superfícies de discordância (Figura 2). Estas unidades são: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gonswanall (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I correspondem a sucessões sedimentares que definem ciclos de transgressão e regressão ligados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozoico, enquanto Gondwana II, Gondwana III e Bauru correspondem a pacotes sedimentares continentais com associação de rochas vulcânicas.

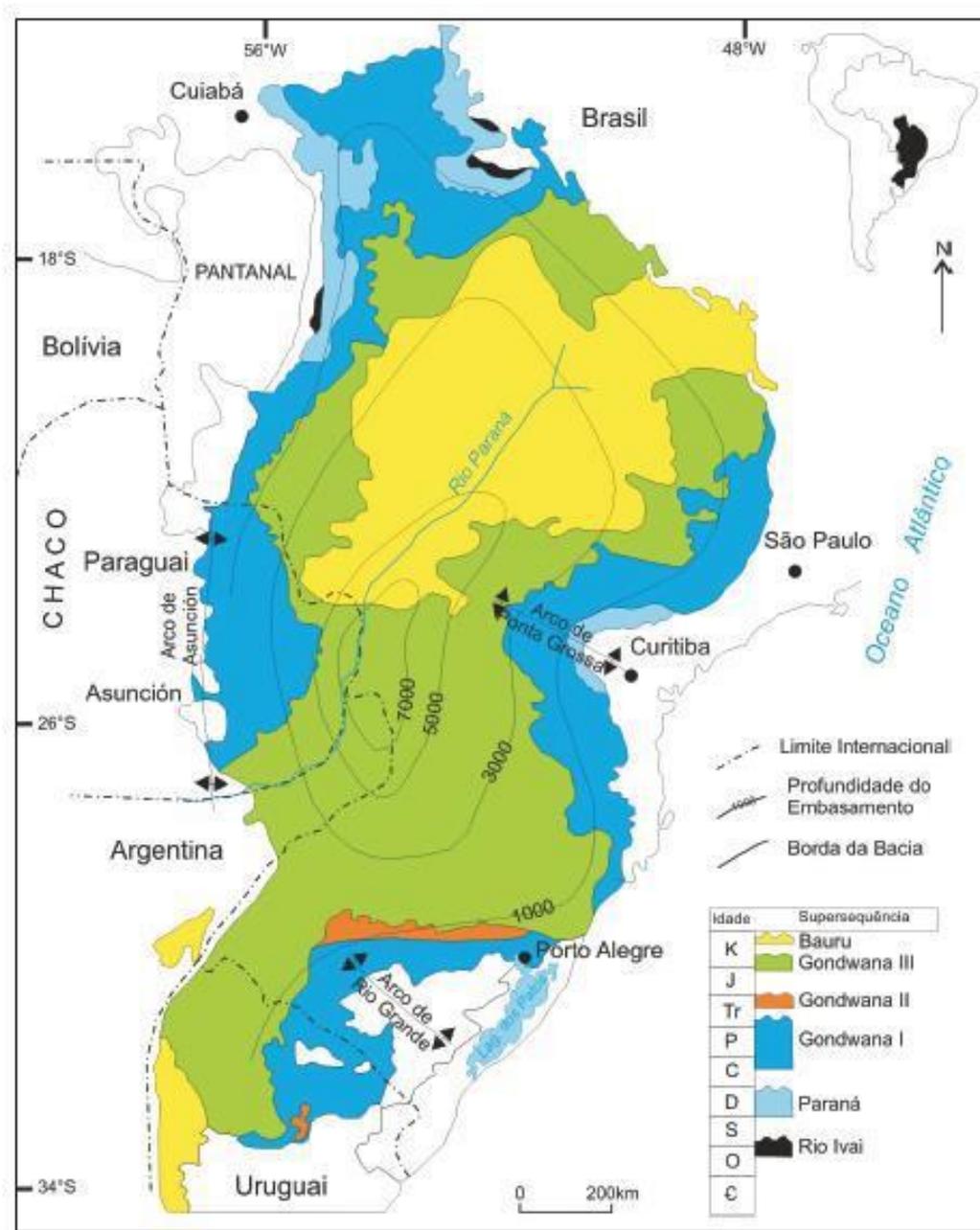


Figura 2. Mapa simplificado, com a localização da Bacia do Paraná e suas subdivisões em superseqüências (WILDNER E LOPES, 2010).

Dentro da superseqüência Gondwana II encontra-se a Formação Santa Maria, que se sobrepõe abruptamente, na forma de depósitos pelíticos, sobre as camadas arenosas da unidade anterior da superseqüência Gondwana I, refletindo uma rápida transgressão lacustre. Essa formação é caracterizada por pacotes sedimentares de intercalações entre pelitos lacustres e arenitos fluviais, que teriam se desenvolvido em resposta a variações no nível de base do ambiente lagunar que originou esta sedimentação (MILANI et al. 1997).

Na supersequência Gondwana III, encontra-se a Formação Botucatu, caracterizada por sedimentos de fácies eólicas, representados por arenitos médios a finos de elevada esfericidade e aspecto fosco, coloração rosada, com estratificação cruzada tangencial de médio a grande porte, oriundos do “deserto Botucatu” (MILANI et al., 2007). Nesta supersequência, também se encontra o magmatismo do Serra Geral, representado pela Formação Serra Geral, que constitui uma espessa cobertura de lavas, podendo chegar a 2000 m, com uma intrincada rede de diques cortando os pacotes sedimentares sotopostos, e múltiplos níveis de soleiras intrudidas nos planos de estratificação dos mesmos pacotes. Sua formação é associada ao processo de ruptura do supercontinente Gondwana e à abertura do Oceano Atlântico Sul durante o Cretáceo Inferior (WAICHEL et al., 2006). De acordo com Peate et al. (1992), a Formação Serra Geral é constituída por basaltos toleíticos e andesitos basálticos, ocorrendo subordinadamente riodacitos e riolitos.

3.2 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

O primeiro autor a abordar regionalmente a possibilidade de águas subterrâneas no estado do Rio Grande do Sul foi Hausman (1960). Este mesmo autor sistematizou as ocorrências dos aquíferos no estado, e definiu as províncias hidrogeológicas do Rio Grande do Sul (HAUSMAN, 1964).

Samberg (1980) avaliou os aquíferos que ocorrem nas quatro províncias litológicas do estado através de análises estatísticas, levando em conta os fatores geológicos, hidrodinâmicos, climáticos e hidroquímicos. Hausman (1995), em seu trabalho denominado de “Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS” produziu o primeiro mapa hidrogeológico do estado, ao revisar e ampliar seus trabalhos anteriores.

Lisboa et al. (2004) forneceu subsídio para a primeira qualificação generalizada dos principais sistemas de aquíferos do estado, analisando as características hidrogeológicas dos materiais que compõem os estratos litológicos.

Em 2005, o Estado do Rio Grande do Sul, em convênio com a CPRM, concluiu o Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (MACHADO & FREITAS, 2005), gerando conhecimento e subsídio para melhor gerenciamento dos recursos hídricos do estado. De acordo com este projeto, a área deste estudo compreenderia a ocorrência de dois sistemas aquíferos aflorantes, sendo um destes subdividido em duas unidades hidroestratigráficas. O primeiro dos dois sistemas aquíferos presentes na região foi denominado pelos autores como Sistema Aquífero Serra Geral II (sg2), que neste trabalho será abordado como Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). O segundo sistema aquífero, é subdividido em duas unidades hidroestratigráficas sendo essas: a unidade hidroestratigráfica Botcatu (bt), e a unidade hidroestratigráfica Santa Maria Sistema Aquífero Santa Maria (sm). Este sistema será tratado no proposto trabalho como Sistema Aquífero Guarani (SAG). O mapa da figura 3 mostra as regiões onde afloram os aquíferos na região de estudo.

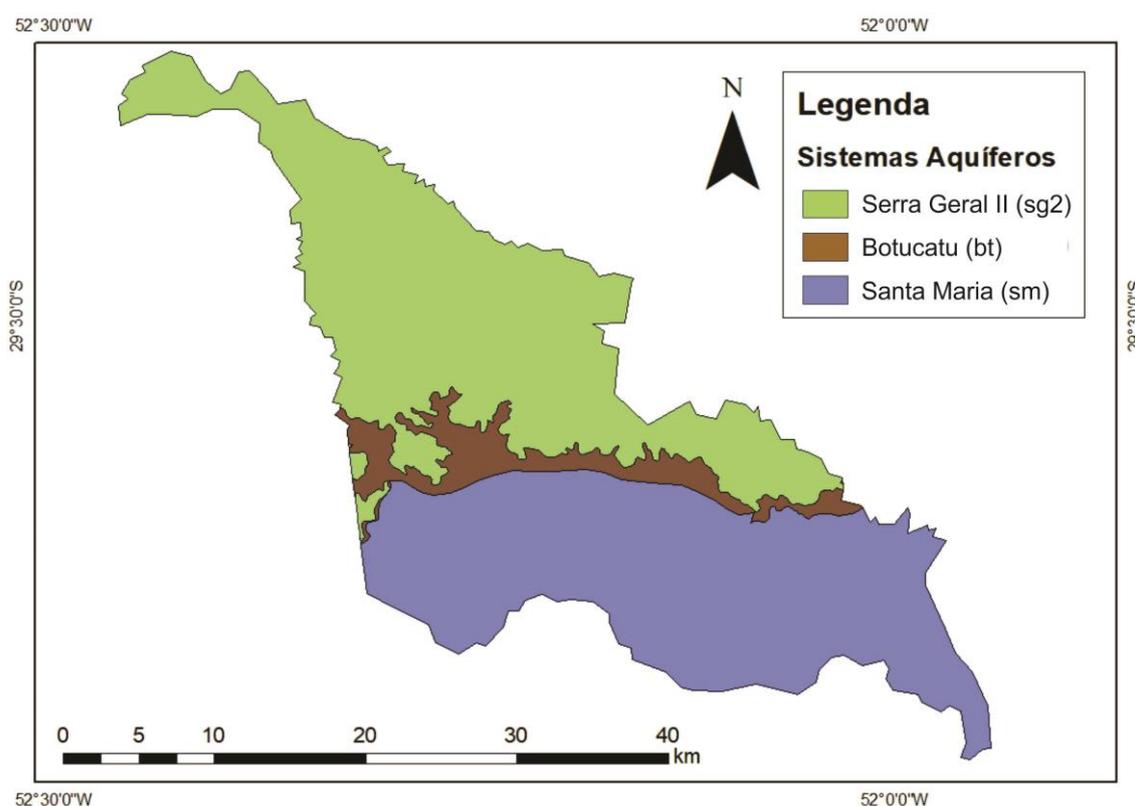


Figura 3. Mapa Hidrogeológico do município de Venâncio Aires. Elaborado pelo autor, adaptado do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, CPRM (2005).

3.2.1 Sistema Aquífero Guarani (SAG)

O sistema aquífero Guarani ocupa aproximadamente 55% da área do Rio Grande do Sul e representa a principal reserva de água subterrânea do estado (CPRM, 2005). O sistema aquífero Guarani é definido pela deposição de espessas sequências sedimentares continentais clásticas de origem eólica e subordinadamente fluvial. Em função disto, é um dos aquíferos com o melhor potencial no Estado do Rio Grande do Sul (LISBOA, 2004).

De acordo com Machado & Freitas (2005), sua área aflorante no RS corresponde à depressão central do estado, na área limitada pelos municípios de Santana do Livramento a oeste e Santo Antônio da Patrulha à leste, enquanto sua área confinada pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral ocorre desde a região da Cuesta do Haedo na fronteira oeste até o litoral norte, à leste. Ocorrem tanto nas zonas aflorantes quanto confinadas, as unidades hidroestratigráficas Botucatu, Guará, Arenito Mata, Caturrita, Alemoa, Passo das Tropas, Sanga do Cabral e Pirambóia.

A unidade hidroestratigráfica Santa Maria, representada pela Formação Santa Maria, aflora restritamente à região central do Estado, entre os municípios de Mata e Taquari. Essa unidade ocorre associada à litologias como arenitos grossos a conglomeráticos na base (Membro Passo das Tropas) e lamitos avermelhados, siltitos e arenitos finos a médios no topo (Membro Alemoa). Capacidades específicas variam entre 0,5 a 1 m³/h/m nas áreas aflorantes e alcançam 4 m³/h/m nas áreas confinadas. Apresenta salinidade entre 50 e 500 mg/l, podendo alcançar 2000mg/l em áreas confinadas, e teores de flúor acima do limite de potabilidade (MACHADO & FREITAS, 2005).

A unidade hidroestratigráfica Botucatu aflora em pequenas áreas localizadas principalmente na região central do Estado, próximo às bordas escarpadas do planalto basáltico. Apresenta desde arenitos de granulometria fina a arenitos de granulometria grossa, normalmente bimodais, com estratificações cruzadas de grande porte, e endurecidos por cimento ferruginoso ou silicoso. Na porção de topo, costumam intercalar-se paralelamente e sem regularidade aos derrames da Formação Serra Geral.

Estes arenitos não costumam ser bons armazenadores de água, devido à sua condição estrutural e cimentação. Em geral, os poços perfurados nessa região costumam ser pouco produtivos a improdutivos quando comparados aos da mesma unidade que captam água em suas porções confinadas (MACHADO & FREITAS, 2005).

Na região de Venâncio Aires, os arenitos da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu que se encontram aflorantes, possuem uma morfologia típica de morros testemunhos, não erodidos por completo, com altitudes que podem ultrapassar os 200m em alguns locais, de modo que estes arenitos eólicos não apresentam uma grande importância hidrogeológica. Esta unidade também é ausente em muitos pontos nessa região, o que resulta no predomínio de áreas onde os basaltos da Formação Serra Geral estão diretamente em contato com aquíferos do Grupo Rosário do Sul (MACHADO, 2006), que no caso desse município, são representados pelos aquíferos oriundos das rochas da Formação Santa Maria.

3.2.2 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

O Sistema Aquífero Serra Geral é de grande importância para o abastecimento de água subterrânea em diversas localidades do sul do Brasil. No que diz respeito ao Estado do Rio Grande do Sul, grande parte dos municípios da metade norte do estado utilizam água subterrânea proveniente deste sistema aquífero para seu abastecimento. De acordo com Reginato (2003) e Machado & Freitas (2005) o sistema aquífero Serra Geral é caracterizado por aquíferos fraturados associados a diferentes estruturas presentes nas rochas vulcânicas que formam os derrames da Bacia do Paraná, tais como fraturas, falhas geológicas, superfícies e discontinuidades entre os derrames. Estas características o classificam como um reservatório heterogêneo e anisotrópico (REBOUÇAS, 1978).

Estes aquíferos estão associados às rochas da Formação Serra Geral, que na região alvo deste estudo se subdividem, de acordo com o Mapa

Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), em duas fácies: a fácies Caxias, caracterizado por derrames de composição intermediária a ácida (riodacitos a riolitos), microgranulares a vitrofíricos, com disjunções tabulares intensas no topo dos derrames e textura maciça nas porções centrais, com dobras de fluxo frequentes, e a fácies Gramado, caracterizado por derrames basálticos granulares finos a médio, de coloração acinzentada, com horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos e outros minerais secundários e intercalado com os arenitos Botucatu em sua base.

Na região, de acordo com o mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005), o aquífero que predomina é o Sistema Aquífero Serra Geral II. Segundo Machado & Freitas (2005), o Sistema Aquífero Serra Geral II ocupa a parte oeste do Estado, além da extensa área nordeste do planalto associada com os derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral e uma faixa central interligando os dois extremos (aqui é onde se localiza o município alvo desse estudo). Suas litologias compreendem, principalmente, riolitos, riodacidos e em menor proporção, basaltos. Geralmente apresenta capacidade específica inferior a 0,5 m³/h/m e salinidades inferiores a 250 mg/l.

3.3 VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS

A vulnerabilidade de um aquífero depende das suas características físicas, bem como sua sensibilidade a impactos naturais e antrópicos. Foster (1987) definiu a vulnerabilidade de um aquífero à contaminação como o conjunto das características intrínsecas das camadas que separam o aquífero saturado da superfície do solo, e que determinam sua suscetibilidade a sofrer efeitos de determinada carga contaminante na superfície.

A *American Society for Testing Materials* (ASTM) (1996), definiu vulnerabilidade das águas subterrâneas como a facilidade com a qual um dado contaminante pode migrar para as águas subterrâneas ou para um aquífero em determinadas situações de uso do solo, características do contaminante e condições da área. Portanto, a vulnerabilidade depende das características do

aquífero, da superfície (uso do solo, topografia, geomorfologia, etc.) e do contaminante.

Para se trabalhar de maneira mais objetiva com vulnerabilidade de aquíferos, se tornou necessário o desenvolvimento de metodologias que lidassem, de maneira quantitativa e que descrevessem intervalos (classes) de vulnerabilidade, padronizadas, ou valores numéricos, sobre os quais os aquíferos estudados seriam classificados e analisados. Dentro desse contexto, foram criadas três principais metodologias: DRASTIC (ALLER et al., 1987) desenvolvida pela agência ambiental norte-americana; AVI (*Aquifer Vulnerability Index*) (VAN STEMPVOOR et al., 1992), uma maneira mais simplificada, na qual são considerados a espessura das camadas saturadas e a condutividade hidráulica das mesmas; e GOD (FOSTER & HIRATA, 1993), que considera o tipo de aquífero, a litologia e a profundidade do lençol freático, e que será a metodologia usada neste trabalho.

O método DRASTIC parte dos seguintes pressupostos:

- O contaminante é inserido na superfície;
- O contaminante atinge a água subterrânea através da precipitação;
- O contaminante possui a mobilidade da água;
- A área a ser avaliada precisa ter uma dimensão de no mínimo 40 hectares.

A metodologia considera sete fatores hidrogeológicos aos quais são atribuídos números r de 1 a 10, dependendo da faixa de valores. Estes são multiplicados por pesos w que variam de 1 a 5, sendo que o fator mais significativo recebe o peso 5, e o menos significativo, o peso 1 (ALLER et al. 1987). Os sete fatores são:

1. (D) Profundidade do nível d'água. Peso 5 (D=*Depth to Water Table*)
2. (R) Recarga ao aquífero. Peso 4 (R=*Net Recharge*)
3. (A) Litologia do aquífero. Peso 3 (A=*Aquifer Media*)
4. (S) Tipo de solo. Peso 2 (S=*Soil Media*)
5. (T) Topografia do local. Peso 1 (T=*Topography*)
6. (I) Textura da zona vadosa. Peso 5 (I=*Impact of the Vadose Zone Media*)

7. (C) Condutividade hidráulica do aquífero. Peso 3 ($C = \textit{Aquifer Hydraulic Conductivity}$)

O índice DRASTIC é então calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Índice DRASTIC} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

De acordo com essa fórmula, o menor valor possível é de 23, e o maior é de 230. Os índices calculados são usados para acessar, de uma maneira relativa, a vulnerabilidade do sistema aquífero à poluição. Quanto maior o índice DRASTIC, maior a vulnerabilidade do aquífero à contaminação. Mas isso não quer dizer que um índice de valor baixo não significa que não seja possível ocorrer contaminação, apenas que a mesma será menos provável ou menor que em outras áreas com o índice mais elevado (ALLER et al. 1987).

Quadro 1. Classes de Vulnerabilidade para Aquíferos segundo o método AVI. Adaptado de Van Stempvoor et al. (1992).

Classes	Tempo de percurso vertical	Vulnerabilidade	Características da Vulnerabilidade do Aquífero
Classe 1	0 - 10 anos	Extremamente alta	A água chega muito rápido ao aquífero através de material de alta condutividade hidráulica.
Classe 2	10 - 100 anos	Alta	A água chega rápido ao aquífero, sendo que os materiais e a distância ao aquífero controlam sua taxa de recarga.
Classe 3	100 - 1000 anos	Moderada	A água chega devagar ao aquífero, sendo que os materiais e a distância ao aquífero controlam a taxa de recarga.
Classe 4	1000 - 10000 anos	Baixa	A água chega muito devagar ao aquífero através de material de baixa condutividade hidráulica.

Classe 5	> 10000 anos	Extremamente baixa	A mais baixa vulnerabilidade, com fluxo ascendente ou gradiente próximo a zero.
----------	--------------	--------------------	---

Para calcular o índice AVI, se utiliza dois parâmetros hidrogeológicos: a espessura de cada camada de sedimento não saturado acima do aquífero e a condutividade hidráulica estimada em cada camada. Divide-se então a espessura das camadas pelas condutividades hidráulicas, obtendo-se como resultado um valor estimado de tempo de percurso vertical, que representa o tempo que levará para o contaminante atingir o aquífero (VAN STEMPVOOR et al., 1992). Estes valores são divididos então em cinco classes, de acordo com o quadro 1 acima.

A metodologia GOD (*Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table*), elaborada por Foster e Hirata (1993) e aperfeiçoado por Foster et al. (2002) trata da vulnerabilidade intrínseca às características do meio aquífero e atende ao requisito de utilizar informações comumente disponíveis, diferentemente das duas metodologias anteriores. Tais informações são:

1. (G) Ocorrência do lençol freático (livre, confinado, semi-confinado)
2. (O) Litologia da zona vadosa e camadas confinantes
3. (D) Profundidade do Lençol freático (espessura da zona vadosa)

Um peso, que varia entre zero e um, é atribuído a cada uma dessas informações, sendo que os maiores valores estão associados a parâmetros que tem maior importância e influência no aumento da vulnerabilidade do aquífero. Estes índices então são multiplicados entre si para gerar um número final, que será correlacionado a uma classificação de vulnerabilidade, variando de extrema a baixa ou desprezível. A figura (Figura 4) abaixo mostra detalhadamente os procedimentos para a realização da metodologia:

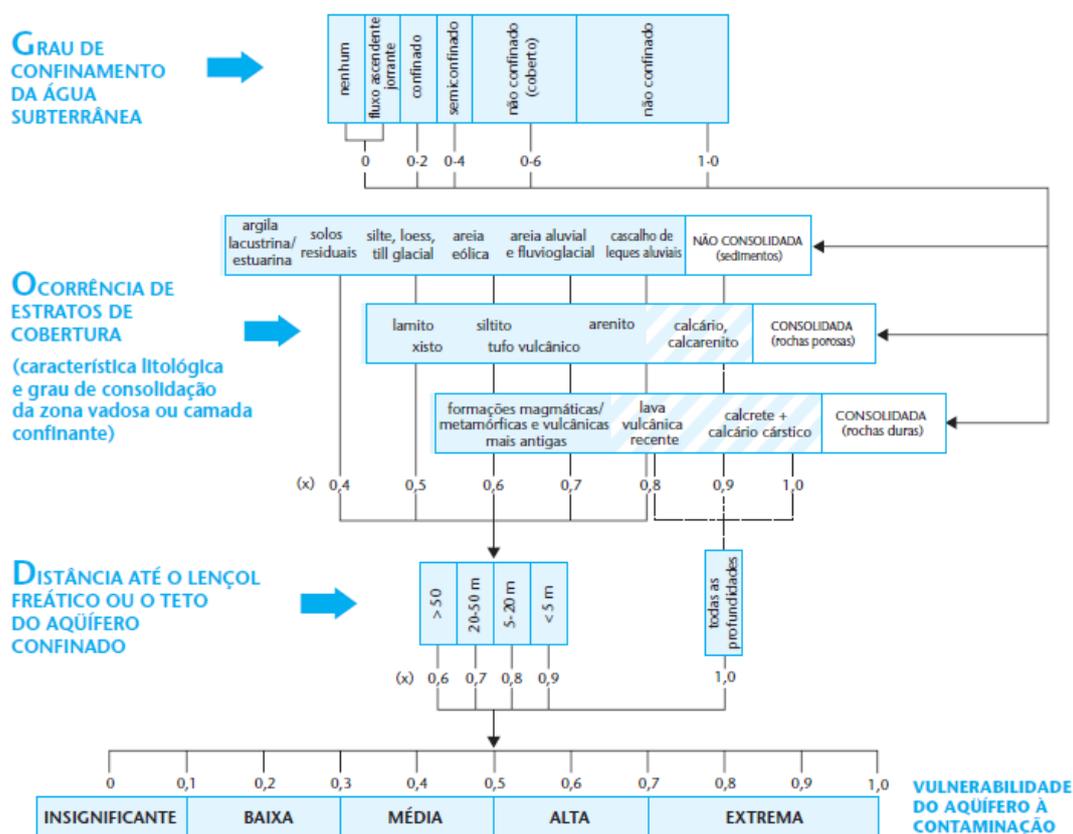


Figura 4. Avaliação da vulnerabilidade pelo método GOD (FOSTER et al., 2006).

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). Alguns exemplos de aplicações do método GOD para avaliação da vulnerabilidade à contaminação no Estado do Rio Grande do Sul são os trabalhos realizados por Silverio da Silva et al. (2010; 2013); Riffel e Silverio da Silva, (2011); Pinheiro et al. (2012; 2013); Löbler et al. (2013; 2015) e Feron e Reginato (2014).

Mais recentemente Pinheiro et al. (2015) aplicaram a metodologia GOD nos arredores da cidade de Santa Maria – RS, obtendo valores de vulnerabilidade que variavam de insignificante a alta, sendo que os valores na faixa média a alta (cerca de 28% da área avaliada) compreenderam as áreas da Formação Santa Maria, e a Formação Caturrita, que são aquíferos caracterizados como porosos, não confinados e permeáveis. Enquanto os outros 72% da área estudada possui vulnerabilidade classificada como baixa a insignificante.

Löbler et al. (2016) aplicou a metodologia GOD nas águas subterrâneas de toda a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, evidenciando que cerca de 50% da área da total da bacia possuía alta vulnerabilidade à contaminação, enquanto as áreas de média e baixa vulnerabilidade correspondiam, cada uma, a cerca de 32% e 17% da área total, respectivamente. O restante das áreas, cerca de 1%, se divide entre as classes de vulnerabilidade insignificante e extrema. O autor ressalta, nesse trabalho, que as características geológicas são fatores determinantes no que diz respeito à vulnerabilidade.

Capalonga (2017) aplicou a metodologia DRASTIC (ALLER et al., 1987) na Região compreendida pela Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Seus resultados mostraram que 14% da região estudada possuía baixa vulnerabilidade, 82% possuía vulnerabilidade média, enquanto apenas 4% da área possuía índices de vulnerabilidade alta.

A metodologia GOD foi a escolhida para a identificação da vulnerabilidade dos aquíferos na região de Venâncio Aires, em função de seu baixo custo, facilidade de acesso aos dados necessários para aplicá-la, e boa confiabilidade de seus resultados.

3.4 RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS

A caracterização mais aproximada do que pode ser considerado risco de contaminação consiste na interação e associação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante aplicada no solo (FOSTER & HIRATA, 1988). Para tal, além de avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero, através de alguma das metodologias anteriormente citadas, deve-se identificar e classificar as possíveis fontes de contaminação existentes na área estudada, de acordo com suas características químicas, tais como mobilidade e persistência, como é apresentado na figura abaixo (Figura 5):

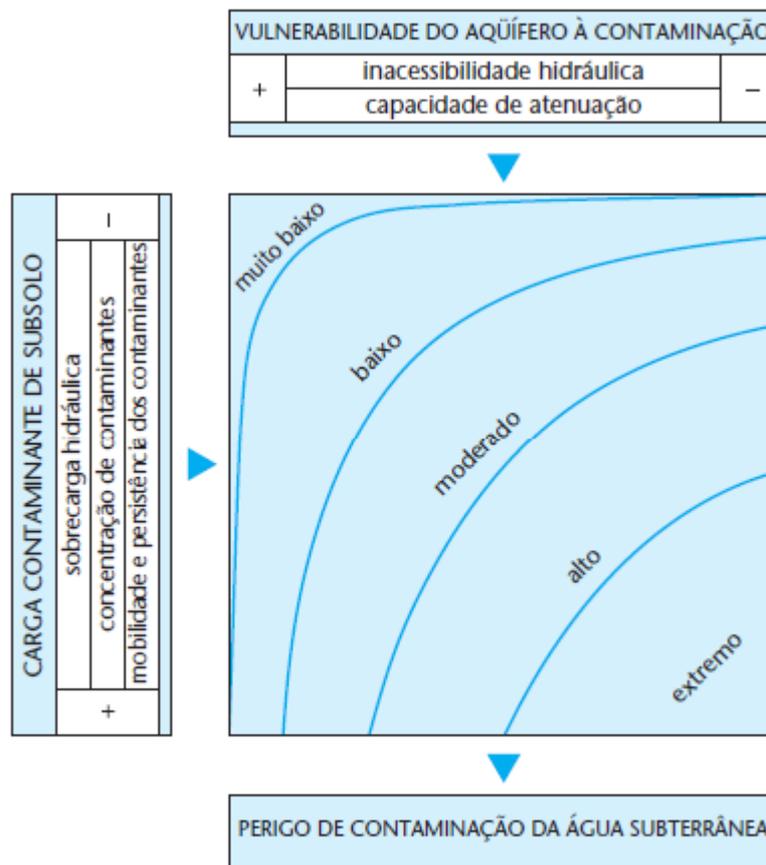


Figura 5. Esquema conceitual para avaliação do perigo de contaminação de água subterrânea. Extraído de Foster et al. (2006). Adaptado de Foster & Hirata (1988).

De acordo com Foster et al. (2002), a classificação das atividades antrópicas com potencial poluidor segundo sua distribuição espacial fornece uma impressão direta do tipo de ameaça de contaminação subterrânea que poderá ocorrer, e das medidas de controle que serão necessárias, por exemplo: as fontes de contaminação difusas não geram plumas de contaminação bem definidas e costumam afetar uma grande área, e conseqüentemente, um grande volume do aquífero; enquanto as fontes pontuais costumam produzir plumas bem definidas e concentradas, de fácil identificação e controle. Quando há a ocorrência de múltiplas fontes pontuais próximas umas às outras, as medidas de identificação e controle a serem tomadas costumam ser as mesmas de quando se trata de uma fonte difusa.

Foster et al. (2002) constata que é necessário levar em consideração todas as formas de classificação durante o levantamento das possíveis fontes de contaminação, mas que isso seria amplamente variável, portanto sugere

que classifique tais fontes com base em duas características: a probabilidade da presença de contaminantes persistentes e móveis no subsolo; e a existência de uma sobrecarga hidráulica capaz de gerar o transporte dos contaminantes para os sistemas aquíferos. Mas como essas duas características não costumam estar disponíveis, frequentemente se torna necessário trabalhar com suposições simplificadoras, tais como: associar a probabilidade da presença de substância poluente com o tipo de atividade humana; e estimar a provável sobrecarga hidráulica com base no uso da água pela atividade em questão.

Com estes pressupostos, Foster et al. (2002) desenvolveu a metodologia POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*), que se baseia em duas características facilmente estimáveis: a origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica. Este método produziu três níveis qualitativos para se identificar o potencial para se gerar uma carga contaminante no subsolo, são estes: reduzido, moderado e elevado, de acordo com os quadros (quadros 2 e 3) abaixo:

Quadro 2. Classificação das fontes de contaminação difusas segundo a metodologia POSH.

Extraído de Foster et al. (2006).

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

Quadro 3. Classificação das fontes de contaminação pontuais segundo a metodologia POSH.

Extraído de Foster et al. (2006).

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>					

O termo “risco de contaminação” foi substituído pelo termo “perigo de contaminação” por Foster et al. (2002), mantendo o mesmo significado. A mudança na terminologia ocorreu para se adequar aos estudos realizados por outras áreas que também avaliam riscos aos ecossistemas e à saúde humana.

Barbosa et al. (2011), em sua avaliação do perigo de contaminação nas áreas de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo identificou como a principal fonte difusa de poluição os agrotóxicos amplamente utilizados na agricultura da região, sendo que cerca de 9% da área estudada foi classificada com um alto perigo de contaminação. Outras fontes difusas potencialmente poluidoras identificadas na região são o saneamento *in situ*, o lançamento no solo de efluentes e resíduos domésticos e de atividades variadas como oficinas, pequenas indústrias, etc.

