

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE  
DO AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO  
NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA DO CADEADO/RS.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Leandro Meirelles do Nascimento**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

**MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE  
DO AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO  
NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA DO CADEADO/RS.**

**por**

**Leandro Meirelles do Nascimento**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Nascimento, Leandro Meirelles do  
Mapeamento da Vulnerabilidade do Aquífero a  
Contaminação no Município de Boa Vista do Cadeado/RS. /  
Leandro Meirelles do Nascimento.-2013.  
74 p.; 30cm

Orientador: José Luiz Silvério da Silva  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, RS, 2013

1. Mapeamento 2. Vulnerabilidade 3. Sistema GOD 4.  
Aquífero fissural 5. SASG I. da Silva, José Luiz Silvério  
II. Título.

---

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Leandro Meirelles do Nascimento. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser com autorização por escrito do autor. Endereço: Rua Carovi, nº 1413. Bairro Itu. Santiago, RS, CEP 97700-000. Fone: ( 55) 96731104. E-mail: [lemens.eng@gmail.com](mailto:lemens.eng@gmail.com)

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO  
À CONTAMINAÇÃO  
NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA DO CADEADO/RS.**

elaborada por:  
**Leandro Meirelles do Nascimento**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**José Luiz Silvério da Silva, Dr.** (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

---

**Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr.** (UFSM)

---

**Afrânio Almir Righes, Ph.D** (UNIFRA)

**Santa Maria, 30 de Abril de 2013.**

## DEDICATÓRIA

Dedico este esforço intelectual  
em memória ao meu Pai,  
à minha Mãe, Irmã, Cunhados  
Esposa, Sogra e filhotes,  
e ao sábio Prof. Dr.  
José Luiz Silvério da Silva.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de aperfeiçoamento didático e científico;

Aos professores do PPGEC pela construção do conhecimento e pela formação de meu perfil de pós-graduado;

Ao Coordenador do PPGEC, pela análise e crivo sempre que solicitado;

À secretaria do PPGEC pela presteza e orientação nas informações requeridas;

À Comissão examinadora desta Dissertação, pela leitura crítica, sugestões e ensinamentos;

Ao laboratorista do LabGeo, acadêmico Carlos Alberto Lober, pela paciência e eficiência nas horas de construção de mapas e utilização do SIG;

Aos colegas de mestrado em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia;

Ao Prefeito e funcionários da Prefeitura Municipal de Boa Vista do Cadeado, pelo apoio nas incursões a campo durante o levantamento de dados;

À diretoria da empresa Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A, pelo apoio ao disponibilizar horas em aberto para que pudesse realizar minhas viagens até Santa Maria para cursar as disciplinas do mestrado;

A todas as pessoas que de alguma forma me incentivaram, seja me desafiando, elogiando ou criticando construtivamente, um sincero muito obrigado!

A educação é a verdadeira tecnologia  
que desenvolve e aprimora os seres  
realmente humanizados.  
(Leandro Meirelles do Nascimento)

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Maria

# MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA DO CADEADO/RS

AUTOR: LEANDRO MEIRELLES DO NASCIMENTO  
ORIENTADOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 30 de Abril de 2013.

A poluição gerada pelas atividades antrópicas tem despertado a necessidade contínua de mapear e avaliar as condições do meio ambiente em relação a possíveis fontes de contaminação, principalmente as prejudiciais aos recursos hídricos subterrâneos. Por meio deste estudo, referente ao Município de Boa Vista do Cadeado no Estado do Rio Grande do Sul. Situado na Mesorregião noroeste riograndense, está inserido na Província Geomorfológica do Planalto Meridional brasileiro, onde afloram derrames de rochas vulcânicas formadoras do Sistema Aquífero Serra Geral/SASG. Espacializaram-se em mapas temáticos dados hidrodinâmicos dos poços tubulares referentes: ao nível estático, a vazão, a superfície potenciométrica, a capacidade específica e aos índices de vulnerabilidade natural do aquífero fissural à contaminação. Utilizando-se o sistema *GOD*, simularam-se 12 captações por poços, as quais continham todas as informações necessárias a sua aplicação. Foram obtidas duas classes de vulnerabilidade natural, sendo 83,3% na classe insignificante e 16,7% na baixa. Conclui-se que a região apresenta-se pouco vulnerável à contaminação, possuindo uma proteção natural, devido às camadas de rochas vulcânicas basálticas, em aquífero confinado e com um nível médio da água, pouco profundo. Os poços tubulares de captação estão em desacordo com as normas construtivas, bem como, com a legislação ambiental do Estado, portanto, devem ser adequados, visando à proteção do manancial subterrâneo.

**Palavras-chave:** mapeamento, vulnerabilidade, sistema *GOD*, aquífero fissural, SASG.



## **ABSTRACT**

Master Degree Dissertation  
Post-Graduate Program in Civil Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **MAPPING AQUIFER POLLUTION VULNERABILITY IN THE BOA VISTA DO CADEADO COUNTY/ RIO GRANDE DO SUL STATE**

**AUTHOR: LEANDRO MEIRELLES DO NASCIMENTO**

**ADVISOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA**

**Date and Location of defense: SANTA MARIA, April 30<sup>st</sup> 2013.**

**Room- Building Pérsio Reis, CT/UFSM**

The pollution generated by human activities has aroused the continuing need to map and assess the conditions of the environment in relation to possible sources of contamination, especially harmful to groundwater resources. The study, for the city of Boa Vista do Cadeado in the Rio Grande do Sul State, located in northwest riograndense, is inserted in the Province of the Southern Plateau Brazilian Geomorphological where spills outcrop of volcanic rocks forming the Serra Geral Aquifer System / SGAS. Spatialize in thematic maps hydrodynamic data of wells related to: the static water level, flow rate, the potentiometric surface, the specific capacity and vulnerability indices natural fissure aquifer contamination. Using the system GOD, were simulated by funding 12 wells, which contained all the information necessary for their application. We obtained two classes of natural vulnerability, and 83.3% in class insignificant and 16.7% in low class. It was concluded that the region presents little vulnerable to contamination having a natural protection due to volcanic basalt rock layers in confined aquifer and a mean water level, slightly deeper. The catchment wells are at odds with the standards constructive, as well as with the environmental legislation of the State, therefore, must be appropriate in order to protect the fountain groundwater.