O estudo de Pinheiro et al. (2015) identificou como fontes de contaminação pontual em seu estudo na cidade de Santa Maria – RS, 35 postos de gasolina, 6 cemitérios, 3 áreas de disposição de resíduos e um

distrito industrial, sendo que um quarto dos postos de combustível estão inseridos nas classes de vulnerabilidade média a alta, enquanto o resto se insere em áreas com camadas impermeáveis ou semi-permeáveis. A maior parte dos cemitérios se localiza em áreas de risco baixo e insignificante, mas em função de sua carga estar continuamente exposta, pode representar risco de degradação ambiental. Quanto às cargas difusas, o autor conclui que os cursos d'água são os mais afetados pela carga orgânica causada pelo despejo de lixo e esgoto.

O trabalho de Capalonga (2017) identificou e classificou as fontes de contaminação difusas na região compreendida pela Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas através da metodologia POSH. Os resultados obtidos mostraram que 56% das cargas potenciais de contaminação se enquadram na classe moderada de potencial de contaminação, enquanto 0,3% se enquadra 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.

4. METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

Para a realização do proposto trabalho foram empregadas diferentes metodologias, em diversas etapas, as quais serão descritas a seguir, e são simplificadas no fluxograma (figura 6) abaixo:

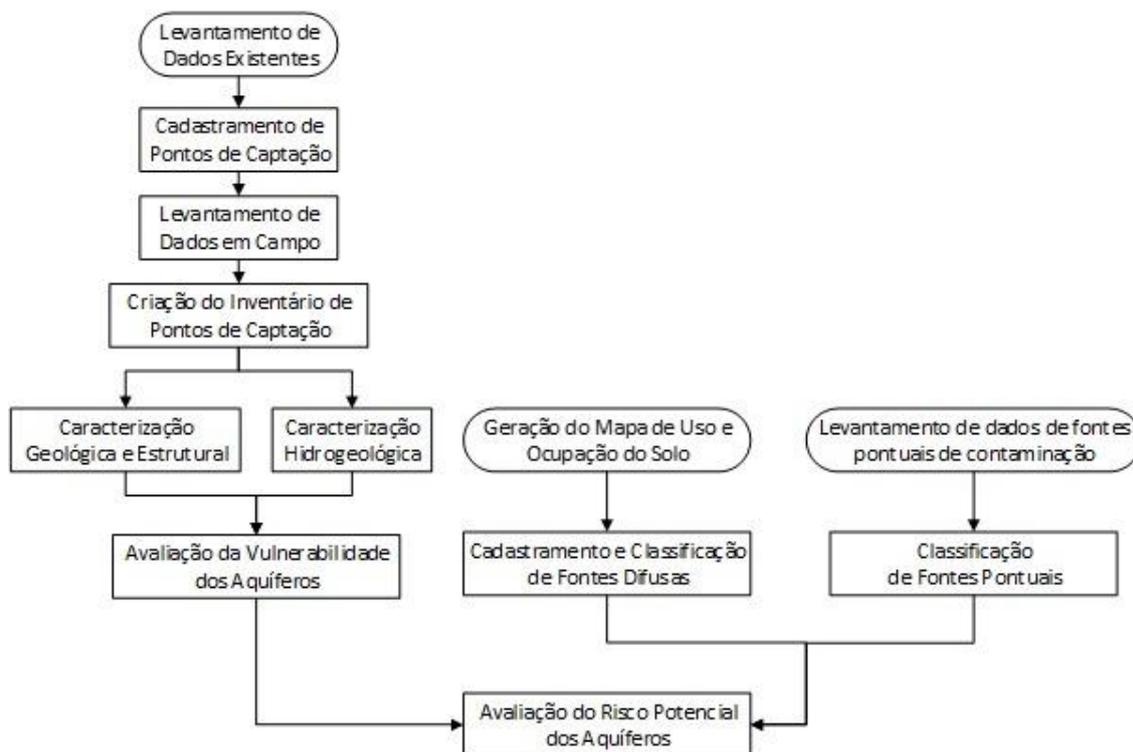


Figura 6. Fluxograma simplificado das diferentes etapas da metodologia do projeto. Elaborado pelo autor.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS EXISTENTES

A primeira etapa para a realização deste projeto se deu com o levantamento dos dados já existentes dentro do meio acadêmico sobre os assuntos abordados. Nessa etapa, foram coletadas informações existentes (geologia e hidrogeologia) sobre a região de estudo, através da leitura de artigos, relatórios técnicos, boletins informativos de órgãos governamentais, tais como a CPRM, FEPAM, SEMA, etc. Parte desse levantamento consta na

elaboração do estado da arte, o qual reúne as informações que sustentam o conhecimento e que auxiliam na realização de estudos na área abordada por este projeto.

4.2 INVENTÁRIO E CADASTRAMENTO DE PONTOS DE CAPTAÇÃO

Esta etapa consistiu na identificação e coleta dos dados de poços tubulares existentes na região compreendida pelo município de Venâncio Aires, bem como nos municípios vizinhos, onde, nesse caso, foram escolhidos poços em regiões próximas à fronteira com Venâncio Aires. Este levantamento foi realizado através da consulta ao banco de dados da CORSAN, CPRM – SIAGAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas), junto à secretaria de agricultura e secretaria da saúde do município (setor de vigilância sanitária) e empresas de perfuração, bem como poços identificados no trabalho de campo.

Foram realizadas duas saídas de campo com vistas na complementação do banco de dados usado na caracterização hidrogeológica, fornecendo informações sobre dados geográficos e construtivos de poços não registrados nos bancos de dados do SIAGAS.

Os dados hidrogeológicos e litológicos obtidos foram organizados em um inventário, na forma de tabelas, através do *software Microsoft Excell* (Anexo A). Nestas tabelas estão contidos os dados de localização geográfica (cota e coordenadas UTM), características construtivas (profundidade, presença e intervalos de filtros e diâmetro), geológicas (formação geológica e litologias), hidrogeológicas (aquíferos captados e espessuras das camadas aquíferas) e hidrodinâmicas (vazão, nível dinâmico e transmissividade) dos poços dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral na região do município. Tais dados foram utilizados na identificação das formas de captação e de uso da água subterrânea, na caracterização dos aquíferos da região e na determinação dos valores dos parâmetros da metodologia GOD.

4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A caracterização geológica na região foi realizada através de análises e interpretações do mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), e complementada com dados de outros trabalhos realizados na região, bem como com os dados obtidos em campo.

A identificação das litologias que ocorrem em profundidade, se deu através da interpretação de perfis geológicos dos poços tubulares localizados na região de estudo. Os perfis dos poços foram então utilizados na interpretação e realização de seções geológicas para avaliação geométrica (contatos e espessuras) das diferentes camadas bem como para a identificação da profundidade de ocorrência de formações sotopostas pelas aflorantes em superfície.

Também foi feita uma caracterização morfoestrutural, que consiste na identificação e no traçado dos lineamentos para a região de estudo. Tais lineamentos são os responsáveis pelo condicionamento dos aquíferos fraturados do Sistema Aquífero Serra Geral, que consiste em toda a porção norte do município estudado. Para tal foram utilizados imagens de modelos digitais de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que consistem em imagens de satélite com dados de elevação e resolução espacial de 30m, obtidas a partir do site *earthexplorer.usgs.gov*. Estas imagens foram submetidas a iluminações vindas das direções NE (azimute 045) e NW (azimute 315), de modo que a visualização e interpretação das morfoestruturas fossem facilitadas. O traçado dessas morfoestruturas foi feito na escala 1:50.000.

Posteriormente foram avaliadas as orientações preferenciais desses lineamentos, suas dimensões e a sua densidade de ocorrência. A extração dos dados para a realização desta avaliação deu-se através da ferramenta *AzimuthFinder* (QUEIROZ et al., 2014). Então com o uso do *Software Stereo 32*, foram elaborados os diagramas de roseta, para que pudessem ser feitas as interpretações e análises em relação às morfoestruturas da região.

Esta análise é importante, pois estas morfoestruturas são condicionantes dos aquíferos fraturados, além de poderem indicar variações na acessibilidade ao meio aquífero e na capacidade de atenuação que as rochas podem exercer sobre o acesso de algum possível contaminante.

Nessa etapa também foram realizados trabalhos de campo para avaliação de afloramentos, com vistas na identificação das litologias e morfoestruturas presentes na área de estudo.

4.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Essa etapa foi realizada com base nos dados obtidos pelo levantamento de dados existentes, pela elaboração do inventário e pelo cadastramento de pontos de captação. A caracterização regional foi realizada com base na interpretação do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005) e em outros trabalhos na região.

A identificação dos aquíferos foi realizada através da interpretação dos perfis geológicos dos poços identificados na região, sendo que foram avaliados dados sobre as litologias dos locais onde estão localizados os aquíferos, bem como sua espessura saturada e continuidade lateral.

A situação dos poços foi avaliada com base nos dados obtidos com o inventário e cadastramento de poços, bem como com o levantamento de campo.

A caracterização hidrogeológica foi feita, então, com base na avaliação de propriedades como nível estático, vazão e profundidade. Para tal, foram realizadas análises estatísticas dos diferentes parâmetros para a caracterização dos sistemas aquíferos na região.

4.5 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS

A avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos da região foi realizada através do uso da metodologia GOD (*Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table*), elaborado por Foster e Hirata (1993) e aperfeiçoado por Foster et al. (2002), utilizando os parâmetros:

- (G) Grau de confinamento do aquífero (livre, confinado, semi-confinado)
- (O) Ocorrência de estratos de cobertura
- (D) Distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (espessura da zona vadosa)

Os valores para cada um destes parâmetros foram definidos a partir da interpretação dos dados previamente adquiridos nas etapas de elaboração do inventário e do cadastramento de pontos de captação, bem como nas caracterizações geológica e hidrogeológica. Sendo que, o parâmetro G, nos aquíferos fraturados, foi definido a partir da interpretação e elaboração de um mapa de solo para a região.

Estes índices foram interpolados para gerar os mapas numéricos de cada parâmetro. Tais mapas foram interpolados através do método Inverso do Quadrado da Distância (IDQ), o qual, após diversos testes com outros métodos, mostrou-se o mais eficaz para interpolar a malha de pontos irregular da distribuição geográfica dos poços do banco de dados.

Estes mapas, então, foram multiplicados entre si (figura 7) para gerar os mapas de vulnerabilidade dos aquíferos da região, com índices que variam de zero a um. O mapa foi então reclassificado de acordo com os intervalos de vulnerabilidade estabelecidos pela metodologia (figura 8):

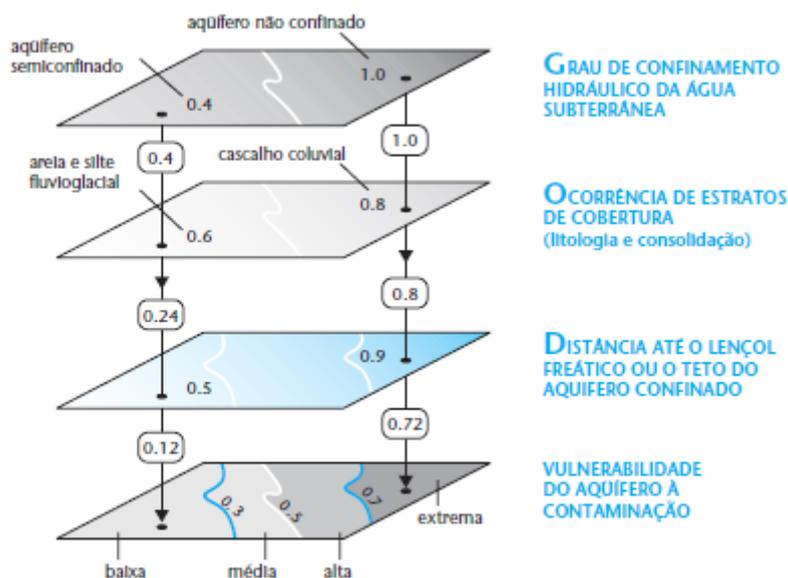


Figura 7. Produção do mapa de vulnerabilidade de acordo com a metodologia GOD. Extraído de Foster et. al. 2006.

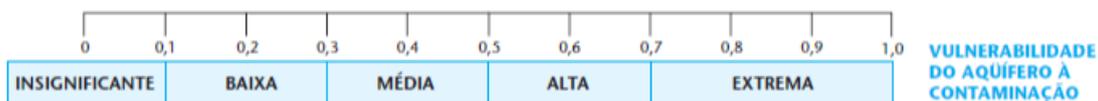


Figura 8. Reclassificação dos índices de vulnerabilidades em classes de vulnerabilidade. Extraído de Foster et. al. 2006.

As interpolações foram feitas através do *software* ArcGIS 10.5 e as operações algébricas entre eles foram realizadas utilizando a ferramenta calculadora *Raster* da função Álgebra de Mapas, também no *software* ArcGIS 10.5.

4.6 AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS

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

Para identificação das fontes de contaminação difusas, foi elaborado um mapa de uso e ocupação do solo, através da interpretação de imagens do satélite *Landsat 8*, que possui resolução espacial de quinze metros, e suas imagens podem ser obtidas através do *site* do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Foram definidas seis diferentes classes, cada qual com sua assinatura espectral, identificadas através de análise visual. As classes definidas foram: área urbana, áreas com pecuária/campo, áreas com agricultura, corpos d'água, solo exposto e vegetação arbórea. Então, através do método da máxima verossimilhança, foi elaborada a classificação automática da área de estudo. O mapa resultante foi reclassificado em valores numéricos para poder ser multiplicado com os mapas de vulnerabilidade, que também foram reclassificados em valores numéricos. O produto dessa multiplicação foi então reclassificado para as classes determinadas pela metodologia POSH. Estas operações foram todas também realizadas no *software ArcGIS 10.5*.

Nas áreas urbanas, as fontes pontuais de contaminação foram identificadas através da análise das imagens disponibilizadas nas plataformas *Google Earth* e *Google Maps* e do levantamento de dados junto à Prefeitura de Venâncio Aires.

As fontes identificadas foram então classificadas com relação ao nível de carga contaminante, nas categorias pré-definidas pela metodologia POSH.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM VENÂNCIO AIRES

A água subterrânea no município de Venâncio Aires é utilizada na agricultura, em indústrias e em parte para o abastecimento e consumo urbano, sendo assim um valioso recurso. O centro urbano do município e seus arredores possuem seu abastecimento primário fornecido pela CORSAN, mas as áreas rurais e as zonas e distritos mais distantes não recebem este benefício. Desta forma, os moradores dessas zonas se unem em associações e sociedades hídricas, as quais se tornam responsáveis pela aquisição e distribuição de água, geralmente através de poços tubulares, e em conjunto com a prefeitura ou com o governo do Estado.

Na parte sul do município, onde predominam relevos planos e as formações geológicas sedimentares clásticas Santa Maria e Botucatu, em função das camadas de solo serem mais espessas, é muito comum os moradores obterem a água para seu abastecimento e consumo doméstico individual, através de poços escavados. Nessas regiões, geralmente cada indivíduo é responsável pela obtenção de sua própria água, o que resulta em uma relação de praticamente um poço escavado por residência. Nas figuras 9, 10, 11 e 12 são apresentadas imagens que demonstram os diferentes tipos de captações no município:



Figura 9. Poço tubular pertencente à Rede hídrica João Guttenberg, localizado na parte noroeste do município. Capta água do SASG.



Figura 10. Poço escavado no pátio da casa de um morador. Capta água de um aquífero granular livre associado ao manto de alteração existente sobre as rochas sedimentares.



Figura 11. Poço tubular na região norte do município. Capta água dos aquíferos fraturados do SASG.



Figura 12. Poço de pequeno diâmetro com artesianismo, localizado na parte sul do município. Profundidade de 86m. Capta água da Formação Santa Maria, pertencente ao SAG.

De acordo com o levantamento de dados do portal SIAGAS foi identificado um total de 211 poços tubulares na região de Venâncio Aires e arredores, sendo 164 poços dentro dos limites do município e 47 poços nas áreas próximas às fronteiras. A distribuição dos poços pode ser observada no mapa apresentado na figura 13.

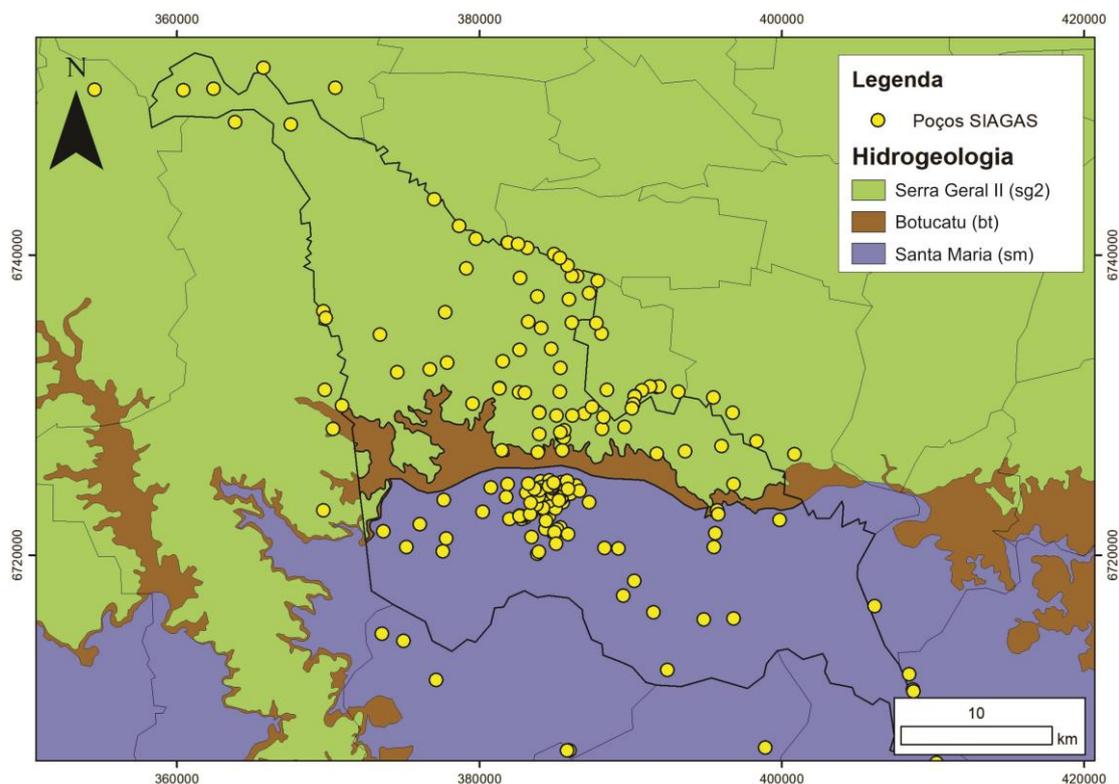


Figura 13. Distribuição geográfica dos poços levantados através do portal SIAGAS. Elaborado pelo autor, com base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005).

Os poços da rede pública, que são os poços pertencentes à CORSAN e à Prefeitura Municipal de Venâncio Aires, somam um total de 55 pontos de captação, sendo 46 deles pertencentes à CORSAN e nove pertencentes à Prefeitura. Estes poços se concentram na zona urbana e seus arredores, na região central do município. Também foram extraídos do cadastro SIAGAS, 65 pontos de captação particulares, que pertencem a indústrias, hotéis, postos de gasolina, proprietários particulares ou a diversos empreendimentos do setor terciário. Estes poços também se concentram na zona mais urbanizada do município e seus arredores. Por fim, foram extraídos 91 poços comunitários, pertencentes a diferentes Redes, Sociedades e Associações Hídricas. Estes pontos de captação se encontram distribuídos ao longo de toda a extensão do

município, e são a principal forma de captação de água para abastecimento e consumo para a população que vive nas zonas rurais e/ou distantes do centro urbano de Venâncio Aires. A distribuição geográfica de todos esses pontos de captação é mostrada no mapa abaixo (figura 14):

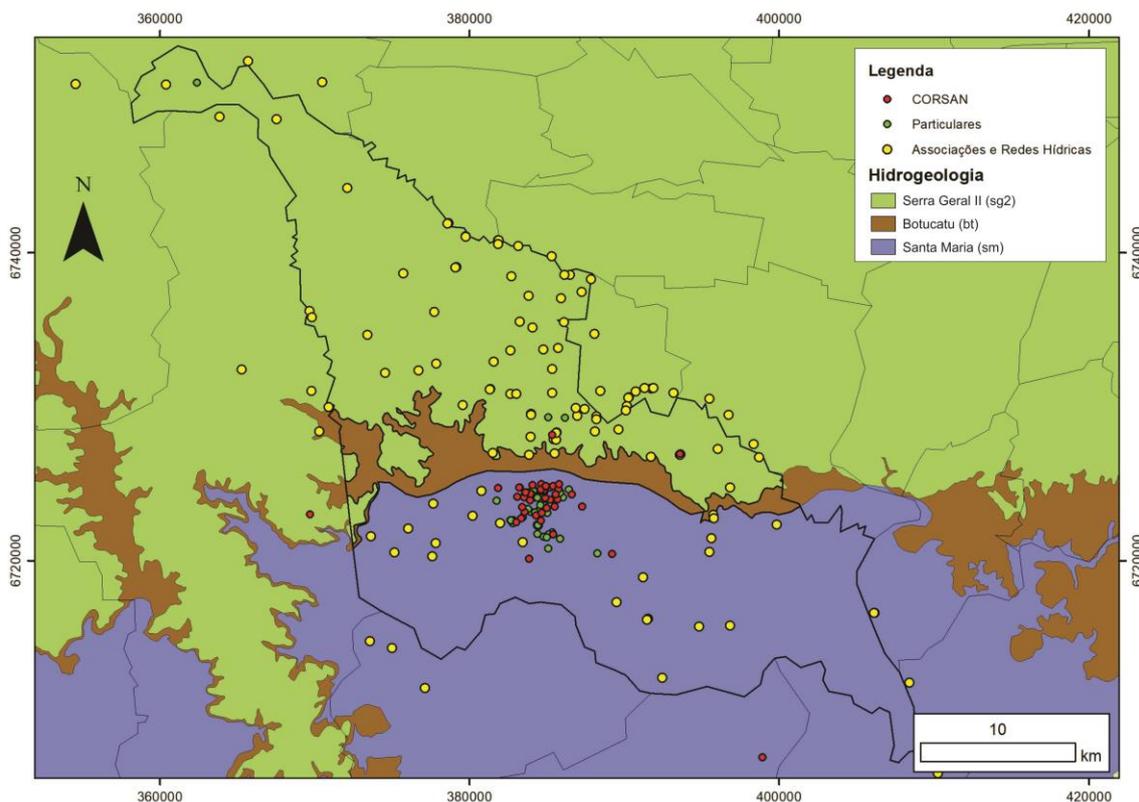


Figura 14. Distribuição geográfica dos poços levantados através do portal SIAGAS. Separados por pontos de captação comunitários, públicos (CORSAN e Prefeitura) e Associações e Redes Hídricas. Elaborado pelo autor, com base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005).

Após o levantamento de dados em campo, foram adicionados 60 novos poços ao inventário, dos quais 27 foram mapeados e encontrados em campo (20 deles são poços escavados), 17 tiveram seus dados cedidos pela vigilância sanitária da prefeitura do município de Venâncio Aires, enquanto os dados dos outros 16 poços foram obtidos através de bancos de dados cedidos por empresas de perfuração de poços. Isso resultou em um total de 271 poços, sendo 251 tubulares e 20 escavados. A distribuição geográfica de todos os poços do banco de dados é mostrada abaixo (figura 15):

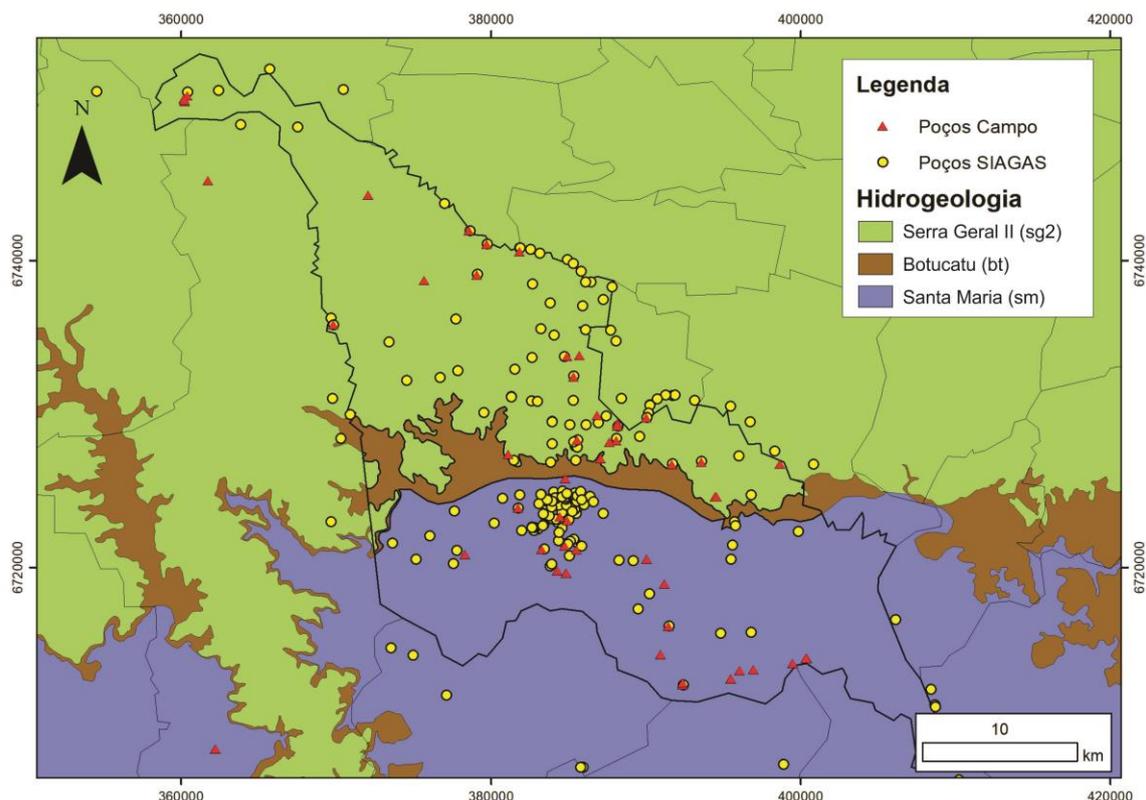


Figura 15. Distribuição geográfica dos poços levantados em campo e em bancos de dados da vigilância sanitária de Venâncio Aires e de empresas de perfuração de poços, bem como dos poços levantados através do portal SIAGAS. Elaborado pelo autor, com base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005).

5.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA:

Com base no Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), nos dados bibliográficos, nos dados dos perfis geológicos de poços tubulares disponibilizados pela CPRM através do portal SIAGAS, pela CORSAN, por empresas de perfuração e pelas etapas de levantamento geológico em campo, foi determinada a ocorrência de três principais unidades litológicas na região: a Formação Santa Maria, a Formação Botucatu e a Formação Serra Geral, a qual é subdividida em duas fácies, a fácies Caxias e a fácies Gramado.

O mapa abaixo (figura 16) representa o mapa geológico da região, com a ocorrência das litologias aflorantes na área de estudo. Destaca-se que o município encontra-se na fronteira entre o planalto meridional, ao norte e

noroeste, representado pelos derrames da Formação Serra Geral, com altitudes que chegam a mais de 500m e a depressão central, ao sul e sudeste, representada pelas rochas sedimentares das Formações Santa Maria e Botucatu, e também pelos depósitos aluvionares, com altitudes que podem ser inferiores a 50m.

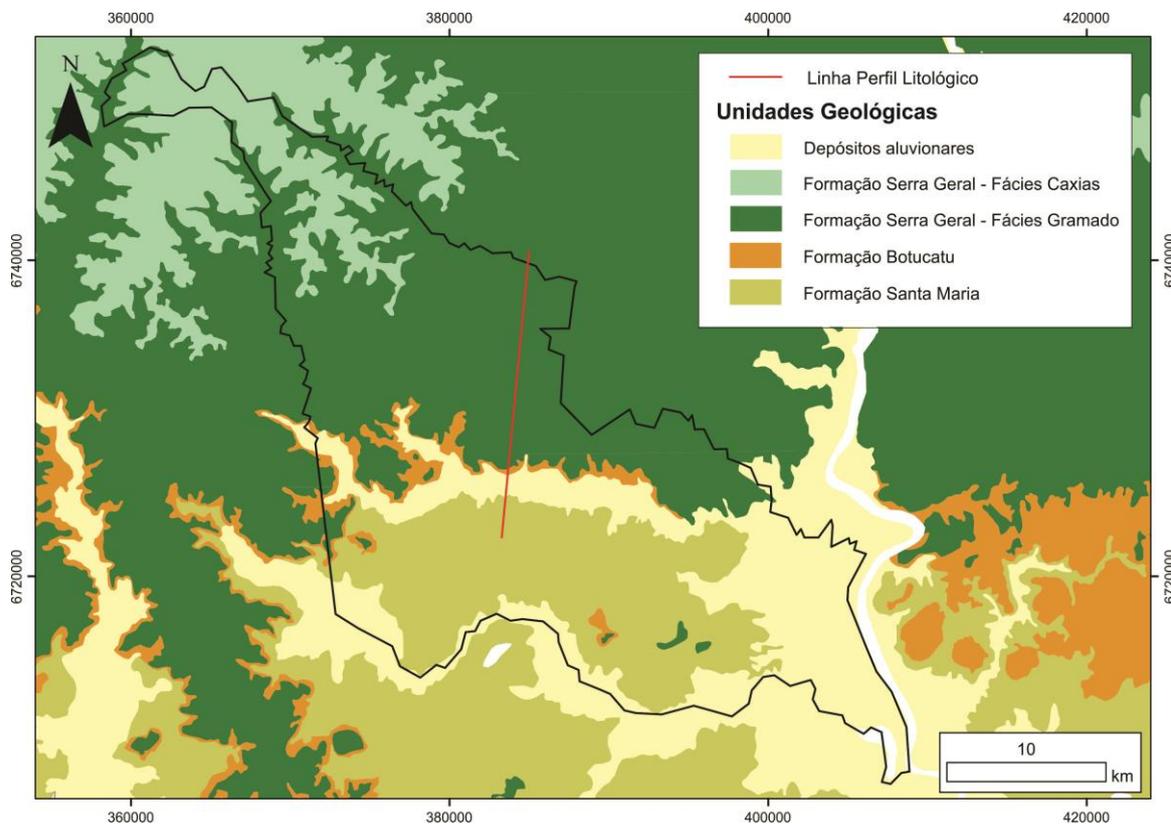


Figura 16. Mapa geológico da região, com linha de perfil geológico traçado. Elaborado pelo autor, adaptado do Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008).

Através da interpretação dos dados de perfis geológicos de diferentes poços tubulares na região, foi elaborado um perfil esquemático simplificado com orientação Norte-Sul das relações espaciais e estratigráficas entre as unidades litológicas presentes na área de estudo (Figura 17).

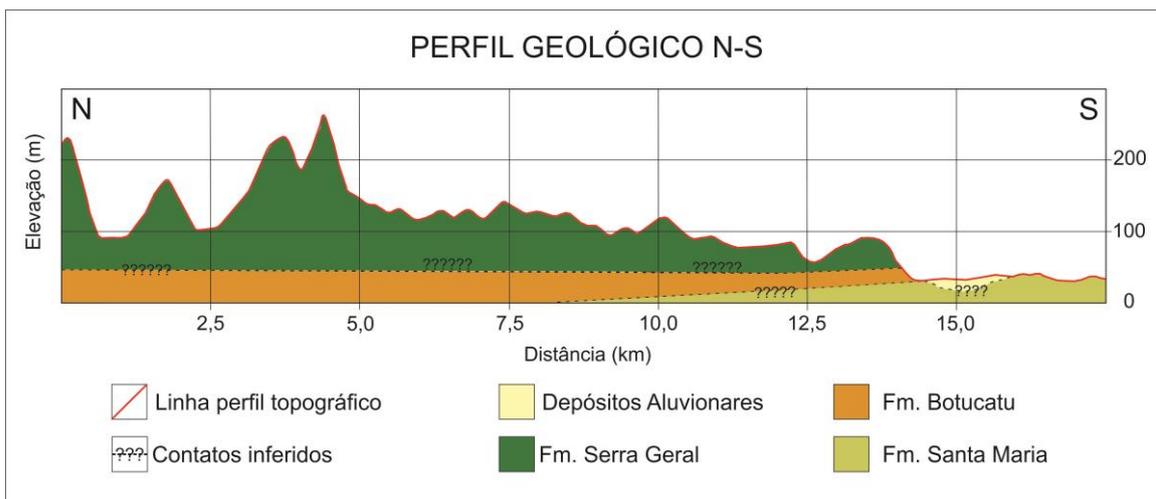


Figura 17. Perfil esquemático simplificado da ocorrência das unidades geológicas no Município de Venâncio Aires.