Keywords: mapping, vulnerability, system GOD, fissure aquifer, SGAS.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01-	Planejamento da CORSAN para abastecimento dos municípios, incluindo Boa Vista do Cadeado/RS, área circundada em vermelho no mapa.....	04
Figura 02 -	Desenho esquemático da instalação de poços tubulares padrão.....	12
Figura 03 -	Exemplo de cercamento do local onde estão instalados poços tubulares, de acordo com a NBR-12.212/2006.....	12
Figura 04 -	Importância de comparar a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação.....	20
Figura 05 -	Sistema GOD para determinação da vulnerabilidade natural de aquíferos subterrâneos à contaminação.....	26
Figura 06 -	Confecção de mapas utilizando o sistema <i>GOD</i> .....	27
Figura 07 -	Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.....	30
Figura 08 -	Mapa hipsométrico do Rio Grande do Sul.....	30
Figura 09 -	Mapa potenciométrico, com linhas equipotenciais, penetrando o SAG compartimentado.....	32
Figura 10 -	Localização do Município de Boa Vista do Cadeado/RS.....	33
Figura 11 -	Localização dos Municípios limítrofes de Boa Vista do Cadeado/RS.....	34
Figura 12 -	Dados do poço tubular 4300017044, na localidade de Ponte Queimada, Município de Boa Vista do Cadeado/RS. ....	37

Figura 13 -	Dados do poço tubular 4300017259, localidade de Rincão do Tigre, Município de Boa Vista do Cadeado/RS.....	39
Figura 14 -	Variograma da média dos dados do <b>GOD</b> utilizados para o cálculo do índice de vulnerabilidade.....	49
Figura 15-	Variograma da mediana dos dados do <b>GOD</b> utilizados para o cálculo do índice de vulnerabilidade. ....	49
Figura 16-	Variograma do desvio padrão dos dados do <b>GOD</b> utilizados para o cálculo do índice de vulnerabilidade.....	49
Figura 17-	Mapa referente ao Nível Estático dos poços tubulares mapeados no Município de Boa Vista do Cadeado/RS.....	51
Figura 18-	Mapa da Vazão dos 12 poços tubulares mapeados no Município de Boa Vista do Cadeado/RS.....	52
Figura 19-	Mapa da Superfície Potenciométrica dos 12 poços tubulares mapeados no Município de Boa Vista do Cadeado/RS .....	54
Figura 20-	Mapa da Capacidade específica dos 12 poços tubulares mapeados no Município de Boa Vista do Cadeado/RS .....	56
Figura 21 -	Mapa da Vulnerabilidade do SASG à contaminação, no Município de Boa Vista do Cadeado/RS .....	58
Figura 22 -	Espacialização dos 12 poços tubulares cadastrados na área rural de Boa Vista do Cadeado.....	59
Figura 23 -	Poço P01 (Localidade de Capela Santana). Cota altimétrica de 409,00m. SASG .....	60
Figura 24 -	Poço P02 (Localidade de Bojo– Distrito Cadeado). Cota altimétrica de 365,00m, SASG.....	61

Figura 25 -	Poço P03 (Localidade de Faxinal). Cota altimétrica de 372,00m, SASG.....	61
Figura 26 -	Poço P04 (Localidade de Faxinal II). Cota altimétrica de 370,00m. SASG.....	62
Figura 27 -	Poço P05 (Localidade de Alto Grande – Distrito Capela). Cota altimétrica de 385,00m, SASG.....	63
Figura 28 -	Poço P06 (Localidade de Ponte Queimada). Cota altimétrica de 358,00m, SASG. ....	63
Figura 29 -	Poço P07 (Localidade de Rincão do Tigre II). Cota altimétrica de 402,00m. Penetra SASG e SAG na (ZC em 26,00m) .....	64
Figura 30 -	Poço P08 (Localidade de Parque Rodeio). Cota altimétrica de 375,00m. SASG. ....	65
Figura 31 -	Poço P09 (Localidade de Beira Rio). Cota altimétrica de 286,00m, SASG .....	65
Figura 32 -	Poço P10 (Localidade de Beira Rio II). Cota altimétrica de 359,00m. SASG .....	66
Figura 33 -	Poço P11 (Localidade de Esquina Quincas). Cota altimétrica de 384,00m. SASG.....	66
Figura 34 -	Poço P12 (Localidade de Formigueiro). Cota altimétrica de 357,00m,SASG.....	67

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 01-	Causas possíveis para deterioração da qualidade em um aquífero....	17
Quadro 02-	Tipos de atividades capazes de causar poluição .....	19
Quadro 03-	Definição das classes de vulnerabilidade natural de aquíferos .....	23
Quadro 04-	Fatores hidrogeológicos que controlam a vulnerabilidade de aquíferos .....	25
Quadro 05-	Dados hidrodinâmicos referentes aos poços tubulares e sua localização .....	40
Quadro 06-	Características físicas e hidrodinâmicas dos 12 poços tubulares cadastrados no município de Boa Vista do Cadeado.....	45
Quadro 07-	Resultados obtidos da aplicação do sistema <i>GOD</i> aos doze poços tubulares cadastrados no Município de Boa Vista do Cadeado.....	46
Quadro 08-	Dados categorizados dos 12 poços tubulares cadastrados no município de Boa Vista do Cadeado, para confecção dos mapas temáticos (cartogramas).....	47
Quadro 09-	Dados para análise estatística dos dados para cálculo do índice de vulnerabilidade natural do aquífero.....	48

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	xiii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>1.1Objetivos</b> .....	05
1.1.1Objetivo Geral .....	05
1.1.2Objetivos Específicos .....	05
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	06
<b>2.1Conceitos básicos</b> .....	06
2.1.1Nível estático.....	06
2.1.2Vazão de exploração.....	07
2.1.3Superfície potenciométrica.....	07
2.1.4Capacidade específica.....	07
2.1.5Linha equipotencial.....	07
2.1.6Porosidade.....	07
2.1.7Aquífero.....	08
<b>2.2Funções dos aquíferos</b> .....	08
<b>2.3Legislação</b> .....	09
<b>2.4Métodos de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação</b> .....	13
<b>2.5Proteção da água subterrânea</b> .....	16
<b>2.6Evolução do conceito de Vulnerabilidade</b> .....	21
<b>2.7Mapeando a vulnerabilidade do aquífero à contaminação</b> .....	23
<b>2.8Aplicação do Sistema <i>GOD</i> para cálculo do Índice de Vulnerabilidade</b> .....	24
<b>2.9Confecção do mapa de índices de vulnerabilidade utilizando o sistema <i>GOD</i></b> .....	27
<b>2.10Unidades geomorfológicas e hipsometria do Rio Grande do Sul</b> .....	29
<b>2.11Cartografia dos Sistemas Aquíferos</b> .....	31
2.11.1 Sistema Aquífero Serra Geral I (SASG I) .....	31

2.11.2 Sistemas Aquíferos (SASG aflorante) e SAG (Zona confinamento) .....	31
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2 Aquisição de dados .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3 Utilização do SIG (Sistema de Informações Geográficas) .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4 Cálculo da vulnerabilidade pelo Sistema <i>GOD</i>.....</b>	<b>41</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>4.1 Resultados referentes ao cálculo do índice de vulnerabilidade do aquífero à contaminação pelo sistema <i>GOD</i>.....</b>	<b>43</b>
4.1.1 Sobre a utilização do SIG .....	43
4.1.2 Transformação das informações coletadas em dados .....	43
4.1.3 Utilização do <i>software</i> SURFER 8.0 <sup>®</sup> .....	47
<b>4.2 Resultados referentes à espacialização das informações hidrodinâmicas das captações e do índice de vulnerabilidade do aquífero .....</b>	<b>49</b>
4.2.1 Mapa do Nível Estático .....	49
4.2.2 Mapa da Vazão .....	51
4.2.3 Mapa da Superfície Potenciométrica .....	53
4.2.4 Mapa da Capacidade Específica .....	55
4.2.5 Mapa da Vulnerabilidade Natural do Aquífero .....	57
<b>4.3 Resultados referentes ao mapeamento dos poços tubulares cadastrados no município de Boa Vista do cadeado e comparação com a legislação vigente .....</b>	<b>59</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>68</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>70</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ser humano está diante do período crucial em sua existência, a biosfera do planeta Terra sofre impactos ambientais em grande escala, esta situação tem se agravado bruscamente neste século devido à interferência humana sobre os demais ecossistemas, causando mudanças climáticas e ambientais cada vez mais desastrosas para todas as espécies que habitam o planeta.

Os recursos naturais da Terra são explorados de forma desordenada, não sustentável, causando gradativo esgotamento dos mesmos.

A água, o principal recurso natural para a manutenção da vida no planeta Terra, tornou-se um bem de uso imprescindível ao desenvolvimento do ser humano, portanto, surge a necessidade de monitoramento contínuo, para garantir proteção contra contaminações, tanto nos ambientes superficiais, quanto nos subterrâneos.

A água subterrânea é parte essencial do ciclo hidrológico devido seu longo tempo de residência, ubiquidade, pequena variabilidade, fluxo estável e propriedades químicas pouco variáveis. Desempenha papel fundamental nos processos geológicos e biológicos, encerrando em si importantes implicações ambientais, como manutenção dos ecossistemas aquáticos e de todos os organismos que dependem, ou se relacionam a eles.

Essa preocupação ambiental potencializa muitos estudos, em diversos setores das ciências, e possibilita o aperfeiçoamento de tecnologias para monitoramento e prevenção contra impactos provenientes das atividades humanas sobre o meio ambiente natural.

O suporte teórico e prático neste trabalho está referenciado à hidrogeologia, por ser a ciência que estuda a água subterrânea presente na natureza, buscando sua quantificação, armazenamento e movimentação nos



vários compartimentos terrestres e atmosféricos, além do conhecimento dos seus mecanismos e processos intervenientes.

Este trabalho está inserido na área da Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, seu propósito principal busca a preservação do manancial subterrâneo e proteção contra impactos antropogênicos.

O estudo inicia-se devido à detecção de uma problemática social, inerente aos municípios em expansão, onde áreas rurais transformam-se em urbanas aceleradamente, transpassando a capacidade de zoneamento ideal para as mesmas. Tal zoneamento urbano ideal deve ser baseado em informações que garantam a devida locação e uso do solo de forma otimizada e ambientalmente correta, relacionando o empreendimento às condições naturais do meio físico a ser explorado, bem como, às suas potencialidades e vulnerabilidades.

O problema observado, no município de Boa Vista do Cadeado, está relacionado à falta de informação e conhecimento sobre a vulnerabilidade do aquífero. Há proximidade da área de cultivo de soja, e de suas potenciais fontes de poluição difusa (FOSTER et al., 2006), como uso de agrotóxicos, pesticidas e adubos (NPK), aos pontos de captação de água subterrânea utilizados como fonte principal de abastecimento da comunidade Cadeadense.

Salienta-se que, o município ainda não possui seu abastecimento regulado pela concessionária estadual CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), devido aos programas até então desenvolvidos de ligação ao Sistema Integrado de Abastecimento.

O Estado do Rio Grande do Sul encontra-se totalmente inserido nas regiões hidrográficas do Atlântico Sul e Uruguai.

Na região do Rio Uruguai, na porção noroeste do estado, as disponibilidades hídricas superficiais são maiores. No entanto, essa região é caracterizada por longos períodos de estiagem e uso intenso de água para irrigação, o que compromete os mananciais utilizados para abastecimento urbano de água.

Nessa parte do Estado, em que o uso da água subterrânea é significativo, existe a presença de dois aquíferos sobrepostos, de grandes potencialidades hídricas: o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e o Sistema Aquífero Guarani (SAG - porção confinada), com profundidades variáveis em

função da paleotopografia (MACHADO; FREITAS, 2005 e ANA: ATLAS BRASIL, 2010).

Machado (2005) realizou estudos hidrogeológicos em escala regional do SAG, tanto em sua Zona de Afloramentos (ZA) quanto na Zona de Confinamento (ZC) (OEA/PEA/2009) onde se insere a área em estudo.

Estudos hidrogeológicos em escala regional foram desenvolvidos no mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul (MACHADO; FREITAS, 2005), neles foram estabelecidas várias categorias químicas, parâmetros hidráulicos indicativos das potencialidades e vulnerabilidades destes diversos sistemas aquíferos.

Sistema Aquífero é um conjunto composto de aquíferos livres, permeáveis, que permitem extração da água subterrânea; e aquíferos confinados, onde não há permeabilidade e mobilização significativa. (CUSTÓDIO; SILVA JUNIOR, 2008)