5.2.1 Formação Santa Maria

As rochas pertencentes à Formação Santa Maria se encontram principalmente em afloramentos de corte de estrada, nas partes sul e sudeste, onde predominam. Costumam ocorrer em cotas inferiores a 50m e em áreas mais aplainadas. Os afloramentos consistem em intercalações centimétricas a decimétricas entre argilitos, siltitos e arenitos finos (figura 18), podendo ocorrer grandes pacotes dessas rochas, chegando a espessuras métricas (figura 19). Geralmente essas rochas apresentam coloração avermelhada e laminação plano-paralela incipiente ou não.



Figura 18. Intercalações entre argilitos, siltitos e arenitos finos, com laminação plano-paralela.



Figura 19. Grandes pacotes com espessura métrica de argilitos, siltitos e arenitos finos da Formação Santa Maria.

De acordo com perfis geológicos de alguns poços da região, a Formação Santa Maria pode ocorrer diretamente abaixo da Formação Serra Geral, sem a presença de rochas da Formação Botucatu entre elas, como mostrado no perfil construtivo abaixo (Figura 20):

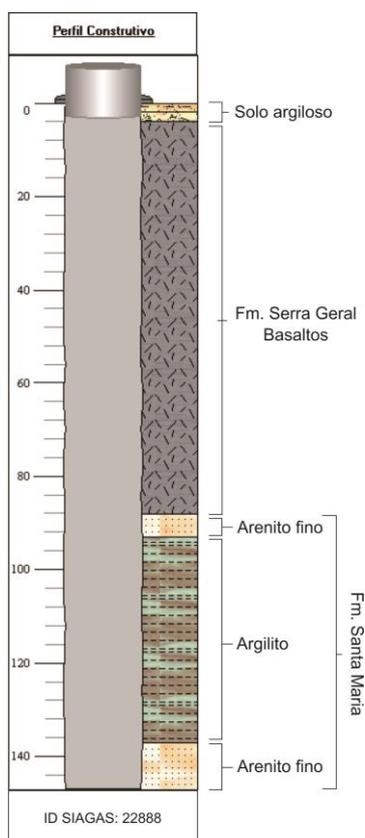


Figura 20. Perfil construtivo de poço tubular em Cruzeiro do Sul (UTM 6730518/395474), próximo à fronteira nordeste de Venâncio Aires, mostrando rochas da Formação Serra Geral sobrepondo as rochas da Formação Santa Maria. Extraído do portal SIAGAS (CPRM).

5.2.2 Formação Botucatu

As rochas sedimentares da Formação Botucatu são pouco expressivas na área de estudo, se concentrando principalmente numa faixa com orientação leste-oeste na parte central do município. Durante o levantamento de campo, foi encontrado apenas um afloramento pertencente a esta unidade. Localizado a oeste do município, e a noroeste do centro urbano, numa elevação de 140 m. O afloramento consiste em um arenito médio, bem selecionado, com estratificação cruzada acanalada incipiente, e muito friável, devido ao alto grau de alteração ao qual havia sido submetido (figura 21).



Figura 21. Afloramento de arenito Botucatu, na parte oeste do município.

O perfil construtivo abaixo (Figura 22) mostra as relações estratigráficas entre as rochas da Formação Serra Geral e as rochas da Formação Botucatu, onde em alguns casos os arenitos podem estar intercalados com as vulcânicas (poço da esquerda), enquanto em outros casos, mais comuns, os basaltos estão sobrepondo os arenitos (poços da direita):

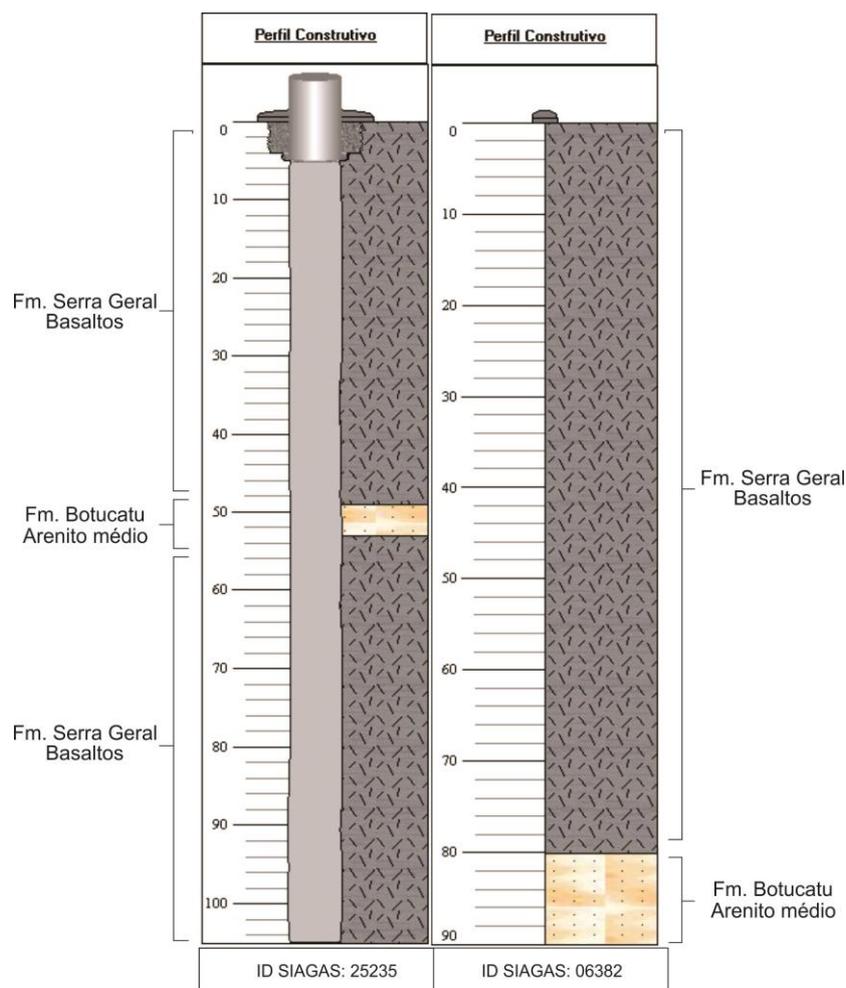


Figura 22. Perfis construtivos de poços tubulares. À esquerda, poço localizado em Venâncio Aires (UTM 6728193/385325) mostrando intercalação entre o arenito Botucatu e basaltos da Fm. Serra Geral. À direita, poço também localizado em Venâncio Aires (UTM 6730835/383000) mostrando as rochas da Formação Serra Geral sobrepondo as rochas da Formação Botucatu. Extraído do portal SIAGAS (CPRM).

De acordo com o banco de dados e apesar dos poços não atravessarem por completo as suas camadas, apenas cinco poços na região chegavam às rochas da Formação Botucatu, a maior parte deles fora dos limites do município. A partir dos valores de profundidades destes poços tubulares e profundidades de topo da Formação Botucatu foram obtidos valores de espessuras interceptadas pelos poços que variam de 10 a 126 metros, com uma média de 36,4 metros.

5.2.3 Formação Serra Geral

As rochas da Formação Serra Geral se estendem por toda a porção norte do município, cobrindo as rochas das formações Botucatu e Santa Maria nesses locais. Ocorrem em altitudes superiores, geralmente acima de 100m. São representadas na região por derrames tabulares e cinzentos de basalto afanítico, pertencentes à Fácies Gramado (figura 23). Suas texturas variam desde maciça a até vesicular preenchida por minerais secundários (figura 26), principalmente zeolita, tanto na base quanto no topo dos derrames. Foi encontrada em diversos afloramentos, água vertendo de estruturas associadas a estes derrames (figura 25), evidenciando a natureza da ocorrência dos aquíferos fraturados dessa formação. Em alguns casos, em conjunto com esses sistemas de fraturas, havia a ocorrência de mineralizações secundárias compostas principalmente por zeolitas, como mostradas na figura 24.



Figura 23. Corte de estrada com derrames maciços de basalto afanítico empilhados (Fácies Gramado).



Figura 24. Nível de zeólita associado à superfície de contato entre derrames, evidenciado a percolação de fluidos (Fácies Gramado).



Figura 25. Água vertendo de uma superfície de contato entre dois derrames, característico dos aquíferos fraturados do Sistema Aquífero Serra Geral.



Figura 26. Detalhe de vesículas preenchidas por zeólitas em base de derrame (Fácies Gramado).

Apenas três poços tubulares na região atravessaram completamente as rochas da Formação Serra Geral, mostrando que, nestes pontos, os basaltos apresentam valores de espessura entre 62 e 80 metros, com média de 72 metros.

De acordo com os dados de profundidade dos poços que captam água das rochas do SASG, dos quais, apesar da grande maioria dos poços não atravessarem completamente estas rochas, é possível obter-se a espessura de basaltos interceptados pelos poços. A figura 27 mostra um histograma das profundidades destes poços:

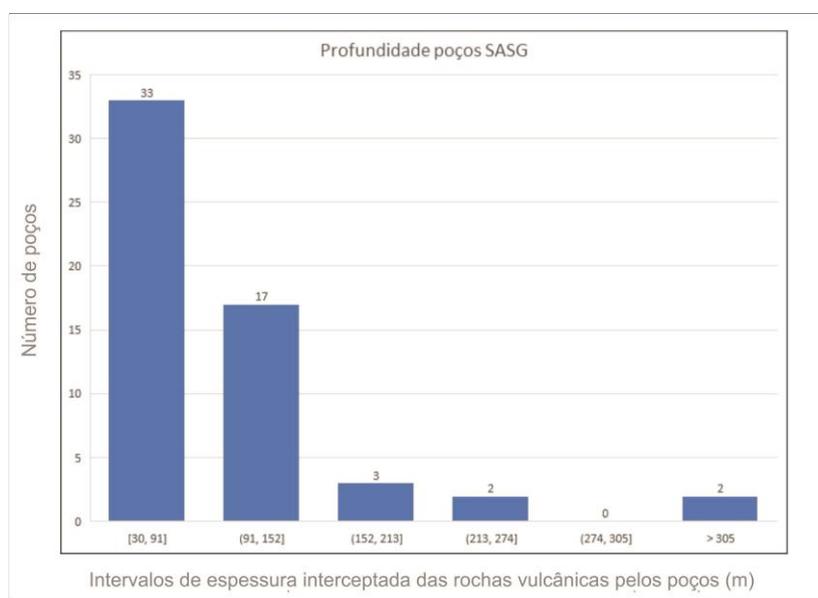


Figura 27. Histograma de profundidade dos poços do SASG, indicando espessuras das rochas vulcânicas interceptadas pelos poços nessa região.

Os valores encontrados indicam que a espessura das rochas vulcânicas interceptadas pelos poços apresenta valor de média igual a 103,11 metros. Os valores acima de 200 metros se concentram na parte noroeste do município, que é a região mais alta do município. Os demais valores se distribuem de forma homogênea pela parte centro-norte de Venâncio Aires. Nota-se também, quando comparamos os dados de profundidade destes poços aos dados de espessura das camadas da Formação Serra Geral obtidos nos perfis construtivos anteriormente citados, uma alta variação nos possíveis valores de espessura para estas camadas, com valores mínimos de 30 metros e máximos de 415 metros (quadro 4).

Quadro 4. Dados de espessura das rochas vulcânicas interceptadas pelos poços na Formação Serra Geral.

Espessura mínima (m)	
Nº de Poços	57
Máximo	415
Mínimo	30
Média	103,11
Mediana	86
Desvio Padrão	67,37

As rochas desta unidade são marcadas por sistemas de fraturas característicos, os quais foram analisados em afloramentos e em levantamentos de lineamentos na região.

A imagem abaixo (Figura 28) representa os lineamentos que foram identificados na região. O traçado se deu sobre *Hillshades* sombreados em azimutes 045 e 225, gerados a partir de imagens obtidas pela *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*.

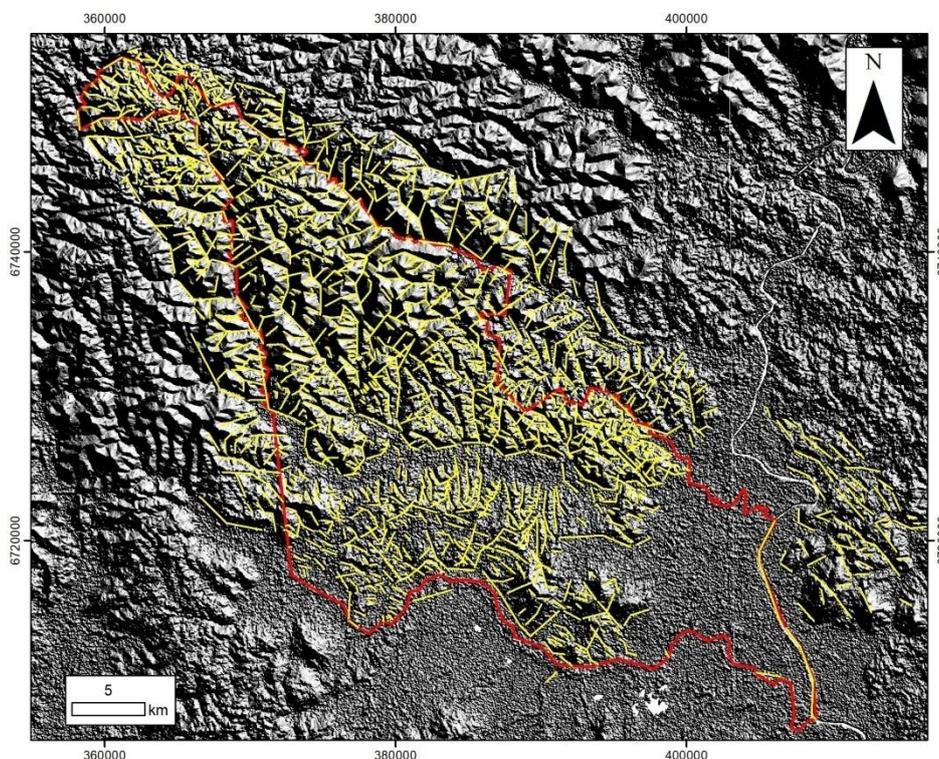


Figura 28. Traçado dos lineamentos para a região de Venâncio Aires e arredores. Limites do município evidenciados na cor vermelha. Elaborado pelo autor.

Este levantamento baseado no traçado dos lineamentos permitiu a identificação de 1642 lineamentos, dos quais foram extraídos dados de orientação (Figura 29) e comprimento (Figura 30).

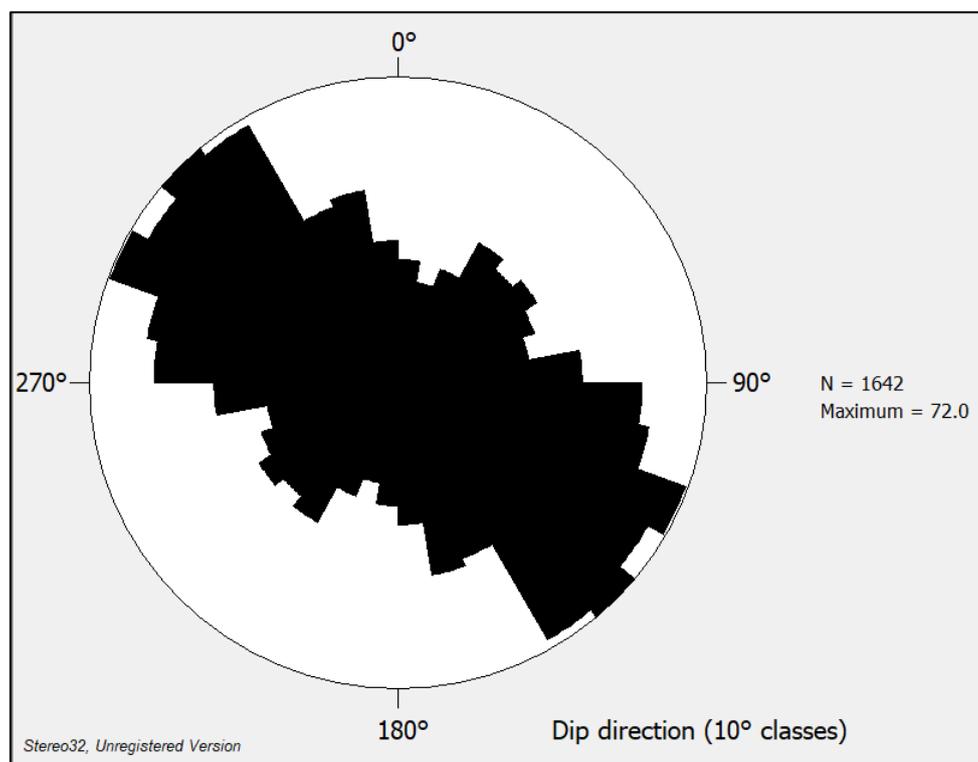


Figura 29. Diagrama de roseta com as direções dos lineamentos. Obtido através do *software Stereo 32*.

De acordo com o diagrama de roseta da figura 29, os lineamentos traçados para a área de estudo se concentram principalmente na orientação noroeste-sudeste, com predomínio dos azimutes 295 e 315, tendo orientações para 040 e 050 subordinadamente.

O histograma da figura 30 mostra que cerca de 70% dos lineamentos apresentam comprimento menor que 1000 metros, 27% apresentam comprimento entre 1000 e 2000 metros, e apenas 3% apresentam comprimento superior a 2000 metros.

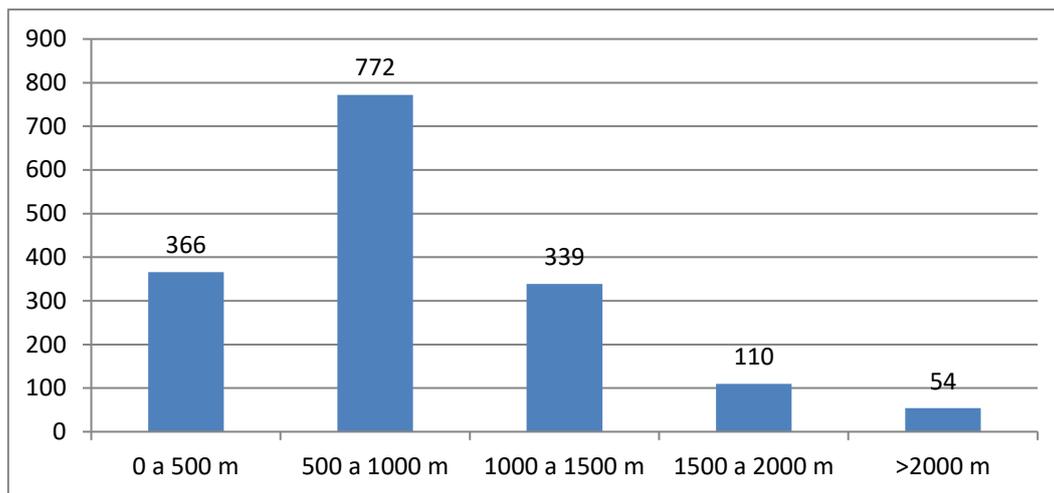


Figura 30. Histograma dos comprimentos dos lineamentos das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

Foi elaborado um mapa de densidade de lineamentos, com o intuito de se identificar as zonas com maior densidade de lineamentos, o que pode indicar as áreas mais vulneráveis suscetíveis à contaminação oriunda da superfície (figura 31).

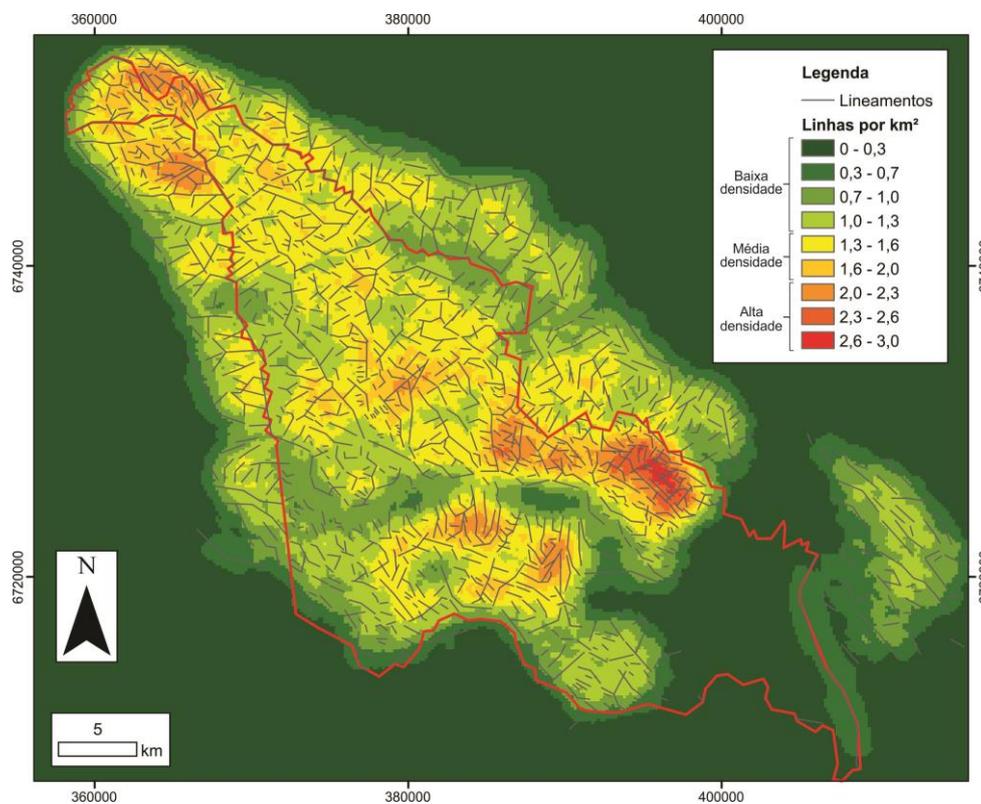


Figura 31. Mapa de densidade de lineamentos da área de estudo. Tons esverdeados são áreas com menor densidade de lineamentos, tons amarelados e vermelhos são os com maior densidade, respectivamente. Elaborado pelo autor.

A partir do mapa de lineamentos da figura 31, foram interpretadas três diferentes classes de densidade de lineamentos, sendo essas: baixa, média e alta densidade. A baixa densidade varia entre valores de zero a 1,3 lineamentos por km² e é mostrada no mapa pelos tons de verde, pode-se interpretar que nessas áreas as morfoestruturas são pouco presentes, ou até mesmo ausentes, logo não serão muito influentes na vulnerabilidade dos aquíferos. A média densidade varia entre valores de 1,3 a 2,0 lineamentos por km² e é representada no mapa pelos tons de amarelo, nessas áreas, os lineamentos são um importante fator que deve ser considerado na interpretação da vulnerabilidade. Os valores de alta densidade, representados pelos tons de laranja e vermelho, variam de 2,0 a 3,0 lineamentos por km² e são grande colaboradores para o aumento da vulnerabilidade dos aquíferos nessas áreas, pois estas fraturas podem servir como acesso ao meio aquífero.

O mapa da figura 31 mostra que as zonas com maior concentração de lineamentos são o extremo noroeste do município e a parte centro-nordeste. Nota-se também que, o município possui a maior parte de sua área classificada como média densidade de lineamentos. Isso provavelmente se deve ao fato que a cidade se localiza na divisa entre a escarpa do planalto e a depressão central, zona propícia para a formação, concentração e desenvolvimento de feições morfoestruturais, geradas pelos processos de erosão. A região leste do município apresenta poucos lineamentos, isso ocorre em função de esta ser uma zona de relevo planificado, que está sob influência do rio Taquari, o qual delimita a fronteira leste da área de estudo.

5.3. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Na região estudada há a ocorrência de três unidades hidroestratigráficas segundo o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005): Serra Geral II, Botucatu e Santa Maria.

A partir deste momento, estas unidades serão abordadas nesse trabalho como sistema aquífero Serra Geral (SASG), que é condicionado pela

ocorrência de fraturas tectônicas que cortam as estruturas de resfriamento das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, e o sistema aquífero Guarani (SAG), composto, na região, por aquíferos granulares, livres e/ou confinados associados às rochas sedimentares das formações Botucatu e Santa Maria. A figura 32 mostra as relações geográficas entre os sistemas aquíferos presentes na área de estudo.

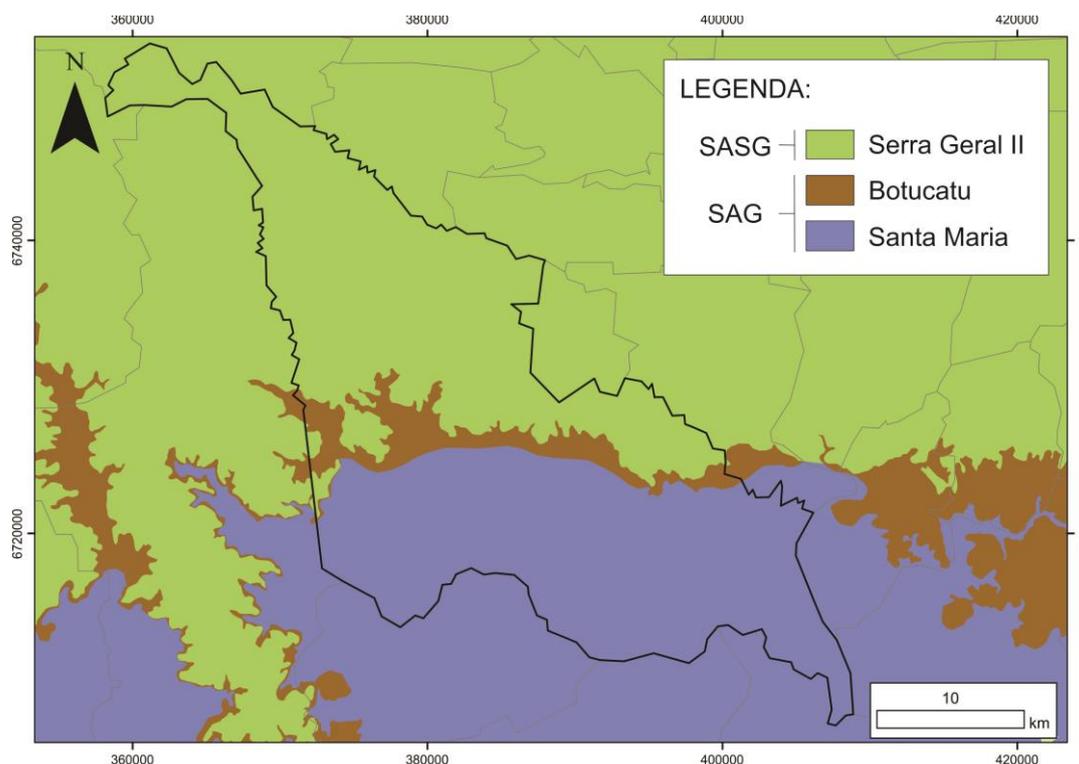


Figura 32. Mapa hidrogeológico da região de estudo, com identificação e classificação dos três aquíferos presentes na área. Elaborado pelo autor com base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005).

Para a realização deste estudo, foram utilizados dados de poços tubulares localizados no município de Venâncio Aires e de cidades próximas. Estes dados foram dispostos em um mapa hidrogeológico e classificados de acordo com as informações de descrições de perfis geológicos e de profundidade de entrada d'água (figura 33).

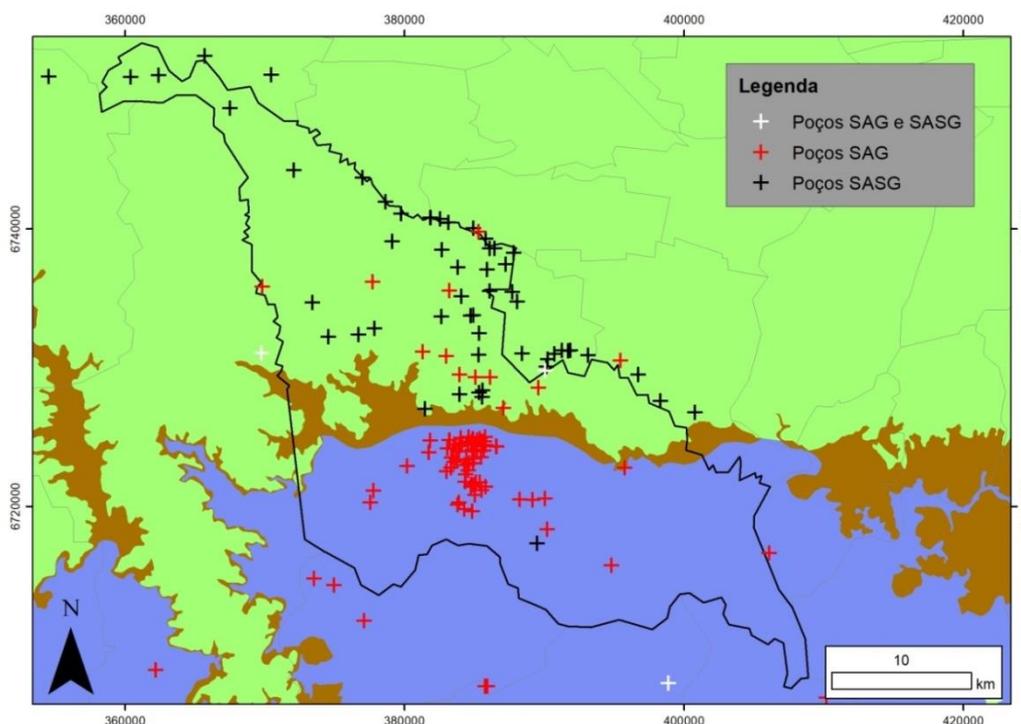


Figura 33. Mapa hidrogeológico da região com localização dos poços cadastrados no banco de dados, classificados de acordo com qual aquífero eles captam água. Elaborado pelo autor com base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul.

Dos 271 poços existentes na área estudada, 115 apresentam captação exclusiva do SAG, 57 do SASG, três apresentam captação mista, e 96 não apresentavam dados de perfil construtivo/geológico ou de descrição de profundidade de entrada d'água, o que não possibilitou a classificação dentro de um sistema aquífero (figura 34):

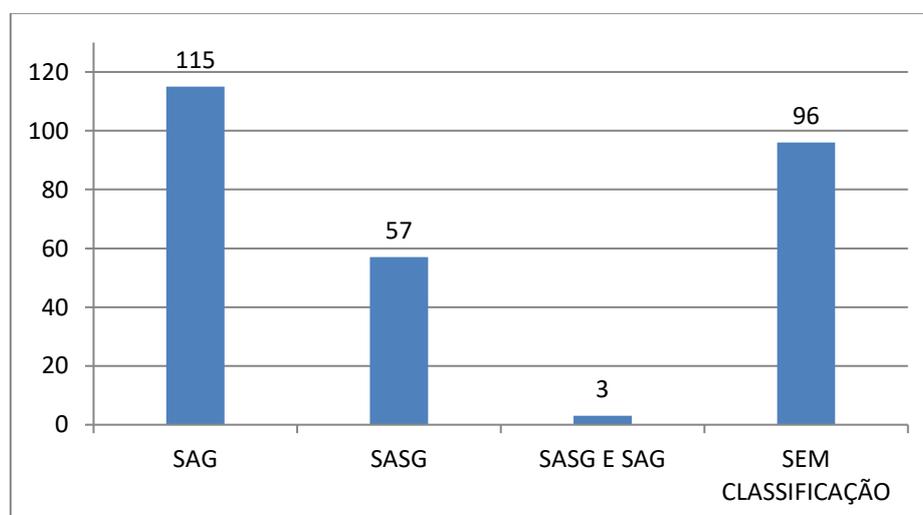


Figura 34. Distribuição da quantidade de poços em cada aquífero.