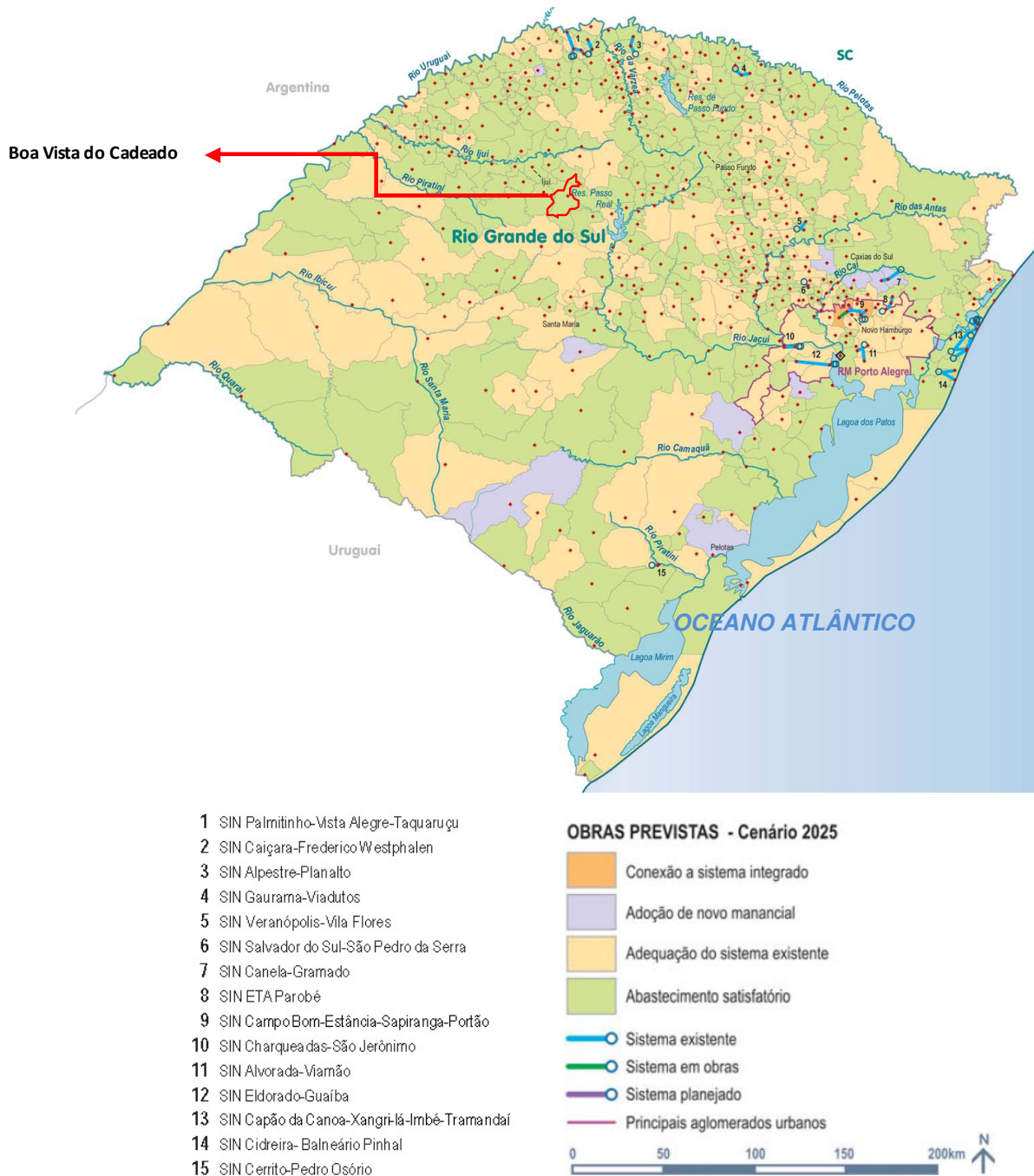
No Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), foram realizados estudos de vulnerabilidade natural e risco de contaminação, porém, o foco era a ocorrência de atividade de suinocultura na Região das Missões, no Estado do Rio Grande do Sul, mesma região onde está inserida a área de estudo. (NANNI et al., 2005 e FREITAS et al., 2012)

Salienta-se que, o uso de mananciais subterrâneos, em pequenos municípios do Rio Grande do Sul, é bem superior ao uso de mananciais superficiais: 286 municípios do Estado (59%) são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas, enquanto que, as águas de superfície são utilizadas para o abastecimento de 134 sedes urbanas (28%). Os demais municípios (13%) são abastecidos de forma mista (mananciais superficiais e subterrâneos). (ANA: ATLAS BRASIL, 2010)

O investimento na área de abastecimento de água, via sistema integrado de captação e distribuição, está se desenvolvendo plenamente no Estado do Rio Grande do Sul, porém, ainda não foi implantado no Município de Boa Vista do Cadeado, o que deverá ocorrer em 2025 (Figura 01).

O abastecimento humano, tanto na área urbana, quanto rural, é executado por captações de água subterrânea através de poços tubulares, que captam águas do SASG e são distribuídos e administrados pela Prefeitura Municipal.

## RIO GRANDE DO SUL – PLANEJAMENTO DE OBRAS – 2025



**Figura 01:** Planejamento da CORSAN para abastecimento dos municípios, incluindo Boa Vista do Cadeado/RS, área circundada em vermelho no mapa.

**Fonte:** (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS: ATLAS BRASIL, 2010).

A falta de informações e conhecimento sobre as condições do aquífero no Município de Boa Vista do Cadeado impossibilita o planejamento ambiental adequado à expansão da área urbana sobre a rural, bem como, o

desenvolvimento de atividades econômicas que garantam integridade do manancial subterrâneo explorado para abastecimento.

A pesquisa servirá de subsídio ao poder público municipal, contendo informações relacionadas à vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação natural. Assim poderão ser planejadas as medidas de controle ambiental, a fim de, proteger os mananciais subterrâneos do Município de Boa Vista do Cadeado.

Selecionaram-se a metodologia *GOD*, atualizada para condições brasileiras, por (FOSTER et al., 2006); uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG), para espacialização das informações; e a utilização do *software* SURFER 8.0, para elaboração dos mapas temáticos (LANDIM et al., 2002), por ser considerado ferramenta de rápida e simples espacialização dos dados, que proporciona uma melhor visualização analítica das condições dos locais estudados, bem como, as condições naturais do sistema aquífero frente a contaminações.

Os resultados, obtidos pelo mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação, servirão na ampliação dos conhecimentos sobre águas subterrâneas e também para os futuros estudos de gerenciamento do uso do solo no Município de Boa Vista do Cadeado.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo mapear a vulnerabilidade do aquífero à contaminação no Município de Boa Vista do Cadeado/RS.

### 1.1.2 Específicos

✓ Calcular, o índice de vulnerabilidade do aquífero à contaminação, pelo Sistema *GOD*;

✓ Espacializar, as informações hidrodinâmicas das captações e a vulnerabilidade do aquífero, por meio de mapas temáticos;

✓ Comparar, a situação atual dos poços tubulares de captação, com a legislação ambiental do estado do Rio Grande do Sul e as NBR`s específicas de projeto e construção de poços tubulares, a fim de avaliá-los.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Uma vez que existe uma vasta bibliografia, sobre o tema vulnerabilidade das águas subterrâneas, selecionaram-se alguns artigos para embasar as informações coletadas e as discussões que serão apresentadas nesta pesquisa, bem como, aspectos das legislações pertinentes à proteção e preservação deste recurso, a água.

De acordo com Rebouças (1992), dentro da moderna abordagem do gerenciamento integrado de recursos hídricos, as águas subterrâneas representam uma parcela do ciclo hidrológico que transita pelo subsolo de um sistema hidrográfico. Ainda o mesmo autor, salienta que, enquanto os rios tem uma função mais propriamente de coleta e transporte da água que chega à sua calha ou leito, as velocidades são da ordem de quilômetros por dia. Já o subsolo tem uma função de estocagem das infiltrações que ocorrem nos terrenos da unidade hidrográfica, em função das baixas velocidades de percolação, da ordem de centímetros por dia. Salienta ainda, que como consequência as águas subterrâneas constituem o elemento primordial de regularização do fluxo dos rios, durante os períodos de estiagem.

### **2.1 Conceitos básicos**

Apresentam-se alguns conceitos básicos, que definem termos utilizados comumente nos estudos relacionados às águas subterrâneas, os quais são citados no corpo desta pesquisa.