A análise dos perfis geológicos dos poços demonstra predomínio de camadas de rochas vulcânicas de composição basáltica da Formação Serra Geral nos poços pertencentes ao SASG, e camadas de argilitos, siltitos e arenitos finos da Formação Santa Maria, pertencentes ao SAG. O SAG ocorre de maneira confinada e livre na região, sendo confinado quando sob as rochas vulcânicas do SASG e livre nas áreas onde há a ausência dessas rochas, o que ocorre nas partes centrais e sul do município (figura 33).

Dos 271 poços, 235 possuem dados de profundidade, com apenas 36 poços não apresentando este parâmetro. De acordo com o gráfico abaixo (figura 35), o intervalo de maior ocorrência de profundidade dos poços é de 51 a 100 metros.

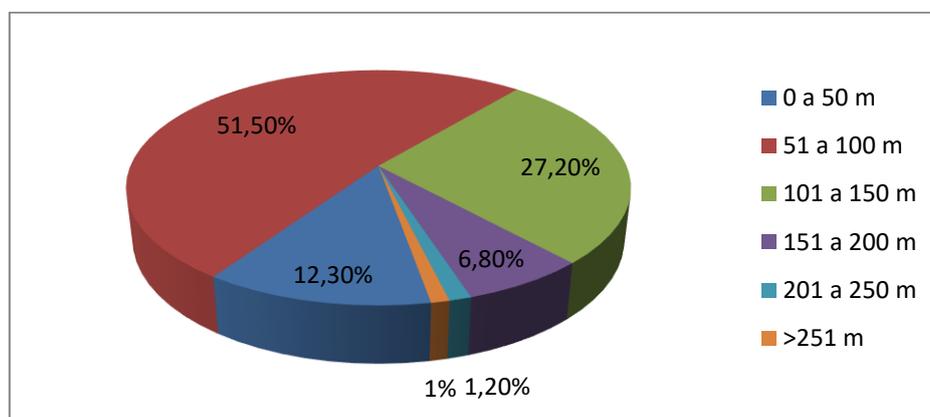


Figura 35. Gráfico de profundidade de todos os poços da região.

Também foram observados e analisados valores de máximo, mínimo, média, mediana e desvio padrão para a profundidade de todos os poços da região, como mostrado no quadro 5.

Quadro 5. Dados de profundidade de todos os poços da região.

Profundidade dos Poços (m)	
Nº de Poços	235
Máximo	415
Mínimo	3
Média	94,40
Mediana	86
Desvio Padrão	48,39

5.3.1 Sistema Aquífero Serra Geral

A análise dos dados hidrogeológicos referentes ao Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) foi feita com base em 57 poços tubulares existentes na região de estudo, concentrados, em sua maioria, nas partes norte e noroeste do município.

As rochas que ocorrem na região são descritas como basaltos amigdalares, vesiculares ou maciços, apesar de que, segundo o Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008) há a ocorrência de rochas vulcânicas ácidas na área de estudo. Estas vulcânicas ácidas não foram observadas em campo.

Os 57 poços exclusivos do SASG na região possuíam dados de profundidade, e neles foi observado que o intervalo de maior ocorrência em relação à profundidade desses poços foi de 51 a 100 metros (figura 36).

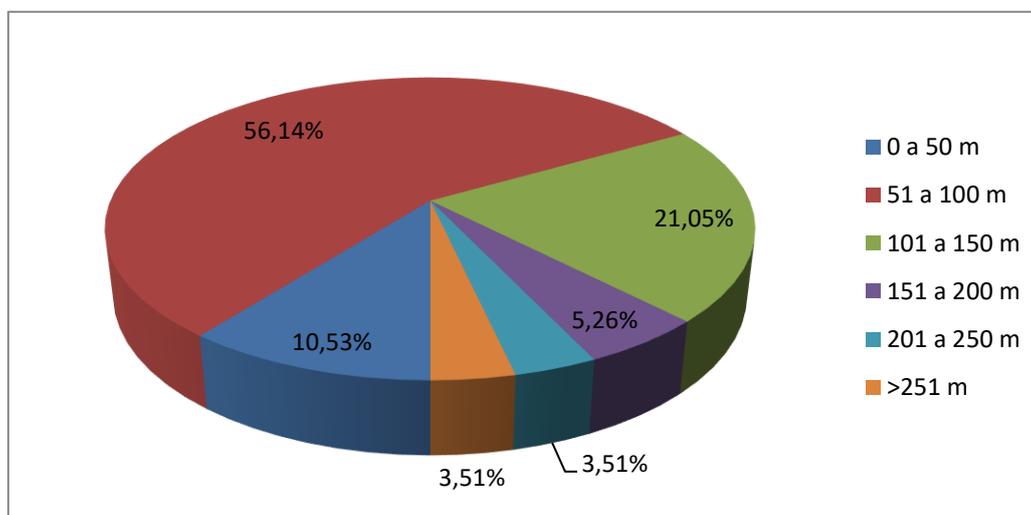


Figura 36. Gráfico de profundidade dos poços no SASG.

Também foram encontrados os seguintes valores de máximo, mínimo, média, mediana e desvio padrão para o conjunto de dados que compreendem esses 57 poços do SASG (quadro 6).

Quadro 6. Dados de profundidade dos poços no SASG.

Profundidade SASG (m)	
Nº de Poços	57
Máximo	415
Mínimo	30
Média	103,11
Mediana	86
Desvio Padrão	67,37

No que diz respeito ao nível estático, 52 poços pertencentes ao SASG possuíam esses dados registrados, e, em sua análise, foi constatado que o intervalo de maior ocorrência foi o de zero a 10 metros, como mostrado na figura 37.

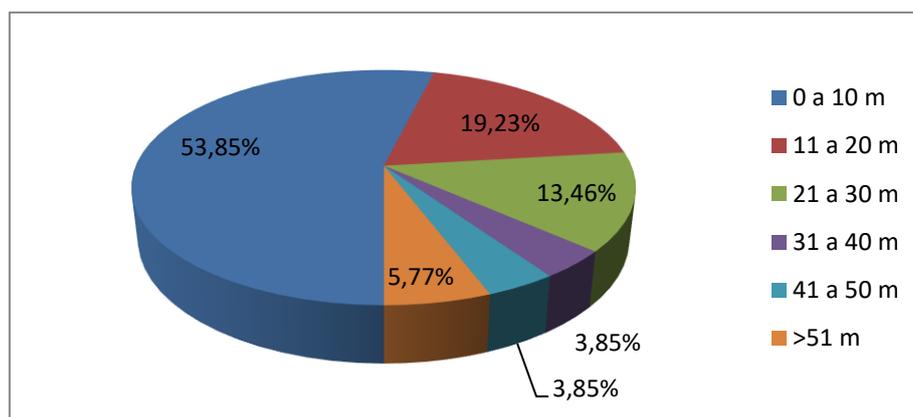


Figura 37. Gráfico de nível estático dos poços do SASG.

Ao analisar os valores de média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo, foi obtido o seguinte resultado (quadro 7).

Quadro 7. Dados de nível estático dos poços do SASG.

Nível Estático SASG (m)	
Nº de Poços	52
Máximo	149,76
Mínimo	0,2
Média	18,99
Mediana	9,1
Desvio Padrão	30,46

O número de entradas de água foi avaliado em 15 poços, dos quais oito apresentam apenas uma entrada d'água, cinco apresentam duas entradas d'água, e outros dois poços apresentam três e quatro entradas d'água, respectivamente. As profundidades das entradas variam desde 11 metros a 310 metros de profundidade, distribuídas de acordo com o gráfico da figura 38, onde se pode observar que o intervalo de profundidade com maior ocorrência de entradas d'água é o de 51 a 100 metros.

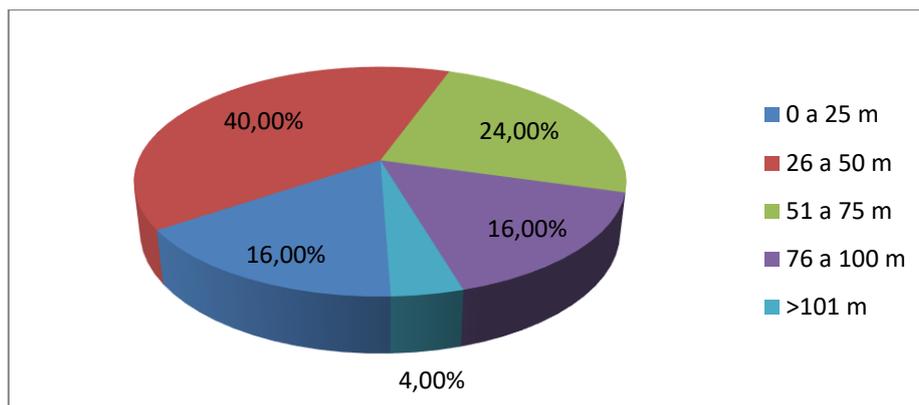


Figura 38. Gráfico de profundidade das entradas d'água dos poços do SASG.

Também foram analisados valores de máximo, mínimo, média, mediana e desvio padrão para os dados de profundidade das entradas d'água, como visto no quadro 8.

Quadro 8. Dados de profundidade das entradas d'água dos poços do SASG.

Profundidade de entradas d'água SASG (m)	
Nº de Entradas	25
Máximo	310
Mínimo	11
Média	59,00
Mediana	46
Desvio Padrão	56,85

As vazões foram observadas em 49 poços no SASG, sendo que o maior intervalo de ocorrência observado, de acordo com a figura 39, foi o de zero a 10 m³/h.

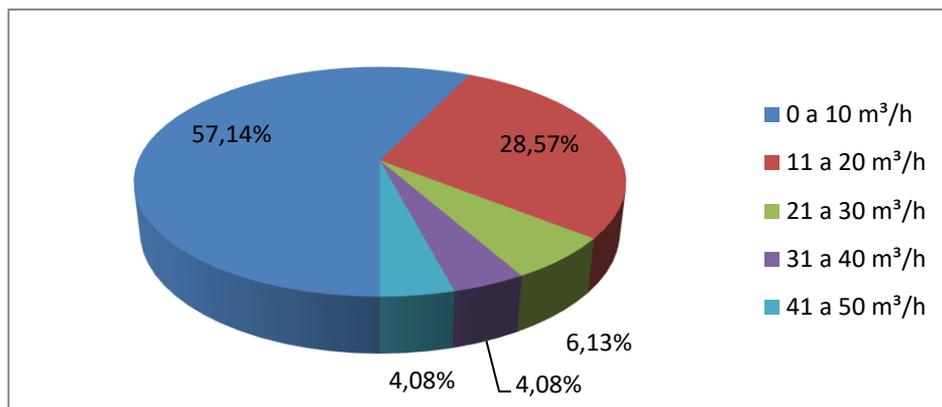


Figura 39. Gráfico de vazão dos poços do SASG.

Para o conjunto de dados de vazão, também foram analisados os valores de máximo, mínimo, média e mediana (quadro 9).

Quadro 9. Dados de vazão dos poços do SASG.

Vazão SASG (m³/h)	
Nº de Poços	49
Máximo	47
Mínimo	0,5
Média	11,53
Mediana	8,91
Desvio Padrão	9,47

Especialmente, os poços pertencentes ao SASG concentram-se no norte e do município de Venâncio Aires, como mostrado pela figura 33. Os poços também foram dispostos sobre o mapa de densidade de lineamentos, como mostrado na figura 40. Os poços costumam se associar a morfoestruturas de orientação NW, com azimutes de aproximadamente 295 a 315. Também se associam, em menor quantidade, a alguns lineamentos de orientação E-W.

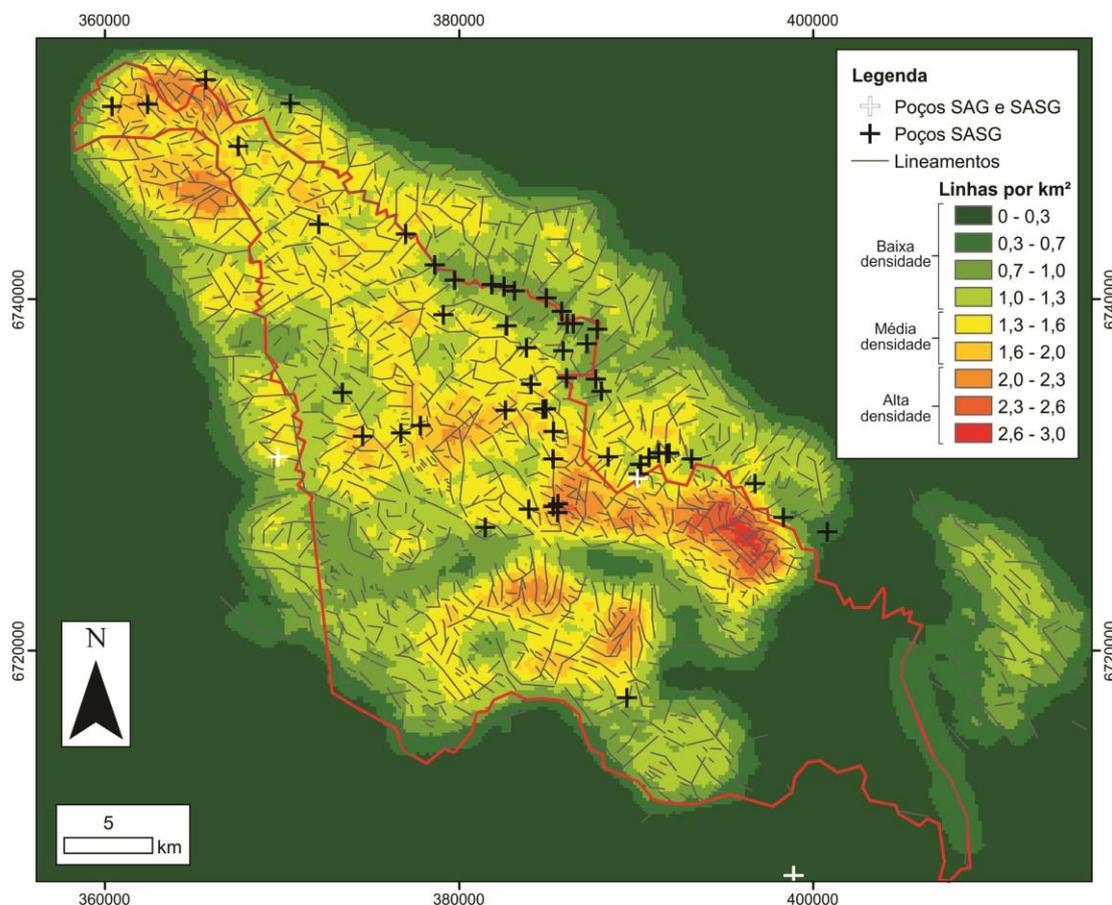


Figura 40. Dados de localização dos poços pertencentes ao SAG dispostos sobre mapa de densidade de lineamentos.

5.3.2 Sistema Aquífero Guarani

A caracterização do Sistema Aquífero Guarani (SAG) foi feita baseada na análise de dados de 115 poços que captam água desse sistema aquífero na região.

Litologicamente o aquífero, na área de estudo, é representado principalmente por rochas sedimentares, principalmente siltitos, argilitos, folhelhos e arenitos muito finos e finos pertencentes à Formação Santa Maria.

Ocorrem também, de maneira subordinada e mais rara, arenitos médios, cimentados por óxido de ferro, de coloração rosada, com estratificação cruzada, pertencentes à Formação Botucatu. Esta unidade também é ausente

em muitos pontos nessa região, o que resulta no predomínio de áreas onde os basaltos da Formação Serra Geral estão diretamente em contato com aquíferos do Grupo Rosário do Sul (MACHADO, 2006), que no caso desse município, são representados pelos aquíferos da Formação Santa Maria.

A análise da profundidade dos poços pertencentes ao SAG foi realizada com base nos dados de 102 poços. De acordo com essas análises, o intervalo de profundidade mais representativo foi o de 51 a 100 metros (figura 41).

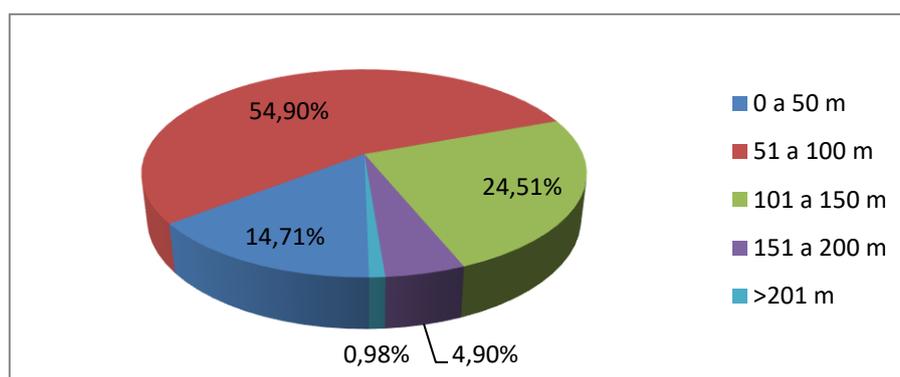


Figura 41. Gráfico de profundidade dos poços do SAG.

A partir desses dados, também foram analisados os valores de máximo, mínimo, média, mediana e desvio padrão (quadro 10).

Quadro 10. Dados de profundidade dos poços do SAG.

Profundidade SAG (m)	
Nº de Poços	102
Máximo	228
Mínimo	3
Média	84,60
Mediana	75
Desvio Padrão	40,40

Quanto ao nível estático dos poços do SAG, foi possível observar esse dado em 93 poços. Observa-se que o intervalo com o maior número de poços foi o de zero a 10 metros, com representação de 37,08%. Neste parâmetro, a distribuição se apresenta de forma mais homogênea do que nos outros (figura 42).

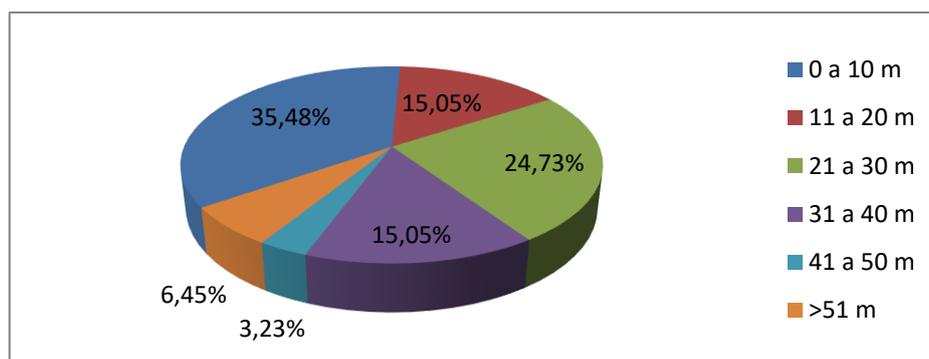


Figura 42. Gráfico de nível estático dos poços dos SAG.

Também foram analisados os valores de máximo, mínimo, média, mediana e desvio padrão para este parâmetro (quadro 11).

Quadro 11. Dados de nível estático dos poços do SAG.

Nível Estático SAG (m)	
Nº de Poços	93
Máximo	113,3
Mínimo	0
Média	21,89
Mediana	19,16
Desvio Padrão	20,12

Para os valores de vazão, foram analisados 74 poços. O intervalo de vazão mais significativo foi o de zero a 10 m³/h (figura 43).

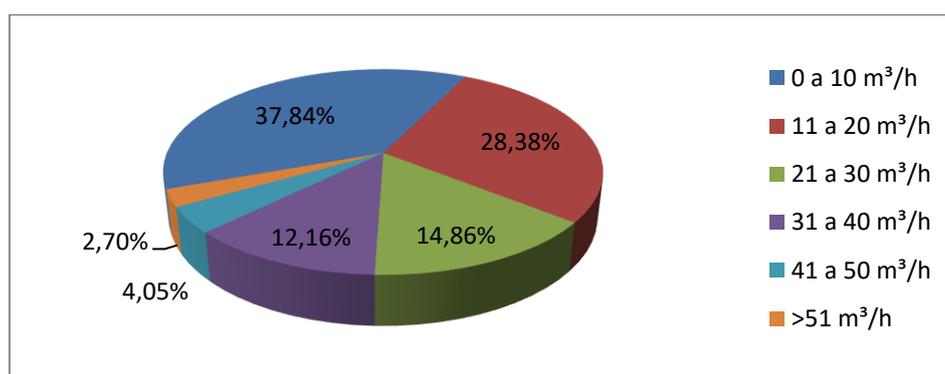


Figura 43. Gráfico de vazão dos poços do SAG.

Os valores de máximo, mínimo, média, mediana e desvio padrão obtidos para os dados de vazão se encontram no quadro 12.

Quadro 12. Dados de vazão dos poços do SAG.

Vazão SAG (m³/h)	
Nº de Poços	74
Máximo	75,00
Mínimo	1,01
Média	17,39
Mediana	15,06
Desvio Padrão	14,04

Espacialmente, os poços pertencentes ao SAG se encontram distribuídos predominantemente na metade sul da área de estudo, com uma alta concentração na parte central (figura 33), caracterizada por ser a zona urbana do município.

Observa-se que o intervalo de maior representatividade na profundidade dos poços bem como a sua distribuição nos outros intervalos são semelhantes entre si quando são comparados os dois aquíferos, mas quando se compara os valores puros de profundidade máxima, média, mediana e desvio padrão nota-se que há uma diferença entre eles, sendo que os valores do SASG são consideravelmente superiores. A diferença que mais se destaca é observada no parâmetro de profundidade máxima, onde o SASG apresenta um valor máximo de 415 metros, enquanto o SAG apresenta um valor de 228 metros. Em média, na região, os poços pertencentes ao SASG são mais profundos que os pertencentes ao SAG.

Quanto aos dados de nível estático, o SASG apresenta grande parte de seus poços com baixa profundidade de nível estático. O intervalo de zero a 10 m contempla 53,85% dos 52 poços analisados nesse aquífero, enquanto no SAG, esse intervalo contempla apenas 35,48% dos 93 poços analisados. De modo geral, o SAG apresenta uma distribuição mais homogênea nos seus valores de nível estático quando comparado ao SASG. Isso se evidencia nos valores de média e mediana do SAG, 21,89 m e 19,16 m, respectivamente, que são muito próximos entre si, diferentemente do SASG, que apresenta os valores de 18,99 m e 9,1 m para os mesmos parâmetros. No geral, os níveis estáticos são mais profundos no SAG.

Esta variação no nível estático encontrada nos dois aquíferos está relacionada com o comportamento e o armazenamento de água nos dois sistemas, sendo que, no SASG, a água está sob pressão, indicando condições de confinamento, por isso a água tende a se elevar acima das fraturas e ficar próxima à superfície. Já no SAG, como os aquíferos são granulares e podem ser livres, semi-confinados ou confinados, as variações de nível estático podem ser maiores e ocorrer em diferentes profundidades.

Nos dados de entrada d'água do SASG, vemos que a maior parte delas se concentra nos intervalos de mais baixa profundidade, e, conforme se aumentam os valores dos intervalos de profundidade, menos presentes são as entradas d'água, sendo que a partir dos 100 metros, foi registrada apenas uma entrada. Este comportamento pode ocorrer devido à atuação da pressão do maciço rochoso, que é responsável pelo fechamento das estruturas conforme se aumenta a profundidade, o que impede o fluxo de água para dentro dessas fraturas.

Nos dados de vazão dos poços, os intervalos de maior predominância são o mesmo em ambos os aquíferos (zero a 10 m³/h), mas as suas distribuições são consideravelmente diferentes, com o SASG apresentando mais da metade (57,14%) dos seus poços dentro deste intervalo, enquanto o SAG apresenta uma distribuição um pouco mais homogênea nos seus valores, com 37,84% de seus poços dentro do mesmo intervalo. Ambos apresentam um considerável número de poços com vazões dentro do intervalo de 10 a 20 m³/h, com um pouco mais de um quarto dos poços de cada um dos dois aquíferos estando dentro dessa categoria. O SAG apresentou cerca de um quarto dos 74 poços analisados em intervalos com mais vazão, sendo 14,86% no intervalo de 21 a 30 m³/h e 12,16% no intervalo de 31 a 40 m³/h. Os valores de mínimo, máximo, média, mediana e desvio padrão do SAG são consideravelmente superiores aos do SASG, o que indica que, na região, o sistema aquífero Guarani costuma ser mais produtivo que o Serra Geral.

De maneira geral, observa-se que o SAG apresenta uma maior variedade no comportamento de seus parâmetros, tendo considerável representatividade em diferentes intervalos. Isso provavelmente ocorre em

função do SAG, na região, estar sendo representado por duas diferentes unidades hidroestratigráficas, o Botucatu e o Santa Maria, sendo que o segundo possui uma grande variedade de litologias com diferentes características, além de possuir camadas impermeáveis ou com baixa permeabilidade, como argilitos e siltitos, que podem dar origem a camadas ou unidades aquíferas que apresentam diferentes espessuras saturadas e diferentes comportamentos hidrogeológicos.

5.4 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS AQUÍFEROS PELA METODOLOGIA GOD

A partir dos dados do inventário de pontos de captação, foram selecionados os poços para a avaliação da vulnerabilidade dos dois sistemas aquíferos (SAG e SASG) da região de Venâncio Aires. A análise dos parâmetros com base nesses poços permitiu a geração dos mapas numéricos necessários para a aplicação da metodologia GOD.

5.4.1 Avaliação da Vulnerabilidade do SASG

Para a avaliação da vulnerabilidade do SASG foram utilizados dados de 58 poços, sendo 23 deles localizados nas periferias do município, com o objetivo de reduzir a extrapolação dos dados, além da adição de um poço de controle, para melhorar a precisão das interpolações.

5.4.1.1 Mapa do parâmetro G do SASG

Para a determinação dos valores do parâmetro G para os poços do SASG, assim como no trabalho de Borges, Athayde e Reginato (2017), foi considerada a espessura média dos solos da região. Em função disso, o SASG

pode ser considerado um aquífero não confinado coberto a livre, dependendo da espessura dos solos que o cobrem.

Assim, para fazer essa avaliação, e também definir os valores do parâmetro G, foi utilizado um mapa de solos para a região do município abrangida pelo SASG (figura 44), adaptado a partir dos *shapefiles* disponibilizados pela CPRM em seu portal RIGEO (Repertório Institucional de Geociências), no projeto Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010).

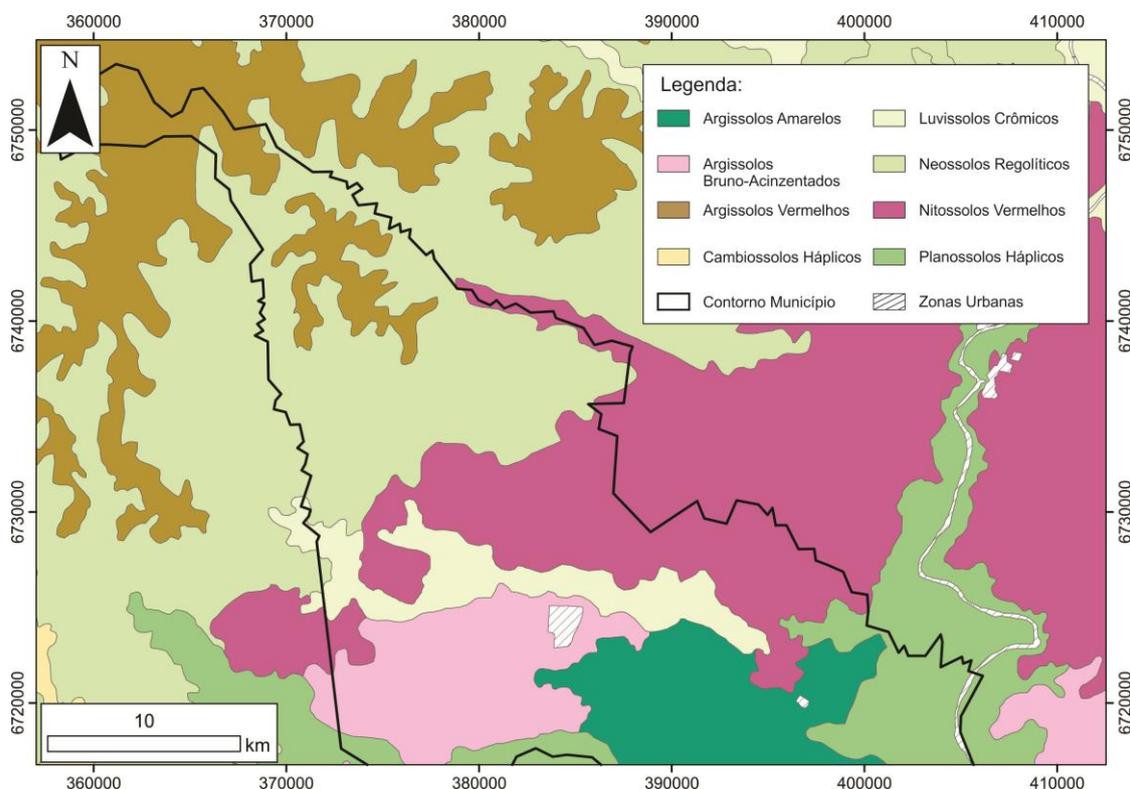


Figura 44. Mapa de solos para a região norte do município de Venâncio Aires. Elaborado pelo autor, a partir dos *shapefiles* do projeto Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010).

Os parâmetros variam em função da espessura média dos solos, sendo que os menores valores considerados foram os de 0,6 para os poços localizados nas regiões compreendidas por Nitossolos. Para os pontos localizados em regiões de Argissolos, foi dado o valor de 0,7. E para os poços nas regiões de Neossolos, foi dado o valor de 1,0 (aquífero não confinado e livre). Para os poços que possuíam os dados de espessura de solo no seu

perfil geológico, foi considerado o dado contido no perfil na hora de atribuir os pesos.

A interpolação desses dados resultou no mapa abaixo (figura 45):

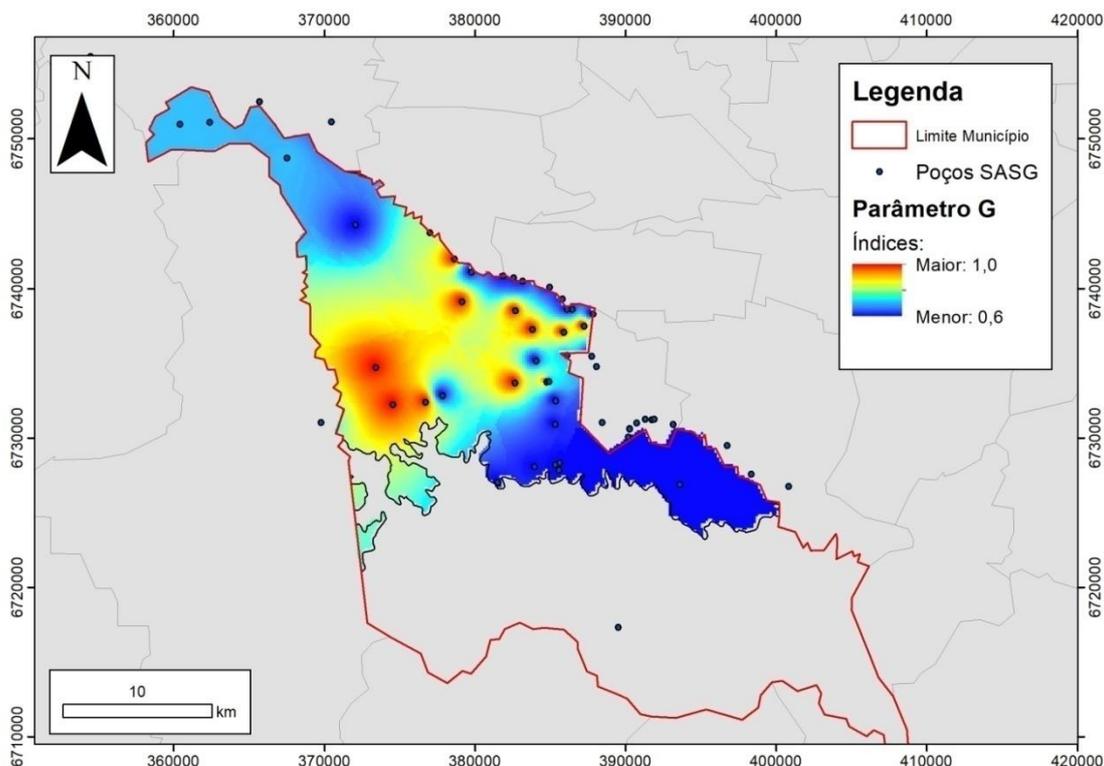


Figura 45. Mapa do parâmetro G do SASG.