#### **2.1.1 Nível estático**

Nível em que se encontra a água num poço que não está sendo bombeado, ou seja, em repouso. Nos aquíferos livres coincide com o nível freático. Nos aquíferos artesianos o nível estático é o da superfície piezométrica naquele local. (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997)

### 2.1.2 Vazão de exploração

É a medida do volume de água que sai do poço por determinado período de tempo. Medida geralmente em metros cúbicos por hora ( $m^3/h$ ). (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997)

### 2.1.3 Superfície potenciométrica

Heath (1983) define como uma superfície que representa a carga total em um aquífero; ou seja, ela representa a altura acima do datum ao qual o nível da água se eleva num poço bem vedado e que penetra o aquífero. Já a superfície freática é aquela em que o nível da água na zona saturada é igual à pressão atmosférica.

### 2.1.4 Capacidade específica

É a vazão de um poço por unidade de rebaixamento. Enquanto a retenção específica é a razão entre o volume que drenará sob influência da gravidade e o volume de rocha saturada. Como Coeficiente de Armazenamento considera o volume de água liberado do armazenamento de um prisma unitário de aquífero quando a carga é rebaixada uma unidade de altura. (HEATH, 1983)

### 2.1.5 Linha equipotencial

É um corte vertical em um mapa, ao longo da qual as cargas hídricas totais são as mesmas. (HEATH, 1983)

### 2.1.6 Porosidade

São os vazios ou as aberturas em uma rocha. A porosidade pode ser expressa quantitativamente como a razão de volume de aberturas numa rocha em relação ao volume total da rocha. As Fraturas ou diáclases são descontinuidades nas rochas cristalinas, resultantes de tensões durante o resfriamento do magma (LEINZ; AMARAL, 1980). As vesículas são cavidades deixadas pelo resfriamento do magma e vazias, enquanto que as amígdalas são preenchidas por diversos minerais, ex. ametista. Podem formar porosidade secundária.

### 2.1.7 Aquífero

Ocorrência de água subterrânea que se dá em formações geológicas permeáveis, segundo Batalha (1986) designa “Formação porosa de rocha permeável, areia ou cascalho, capaz de armazenar e fornecer quantidades significativas de água”. A água presente nestas formações poderá ocupar os poros não preenchidos por matéria mineral sólida.

## 2.2 Funções dos Aquíferos

Além de suprir água suficiente para manter os cursos de águas superficiais estáveis (função de produção), os aquíferos também ajudam a evitar seu transbordamento, absorvendo o excesso da água da chuva intensa (função de regularização). (SAMPAT, 2001).

Segundo o mesmo autor, os aquíferos também proporcionam uma forma de armazenar água doce sem muita perda pela evaporação, mecanismo particularmente valioso em regiões quentes, propensas à seca, onde essas perdas podem ser extremamente altas.

Portanto, os aquíferos podem cumprir as seguintes funções (REBOUÇAS et al., 2002):

- **Função de produção:** corresponde à sua função mais tradicional de produção de água para o consumo humano, industrial ou irrigação;
- **Função de estocagem e regularização:** utilização do aquífero para estocar excedentes de água que ocorrem durante as enchentes dos rios, correspondentes à capacidade máxima das estações de tratamento durante os períodos de demanda baixa, ou referentes ao reuso de efluentes domésticos e/ou industriais;
- **Função de filtro:** corresponde à utilização da capacidade filtrante e de depuração bio-geoquímica do maciço natural permeável. Para isso, são implantados poços a distâncias adequadas de rios perenes, lagoas, lagos ou reservatórios, para extrair água naturalmente clarificada e purificada, reduzindo substancialmente os custos dos processos convencionais de tratamento;
- **Função ambiental:** a hidrogeologia evoluiu de enfoque naturalista tradicional (década de 40) para hidráulico quantitativo até a década de 60. A partir daí, desenvolveu-se a hidroquímica, em razão da utilização intensa de

insumos químicos nas áreas urbanas, indústrias e nas atividades agrícolas. Na década de 80 surgiu a necessidade de uma abordagem multidisciplinar integrada da geohidrologia ambiental;

- **Função transporte:** o aquífero é utilizado como um sistema de transporte de água entre zonas de recarga artificial ou natural e áreas de extração excessiva;

- **Função estratégica:** a água contida em um aquífero foi acumulada durante muitos anos ou até séculos e é uma reserva estratégica para épocas de pouca ou nenhuma chuva. O gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas de áreas metropolitanas, inclusive mediante práticas de recarga artificial com excedentes da capacidade das estações de tratamento, os quais ocorrem durante os períodos de menor consumo, com infiltração de águas pluviais e esgotos tratados, originam grandes volumes hídricos. Esses poderão ser bombeados para atender o consumo essencial nos picos sazonais de demanda, nos períodos de escassez relativa e em situações de emergência resultantes de acidentes naturais, como avalanches, enchentes e outros tipos de acidentes que reduzem a capacidade do sistema básico de água da metrópole em questão;

- **Função energética:** utilização de água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal como fonte de energia elétrica ou termal;

- **Função mantenedora:** mantém o fluxo de base dos rios. (WREGGE, 1997)

Autores, como (CUSTODIO; SILVA JUNIOR, 2008), acrescentam que o papel da água subterrânea no meio ambiente apresenta diferentes aspectos, mas todos têm como característica as mudanças relativamente pequenas na descarga do fluxo e nas características químicas quando comparadas a marcadas variações climáticas sazonais e interanuais, em contraste ao que ocorre com a grande variabilidade nas águas superficiais.

## 2.3 Legislação

A normatização vigente tem como principal objetivo nortear o cumprimento de requisitos legais para garantir a proteção dos aquíferos, a



prevenção de riscos à contaminação e a execução de dispositivos de exploração de água de forma segura ao manancial subterrâneo.

São referenciadas partes de legislações relacionadas ao contexto deste trabalho, como por exemplo: a resolução nº 15 de 11 de Janeiro de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); o Decreto Estadual nº 42.047 de 26 de Dezembro de 2002; a NBR- 12212/2006 e NBR- 12244/2006.

Considerando que compete ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) coordenar a gestão integrada das águas, e o que consta na Resolução nº 15 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos de (2001), em seu Art. 1º para efeito desta resolução consideram-se:

I- Águas Subterrâneas – as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo;

II- Águas Meteóricas - as águas encontradas na atmosfera em quaisquer de seus estados físicos;

III- Aquífero – corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através de seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos;

IV- Corpo Hídrico Subterrâneo – volume de água armazenado no subsolo.

Já o Decreto Estadual nº 42.047 (2002), regulamenta disposições da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações, relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul, e decreta em suas disposições preliminares. Destacam-se brevemente alguns aspectos julgados pertinentes para o melhor entendimento desta pesquisa.

Art. 3º - Incluem-se no gerenciamento das águas subterrâneas as seguintes ações:

I - Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e o planejamento do seu aproveitamento racional;

II - Aplicação de medidas relativas à proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos.