5.4.1.2 Mapa do parâmetro O do SASG

Para a determinação dos valores do parâmetro O dos poços do SASG foram utilizados dados de litologia, presentes no mapa geológico e nos perfis dos poços, bem como o mapa de densidade de lineamentos da região (figura 31), pois, em função deste ser um aquífero fraturado, a presença de mais lineamentos em determinadas áreas poderia facilitar o acesso ao meio aquífero, o que o tornaria mais vulnerável. Como este aquífero está inserido em rochas vulcânicas, segundo a metodologia GOD, os valores a serem atribuídos aos poços variariam entre 0,6 a 0,8. Desta forma, o mapa de densidade de lineamentos foi utilizado para ajudar na atribuição destes valores. Foi escolhido o valor de 0,6 para os poços localizados em áreas com baixa densidade de

fraturas, 0,7 para os poços localizados em áreas com média densidade de fraturas e 0,8 para os poços localizados em áreas com alta densidade de fraturas.

A interpolação desses dados resultou no mapa abaixo (figura 46):

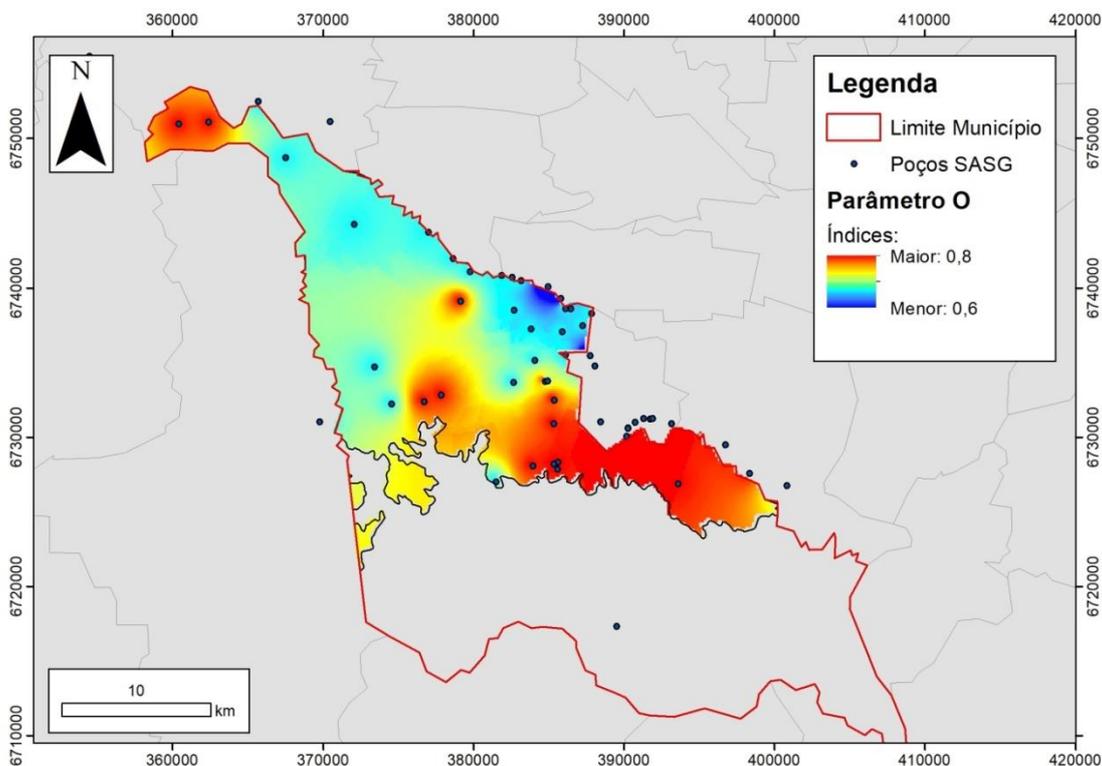


Figura 46. Mapa do parâmetro O do SASG.

5.4.1.3 Mapa do parâmetro D do SASG

Para a determinação dos valores dos índices do parâmetro D do SASG foram utilizados os dados de nível estático dos poços pertencentes a este aquífero. Dos 58 poços utilizados, seis não possuíam medidas de nível estático. Estes valores foram substituídos pela média das medidas de nível estático dos poços do SASG. Os valores deste parâmetro variam de 0,6 a 0,9, conforme o indicado pela metodologia (figura 4).

A interpolação desses dados resultou no mapa abaixo (figura 47):

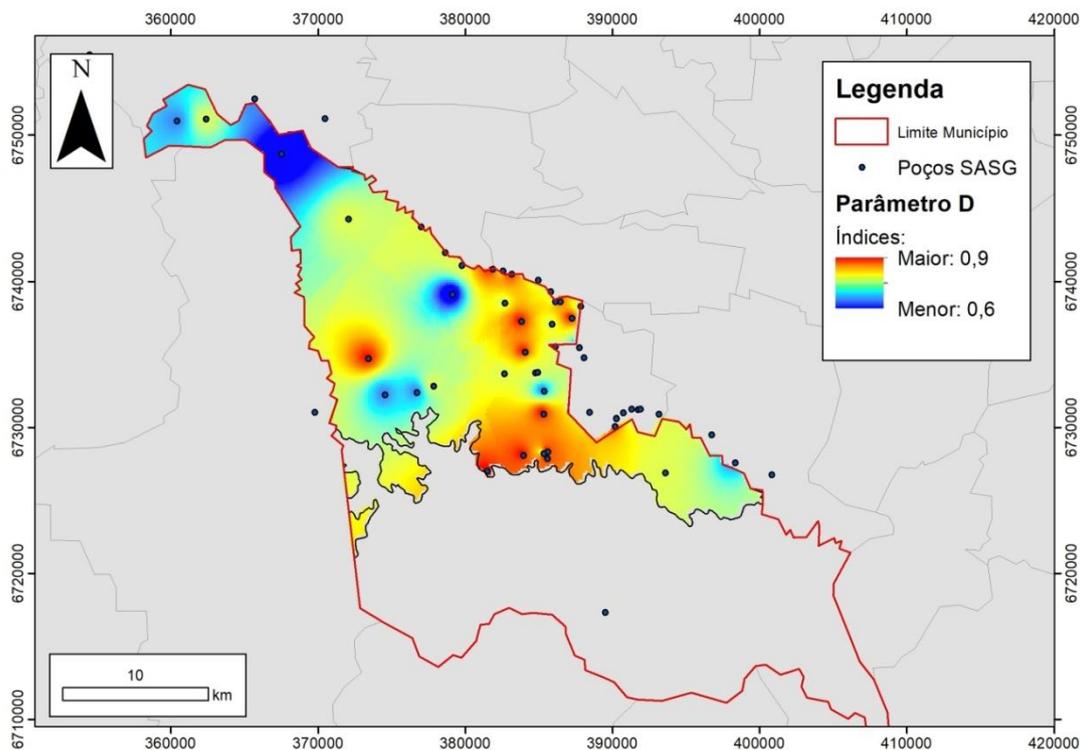


Figura 47. Mapa do parâmetro D do SASG.

Este parâmetro demonstra espacialmente o que foi analisado na etapa de caracterização hidrogeológica, onde os níveis estáticos do SASG apresentam-se geralmente em profundidades mais rasas, acima das fraturas de entrada d'água, em função de a água estar sob pressão.

5.4.1.4 Mapa de Vulnerabilidade do SASG

Os valores de vulnerabilidade para cada ponto do SASG, resultados das atribuições dos parâmetros e da multiplicação dos mesmos se encontram nas tabelas em anexo a este trabalho (Anexo B).

Os percentuais das classificações dos poços se distribuem de acordo com o gráfico abaixo (figura 48):

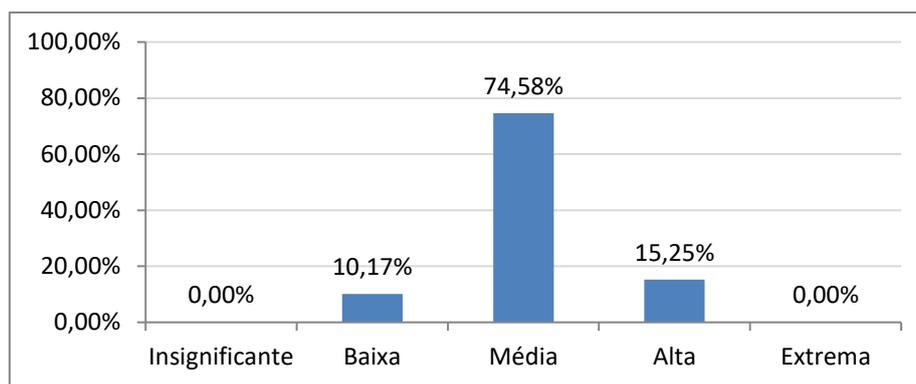


Figura 48. Distribuição percentual dos poços do SASG nas diferentes classes de vulnerabilidade.

A maior parte dos poços está dentro da classificação de média vulnerabilidade (74,6%), seguido dos poços classificados com alta vulnerabilidade (15,3%), após, poços com baixa vulnerabilidade (10,2%). Não houve poços nas classes de vulnerabilidade Insignificante e Extrema.

O mapa de vulnerabilidade do SASG na região é mostrado na imagem abaixo (figura 49):

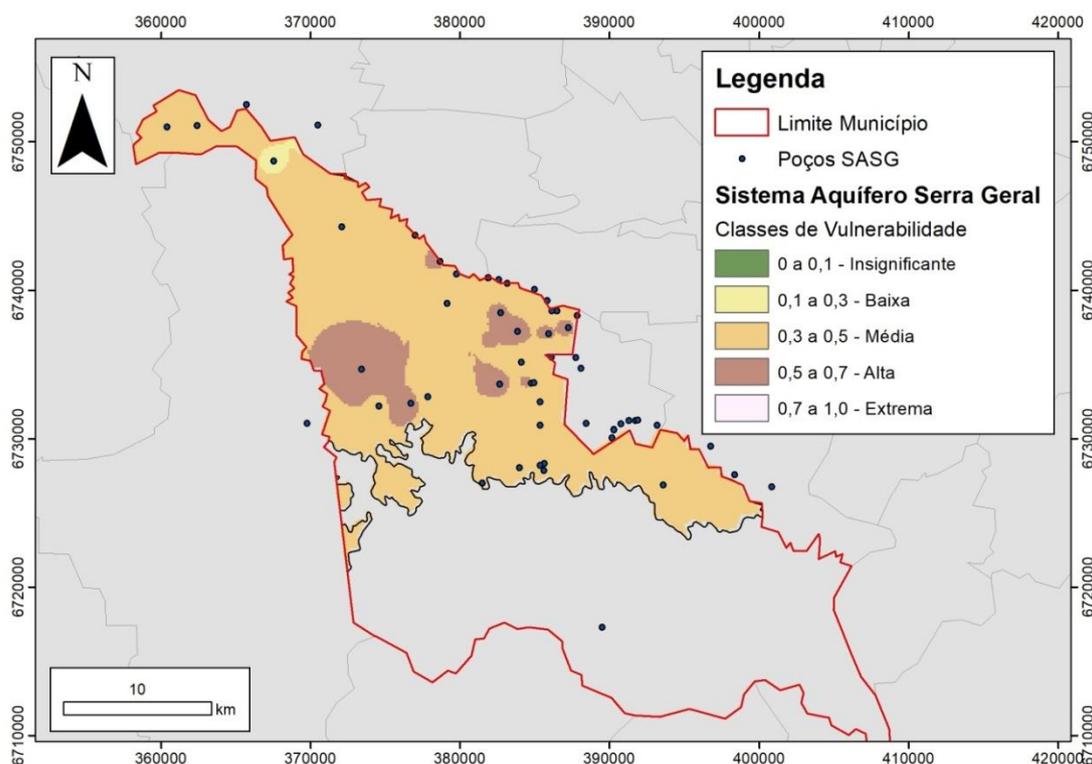


Figura 49. Mapa de vulnerabilidade do SASG na região de Venâncio Aires.

No geral, o SASG, na área de estudo, possui um predomínio de áreas classificadas com vulnerabilidade média, com algumas áreas menores, nas partes centro-noroeste e centro-norte do município classificadas com vulnerabilidade alta. No extremo norte do município ocorre uma pequena zona com baixa vulnerabilidade. Vulnerabilidade Insignificante ocorre muito localmente, e em áreas muito pequenas. De acordo com esse estudo não há áreas classificadas com vulnerabilidade extrema nessa região.

Em termos de porcentagem: 85,79% da área do SASG possui vulnerabilidade média, 13,15% possui vulnerabilidade alta e 1,06% da área foi classificada com baixa vulnerabilidade.

Os valores mais altos de vulnerabilidade estão associados às áreas com a menor espessura de solo (áreas com neossolos) da região, onde o SASG apresenta comportamento, no que diz respeito à vulnerabilidade, de um aquífero livre. Os valores mais baixos ocorrem na parte norte, onde os basaltos apresentam uma espessura maior e os níveis estáticos apresentam-se mais profundos.

5.4.2 Avaliação da Vulnerabilidade do SAG

Para a avaliação da vulnerabilidade do SAG foram utilizados dados de 113 poços, sendo 11 deles, pontos de controle, localizados nas periferias da região norte do município e dentro dela, na área correspondente ao SASG, com o intuito de mostrar o confinamento do SAG nesta parte da área de estudo.

Dos 102 poços restantes, dez poços se localizam nas periferias do município, sendo utilizados para diminuir a extrapolação dos dados causada pelas interpolações.

5.4.2.1 Mapa do parâmetro G do SAG

Para a determinação dos valores do parâmetro G do SAG, foi levado em consideração o tipo de aquífero, bem como dados geológicos e hidrogeológicos. Foram utilizados principalmente os dados dos perfis geológicos dos poços da região, sendo atribuídos valores conforme o sugerido pela metodologia quanto às condições de confinamento do Aquífero, com valores que variam de 0,2, nas áreas onde o SAG se encontra confinado sob o SASG, até 1,0, onde o SAG encontra-se livre. Nos poços que não possuíam dados de perfil, foram considerados os valores dos poços ao seu redor.

A interpolação desses dados resultou no mapa abaixo (figura 50):

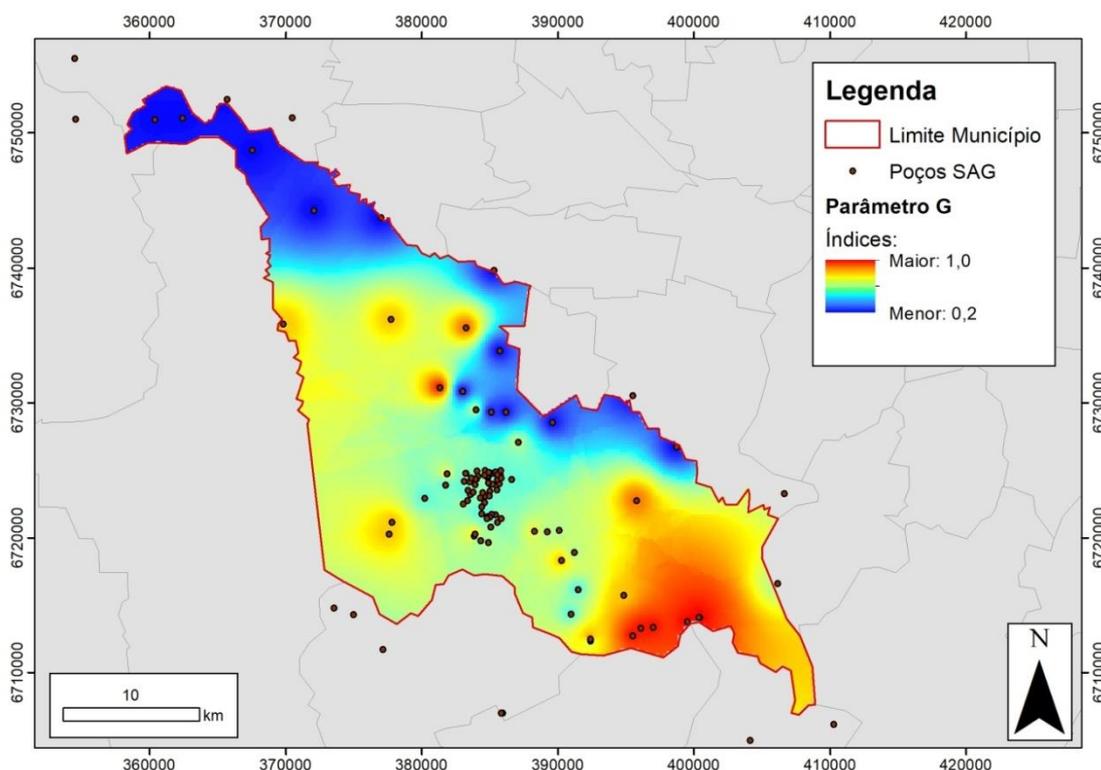


Figura 50. Mapa do parâmetro G do SAG.

Em função da presença de muitas camadas de argila, silte, argilitos e siltitos, que podem variar de cinco a até 60m em grande parte dos poços do SAG na região, principalmente na zona urbana, foi dado o valor de 0,6 para poços com espessuras de camadas destas rochas entre 5 e 20m, de forma que, o SAG, nessas áreas, foi considerado como um aquífero livre coberto.

Para os poços que possuem mais de 20m de espessura dessas rochas, foi atribuído o valor de 0,5.

5.4.2.2 Mapa do parâmetro O do SAG

Para a determinação dos valores do parâmetro O do SAG foram utilizados, conforme descrito na metodologia, dados geológicos e de perfis de poços em conjunto do mapa geológico. Para poços que não possuíam esses dados, foram utilizadas as informações de poços ao seu redor, bem como do mapa geológico.

Os valores escolhidos variam de 0,5 para as áreas com presença de argilitos, até 0,8 para áreas com cobertura de solo e material inconsolidado. Valores intermediários compreendem áreas com siltito ou basaltos de baixo a médio nível de fraturamento, com índices de 0,6, e arenitos ou basaltos muito fraturados, com índices de 0,7.

A interpolação desses dados resultou no mapa abaixo (figura 51):

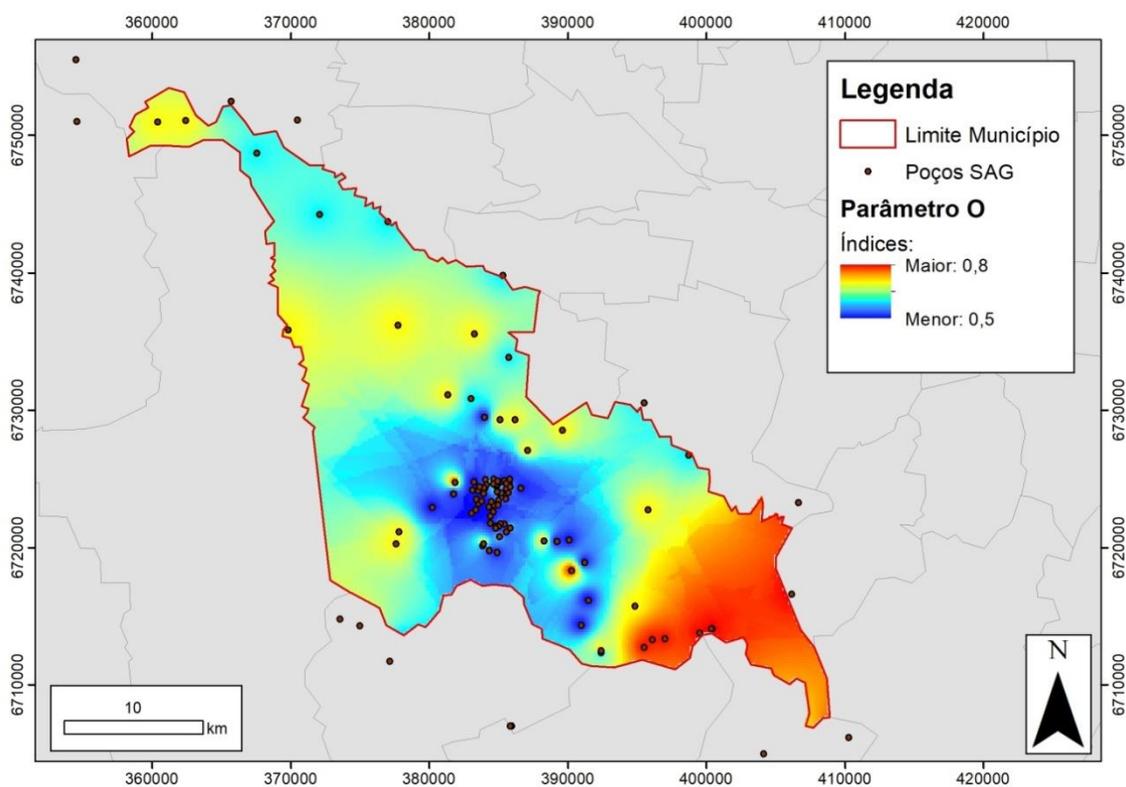


Figura 51. Mapa do parâmetro O do SAG.

5.4.2.3 Mapa do parâmetro D do SAG

Para a determinação dos valores do parâmetro D do SAG foram utilizados os dados de nível estático dos poços pertencentes a este aquífero. Dos 113 poços utilizados, 15 não possuíam medidas de nível estático. Nesse caso, estes valores foram substituídos pela média das medidas de nível estático dos poços do SAG. Os valores deste parâmetro variam de 0.6 a 0.9, conforme o indicado pela metodologia (figura 4).

A interpolação desses dados resultou no mapa abaixo (figura 52):

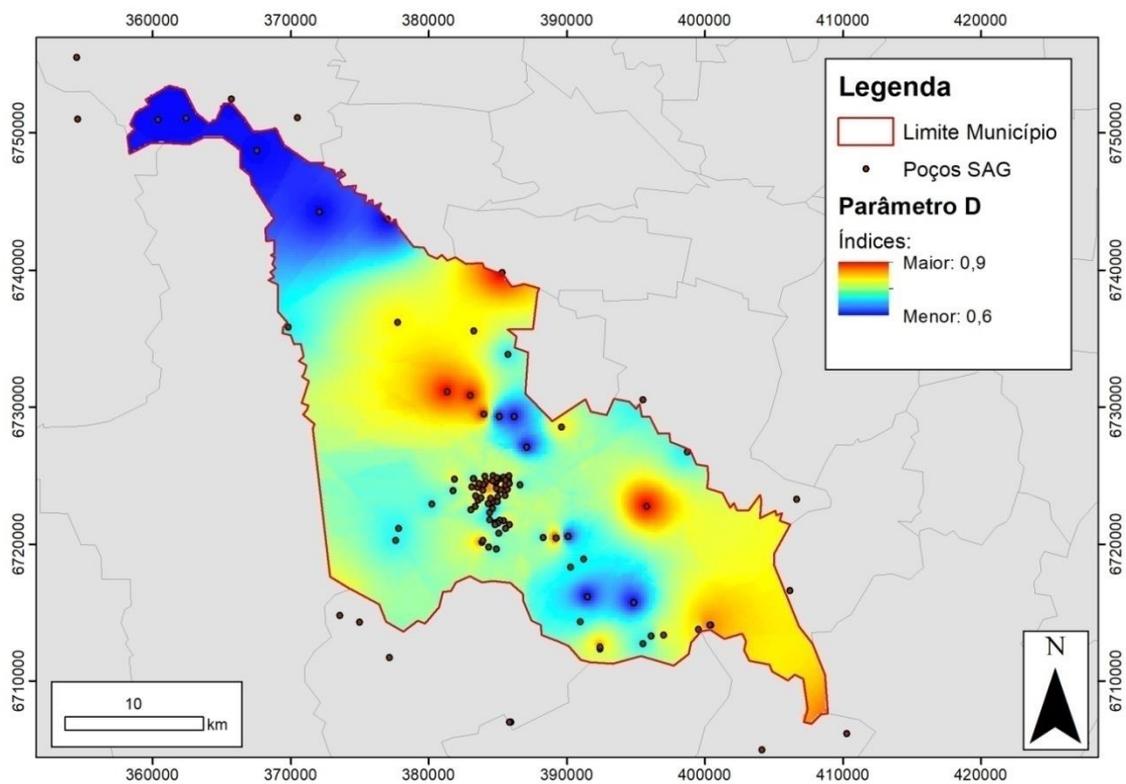


Figura 52. Mapa do parâmetro D do SAG.

5.4.2.4 Mapa de Vulnerabilidade do SAG

Os valores de vulnerabilidade para cada ponto do SAG, resultados das atribuições dos parâmetros e da multiplicação dos mesmos se encontram nas tabelas em anexo a este trabalho (Anexo B).

Os percentuais das classificações dos poços se distribuem de acordo com o gráfico abaixo (figura 53):

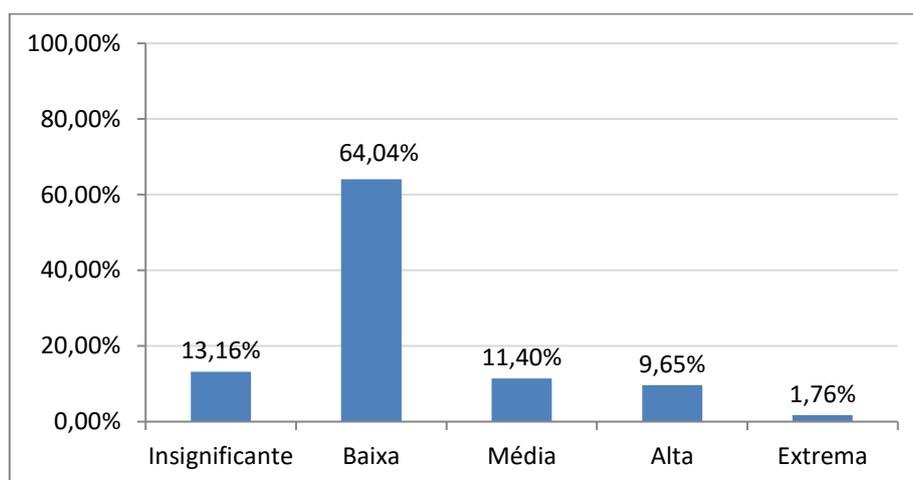


Figura 53. Distribuição percentual dos poços do SAG nas diferentes classes de vulnerabilidade.

A maior parte dos poços do SAG apresenta baixa vulnerabilidade, sendo representada por 64,04% dos poços. As classes de vulnerabilidade Alta, média e insignificante apresentam percentuais próximos entre si, com seus valores sendo, respectivamente, 9,65%, 11,40% e 13,16%. A classe de vulnerabilidade extrema compreende apenas 1,76% dos poços.

O mapa de vulnerabilidade do SAG na região é mostrado na figura abaixo (figura 54):

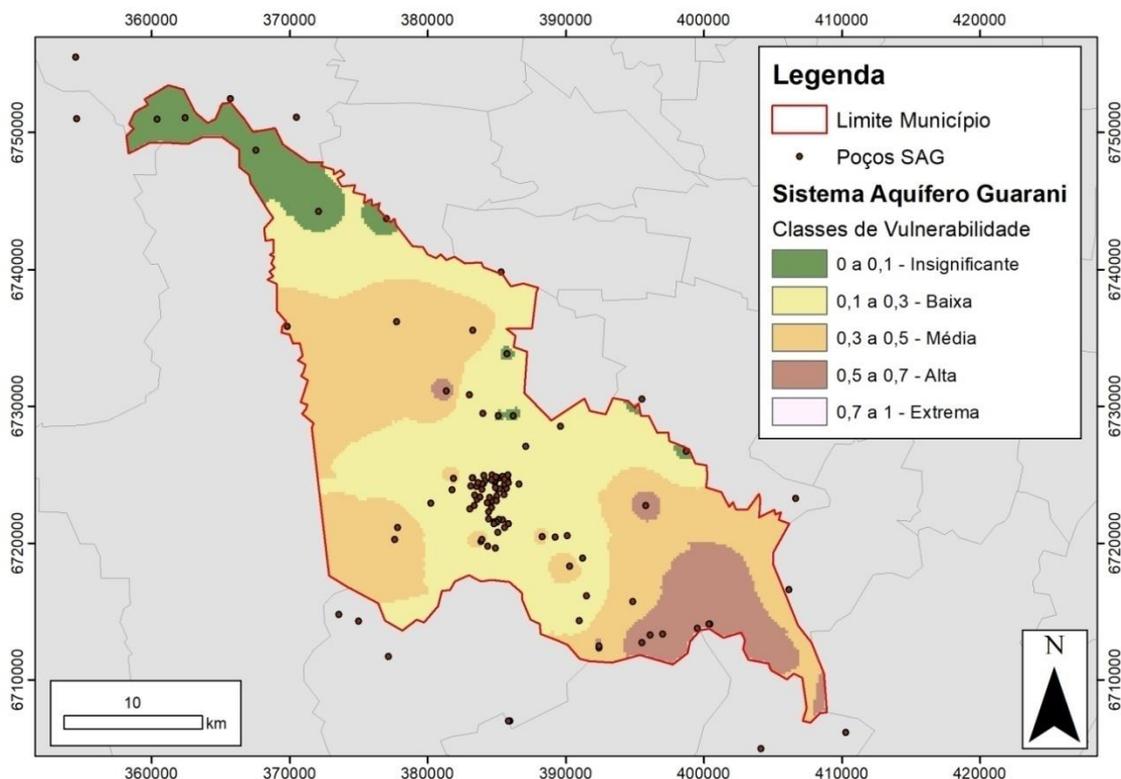


Figura 54. Mapa de vulnerabilidade do SAG na região de Venâncio Aires.

No geral o SAG, na região, possui predominância de áreas com baixa vulnerabilidade, principalmente nas áreas correspondentes à zona urbana. As áreas que possuem média vulnerabilidade se concentram nas partes sudeste, sudoeste e centro-noroeste do município, além de integrarem, também, alguns pontos próximos ao centro urbano. As áreas de alta vulnerabilidade se concentram na parte sudeste do município, regiões mais planas, próximas ao rio Taquari, onde o SAG encontra-se livre. No extremo norte do município, o SAG apresenta vulnerabilidade insignificante, em função de estar confinado sob uma espessa camada de basaltos pertencentes à Fm. Serra Geral. As áreas de extrema vulnerabilidade representam uma porção muito pequena, estando associadas às áreas de alta vulnerabilidade.

Em termos de porcentagem: 44,27% da área do SAG possui baixa vulnerabilidade, 38,16% possui média vulnerabilidade, 9,14% possui alta vulnerabilidade, 8,38% da área foi classificada como vulnerabilidade insignificante e 0,05% da área possui vulnerabilidade extrema.