Quanto aos estudos relacionados aos mananciais subterrâneos este decreto normatiza no:

Art. 21 - As captações subterrâneas farão parte do Cadastro Geral dos Usuários de Água do Estado.

Os poços tubulares devem receber manutenção rotineira a fim de sua operação perdurar por maior tempo possível. Assim o decreto determina como se deve proceder:

[...] Da Operação e Manutenção de Poços

Art. 24 - Os poços e outras obras de captação de águas subterrâneas deverão ser dotados de equipamentos de medição de volume extraído e do nível da água. Portanto, devem ter além de hidrômetro instalado, também devem estar dotados de tubo lateral, ou guia, para serem realizadas as medições de nível de água subterrânea ABN/NBR 12.242/2006.

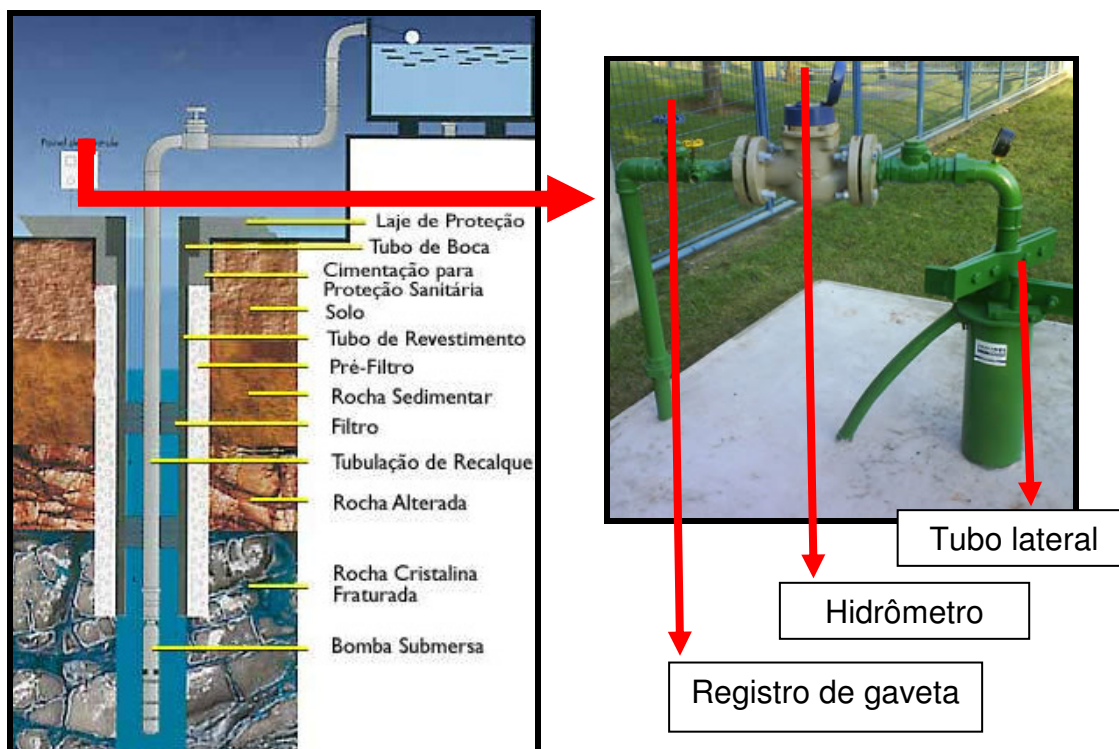
Da Proteção dos Aquíferos:

Art. 26 - Todos os projetos de implantação ou ampliação de empreendimentos que apresentem riscos de poluição das águas subterrâneas deverão conter estudos detalhados de caracterização hidrogeológica e de **vulnerabilidade dos sistemas aquíferos**, bem como, projeto de medidas de proteção, controle e monitoramento a serem adotadas e aprovados pela FEPAM.

Ainda com relação às etapas de projeto e construção de poços tubulares, este decreto refere-se diretamente a normatização específica:

[...] Art. 39 - Os poços tubulares deverão ser projetados e construídos de acordo com as normas técnicas da ABNT.

A normatização específica, que determina as características de projeto e instalação de poços tubulares padrões, seguem as NBR's 12.212/2006 e 12.244/2006. Algumas destas características construtivas básicas estão ilustradas na (Figuras 02 e 03) e são apresentadas com imagens e, posteriormente, discutidas a situação atual de cada poço no capítulo 4, dos resultados.



**Figura 02-** Desenho esquemático da instalação de poços tubulares padrão.  
**Fonte:** (CEDERSTROM, 1964).

É exemplificado ( Figura 03) como deve ser efetuado o cercamento dos locais onde estão instalados os poços tubulares de abastecimento, conforme a NBR-12.212/2006.



**Figura 03-** Exemplo de cercamento do local onde estão instalados poços tubulares, de acordo com a NBR-12.212/2006.  
**Fonte:** (Prefeitura de Cristalândia / PI, 2011).

Assim, de acordo com a ABNT/NBR 12.212/2006- Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea e a ABNT/NBR 12.244/2006 - Construção de poço para captação de água subterrânea, um poço é uma obra de captação de água subterrânea executada com sonda, mediante perfuração vertical.

Com base nestas legislações vigentes, tem-se a inteira compreensão do propósito de proteger o manancial subterrâneo, pois esta reserva de água potável proporciona a possibilidade de acesso rápido e localizado. Praticamente se tem a exploração próxima da área onde as atividades humanas ou econômicas são desenvolvidas. Em áreas rurais formam-se comunidades hídricas em torno de um ou mais reservatório elevados e de uma rede de distribuição. Assim, em observância as legislações é que se permeou a análise da situação atual das captações onde o estudo foi desenvolvido.

#### **2.4 Métodos de avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação**

Para tanto existem vários métodos de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

A maioria dos métodos de avaliação da vulnerabilidade é de natureza empírica, o que permite interpretações, porém, o interesse de avaliar o grau de vulnerabilidade dos aquíferos decorre da necessidade de fornecer às autoridades competentes um instrumento útil à tomada de decisões em relação ao ordenamento territorial.

Segundo RIBEIRO (2005), distinguem-se dois tipos de vulnerabilidade. A vulnerabilidade intrínseca, que considera unicamente as características hidrogeomorfológicas do meio; e a vulnerabilidade específica, que considera as propriedades de um poluente específico e suas relações com os componentes de vulnerabilidade intrínseca.

Foster et al. (2006) consideram que o Sistema *GOD* seja o mais adequado para as condições brasileiras e caribenhas. Ele consiste na avaliação de três parâmetros, descritos brevemente:

- G=** *ground water occurrence* (grau de confinamento hidráulico);  
**O=** *overall aquifer class* (ocorrências de estratos de cobertura);  
**D=** *depth* (distância até o lençol freático ou até o teto do aquífero confinado).

Estas informações podem ser obtidas nos cadastros pré-existentes da Prefeitura Municipal, em conjunto aos sistemas de informações como o SIAGAS e da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM). As informações são complementadas por visitas de campo com uso de medidores de nível de água, sempre quando os poços tubulares seguem as normas construtivas da ABNT 12.212/2006 e 12.244/2006 e ainda o que prescreve a legislação ambiental estadual, contando com tubo lateral guia (Figura 02).

Salienta-se que, somente dois dos doze poços tubulares mapeados nesta pesquisa, foram retirados do portal CPRM-SIAGAS, dos outros dez, foram coletadas informações em campo e na prefeitura. A Prefeitura Municipal ainda não encaminhou informações cadastrais necessárias para outorga no Departamento de Recursos Hídricos/Secretaria Estadual de Meio Ambiente/SEMA/RS. Portanto, a qualidade da água consumida pela população do Município de Boa Vista do Cadeado não pode ser atestada como boa para uso.

O Método DRASTIC, de (ALLER et al., 1987), é um dos mais usados. Este método avalia sete parâmetros:

- D=** *Depth* (profundidade do nível da água subterrânea);  
**R=** *Recharge* (recarga do aquífero);  
**A=** *Aquifer* (tipo de aquífero);  
**S=** *soil* (tipo de solo);  
**T=** *topography* (topografia);  
**I=** *impact* (impacto da zona não saturada);  
**C=** *hydraulic conductivity* (condutividade hidráulica).

O parâmetro C= condutividade hidráulica, somente está disponível se há ensaios de rebaixamento X tempo, os quais fornecem a Transmissividade e o Coeficiente de Armazenamento.

Por outro lado, autores portugueses, como Ribeiro (2005), preocupados com o uso intensivo de fertilizantes a base de NPK e também de agroquímicos com diferentes finalidades, como por exemplo: no milho irrigado; apresentaram

uma adaptação ao índice DRASTIC, de Aller et al. (1987), denominado de Índice de Susceptibilidade (IS), desenvolvido desde o ano 2000 na região do Alentejo.

O Método SINTACS, desenvolvido por Civita et al. (1990), provém do método DRASTIC. Segundo os autores, esta necessidade de modificar o método DRASTIC transformando-o em SINTACS, aconteceu devido às diversas características hidrogeológicas da Itália, e a necessidade de se executar mapas de vulnerabilidade com maior rigor. Assim, os fatores que este método considera são:

**S** = profundidade da água subterrânea;

**I** = infiltração;

**N** = zona não saturada;

**T** = tipo de solo;

**A** = características hidrogeológicas do aquífero;

**C** = condutividade hidráulica;

**S** = inclinação topográfica.

O Método SINTACS é executado através de um programa especialmente preparado, isto porque tanto para os dados de entrada, como para os dados de saída, este método mostra uma estrutura complexa.

Vários estudos foram realizados em diversas regiões do Estado e do País, sendo que foram utilizados alguns dos métodos descritos anteriormente.

Camponogara et al.(2004) descreveram a preocupação com a contaminação de sistemas aquíferos subterrâneos. Destacando importantes estudos desenvolvidos em várias regiões do mundo, os quais têm mostrado que os recursos hídricos estão sendo atingidos por fontes potencialmente contaminantes, oriundas principalmente de produtos utilizados na agricultura, na indústria e na disposição dos resíduos. Neste sentido, na pesquisa citada os autores avaliaram a vulnerabilidade à contaminação do SASG em águas subterrâneas, no município de Soledade, localizado ao Norte do Estado Rio Grande do Sul.

Alberti; Silvério da Silva (2005) abordam que os aquíferos devem receber atenção no sentido de preservação da sua qualidade, sendo protegidos da exploração excessiva. Discutem que existem várias metodologias para análise de vulnerabilidade.

Oliveira et al. (2011) avaliaram o grau de vulnerabilidade de aquífero livre. A partir da utilização do sistema *GOD*, foi possível classificar a área por eles avaliada como de baixa a moderada vulnerabilidade.

Leite; Möbus (2011) estimaram a vulnerabilidade natural dos aquíferos porosos da região norte da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, no litoral oeste do Estado do Ceará. Empregaram a metodologia DRASTIC, com algumas modificações em função dos conhecimentos de campo e utilizaram o *software* SURFER para processamentos e interpolação de dados pontuais pelo método de Krigagem.

Estes estudos demonstram a importância da água subterrânea, suas funções e seus riscos de alteração, sendo inseridos na comunidade científica.

OEA; PEA (2009), verificam que é uma problemática de várias localidades, Estados e até mesmo Países transfronteiriços, como no caso específico do SAG (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai).

A ampliação do conhecimento sobre as águas subterrâneas ocasiona a melhoria na proteção dos aquíferos.

## **2.5 Proteção da água subterrânea**

A água subterrânea é um recurso natural vital para o abastecimento e desenvolvimento econômico das áreas urbanas e rurais, desempenhando papel fundamental para o bem-estar, tanto dos seres humanos, quanto de muitos ecossistemas aquáticos. (FOSTER; HIRATA, 2002)

Estes autores ainda consideram que os aquíferos (formações geológicas contendo água subterrânea adequada para consumo) estão em perigo cada vez maior de contaminação, em decorrência da urbanização, do desenvolvimento industrial, das atividades agrícolas e das empresas de mineração.

São necessárias campanhas, proativas e ações práticas, para proteger a qualidade natural da água subterrânea, o que justifica os critérios amplos da sustentabilidade ambiental e os critérios mais restritos do benefício econômico.

Medidas de proteção especiais são realmente necessárias para todos os poços e nascentes (públicos e privados), cuja função seja fornecer água de qualidade potável. Para o abastecimento público de água potável, é um pré-requisito que a qualidade da água bruta seja boa e constante, e as reservas de águas subterrâneas protegidas são as que melhor cumprem esse requisito. A utilização de processos de tratamento para atingir esse objetivo só deve ser considerada em último caso, em virtude de sua complexidade técnica, custo financeiro e pesado encargo operacional. (FOSTER; HIRATA, 2002)

Há várias causas possíveis para a deterioração da qualidade em um aquífero e/ou reserva de água subterrânea. Estas são classificadas segundo sua origem e encontram-se descritas no Quadro 01. (FOSTER; HIRATA, 2002)

TIPO DE PROBLEMA	CAUSA SUBJACENTE	CONTAMINANTES
Contaminação do aquífero	proteção inadequada de aquíferos vulneráveis contra emissões e lixiviados provenientes de atividades urbanas/industriais e intensificação do cultivo agrícola.	microorganismos patógenos, nitrato ou amônio, cloreto, sulfato, boro, arsênico, metais pesados, carbono orgânico dissolvido, hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, certos pesticidas.
Contaminação no próprio poço ou captação	poço ou captação cuja construção/projeto inadequado permite o ingresso direto de água superficial ou água subterrânea rasa poluída.	principalmente microorganismos patógenos.
Intrusão salina	água subterrânea salina (e às vezes poluída) que, por excesso de extração, é induzida a fluir para o aquífero de água doce.	principalmente cloreto de sódio, mas pode incluir também contaminantes persistentes produzidos antropicamente.
Contaminação natural	relacionada com a evolução química da água subterrânea e a dissolução de minerais (pode ser agravada pela poluição ocasionada pela atividade humana e/ou extração excessiva).	principalmente fluoreto e ferro solúvel, às vezes sulfato de magnésio, arsênico, manganês, selênio, cromo e outras espécies inorgânicas.