Os valores de baixa vulnerabilidade em áreas onde o SAG deveria se apresentar como um aquífero livre vão de encontro com o esperado do

comportamento desse aquífero nessas áreas. Isso provavelmente deve ocorrer em função dos materiais que compõem o SAG na região. O fato de existirem muitas intercalações de arenitos, siltitos e argilitos, gera diversas camadas aquíferas em diferentes profundidades e com diferentes graus de confinamento. Notou-se, durante o estudo da vulnerabilidade, a presença de camadas de argilitos muito espessas nos perfis de poços dentro da área compreendida pela zona urbana do município de Venâncio Aires. Em função dessas camadas, o aquífero se comporta ali, como um aquífero livre coberto, ou até mesmo como um aquífero semi-confinado. O fato dos sedimentos serem de origem argilosa também coopera para a diminuição da vulnerabilidade do aquífero nessa zona, dificultando o acesso de substâncias até a zona saturada ou camada aquífera.

Este comportamento muda conforme nos distanciamos da zona urbana, com a vulnerabilidade aumentando tanto para leste quanto para oeste, sendo que, na parte leste, ela atinge valores mais elevados, sendo classificada como uma zona de alta vulnerabilidade. Nesta área, não foram observadas essas espessas camadas de argila, que age como impermeabilizante, nos perfis dos poços, de forma que, nessas zonas, o SAG se comporta de maneira livre, sendo assim, mais vulnerável.

Na parte norte do município, o SAG encontra-se confinado abaixo do SASG. Este confinamento aumenta conforme vamos mais para norte, pois a espessura de basaltos aumenta proporcionalmente.

Ainda na parte onde o SAG se encontra confinado, observa-se uma diminuição da vulnerabilidade, de média para insignificante, conforme se avança para norte, isso provavelmente se dá em função da espessura do pacote de derrames basálticos, a qual aumenta para o norte, na região.

5.5 AVALIAÇÃO DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS

A análise do risco de contaminação envolve a sobreposição das possíveis fontes de contaminação (cargas contaminantes), pontuais ou difusas, dentro de determinada área, com o estudo de vulnerabilidade dos sistemas aquíferos desta mesma área. Esta análise foi realizada de acordo com o proposto no quadro abaixo (quadro 13):

Quadro 13. Classificação do perigo de contaminação em relação às fontes de contaminação.
Modificado de Barbosa et al. (2011)

Perigo (risco) de contaminação em relação às fontes de contaminação		POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO		
		Reduzido	Moderado	Elevado
VULNERABILIDADE	Insignificante	Muito baixo	Muito baixo	Baixo
	Baixa	Muito baixo	Baixo	Moderado
	Média	Baixo	Moderado	Alto
	Alta	Moderado	Alto	Alto
	Extrema	Alto	Alto	Extremo

5.5.1 Análise das fontes difusas

A análise das fontes de contaminação difusas na área de estudo se deu através da geração e interpretação de um mapa de uso e ocupação do solo para a região (figura 55). As classes geradas no mapa foram: agricultura, área urbana, campo/pecuária, corpos d'água, solo exposto e vegetação arbórea.

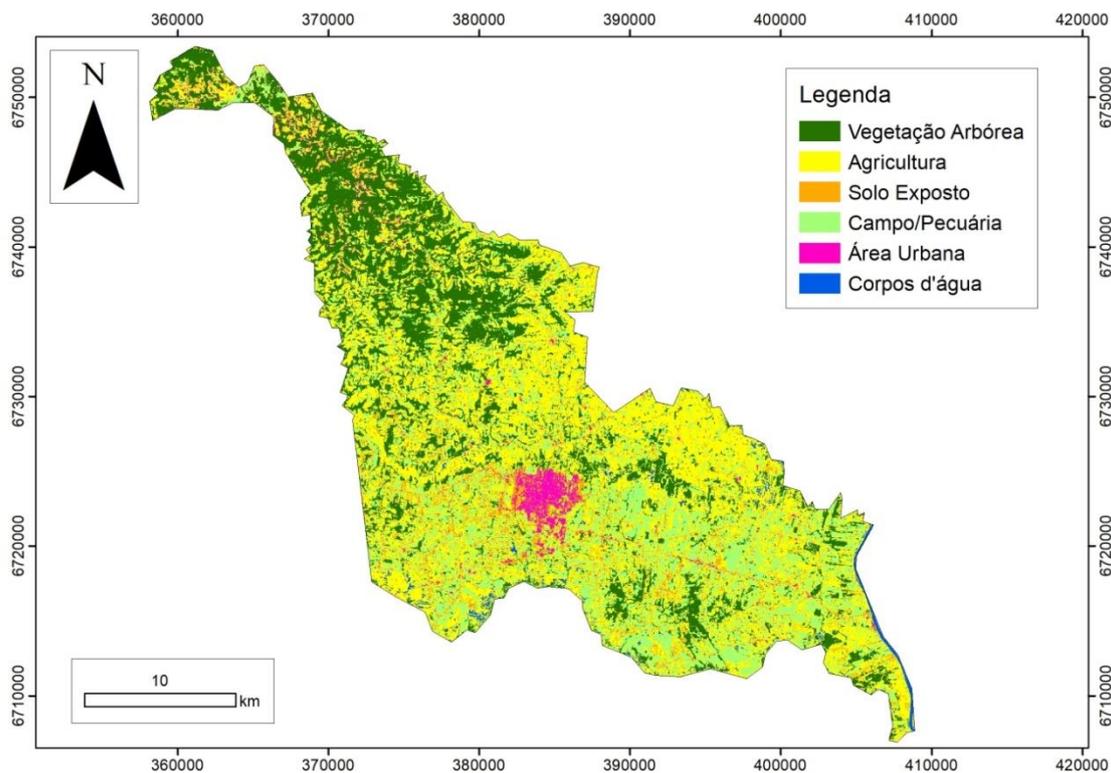


Figura 55. Mapa de uso e ocupação do solo para a região de Venâncio Aires. Elaborado pelo autor, com base em imagens de satélite do satélite Landsat 8.

As distribuições percentuais das áreas das diferentes classes são mostradas no gráfico abaixo (figura 56):

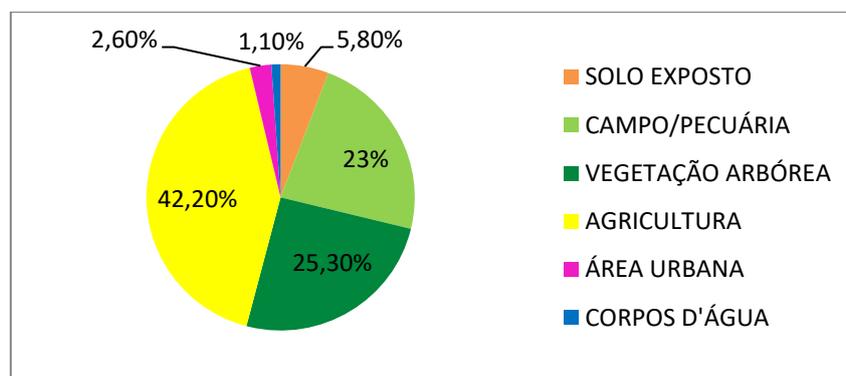


Figura 56. Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de uso e ocupação do solo.

De acordo com o site *deepask.com*, 48% da área do município é utilizada para práticas agrícolas, que se caracterizam principalmente pela plantação de milho e fumo, com 21% e 18% da área do município sendo utilizada para a sua produção, respectivamente. A diferença entre os valores de

área de produção agrícola obtidos no mapa de uso e ocupação e das informações do site *deepask.com* provavelmente se devem a problemas na coleta e interpretação das amostras espectrais na hora da produção do mapa, mas, para a escala do trabalho, esta diferença é considerada muito pequena.

Em função da inviabilidade de determinar se a agricultura na região é predominantemente familiar e rotativa ou extensiva e sem rotação de culturas, foi decidido classificar as áreas de produção agrícola como áreas com potencial contaminador moderado.

Segundo dados oficiais do IBGE, a cobertura da rede de esgotamento sanitário adequado para as áreas urbanas de Venâncio Aires é de 85,6%, e a densidade demográfica é de 85,29 hab/km², o que, segundo a metodologia POSH (FOSTER et al. 2006), classifica as áreas urbanas do município como portadoras de um potencial contaminador reduzido.

Após as reclassificações do mapa de uso e ocupação do solo de acordo com os padrões da metodologia utilizada, obteve-se o seguinte mapa (figura 57):

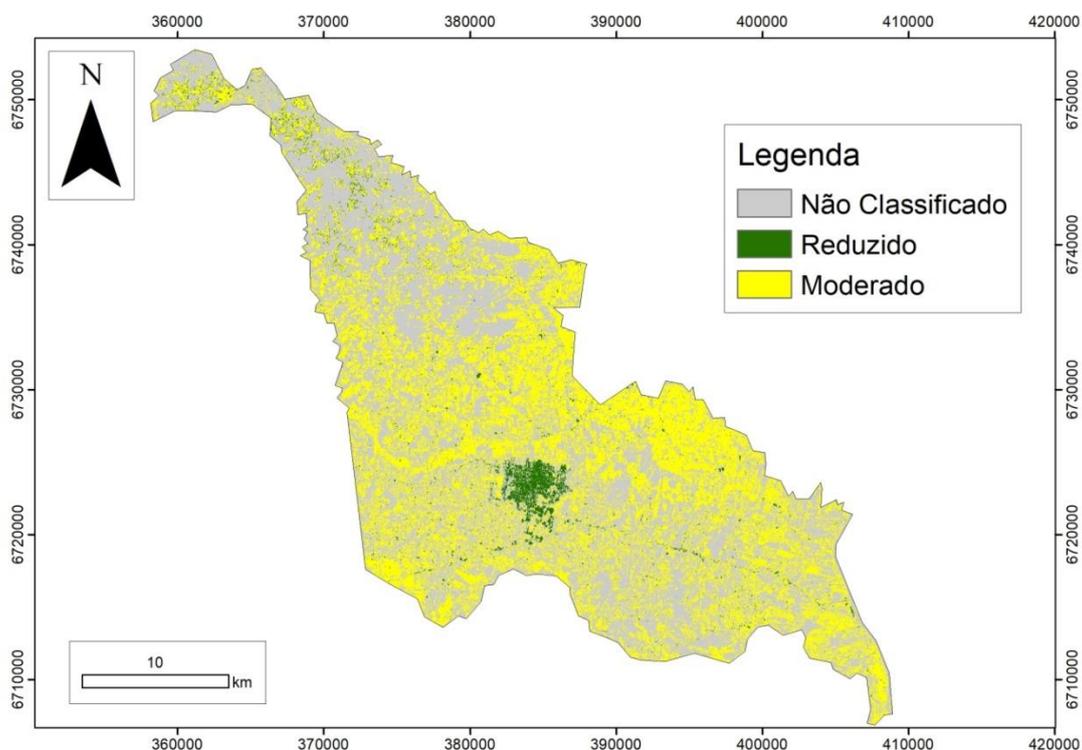


Figura 57. Mapa de potencial de contaminação das fontes difusas de Venâncio Aires.

As distribuições percentuais das áreas das diferentes classes são mostradas no gráfico abaixo (figura 58):

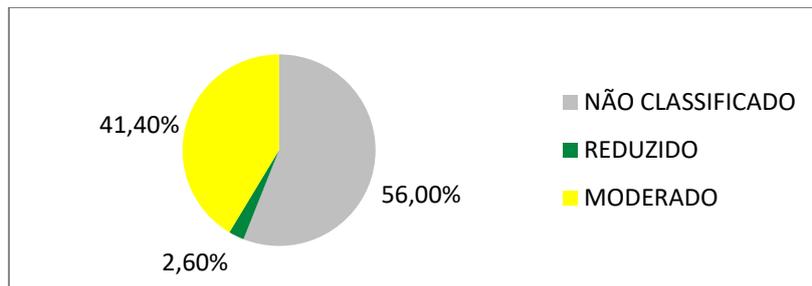


Figura 58. Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de potencial de contaminação das fontes difusas de Venâncio Aires.

As áreas referentes às classes de solo exposto, campo/pecuária, vegetação arbórea e corpos d'água não foram classificadas pela metodologia.

O cruzamento dos dados dos mapas de potencial de contaminação e de vulnerabilidade dos aquíferos permitiu a análise e classificação do perigo de contaminação dos aquíferos da região, como previsto no quadro 13. Esta análise foi feita individualmente para cada aquífero, como mostrado nas figuras 59 e 61.

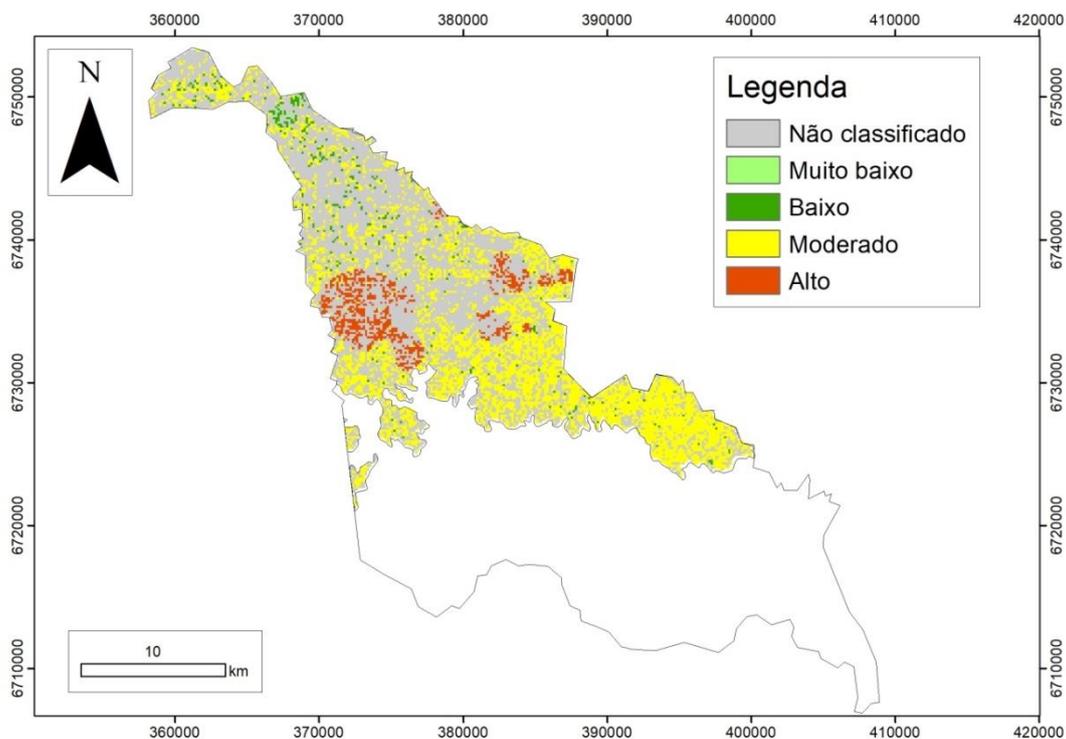


Figura 59. Perigo de contaminação para os aquíferos do SASG.

As distribuições percentuais das áreas das diferentes classes de perigo de contaminação para o SASG são mostradas no gráfico abaixo (figura 60):

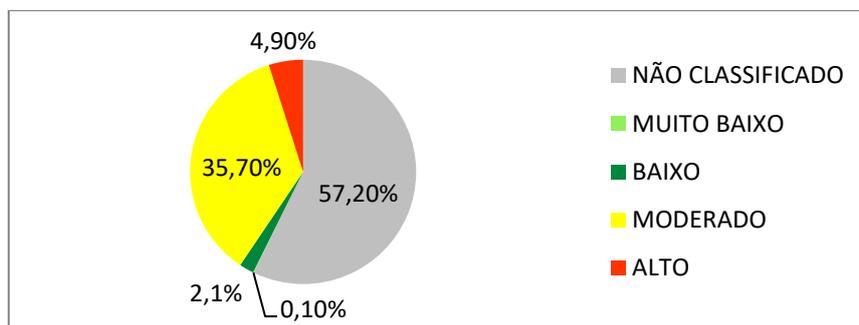


Figura 60. Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de perigo de contaminação do SASG.

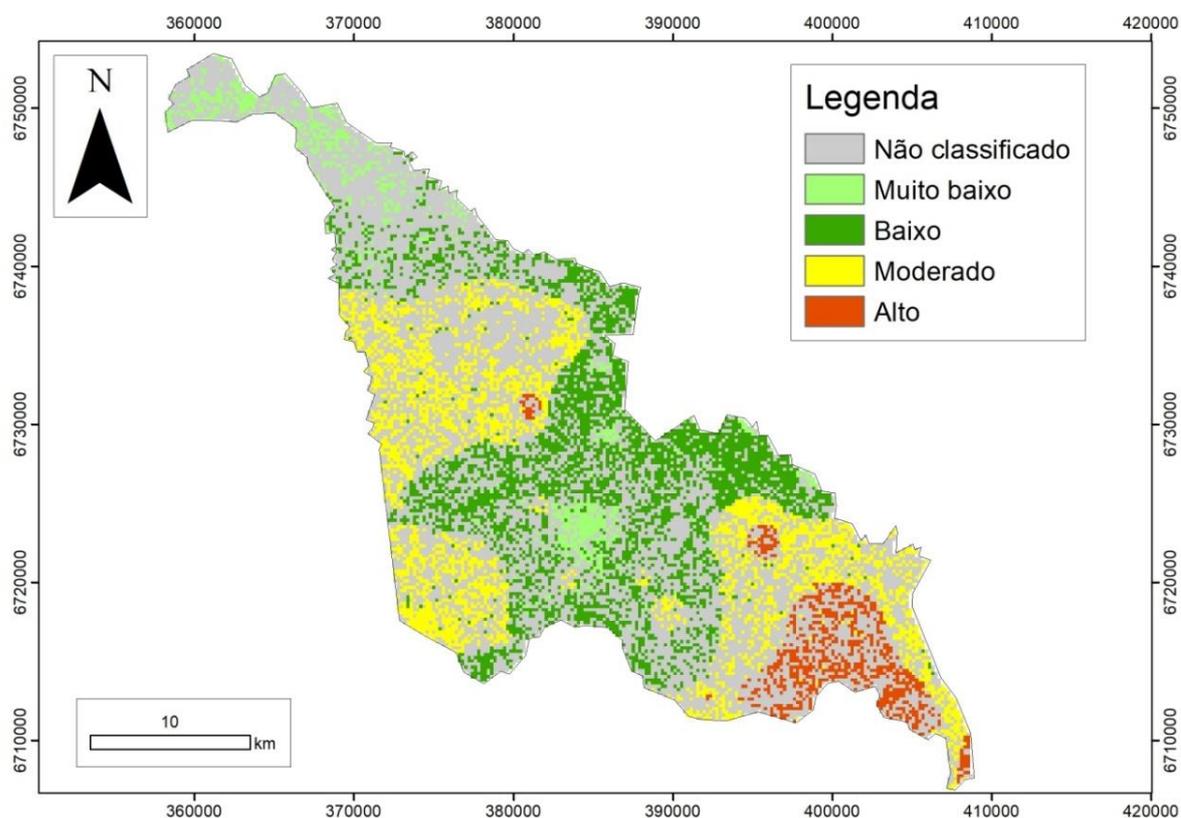


Figura 61. Perigo de contaminação para os aquíferos do SAG.

As distribuições percentuais das áreas das diferentes classes de perigo de contaminação para o SAG são mostradas no gráfico abaixo (figura 62):

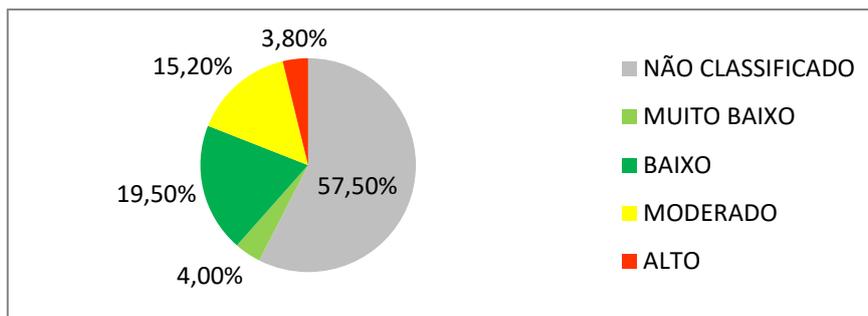


Figura 62. Gráfico com distribuição de percentual das áreas das classes do mapa de perigo de contaminação do SAG.

De acordo com a figura 59, as áreas que possuem um alto perigo associado aos aquíferos do SASG se distribuem nas áreas onde há alta vulnerabilidade somada ao uso do solo para agricultura, concentradas, principalmente na parte oeste do município e em algumas pequenas áreas na parte centro-norte. Nos locais com predomínio de agricultura, mas com vulnerabilidade média, o risco associado a estas áreas foi considerado como moderado.

Quanto aos aquíferos do SAG (figura 61), foram considerados como perigo muito baixo as áreas urbanas, como perigo baixo, as áreas com uso do solo para agricultura somado à vulnerabilidade baixa, como perigo moderado as áreas com agricultura associada à vulnerabilidade média, e perigo alto nas áreas em que ocorre vulnerabilidade alta e uso do solo para agricultura.

É importante ressaltar que, dependendo do que for considerado esgotamento sanitário adequado pelo IBGE, podem ocorrer diferenças entre quais áreas da zona urbana podem ou não ser consideradas com potencial de contaminação reduzido, pois a metodologia POSH apenas considera a rede de esgotamento como uma potencial fonte de contaminação difusa, por outro lado, pode ser que o IBGE englobe casas com fossa séptica na sua contagem do que pode ser considerado parte da rede de esgotamento adequado. Se este for o caso, a atribuição do potencial de contaminação reduzido para a zona urbana seria inadequada, e esta, deveria ser considerada como possuidora de um potencial de contaminação moderado. Este potencial, ao ser cruzado com os dados de vulnerabilidade baixa, resultaria em um perigo de contaminação baixo, ao invés de muito baixo, como mostrado nos mapas.

Também é válido dizer que, caso a pecuária nos campos fosse considerada uma fonte de contaminação, as áreas dedicadas, no mapa de uso e ocupação do solo, à classe de campo/pecuária poderiam possuir um potencial de contaminação reduzido, ou até mesmo moderado, dependendo da intensidade da pecuária, o que poderia gerar diferentes perigos de contaminação quando cruzados com os dados de vulnerabilidade dos aquíferos. Entretanto, essa análise não foi realizada, pois a resolução da imagem de satélite não tornou possível a distinção entre quais campos eram utilizados para pecuária e quais não.

5.5.2 Análise das fontes pontuais

As fontes pontuais de contaminação foram classificadas de acordo com a metodologia POSH (FOSTER et al. 2006.), seguindo o que é mostrado nos quadros 2 e 3. Ao todo foram mapeadas, identificadas, cadastradas e classificadas 73 fontes dessas fontes na região de Venâncio Aires. Desse total, 23 fontes foram classificadas com potencial reduzido (32%), 30 fontes com potencial moderado (41%), e 20 fontes com potencial elevado (27%).

Entre as fontes de potencial reduzido estão empresas do ramo alimentício, tais como beneficiadoras de arroz, fábricas de alimentos para animais e fábricas de bebidas. Serrarias, madeireiras e fábricas de artefatos construtivos também foram classificadas como potencial reduzido, assim como cemitérios mapeados nas etapas de campo. Entre as fontes de contaminação moderada estão os postos de gasolina, comércios de gás liquefeito de petróleo, fábricas de calçados de couro, frigoríficos, fábricas de artigos de vidro e um comércio atacadista de fumo em folha não beneficiado. Entre as fontes de contaminação classificadas com potencial elevado, estão fábricas de eletrodomésticos, metalúrgicas, fundições de ferro e aço, fábricas de máquinas e equipamentos industriais e para agropecuária, fábricas de materiais de plástico e fábricas que realizam o processamento industrial do fumo. A relação completa das fontes de contaminação cadastradas se encontra em anexo (Anexo C).

As fontes pontuais foram localizadas geograficamente e distribuídas nos mapas de vulnerabilidade do SAG e do SASG com o objetivo de se avaliar zonas com maior perigo de contaminação, como mostrado nas figuras abaixo (figuras 63 e 64):

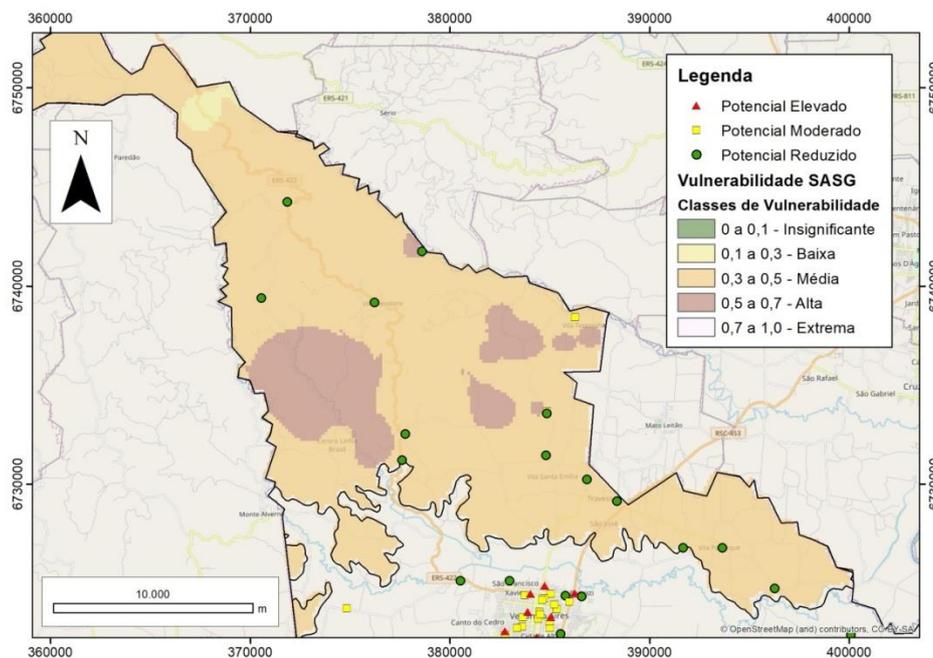


Figura 63. Distribuição das fontes pontuais de contaminação cadastradas sobre mapa de vulnerabilidade na área representada pelo SASG.

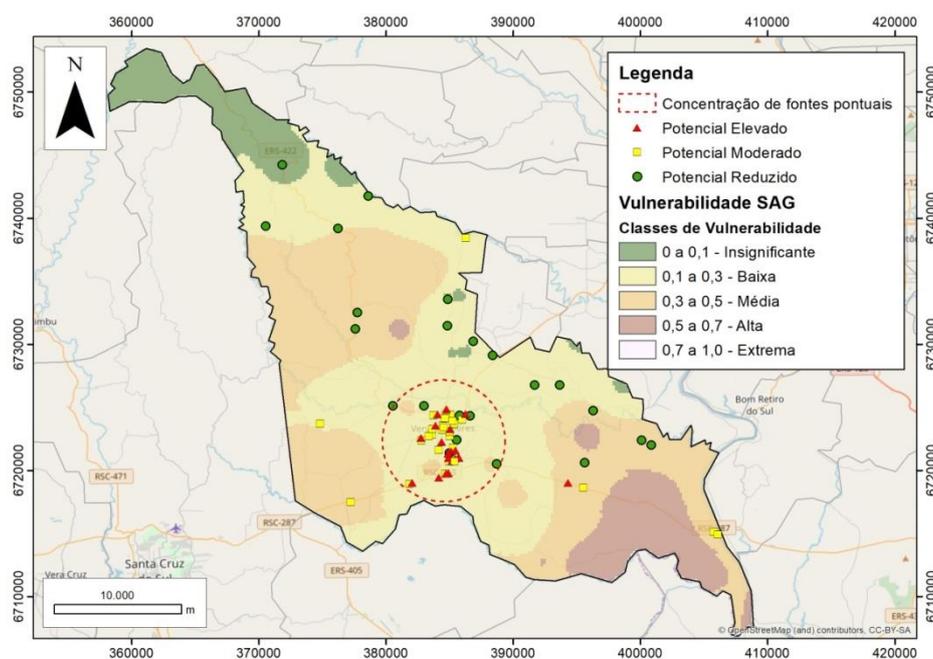


Figura 64. Distribuição das fontes pontuais de contaminação cadastradas sobre mapa de vulnerabilidade na área representada pelo SAG.

As fontes presentes na área representada pelo SASG são, em sua maioria, pequenos cemitérios mapeados em campo, mas também estão incluídas dentre essas fontes, dois frigoríficos, uma fábrica de refrigerantes e uma madeireira. Destas fontes, 13 foram classificadas como tendo potencial de contaminação reduzido e duas com potencial moderado. Ao cruzar estes dados com os dados de vulnerabilidade do SASG (figura 63), vemos que, das 15 fontes presentes na área representada pelo SASG, 12 apresentam perigo de contaminação baixo, enquanto três fontes apresentam perigo de contaminação moderado. Estas fontes são: dois frigoríficos em áreas de média vulnerabilidade e um cemitério localizado em uma área de alta vulnerabilidade, isolada na parte centro-norte do município.

Ao analisar as fontes presentes na área representada pelo SAG vemos que as zonas classificadas com alta vulnerabilidade não apresentam associação com nenhuma fonte de contaminação pontual. Das 73 fontes do município, 16 possuem perigo de contaminação muito baixo em relação ao SAG, 33 possuem perigo baixo, 23 possuem perigo moderado e uma fonte possui perigo alto, a representação em porcentagem desses valores é mostrada no gráfico abaixo (figura 65):

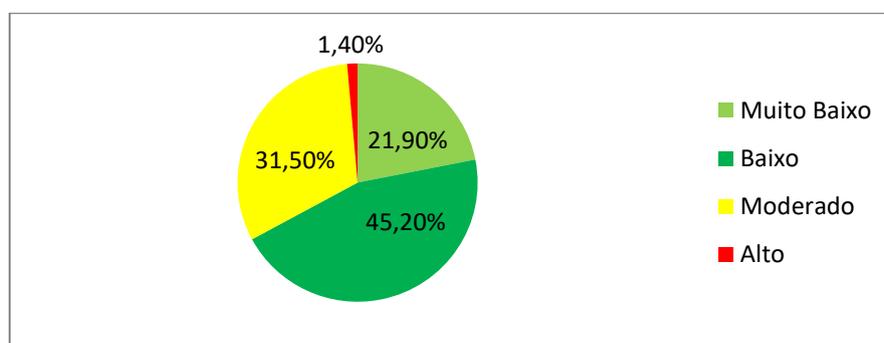


Figura 65. Gráfico da distribuição, em porcentagem, das fontes de contaminação classificadas nos diferentes níveis de perigo de contaminação em relação ao SAG.

Dentre as fontes com perigo moderado encontram-se os poços de gasolina em áreas de média vulnerabilidade e 19 das 20 fontes classificadas com potencial elevado. A única fonte com perigo alto da região é uma metalúrgica localizada em uma zona de média vulnerabilidade.

No mapa da figura 64, observa-se uma maior concentração de fontes na parte central do município, área referente à zona urbana e industrial de Venâncio Aires, onde se localizam 49 das 73 fontes de contaminação mapeadas na região. A figura 66 mostra esta área em detalhe:

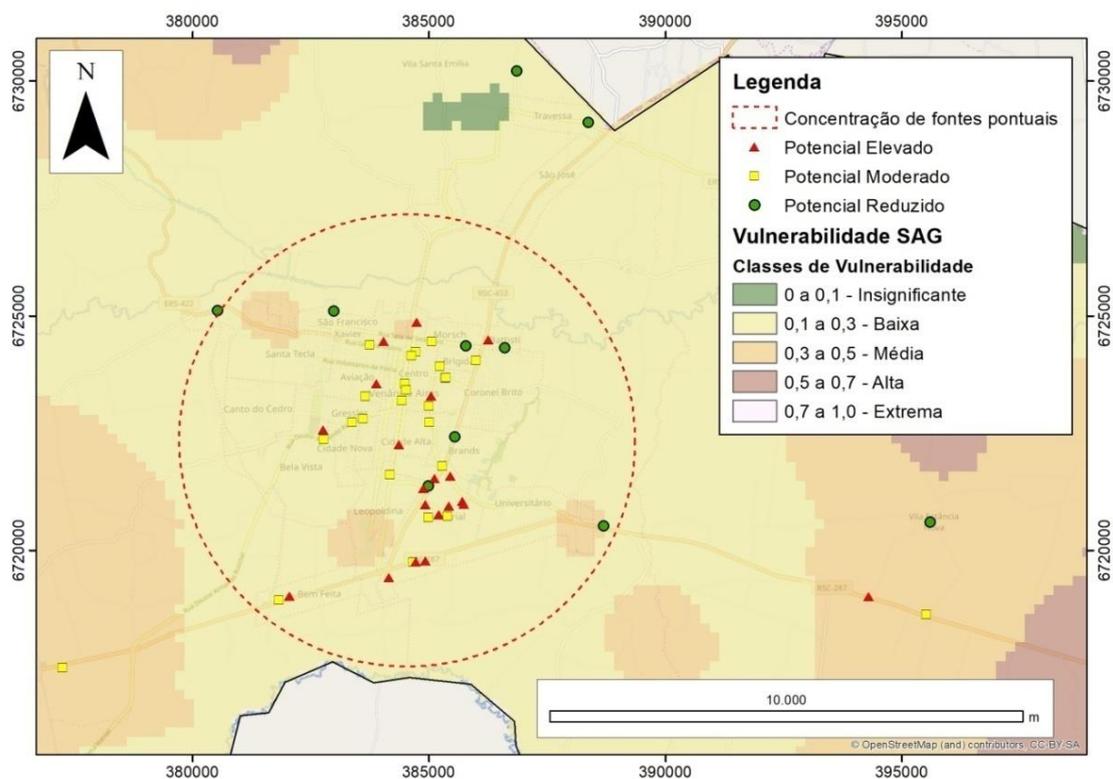


Figura 66. Detalhe da área com maior concentração de fontes pontuais no centro urbano e industrial de Venâncio Aires.

Dentro da zona urbana, área com maior concentração de fontes de contaminação cadastradas, ocorre um aglomerado de fontes com potencial elevado, com a presença de oito fontes em uma pequena área, na zona industrial do município, como mostrado na imagem abaixo (figura 67):

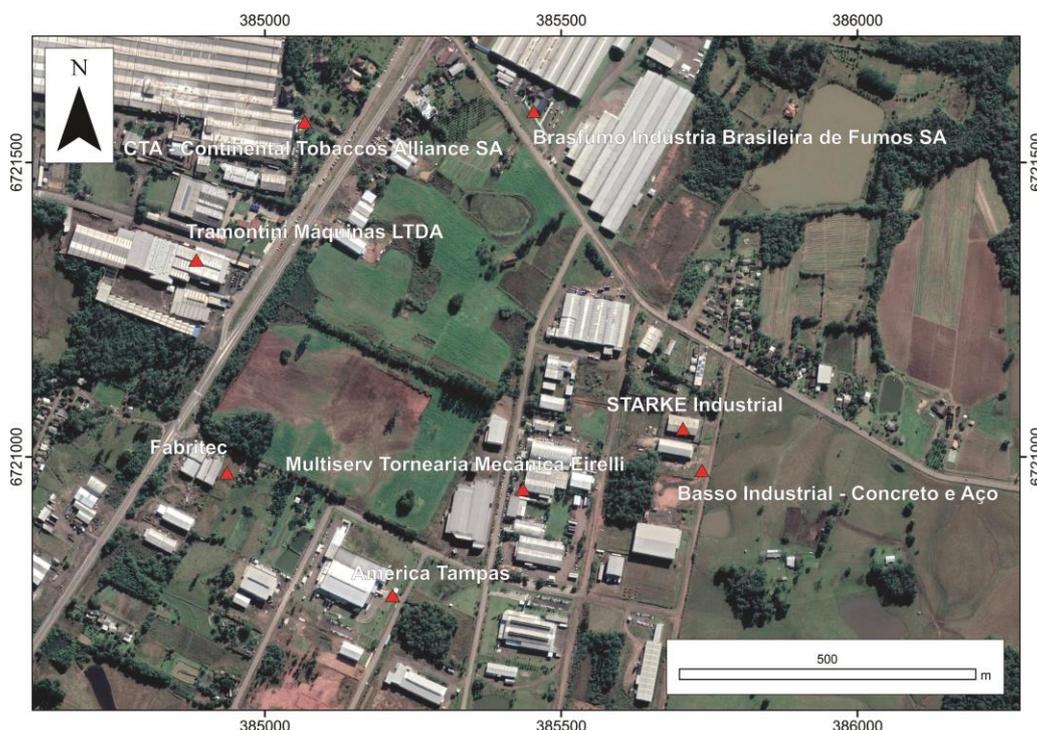


Figura 67. Detalhe do aglomerado de fontes de contaminação com potencial elevado na zona industrial de Venâncio Aires.

Esta área é uma parte da zona industrial do município, e, apesar da baixa vulnerabilidade dos aquíferos da região, a carga contaminante potencial nessa região é bastante elevada, sendo necessário cuidado no manejo e na gestão dos recursos hídricos subterrâneos nessa zona.

No geral, em função da baixa vulnerabilidade presente na área urbana do município de Venâncio Aires, resultante das espessas camadas de argilitos nesta região, as fontes de contaminação possuem predominância nas classificações de perigo baixo e moderado, mas isso não significa que os recursos hídricos não devem ser manejados de maneira cuidadosa, pois a carga contaminante potencial no município é consideravelmente elevada, e pode gerar problemas se não for bem gerenciada.

É também de alta importância levar em consideração os projetos de poços, pois poços construídos fora das normas, ou poços de pequeno diâmetro que não possuem normas de construção podem vir a favorecer a entrada de contaminantes, provando uma possível contaminação dos aquíferos, e isto se torna ainda mais importante nas regiões onde há concentração de fontes de contaminação.

6. CONCLUSÕES

O proposto trabalho buscou avaliar a vulnerabilidade e o risco de contaminação dos aquíferos da região de Venâncio Aires por meio de análises das características geológicas e hidrogeológicas desses aquíferos e também das fontes de contaminação presentes nesta área.

O sistema aquífero Guarani, representado, na região, pelas rochas pertencentes às formações Botucatu e Santa Maria, pode ocorrer de forma livre e também confinado pelas rochas da formação Serra Geral. As rochas que integram esse sistema são sedimentares de granulometria fina, com predominância de argilitos e siltitos, que podem confinar parcialmente camadas aquíferas de arenitos finos e arenitos médios, subordinados a esses argilitos e siltitos. Este aquífero se encontra livre na parte sul do município, e confinado na parte norte. Estes diferentes níveis de confinamento do SAG na região são evidenciados pela variedade de valores de profundidade de nível estático dos seus poços, com média e mediana possuindo valores semelhantes entre si, (21,9 e 19,2 metros de profundidade, respectivamente). Isso se reflete na vazão também, que possui uma distribuição mais heterogênea dos seus valores, que podem representar diferentes níveis aquíferos dentro do SAG.

O sistema aquífero Serra Geral é associado aos sistemas de fraturas dentro das rochas da formação Serra Geral. Este aquífero apresenta valores de profundidade de seus poços superiores aos do SAG, em média, e suas vazões costumam ser inferiores. O número de fraturas de entradas de água costuma diminuir conforme se aumenta a profundidade dos poços, e, como a água nesse tipo de aquífero está sob pressão, ela costuma se elevar acima dessas fraturas e ficar próxima à superfície, resultando em predominância de níveis estáticos mais rasos.

O estudo da vulnerabilidade dos aquíferos resultou em predomínio de vulnerabilidade média para o SASG e vulnerabilidade baixa no SAG. 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.

Para o SAG os valores percentuais foram: 44,27% da área possui baixa vulnerabilidade, 38,16% possui média vulnerabilidade, 9,14% possui alta vulnerabilidade, 8,38% da área foi classificada com vulnerabilidade insignificante e 0,05% da área possui vulnerabilidade extrema.

A análise das fontes de contaminação difusas resultou em 42% da área do município (áreas com uso e ocupação do solo dedicado à agricultura) com potencial de contaminação moderado, e 2,6% com potencial de contaminação reduzido (zona urbana). Já a análise das fontes pontuais de contaminação, resultou na identificação de 73 fontes e sua classificação em: 23 com potencial reduzido, 30 com potencial moderado e 20 com potencial elevado. O perigo de contaminação dessas fontes foi classificado como: 16 fontes com perigo muito baixo, 33 com perigo baixo, 23 moderado e uma fonte com alto perigo de contaminação.

Estas análises demonstram que é necessário que o município de Venâncio Aires dedique recursos para o controle e a gestão do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos subterrâneos de sua região, com a devida fiscalização, a fim de proteger estes recursos e prevenir possíveis contaminações, visto que a carga contaminante potencial no município é bem elevada.

É importante ressaltar que os resultados deste trabalho e suas imprecisões são oriundos da escala de trabalho, da disponibilidade de dados e das limitações dos métodos aplicados. O produto deste trabalho pode ser melhorado e detalhado conforme forem adquiridos mais dados para serem avaliados.

Espera-se que este trabalho e seus produtos sirvam de auxílio para uma melhor gestão e uso dos recursos hídricos subterrâneos e para a prevenção de possíveis contaminações dos mesmos, de forma a evitar gastos elevados com tratamentos de água e remediação de áreas contaminadas.

REFERÊNCIAS

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J. H. & PETTY, R. J. **DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings**. United States Environmental Protection Agency. 1987. EPA/600/2-85/018. 29 p.

ASTM D6030. **Standard Guide for Selection of Methods for Assessing Ground Water or Aquifer Sensitivity and Vulnerability**. West Conshohocken, PA, EUA. 1996, 8 p.

BARBOSA, Marina Costa 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.

BORGES, Vinícius Menezes; ATHAYDE, Gustavo Barbosa; REGINATO, Pedro Antônio Roehe. 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.

CAPALONGA, Suélen. **Avaliação do risco de poluição da água subterrânea da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas**. Porto Alegre, RS, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. **Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:750.000**. Porto Alegre. 2005.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul Escala 1:750.000**. Porto Alegre. 2008.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. **Mapa de Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:750.000**. Porto Alegre. 2009.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul. **Programa Geologia do Brasil-Levantamento da Geodiversidade. Porto Alegre, Brasil, 2010.**

Deepask – O mundo e as cidades através de gráficos e mapas. Disponível em <<http://www.deepask.com/goes?page=venancio-aires/RS-Agricultura:-Confira-a-producao-agricola-e-a-area-plantada-no-seu-municipio>>. Acesso em 12 nov. 2019.

DE FREITAS, Marcos A. et al. Mapa hidrogeológico do rio grande do sul: Um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no estado. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2004.

FERON, Guilherme Lahm; REGINATO, Pedro Antonio Roehe. Avaliação da vulnerabilidade de aquíferos localizados na região central de Canoas–RS. **Águas Subterrâneas**, v. 28, n. 2, 2014.

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 Mundial, 2006.

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

FOSTER, Stephen SD; HIRATA AOKI, Ricardo. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas; um método baseado em dados existentes. In: **Boletim.** Instituto Geológico, 1993

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. **Lima: CEPIS/PAHO/WHO**, v. 78, 1988

FOSTER, Stephen SD et al. Contaminación de las aguas subterráneas: Un enfoque ejecutivo de La situación en América Latina y el Caribe em relación

com el suministro de água potable. In: **Contaminación de lãs águas subterrâneas: un enfoque ejecutivo de La situación en América Latina y El Caribe em relación con el suministro de agua potable**. CEPIS, 1987..

GUIGUER, Nilson; KOHNKE, Michael Wolfgang. Métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2002.

HAUSMAN, A. **Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul, RS. Estudos Tecnológicos: Acta Geológica Leopoldensia, Série Mapas. Nº 2**. P-1-127, 1995.

HAUSMAN, A. Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul, I Semana Hidrogeológica Uruguaia. 1964.

HAUSMAN, A. Estudo das possibilidades de água subterrânea do Rio Grande do Sul. **Boletim da Sociedade brasileira de Geologia**, v. 1, p. 31-41, 1960.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapas municipais, 2010. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_para_fins_de_levantamentos_e_statisticos/censo_demografico_2010/mapas_municipais_estatisticos/>. Acesso em: 17 out. 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama. **Venâncio Aires**, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/venancio-aires/panorama>>. Acesso em: 16 out. 2018.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 05 nov. de 2019.

LISBOA, Nelson Amoretti et al. Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2004.

LÖBLER, Carlos Alberto; DE BORBA, Willian Fernando; SILVÉRIO DA SILVA, José Luiz. Vulnerabilidade das águas subterrâneas da bacia do rio Santa Maria, Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 1, 2016.

LÖBLER, Carlos Alberto; SILVÉRIO DA SILVA, José Luiz. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Nova Palma, Rio Grande do Sul, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 1, 2015.

LÖBLER, Carlos Alberto et al. Pontos Potenciais de Contaminação e Vulnerabilidade Natural das Águas Subterrâneas do Município de Restinga Seca-RS (Potential Sources of Contamination and Natural Vulnerability of the Groundwater in Restinga Seca Municipality, Rio Grande do Sul State). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 500-509, 2013.

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

MACHADO, José Luiz Flores. CARACTERIZAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS ESTRUTURAIIS DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI NO RIO GRANDE DO SUL. **Águas Subterrâneas**, 2006.

MILANI, Edison J.; RAMOS, Victor A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 4, p. 473-484, 2017.

MILANI, E. J. et al. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MILANI, Edison José. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. **Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR**, p. 265-291, 2004.

MILANI, Edison Jose. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-**

ocidental. Porto Alegre, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.

PEATE, David W.; HAWKESWORTH, Chris J.; MANTOVANI, Marta SM. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**, v. 55, n. 1-2, p. 119-139, 1992.

PINHEIRO, R. J. et al. Aplicação dos Métodos GOD e POSH para determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação dos aquíferos na cidade de Santa Maria-RS. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 12, n. 2, p. 61-79, 2015.

PINHEIRO, R.J.B.; RAUBER, A.C.; SILVÉRIO DA SILVA, J.L. Suscetibilidade à contaminação dos Aquíferos no Município de Santa Maria-RS. *In*: GEORS- VII Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul. Santa Maria, 09 e 10 de maio de 2013. *Anais...* Santa Maria.

PINHEIRO, R.J.B.; NUMMER, A.V.; RAUBER, A.C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Vulnerabilidade de Aquíferos Caturrita e Passo das Tropas no Município de Santa Maria-RS. *In*: XVI Congresso de Mecânica de Solos e Engenharia Geologica- COBRAMSEG 2012, 15-18 Outubro, Porto de Galinhas, PE. *Anais...* COBRAMSEG: Porto de Galinhas, 2012. CD- ROM.

QUEIROZ, G.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. Azimuthfinder: ferramenta para a extração de dados e apoio na análise estrutural . **Geologia USP. Série Científica**, v. 14, n. 1, p. 69-80, 1 mar. 2014.

REBOUÇAS, A. C.. Potencialidade hidrogeológica dos basaltos da Bacia do Paraná no Brasil. In Congresso Brasileiro de Geologia. (**Vol. 30, pp. 2963-2976**), 1978.

REGINATO, P. A. R. **Integração de Dados para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)**. 254 f,

2003. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2003.

RIFFEL, Eduardo Samuel; DA SILVA, Jose Luis Silverio. CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MUNICÍPIO DE SANTA ROSA-RS. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 22, p. 3-28, 2011.

SAMBERG, R. **Estudo hidrogeológico nas províncias litológicas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Dissertação de mestrado em hidrologia aplicada, curso de pós-graduação em hidrologia aplicada, Universidade federal do rio Grande do Sul, 1980.

SIAGAS - Sistema de Informação de Águas Subterrâneas: banco de dados mantido pela CPRM. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

SILVERIO DA SILVA, J. L. et al. Vulnerabilidade do aquífero Serra Geral à contaminação no município de Erechim-Rio Grande do Sul-Brasil. **Ciência e Natura**, v. 35, n. 1, 2013.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L. L. V. Vulnerabilidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria-RS. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 24, n. 2, p. 1-17, 2010.

VAN STEMPVOORT, D.; EWERT, L.; WASSENAAR, L. AVI: a method for groundwater protection mapping in the Prairie Provinces of Canada. PPWD pilot project, September 1991–March 1992. Groundwater and contaminant sproject. **Environmental Sciences Division, National Hydrology Research Institute**, 1992.

WAICHEL, BRENO LEITÃO; DE LIMA, EVANDRO FERNANDES; SOMMER, CARLOS AUGUSTO. Tipos de derrame e reconhecimento de estruturas nos

basaltos da Formação Serra Geral: terminologia e aspectos de campo. **Pesquisas em Geociências**, v. 33, n. 2, p. 123-133, 2006.

WILDNER, W.; LOPES, R. D. C. **Evolução Geológica: do Paleoproterozoico ao recente**. In: VIERO, A. C. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM - Serviço Geológico Brasileiro, 2010. p. 15-34.

ANEXO A – INVENTÁRIO DE POÇOS

PONTO	COTA	UTM E	UTM N	MUNICÍPIO	AQUÍFERO	NÍVEL ESTÁTICO (m)	VAZÃO (m³/h)	PROFUNDIDADE	ENTRADA D'ÁGUA – PROFUNDIDADE (m)	ENTRADA D'ÁGUA - LITOLOGIA	INTERVALO FILTRO
4300006346	46	384987	6723438	Venancio aires	SAG	12,89	75	117	-	-	-
4300006347	48	384293	6722954	Venancio aires	SAG	26,46	8,218	117	5;32;97	Argilito e Arenito	-
4300006349	37	383552	6723182	Venancio aires	SAG	19,11	14,17	59	28	Arenito	-
4300006350	37	383518	6724133	Venancio aires	SAG	20,35	25	72	-	Arenito médio	42-47;69-72
4300006352	31	383985	6724341	Venancio aires	SAG	8,3	32,14	48	12;24;27;41	-	27-37;40-43
4300006353	32	381850	6724733	Venancio aires	SAG	8,72	9,05	75	15;59	Siltito e Arenito siltoso	58-71
4300006354	60	384650	6723096	Venancio aires	SAG	35,5	17,47	79	-	Arenito médio	45-52;73-78
4300006355	91	384587	6722588	Venancio aires	SAG	61,08	20,57	79	-	Arenito médio	68-75
4300006356	53	383015	6722504	Venancio aires	SAG	25,05	21,9	111	-	-	-
4300006358	40	383237	6724771	Venancio aires	SAG	23,29	7,7	58	-	-	-
4300006360	39	384043	6724920	Venancio aires	SAG	33,42	15,12	56	-	Arenito grosso e arenito médio	39-49
4300006361	36	384623	6724987	Venancio aires	SAG	34,81	23,29	53	-	Arenito siltoso	40-48
4300006362	37	384874	6724659	Venancio aires	SAG	35,28	10,714	71	41;65	Arenito médio	43-47
4300006363	40	385200	6724760	Venancio aires	SAG	28,15	25,71	58	-	Arenito siltoso	37-51
4300006364	34	385397	6724862	Venancio aires	SAG	29,07	25	56,5	-	Arenito médio	36-51
4300006365	55	384896	6724030	Venancio aires	SAG	15,08	31,579	73	-	Arenito médio	22-62
4300006366	59	385026	6723951	Venancio aires	SAG	2,8	16,851	36,5	-	Areia grossa	29-35
4300006369	63	385735	6724668	Venancio aires	SAG	25,3	4,6	73	-	-	-
4300006370	73	385487	6723524	Venancio aires	SAG	29,68	6,16	114	-	Arenito argiloso	43-45
4300006371	26	385685	6723998	Venancio aires	SAG	5,02	16,36	115,5	27;32;68;90;105;112	Arenito fino	-
4300006372	25	386583	6724310	Venancio aires	SAG	-	-	52	-	Arenito siltoso	-
4300006373	65	385391	6721703	Venancio aires	SAG	2,28	34,6	116	-	-	-
4300006374	66	393586	6726932	Venancio aires	-	1,5	16,667	130	-	-	-
4300006375	125	389191	6720445	Venancio aires	SAG	1,1	-	125	-	-	-
4300006376	22	387250	6723521	Venancio aires	-	27,17	6,7	80	-	-	-
4300006377	20	383834	6726872	Venancio aires	-	-	-	52	-	-	-
4300006378	30	381483	6727005	Venancio aires	SASG	1,8	12	58	-	Basalto	-
4300006379	13	383948	6729540	Venancio aires	-	19,3	16	128	-	-	-
4300006380	27	382623	6730859	Venancio aires	-	0,4	10	59	-	-	-
4300006381	74	381318	6731162	Venancio aires	-	0,2	20	37	-	-	-
4300006382	27	383000	6730835	Venancio aires	SAG	3,8	10	90	-	-	-
4300006383	10	385471	6726990	Venancio aires	-	27,6	6	145	-	-	-
4300006384	52	385421	6727895	Venancio aires	-	31,9	5	150	-	-	-
4300006385	44	385571	6727857	Venancio aires	SASG	0,2	10,8	33	-	-	-
4300006386	62	385605	6728334	Venancio aires	SASG	2,5	7,8	62	-	-	-
4300006387	115	386933	6729435	Venancio aires	-	16,7	6	128	-	-	-

4300006388	77	387423	6729879	Venancio aires	-	1,3	15	64	-	-	-
4300006389	80	388091	6728417	Venancio aires	-	5,6	9	95	-	-	-
4300006390	103	388193	6729207	Venancio aires	-	12,4	7	113	-	-	-
4300006391	38	391717	6726771	Venancio aires	-	26,5	12	165	-	-	-
4300006392	132	393599	6726923	Venancio aires	-	1,5	10	132	-	-	-
4300006393	38	396802	6724752	Venancio aires	-	3,5	7	95	-	-	-
4300006394	54	396012	6727264	Venancio aires	-	41,3	8	180	-	-	-
4300006395	78	395729	6722993	Venancio aires	-	7,8	6	120	-	-	-
4300006396	87	395602	6721469	Venancio aires	-	30,5	7	176	-	-	-
4300006397	65	395490	6720557	Venancio aires	-	26,9	7,2	165	-	-	-
4300006398	50	383945	6728055	Venancio aires	SASG	3,3	12	67	-	Basalto	-
4300006399	135	381535	6732938	Venancio aires	-	4,5	30	128	-	-	-
4300006400	138	382634	6733679	Venancio aires	SASG	6,4	20	128	-	-	-
4300006401	113	384749	6733739	Venancio aires	SASG	7,6	15	107	-	Basalto	-
4300006402	116	384064	6735149	Venancio aires	SASG	2,8	12,2	96	-	Basalto	-
4300006403	82	385318	6730905	Venancio aires	SASG	1,8	6,3	56	-	Basalto	-
4300006404	107	385340	6732474	Venancio aires	SASG	20,3	5,1	153	-	Basalto	-
4300006405	117	385896	6737064	Venancio aires	SASG	5,8	9,8	110	-	Basalto	-
4300006406	114	387232	6737466	Venancio aires	SASG	1,57	9	30	-	Basalto	-
4300006407	100	386459	6738599	Venancio aires	SASG	4,5	12	86	-	Basalto	-
4300006408	116	386116	6738602	Venancio aires	SASG	7,4	5,2	105	-	Basalto	-
4300006409	137	383812	6737233	Venancio aires	SASG	0,3	8,1	42	-	Basalto	-
4300006410	134	382689	6738489	Venancio aires	SASG	6,3	7,3	93	-	Basalto	-
4300006411	11	399830	6722342	Venancio aires	-	42	6,8	140	-	-	-
4300006412	54	396809	6715773	Venancio aires	-	58,6	5,5	170	-	-	-
4300006413	109	389489	6717310	Venancio aires	SASG	0,3	7,9	30	-	Basalto	-
4300006414	35	391499	6716211	Venancio aires	-	38,9	5,8	140	-	-	-
4300006415	39	392426	6712369	Venancio aires	-	24,8	6,4	140	-	-	-
4300006416	70	381961	6722434	Venancio aires	-	18,4	4,9	102	-	-	-
4300006417	73	376030	6722084	Venancio aires	-	9,8	4,1	148	-	-	-
4300006418	72	375148	6720541	Venancio aires	-	39,4	6,2	136	-	-	-
4300006419	48	380750	6724518	Venancio aires	-	12,5	5,2	70	-	-	-
4300006420	50	377635	6723705	Venancio aires	-	16,7	5,8	102	-	-	-
4300006421	154	374550	6732205	Venancio aires	SASG	38,6	5,5	138	-	Basalto	-
4300006422	125	373402	6734694	Venancio aires	SASG	0,9	8,4	45	-	Basalto	-
4300006423	82	377836	6732815	Venancio aires	SASG	9,2	6,9	86	-	Basalto	-
4300006424	112	376708	6732386	Venancio aires	SASG	21,1	7,1	117	-	Basalto	-

4300006425	99	383136	6740470	Venancio aires	SASG	0,3	20	70	-	Basalto	-
4300006426	98	381850	6740830	Venancio aires	SASG	3,5	12	80	-	Basalto	-
4300006427	115	379755	6741090	Venancio aires	SASG	19,2	10,2	123	-	Basalto	-
4300006428	421	379127	6739106	Venancio aires	SASG	146,7	7,2	415	-	Basalto	-
4300006429	643	367516	6748707	Venancio aires	SASG	88,9	0,5	178	-	Basalto	-
4300006430	611	362394	6751090	Venancio aires	SASG	17,4	30	185	-	Basalto	-
4300006431	89	379542	6730107	Venancio aires	-	0,4	15,2	36	-	-	-
4300006432	32	383423	6721207	Venancio aires	-	11,4	8	84	-	-	-
4300006433	35	384129	6724112	Venancio aires	-	2,8	10,5	52	-	-	-
4300006434	36	384069	6724283	Venancio aires	-	4,1	4,9	78	-	-	-
4300006435	16	383593	6724329	Venancio aires	-	15,9	5,3	120	-	-	-
4300006436	31	384508	6724524	Venancio aires	-	6,7	4,8	98	-	-	-
4300006437	47	384751	6724160	Venancio aires	-	2,3	12	43	-	-	-
4300006438	32	384542	6723332	Venancio aires	-	-	-	42	-	-	-
4300006439	32	384492	6723225	Venancio aires	-	9,6	8,4	66	-	-	-
4300006440	108	383951	6723174	Venancio aires	-	18,4	3	108	-	-	-
4300006441	37	383406	6722814	Venancio aires	-	12,5	4	95	-	-	-
4300006442	16	382773	6722424	Venancio aires	-	6,2	4,9	75	-	-	-
4300006443	19	382817	6722622	Venancio aires	-	-	-	80	-	-	-
4300006444	19	382709	6722598	Venancio aires	-	12,1	5,1	82,1	-	-	-
4300006445	14	382630	6722633	Venancio aires	-	10,8	4,8	85	-	-	-
4300006446	14	382649	6722617	Venancio aires	-	8,7	3,9	81	-	-	-
4300006447	3	384269	6724332	Venancio aires	-	7,8	6	80	-	-	-
4300006448	54	383799	6724442	Venancio aires	-	2,7	2	58	-	-	-
4300006449	52	386011	6724111	Venancio aires	-	3,6	6	72	-	-	-
4300006450	105	385335	6721847	Venancio aires	-	12,8	4	105	-	-	-
4300006451	79	384990	6723112	Venancio aires	-	1,7	6,3	60	-	-	-
4300006452	79	385016	6723110	Venancio aires	-	-	-	110	-	-	-
4300006453	62	384563	6723598	Venancio aires	-	11,5	2	87	-	-	-
4300006454	48	386399	6724637	Venancio aires	-	12,6	3	88	-	-	-
4300006455	58	385407	6723778	Venancio aires	-	17,8	3	117	-	-	-
4300006456	14	385819	6724457	Venancio aires	-	11,6	3	87	-	-	-
4300006457	9	384377	6724083	Venancio aires	-	9,6	4	78	-	-	-
4300006458	7	384200	6723151	Venancio aires	-	14,3	4	85	-	-	-
4300006459	9	384194	6724556	Venancio aires	-	2,8	10	60	-	-	-
4300006460	2	384149	6724529	Venancio aires	-	0,3	18	45	-	-	-
4300006461	13	384214	6724508	Venancio aires	-	1,1	14	75	-	-	-

4300007496	72	373617	6721583	Venancio aires	-	-	-	136	-	-	-
4300007501	127	369654	6736244	Venancio aires	-	-	-	106	-	-	-
4300010012	59	383768	6723375	Venancio aires	SAG	8,56	7,81	145	-	-	-
4300016776	70	384795	6721565	Venancio aires	SAG	32,7	46,58	84	-	Arenito médio	-
4300016777	72	385115	6721714	Venancio aires	SAG	30,16	31,68	80	23;30;60;66	Arenito médio e Siltito	-
4300016778	75	384369	6721751	Venancio aires	SAG	34,8	19,8	72	65;68;71	Arenito médio	-
4300016779	80	384965	6721527	Venancio aires	SAG	37,7	19,317	92	41;42;77;85	Arenito médio e arenito fino	-
4300017364	-	388256	6720477	Venancio aires	SAG	22,1	15	100	-	Arenito grosso e arenito médio	16-20;44-52;56-64;68-76;88-92
4300020914	41	383081	6724167	Venancio aires	SAG	11,81	3,79	134	43;110	Arenito médio	47-49;53;55
4300020915	49	385200	6723964	Venancio aires	SAG	34,16	11,54	55	-	Arenito médio	47-50
4300020916	38	384874	6724074	Venancio aires	SAG	2,57	13,42	40	-	Areia argilosa	23-28
4300020917	34	384120	6724544	Venancio aires	SAG	8,82	22,628	58	-	Arenito médio e arenito grosso	27-42
4300020918	37	383899	6723937	Venancio aires	SAG	2,12	16,85	44	-	Arenito médio	31-33;35-37
4300020919	37	383904	6723940	Venancio aires	SAG	13,48	16,22	135	25;26;34;39;62;100;125	Arenitos finos, médios e grossos	34-44
4300020920	37	385534	6724317	Venancio aires	SAG	17,5	26,87	49	25;27;30	Conglomerado com matriz arenosa	27-44
4300020921	47	383342	6722750	Venancio aires	SAG	19,16	20	110	25	Arenito fino	31-34
4300020922	36	383933	6724333	Venancio aires	SAG	2,02	16,85	38,1	-	Arenito médio	29-31;35-37
4300020923	34	384821	6724461	Venancio aires	SAG	3,19	31,03	51,22	-	Arenitos de diversas granulometrias	28-43
4300020924	34	384808	6724493	Venancio aires	SAG	5,4	36,73	51	-	Arenito grosso	30-45
4300021520	43,8	385232	6723671	Venancio aires	-	24,25	2,4	96	68;90	Arenito argiloso	70-96
4300021599	-	385547	6724665	Venancio aires	SAG	11	5,51	56	-	Arenito médio	38-50
4300022449	45	381743	6723886	Venancio aires	SAG	32,4	1,38	102	88;98	Arenito médio e Siltito	88-98
4300023161	-	384822	6724596	Venancio aires	SAG	20,09	32,14	52,97	-	Arenito médio	28-47
4300023218	98	381870	6740830	Venancio aires	SASG	3,5	12	80	-	Basalto	-
4300023336	49	383375	6723495	Venancio aires	SAG	27,94	6,102	72	34	Arenito médio, siltitos e argilitos	58-72
4300024506	93	377802	6721125	Venancio aires	SAG	-	-	132	-	-	-
4300024507	74	377569	6720268	Venancio aires	SAG	-	-	100	-	-	-
4300024508	138	383227	6735556	Venancio aires	SAG	6,66	17,07	74	15;38;65	Arenito argiloso	16-36;39-63;66-74
4300024509	156	369811	6735824	Venancio aires	SAG	41,35	6,16	92	50;82	Arenito argiloso	48-52;80-84
4300024510	82	394818	6715714	Venancio aires	SAG	100,78	2,66	159	-	Arenito argiloso	145-155
4300024511	-	383950	6729490	Venancio aires	SAG	1,06	16,5	90	16;77	Argilito	-
4300024512	-	377720	6736182	Venancio aires	SAG	9,35	1,68	146	126	Arenito argiloso	-
4300024514	-	381311	6731128	Venancio aires	SAG	2,49	28,28	30	12;20	Arenito argiloso	18-26
4300024515	79	389600	6728532	Venancio aires	SAG	12,6	25	176	68;168	Basalto	-
4300024516	-	395767	6722750	Venancio aires	SAG	4,85	2,38	90	24;70	Arenito argiloso	65-75

4300024517	83	380193	6722904	Venancio aires	SAG	46,1	8,86	132	85;126	Arenito médio	84-88;124-130
4300024904	-	384400	6722300	Venancio aires	SAG	21,5	10	70	30	Arenito grosso	28-38
4300024971	36	385777	6724973	Venancio aires	SAG	11,81	3,7	134	-	Arenito grosso	47-49;53-55
4300025077	-	384580	6724624	Venancio aires	SAG	2,47	14,142	47	13;22;31;36	Siltito, arenito fino e arenito médio	29-31;35-37
4300025079	-	383613	6724429	Venancio aires	SAG	29,5	6,406	75	37;69	Arenito siltos e arenito médio	30-46;68-75
4300025080	-	384928	6724813	Venancio aires	SAG	3,19	31,034	51,22	27;32	Arenito fino	28-43
4300025081	-	384900	6724843	Venancio aires	SAG	20,09	50	53	-	Arenito médio	28-47
4300025234	37	386600	6724300	Venancio aires	SAG	-	-	84	19;50	Argilito e Arenito grosso	-
4300025235	66	385325	6728193	Venancio aires	SASG	-	-	105	11;45	Basalto	-
4300025260	619	360387	6750974	Venancio aires	SASG	38,28	4417,18	97	84;94	Basalto	-
4300025321	40	383207	6724764	Venancio aires	SAG	23,29	7,792	58,5	12;45	Argilito e Arenito grosso	-
4300025362	46	383821	6720110	Venancio aires	SAG	3,5	2	146	4;9	Arenito grosso e arenito argiloso	6-12;18-24
4300025416	-	383899	6720246	Venancio aires	SAG	18	3	40	30;35	Arenito médio	12 a 40
4300025540	75	390237	6718308	Venancio aires	SAG	-	-	142	-	Arenito médio	-
4300025541	90	386147	6729308	Venancio aires	SAG	80,64	4,74	186	-	Arenitos fino, médio e grosso	172-182
4300025956	-	385832	6721409	Venancio aires	SAG	5,35	4	105	48;80	Siltito e Arenito fino	-
4300026114	-	385079	6729313	Venancio aires	SAG	62,13	3,79	161	-	Arenito médio	151-161
4300026115	-	385832	6724409	Venancio aires	SAG	5,35	4	105	-	Arenito argiloso + arenito grosso	50-70
4300027487	29	385056	6720781	Venancio aires	SAG	29	16,9	60	54	Arenito médio	48-58
EMPRESA01	68	390070	6720534	Venancio aires	SAG	113,3	-	158	147;157	Arenito fino	147-157
EMPRESA02	596	372072	6744252	Venancio aires	SASG	20	-	90	-	Basalto	-
EMPRESA03	119	384917	6733761	Venancio aires	SASG	12,84	-	70	-	Basalto	-
EMPRESA04	50	384459	6723319	Venancio aires	SAG	18	-	58	-	-	-
EMPRESA05	62	387084	6727081	Venancio aires	SAG	56,5	-	228	-	-	-
EMPRESA06	60	385519	6721135	Venancio aires	SAG	36,65	-	78	67;70	Arenito médio	63-73
EMPRESA07	57	384865	6719617	Venancio aires	SAG	27,35	-	70	-	-	-
EMPRESA08	52	384768	6721394	Venancio aires	SAG	24,57	-	66	63	Arenito médio	55-63
EMPRESA09	79	384943	6723070	Venancio aires	SAG	36,96	-	65	50;60	Arenito	50-65
EMPRESA10	60	362193	6708174	Venancio aires	SAG	41,93	-	108	95;105	Argilito e arenito	-
EMPRESA11	90	365787	6694866	Venancio aires	SAG	27	-	42	-	-	-
EMPRESA12	48	381743	6723886	Venancio aires	SAG	18,1	-	60	49;57	Arenito	49-57

EMPRESA1 3	55	362193	6708174	Venancio aires	SAG	25	-	72	51;59	Arenito	51-59
EMPRESA1 4	56	384300	6719773	Venancio aires	SAG	26,32	-	85	70;80	Arenito médio	70-80
EMPRESA1 5	103	387650	6728168	Venancio aires	-	6,5	-	167	17;20;102;105	Basalto	-
EMPRESA1 6	62	384865	6719617	Venancio aires	SAG	26,7	-	60	48;58	Arenito fino	48-58
PREF01	-	378316	6720835	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF02	-	394486	6724616	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF03	-	394583	6724605	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF04	-	383278	6721177	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF05	-	381130	6727360	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF06	-	388193	6729228	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF07	-	388192	6729382	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF08	-	391677	6726717	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF09	-	388103	6728248	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF10	-	384809	6725782	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF11	-	378316	6720835	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF12	-	360235	6750346	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF13	-	360162	6750530	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF14	-	360385	6750738	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
PREF15	-	360198	6750454	Venancio aires	-	-	-	-	-	-	-
CAMPO 1 01	122	379725	6741063	Venâncio Aires	-	-	-	-	-	-	-
CAMPO 1 02	136	378582	6741922	Venâncio Aires	-	-	-	50	-	-	-
CAMPO 1 03	423	379082	6739062	Venâncio Aires	-	-	-	-	-	-	-
CAMPO 1 04	594	372078	6744249	Venâncio Aires	-	-	-	150	80	-	-
CAMPO 1 05	-	381847	6740583	Venâncio Aires	-	-	-	-	-	-	-
CAMPO 1 06	146	369811	6735815	Venâncio Aires	-	-	-	-	-	-	-
CAMPO 1 07	338	375696	6738690	Venâncio Aires	-	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 01	14	400398	6714069	Venâncio Aires	SAG	-	-	12	-	-	-
CAMPO 2 02	11	400351	6714067	Venâncio Aires	SAG	-	-	3	-	-	-
CAMPO 2 03	26	399494	6713770	Venâncio Aires	SAG	-	-	24	-	-	-
CAMPO 2 04	22	396967	6713350	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 05	19	396079	6713288	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 06	19	395493	6712741	Venâncio Aires	SAG	-	-	86	-	-	-
CAMPO 2 07	19	395483	6712731	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 08	60	392393	6712350	Venâncio Aires	SAG	-	-	120	-	-	-
CAMPO 2 09	62	392384	6712476	Venâncio Aires	SAG	-	-	6	-	-	-

CAMPO 2 10	35	390951	6714339	Venâncio Aires	SAG	-	-	128	-	-	-
CAMPO 2 11	63	391464	6716156	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 12	69	391205	6718914	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 13	91	365284	6732428	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 14	106	385709	6733823	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 15	59	385567	6728305	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 16	90	388179	6729376	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 17	98	388179	6729205	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 18	116	386853	6729920	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 19	30	398677	6726722	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
CAMPO 2 20	74	393575	6726871	Venâncio Aires	SAG	-	-	-	-	-	-
4300012482	588	370461	6751128	Boqueirao do leao	SASG	149,76	5,2	342	310	Basalto	-
4300016218	636	365686	6752482	Boqueirao do leao	SASG	47,8	4,2	243	-	Basalto	-
4300026947	508	354470	6755500	Boqueirao do leao	SASG	24,5	16,78	78	62	Basalto	-
4300016216	505	354474	6755515	Boqueirao do leao	SASG	23,28	21,4	66	62	Basalto	-
4300008590	19	406136	6716598	Bom retiro do sul	SAG	9	5	30	-	-	-
4300008591	19	406118	6716601	Bom retiro do sul	-	3,65	8,4	98	-	-	-
4300008425	30	398331	6727580	Cruzeiro do sul	SASG	28,4	47	118	-	Basalto	-
4300008427	62	396728	6729498	Cruzeiro do sul	SASG	13,8	10	84	-	Basalto	-
4300022888	45	395474	6730518	Cruzeiro do sul	SAG	21	7	147	-	-	-
4300022889	24	400810	6726750	Cruzeiro do sul	SASG	18	6	100	-	Basalto	-
4300009083	60	404111	6704958	General camara	SAG	18,28	9,317	78	54;58	Arenito	-
4300023347	14	410231	6706159	General camara	SAG	3,97	1,005	51	-	Arenito	45-51
4300024526	78	393150	6730900	Mato leitao	SASG	6,44	9,52	90	18;78	Basalto	-
4300008744	71	391727	6731211	Mato leitao	SASG	6,26	7	66	28	Basalto	-
4300024592	-	391872	6731240	Mato leitao	SASG	6,26	8,905	66	28	Basalto	-
4300024597	50	391282	6731237	Mato leitao	SASG	-	-	132	-	Basalto	-
4300022883	80	390732	6730997	Mato leitao	SASG	45	0,5	106	-	Basalto	-
4300008734	84	390264	6730612	Mato leitao	SASG	10,3	3,4	66	28	Basalto	-
4300024591	-	390260	6730591	Mato leitao	SASG	0,78	12,77	84	-	Basalto	-
4300024498	59	390153	6730063	Mato leitao	SASG	1,73	35,6	78	45;46	Basalto	-
4300024546	67	390082	6729784	Mato leitao	SASG e SAG	4,51	7,71	162	35;94;154;158	Basalto	-
4300008733	90	388427	6731026	Mato leitao	SASG	16,8	5,5	70	-	Basalto	-
4300008739	134	386090	6735509	Mato leitao	SASG	16,7	4,8	69	-	Basalto	-
4300008738	83	388057	6734753	Mato leitao	SASG	9,6	6,7	88	-	Basalto	-

4300022480	84	387731	6735460	Mato leitao	SASG	23,19	14	91	80	Basalto	-
4300008745	97	387827	6738292	Mato leitao	SASG	-	-	78	-	Basalto	-
PREF16	-	390045	6729739	Mato leitao	-	-	-	-	-	-	-
4300009123	53	373543	6714768	Passo do sobrado	SAG	3,4	12,5	94	-	-	82-94
4300009124	46	374974	6714300	Passo do sobrado	SAG	-	-	72	-	-	-
4300025877	-	377108	6711707	Passo do sobrado	SAG	-	-	90	-	-	45-70
4300021757	-	385929	6707003	Passo do sobrado	SAG	33,05	49,5	100	75;81;94	Arenito	68-88;92-100
4300024695	-	385800	6707000	Passo do sobrado	SAG	36	44	102	80;86;94	Arenito	56-68;80-100
4300009110	97	382553	6740718	Santa clara do sul	SASG	10,53	41,7	94	25;39;56;74	Basalto	25
4300009111	87	384942	6740059	Santa clara do sul	SASG	-	-	86	-	Basalto	-
4300009109	87	385805	6739296	Santa clara do sul	SASG	-	-	105	-	Basalto	-
4300024844	-	385298	6739802	Santa clara do sul	SAG	4,58	35,67	72	64	Basalto	-
4300006830	169	376981	6743708	Serio	SASG	17,9	12,5	78	30;50;66	Basalto	-
4300025542	134	378634	6741946	Serio	SASG	9	6	48	25;36	Basalto	-
4300024633	572	354533	6751003	Sinimbu	SASG	8,3	5	216	55	Basalto	-
4300008649	31	408655	6711073	Taquari	-	21,4	2	100	-	-	-
4300008648	30	408701	6710930	Taquari	-	10,3	4,5	50	-	-	-
4300008650	31	408395	6712078	Taquari	-	-	-	35	-	-	-
4300026780	250	398900	6707200	Vale verde	SASG e SAG	-	-	108	42;78	Basalto	-
4300007480	172	369674	6722999	Santa cruz do sul	-	-	-	-	-	-	-
4300024969	118	370890	6729978	Santa cruz do sul	-	19,65	4,8	108	-	-	-
4300026781	184	369761	6731035	Santa cruz do sul	SASG e SAG	-	-	96	36;84	Basalto	-
4300027012	80	370284	6728413	Santa cruz do sul	-	-	-	186	-	-	-
4300007532	611	363839	6748863	Santa cruz do sul	-	-	-	108	-	-	-
PREF17	-	361717	6745211	Santa cruz do sul	-	-	-	-	-	-	-

ANEXO B – LISTA DE POÇOS E PESOS ATRIBUÍDOS NA METODOLOGIA GOD

INDICES DE VULNERABILIDADE PARA OS POÇOS DO SAG							
PONTO (CÓD. SIAGAS OU NOME NO PROJETO)	UTM E	UTM N	G	O	D	GOD	VULNERABILIDADE
430006346	384987	6723438	0,6	0,6	0,8	0,29	Baixa
430006347	384293	6722954	0,6	0,5	0,7	0,21	Baixa
430006349	383552	6723182	0,5	0,5	0,8	0,20	Baixa
430006350	383518	6724133	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
430006352	383985	6724341	0,6	0,5	0,8	0,24	Baixa
430006353	381850	6724733	0,7	0,8	0,8	0,45	Média
430006354	384650	6723096	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
430006355	384587	6722588	0,5	0,5	0,6	0,15	Baixa
430006356	383015	6722504	0,6	0,5	0,7	0,21	Baixa
430006358	383237	6724771	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
430006360	384043	6724920	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
430006361	384623	6724987	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
430006362	384874	6724659	0,5	0,6	0,7	0,21	Baixa
430006363	385200	6724760	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
430006364	385397	6724862	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
430006365	384896	6724030	0,6	0,6	0,8	0,29	Baixa
430006366	385026	6723951	0,5	0,5	0,9	0,23	Baixa
430006369	385735	6724668	0,6	0,5	0,7	0,21	Baixa
430006370	385487	6723524	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
430006371	385685	6723998	0,5	0,5	0,8	0,20	Baixa
430006372	386583	6724310	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
430006373	385391	6721703	0,6	0,5	0,9	0,27	Baixa
430006375	389191	6720445	0,6	0,5	0,9	0,27	Baixa
430006382	383000	6730835	0,2	0,6	0,9	0,11	Baixa
4300010012	383768	6723375	0,6	0,5	0,8	0,24	Baixa
4300016776	384795	6721565	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300016777	385115	6721714	0,5	0,6	0,7	0,21	Baixa
4300016778	384369	6721751	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300016779	384965	6721527	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300017364	388256	6720477	0,7	0,7	0,7	0,34	Média
4300020914	383081	6724167	0,5	0,5	0,8	0,20	Baixa
4300020915	385200	6723964	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300020916	384874	6724074	0,5	0,6	0,9	0,27	Baixa
4300020917	384120	6724544	0,5	0,5	0,8	0,20	Baixa
4300020918	383899	6723937	0,5	0,5	0,9	0,23	Baixa
4300020919	383904	6723940	0,5	0,5	0,8	0,20	Baixa
4300020920	385534	6724317	0,5	0,7	0,8	0,28	Baixa
4300020921	383342	6722750	0,5	0,5	0,8	0,20	Baixa
4300020922	383933	6724333	0,6	0,6	0,9	0,32	Média
4300020923	384821	6724461	0,5	0,5	0,9	0,23	Baixa
4300020924	384808	6724493	0,6	0,6	0,8	0,29	Baixa
4300021599	385547	6724665	0,5	0,5	0,8	0,20	Baixa
4300022449	381743	6723886	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300023161	384822	6724596	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300023336	383375	6723495	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300024506	377802	6721125	0,8	0,7	0,7	0,39	Média
4300024507	377569	6720268	0,8	0,7	0,7	0,39	Média
4300024508	383227	6735556	0,9	0,7	0,8	0,50	Alta
4300024509	369811	6735824	0,8	0,7	0,7	0,39	Média
4300024510	394818	6715714	0,8	0,7	0,6	0,34	Média
4300024511	383950	6729490	0,6	0,5	0,9	0,27	Baixa
4300024512	377720	6736182	0,8	0,7	0,8	0,45	Média

4300024514	381311	6731128	1,0	0,7	0,9	0,63	Alta
4300024515	389600	6728532	0,2	0,7	0,8	0,11	Baixa
4300024516	395767	6722750	0,9	0,7	0,9	0,57	Alta
4300024517	380193	6722904	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300024904	384400	6722300	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300024971	385777	6724973	0,5	0,5	0,8	0,20	Baixa
4300025077	384580	6724624	0,8	0,8	0,9	0,58	Alta
4300025079	383613	6724429	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300025080	384928	6724813	0,5	0,5	0,9	0,23	Baixa
4300025081	384900	6724843	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300025234	386600	6724300	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300025321	383207	6724764	0,6	0,5	0,7	0,21	Baixa
4300025362	383821	6720110	0,7	0,5	0,9	0,32	Média
4300025416	383899	6720246	0,8	0,8	0,8	0,51	Alta
4300025540	390237	6718308	0,8	0,8	0,7	0,45	Média
4300025541	386147	6729308	0,2	0,7	0,6	0,08	Insignificante
4300025956	385832	6721409	0,6	0,6	0,8	0,29	Baixa
4300026114	385079	6729313	0,2	0,7	0,6	0,08	Insignificante
4300026115	385832	6724409	0,6	0,6	0,8	0,29	Baixa
4300027487	385056	6720781	0,6	0,6	0,7	0,25	Baixa
EMPRESA01	390070	6720534	0,6	0,5	0,6	0,18	Baixa
EMPRESA04	384459	6723319	0,6	0,5	0,8	0,24	Baixa
EMPRESA05	387084	6727081	0,6	0,7	0,6	0,25	Baixa
EMPRESA06	385519	6721135	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
EMPRESA08	384768	6721394	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
EMPRESA09	384943	6723070	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
EMPRESA14	384300	6719773	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
EMPRESA16	384865	6719617	0,6	0,5	0,7	0,21	Baixa
CAMPO 2 01	400398	6714069	1,0	0,8	0,8	0,64	Alta
CAMPO 2 02	400351	6714067	1,0	0,8	0,9	0,72	Extrema
CAMPO 2 03	399494	6713770	1,0	0,8	0,8	0,64	Alta
CAMPO 2 04	396967	6713350	1,0	0,8	0,8	0,64	Alta
CAMPO 2 05	396079	6713288	1,0	0,8	0,7	0,56	Alta
CAMPO 2 07	395483	6712731	1,0	0,8	0,7	0,56	Alta
CAMPO 2 08	392393	6712350	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
CAMPO 2 09	392384	6712476	1,0	0,8	0,9	0,72	Extrema
CAMPO 2 10	390951	6714339	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
CAMPO 2 11	391464	6716156	0,5	0,5	0,6	0,15	Baixa
CAMPO 2 12	391205	6718914	0,6	0,5	0,7	0,21	Baixa
CAMPO 2 14	385709	6733823	0,2	0,6	0,7	0,08	Insignificante
CAMPO 2 19	398677	6726722	0,2	0,6	0,7	0,08	Insignificante
4300008590	406136	6716598	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
4300022888	395474	6730518	0,2	0,6	0,7	0,08	Insignificante
4300009083	404111	6704958	0,5	0,5	0,8	0,20	Baixa
4300023347	410231	6706159	0,8	0,8	0,9	0,58	Alta
4300009123	373543	6714768	0,6	0,7	0,9	0,38	Média
4300009124	374974	6714300	0,6	0,7	0,7	0,29	Baixa
4300025877	377108	6711707	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300021757	385929	6707003	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300024695	385800	6707000	0,5	0,5	0,7	0,18	Baixa
4300024844	385298	6739802	0,2	0,6	0,9	0,11	Baixa
PC-SAG-01	406608	6723261	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
PC-SASG-01	367516	6748707	0,2	0,6	0,6	0,07	Insignificante
PC-SASG-02	362394	6751090	0,2	0,7	0,6	0,08	Insignificante
PC-SASG-03	360387	6750974	0,2	0,7	0,6	0,08	Insignificante
PC-SASG-04	372072	6744252	0,2	0,6	0,6	0,07	Insignificante
PC-SASG-05	370461	6751128	0,2	0,6	0,6	0,07	Insignificante
PC-SASG-06	365686	6752482	0,2	0,6	0,6	0,07	Insignificante
PC-SASG-07	354470	6755500	0,2	0,6	0,6	0,07	Insignificante
PC-SASG-08	354474	6755515	0,2	0,6	0,6	0,07	Insignificante
PC-SASG-09	376981	6743708	0,2	0,6	0,6	0,07	Insignificante
PC-SASG-10	354533	6751003	0,2	0,6	0,6	0,07	Insignificante

OBS:

EMPRESA - Poços obtidos através de banco de dados de empresas de perfuração

CAMPO - Poços obtidos em campo

PC - Pontos de controle

ÍNDICES DE VULNERABILIDADE PARA OS POÇOS DO SASG

PONTO (CÓD. SIAGAS OU NOME NO PROJETO)	UTM E	UTM N	G	O	D	GOD	VULNERABILIDADE
4300006378	381483	6727005	0,6	0,7	0,9	0,38	Média
4300006385	385571	6727857	0,6	0,8	0,9	0,43	Média
4300006386	385605	6728334	0,6	0,8	0,9	0,43	Média
4300006398	383945	6728055	0,6	0,8	0,9	0,43	Média
4300006400	382634	6733679	1,0	0,7	0,8	0,56	Alta
4300006401	384749	6733739	1,0	0,8	0,8	0,64	Alta
4300006402	384064	6735149	0,6	0,7	0,9	0,38	Média
4300006403	385318	6730905	0,6	0,8	0,9	0,43	Média
4300006404	385340	6732474	0,6	0,8	0,7	0,34	Média
4300006405	385896	6737064	1,0	0,7	0,8	0,56	Alta
4300006406	387232	6737466	1,0	0,7	0,9	0,63	Alta
4300006407	386459	6738599	0,6	0,7	0,9	0,38	Média
4300006408	386116	6738602	0,6	0,7	0,8	0,34	Média
4300006409	383812	6737233	1,0	0,7	0,9	0,63	Alta
4300006410	382689	6738489	1,0	0,7	0,8	0,56	Alta
4300006413	389489	6717310	0,7	0,7	0,7	0,34	Média
4300006421	374550	6732205	1,0	0,7	0,7	0,49	Média
4300006422	373402	6734694	1,0	0,7	0,9	0,63	Alta
4300006423	377836	6732815	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
4300006424	376708	6732386	1,0	0,8	0,7	0,56	Alta
4300006425	383136	6740470	0,6	0,7	0,9	0,38	Média
4300006426	381850	6740830	0,6	0,7	0,9	0,38	Média
4300006427	379755	6741090	0,6	0,7	0,8	0,34	Média
4300006428	379127	6739106	1,0	0,8	0,6	0,48	Média
4300006429	367516	6748707	0,7	0,7	0,6	0,29	Baixa
4300006430	362394	6751090	0,4	0,8	0,8	0,26	Baixa
4300023218	381870	6740830	0,6	0,7	0,9	0,38	Média
4300025235	385325	6728193	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
4300025260	360387	6750974	0,7	0,8	0,7	0,39	Média
EMPRESA02	372072	6744252	0,6	0,7	0,8	0,34	Média
EMPRESA03	384917	6733761	0,6	0,7	0,8	0,34	Média
4300012482	370461	6751128	0,6	0,7	0,6	0,25	Baixa
4300016218	365686	6752482	0,7	0,7	0,7	0,34	Média
4300026947	354470	6755500	0,7	0,7	0,7	0,34	Média
4300016216	354474	6755515	0,7	0,7	0,7	0,34	Média
4300008425	398331	6727580	0,6	0,8	0,7	0,34	Média
4300008427	396728	6729498	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
4300022889	400810	6726750	0,6	0,7	0,8	0,34	Média
4300024526	393150	6730900	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
4300008744	391727	6731211	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
4300024592	391872	6731240	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
4300024597	391282	6731237	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
4300022883	390732	6730997	0,6	0,8	0,7	0,34	Média
4300008734	390264	6730612	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
4300024591	390260	6730591	0,6	0,8	0,9	0,43	Média
4300024498	390153	6730063	0,6	0,8	0,9	0,43	Média
4300008733	388427	6731026	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
4300008739	386090	6735509	0,7	0,7	0,8	0,39	Média
4300008738	388057	6734753	0,6	0,7	0,8	0,34	Média
4300022480	387731	6735460	0,6	0,6	0,7	0,25	Baixa
4300008745	387827	6738292	0,6	0,7	0,8	0,34	Média

4300009110	382553	6740718	0,6	0,7	0,8	0,34	Média
4300009111	384942	6740059	0,6	0,6	0,8	0,29	Baixa
4300009109	385805	6739296	0,6	0,6	0,8	0,29	Baixa
4300006830	376981	6743708	0,8	0,7	0,8	0,45	Média
4300025542	378634	6741946	1,0	0,7	0,8	0,56	Alta
4300024633	354533	6751003	0,7	0,7	0,8	0,39	Média
CAMPO 2 20	393575	6726871	0,6	0,8	0,8	0,38	Média
PC-SASG-11	369761	6731035	0,7	0,7	0,8	0,39	Média

OBS:

EMPRESA - Poços obtidos através de banco de dados de empresas de perfuração
CAMPO - Poços obtidos em campo
PC - Pontos de controle

ANEXO C – LISTA DE FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS CADASTRADAS

EMPREENDIMENTO - TIPO	UTM E	UTM N	POTENCIAL
Arrozeira Santos - Beneficiamento de arroz	400081	6722382	Reduzido
Bom Frango - Fabricação de alimentos para animais	400836	6722005	Reduzido
CB Indústria - Fabricação de artigos de metal para uso doméstico	385776	6724361	Reduzido
Cemitério 01	376219	6739169	Reduzido
Cemitério 02	371855	6744232	Reduzido
Cemitério 03	370547	6739382	Reduzido
Cemitério 04	377600	6731200	Reduzido
Cemitério 05	378599	6741746	Reduzido
Cemitério 06	384815	6731451	Reduzido
Cemitério 07	388372	6729123	Reduzido
Cemitério 08	386853	6730220	Reduzido
Cemitério 09	395600	6720602	Reduzido
Cemitério 10	396272	6724723	Reduzido
Cerealista Stein - Beneficiamento de arroz	391667	6726771	Reduzido
Cervejaria Goldenbauch - Frábica de cervejas e chopes	384843	6733563	Reduzido
Construmpampa - Indústria e Comércio de Artefatos Construtivos	382989	6725108	Reduzido
Erva Mate Elacy - Fábrica de produtos para infusão (chá, mate, etc)	388691	6720521	Reduzido
Fest Bebidas - Fábrica de Refrigerantes	393640	6726773	Reduzido
Haas Paletes - Serrarias, madeireiras	377755	6732522	Reduzido
Madeireira Friemel e Friemel Ltda - Serrarias, madeireiras	380530	6725108	Reduzido
Madeireira Madepinus - Serrarias, madeireiras	385540	6722426	Reduzido
Madeireira Watte - Serrarias, madeireiras	386601	6724321	Reduzido
Madrugada Alimentos - Fábrica de produtos para infusão (chá, mate, etc)	384982	6721374	Reduzido
Abastecedora de Combustíveis Mariante - Posto de Gasolina	406067	6714925	Moderado
Calçados Hammes Ltda - Fabrica de calçados de couro	384636	6724158	Moderado
China Brasil Tabacos Exportadora S.A. - Comércio atacadista de fumo em folha não beneficiado	383653	6723291	Moderado
Comércio de Combustíveis SRL Bela Vista - Posto de Gasolina	383370	6722738	Moderado
Dass Sportwear - Fábrica de calçados de couro	385392	6720733	Moderado
FHW Distribuidora de Gás - Comércio varejista de gás liquefeito de petróleo (GLP)	385009	6722742	Moderado
Frigorífico Boi Gaúcho - Abate de bovinos	405762	6715165	Moderado
Frigorífico Eggers LTDA - Abate de bovinos	386266	6738440	Moderado
Frigorífico Freese LTDA - Abate de bovinos	383606	6722821	Moderado
Frigorífico Kroth - Abate de bovinos	384868	6733674	Moderado
Frigorífico Sapé - Abate de bovinos	374838	6723728	Moderado
Hélio Schmitz & Cia - Posto de Gasolina	384724	6724244	Moderado
Irmãos Schuh LTDA - Posto de Gasolina	385232	6723939	Moderado
Marquette Comércio de Combustíveis - Posto de Gasolina	384521	6723431	Moderado
Marquette Comércio de Combustíveis - Posto de Gasolina	385281	6721802	Moderado
Marquette Wilk Comércio de Combustíveis - Posto de Gasolina	385361	6723689	Moderado
Posto Bela Vista - Posto de Gasolina	382777	6722375	Moderado
Posto Chama - Posto de Gasolina	384659	6719764	Moderado
Posto Do Parque - Posto de Gasolina	384170	6721619	Moderado
Posto Fórmula - Posto de Gasolina	383748	6724395	Moderado
Posto Gasóleo - Posto de Gasolina	385062	6724464	Moderado
Posto Knies LTDA - Posto de Gasolina	384429	6723201	Moderado
Posto Santa Lúcia - Posto de Gasolina	381830	6718945	Moderado
Posto São Cristóvão - Posto de Gasolina	384993	6723087	Moderado
Posto Shopping Car - Posto de Gasolina	384486	6723565	Moderado
Posto Vamakito - Posto de Gasolina	385347	6723681	Moderado
Rede de Postos Nevoeiro (Filial 05) - Posto de Gasolina	385990	6724055	Moderado
Rede de Postos Nevoeiro (Filial 16) - Posto de Gasolina	395520	6718646	Moderado
Rede de Postos Nevoeiro (Filial 25) - Posto de Gasolina	377252	6717510	Moderado
VHM Vidros - Fábrica de artigos de vidro	384989	6720711	Moderado
Alliance One Brasil - Processamento industrial do fumo	384372	6722263	Elevado
Alliance One Brasil: Unidade de Compra e Processamento - Processamento	385048	6723291	Elevado

industrial do fumo			
América Tampas - Fábrica de embalagens de material plástico	385215	6720764	Elevado
Basso Industrial - Fábrica de fogões, refrigeradores e máquinas de lavar e secar	385742	6720993	Elevado
Brasfumo Indústria Brasileira de Fumos S/A - Processamento industrial do fumo	385458	6721592	Elevado
CTA Continental Tobaccos Alliance AS - Processamento industrial do fumo	385123	6721539	Elevado
Fabritec - Fábrica de máquinas e equipamentos para indústrias de alimentação, bebidas e fumo	384924	6720983	Elevado
Fundição Venâncio Aires Ltda - Fundição de Ferro e Aço	386255	6724489	Elevado
Metalúrgica Konzen Ltda - Fábrica de máquinas e equipamentos para agricultura e pecuária	394302	6719018	Elevado
Metalúrgica Venâncio - Fábrica de fogões, refrigeradores e máquinas de lavar e secar	382763	6722571	Elevado
Multserv Tornearia Mecânica - Fábrica de máquinas e equipamentos para indústrias de alimentação, bebidas e fumo	385427	6720954	Elevado
Plásticos Venâncio Aires Ltda - Fábrica de laminados planos e tubulares de material plástico	384045	6724462	Elevado
Rovler Indústria de Agroequipamentos - Fábrica de máquinas e equipamentos para agricultura e pecuária	383888	6723557	Elevado
Special Brazilian Tabacos - Processamento industrial do fumo	382050	6719035	Elevado
STARKE Industrial - Fábrica de máquinas e equipamentos para agricultura e pecuária	385709	6721052	Elevado
Tabacos Marasca - Processamento industrial do fumo	384151	6719423	Elevado
Tabacum Interamerican e exportação de fumos LTDA - Fábrica de produtos de fumo, exceto cigarros	384723	6719762	Elevado
Tramontini Máquinas LTDA - Fábrica de tratores agrícolas	384888	6721329	Elevado
UTC Brasil Indústria e Comércio de Tabaco Ltda. - Processamento industrial do fumo	384930	6719781	Elevado
Venax Eletrodomésticos Ltda - Fábrica de fogões, refrigeradores e máquinas de lavar e secar	384745	6724865	Elevado