**Quadro 01:** Causas possíveis para deterioração da qualidade em um aquífero.  
**Fonte:** (FOSTER; HIRATA, 2002)

A água subterrânea se origina a partir do excesso de chuva que se infiltra na superfície do solo. Assim, conseqüentemente, as atividades que se desenvolvem na superfície do terreno podem contaminar da água subterrânea.



A poluição dos aquíferos ocorre nos pontos em que a carga contaminante gerada no subsolo por emissões e lixiviados produzidos pela atividade humana (provenientes de atividades urbanas, industriais, agrícolas e de mineração) é inadequadamente controlada e, em certos componentes, excede a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura. A auto eliminação dos contaminantes durante o transporte subsuperficial na zona vadosa (não saturada) é resultado da degradação bioquímica e de reações químicas, mas os processos de retardamento dos contaminantes, devidos aos fenômenos de sorção, são também importantes, visto que aumentam o tempo disponível para que as reações de degradação ocorram, resultando na eliminação dos contaminantes. A preocupação com a contaminação da água subterrânea se concentra principalmente nos aquíferos freáticos ou não confinados, especialmente nas áreas em que a zona vadosa é pouco espessa e o lençol freático é raso. Entretanto, há riscos significativos de poluição em pontos em que o aquífero é semiconfinado, se os aquíferos confinantes forem relativamente pouco espessos e permeáveis (FOSTER et al., 2003).

Os perfis litológicos atenuam ativamente muitos poluentes, e isto é considerado potencialmente eficaz contra o despejo dos excrementos humanos e das águas residuais domésticas.

No entanto, nem todos os perfis de subsolo e camadas subjacentes são igualmente eficazes na atenuação dos contaminantes, e os aquíferos serão particularmente vulneráveis à poluição nos lugares onde há, por exemplo, rochas consolidadas muito fissuradas, como por exemplo, os basaltos da Formação Serra Geral.

O grau de atenuação varia muito de acordo com os tipos de contaminantes e processos associados a um dado ambiente hidrogeoquímico (FOSTER et al., 2003)

O Quadro 02 fornece uma ideia dos tipos mais comuns de atividades capazes de causar contaminação significativa à água subterrânea e dos compostos contaminantes encontrados com mais frequência.

É importante observar que certas atividades frequentemente representam ameaças desproporcionalmente grandes à qualidade da água subterrânea. Assim, medidas de controle da poluição com foco preciso e bem ajustadas podem produzir maiores benefícios por um custo relativamente modesto.

ORIGEM DA POLUIÇÃO	TIPO DE CONTAMINANTE
Atividade agrícola	nitrito; amônio; pesticidas; organismos fecais
Saneamento <i>in situ</i>	nitrito; hidrocarbonetos halogenados; microorganismos.
Garagens e postos de serviço	hidrocarbonetos aromáticos e halogenados; benzeno; fenóis.
Disposição de resíduos sólidos	amônio; salinidade; hidrocarbonetos halogenados; metais pesados.
Indústrias metalúrgicas	tricloroetileno; tetracloroetileno; hidrocarbonetos halogenados; fenóis; metais pesados; cianureto.
Pintura e esmaltação	alquilbenzeno; hidrocarbonetos halogenados; metais; hidrocarbonetos aromáticos; tetracloretileno.
Indústrias de madeira	pentaclorofenol; hidrocarbonetos aromáticos; hidrocarbonetos halogenados.
Limpeza a seco	tricloroetileno; tetracloroetileno
Indústria de pesticida	hidrocarbonetos halogenados; fenóis; arsênico
Despejo de lodo do esgoto	nitrito amônio; hidrocarbonetos halogenados; chumbo; zinco.
Curtumes	cromo; hidrocarbonetos halogenados; fenóis
Extração/exploração de gás e petróleo	salinidade (cloreto de sódio); hidrocarbonetos aromáticos.
Mineração de carvão e metalíferos	acidez; metais pesados; ferro; sulfatos.

**Quadro 02:** Tipos de atividades capazes de causar poluição.

**Fonte:** (FOSTER; HIRATA, 2003 e FOSTER et al., 2006).

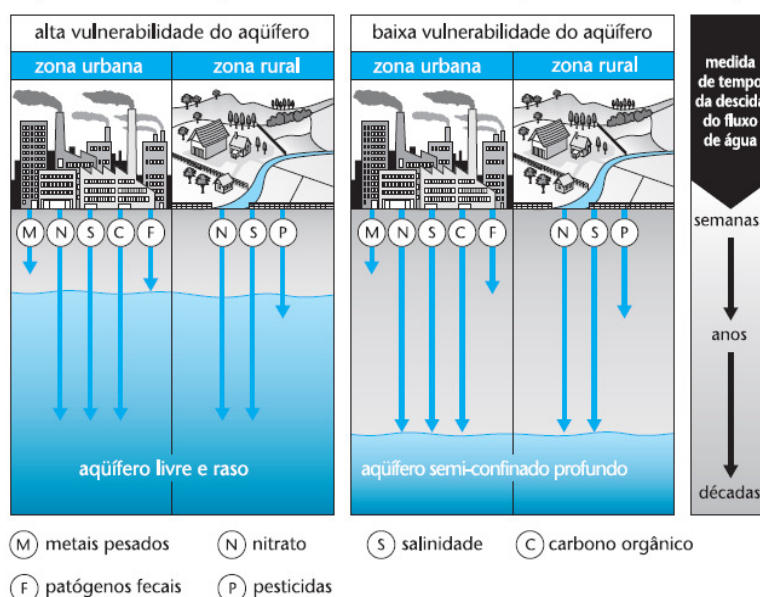
Portanto, uma vez que na área de estudos ocorrem atividades agrícolas, os tipos de contaminantes potenciais são pesticidas, bem como, adubos (NPK), aplicados em concentrações elevadas, não sendo avaliados na presente pesquisa.

A atividade antrópica modifica os mecanismos de recarga dos aquíferos e introduz outros, alterando a taxa, a frequência e a qualidade da recarga do mesmo. Entender esses mecanismos, e fazer o diagnóstico dessas alterações, é fundamental para avaliar o perigo de contaminação do manancial subterrâneo.

O movimento da água e o transporte de contaminantes da superfície terrestre para os aquíferos podem, em muitos casos, ser um processo lento. Pode levar anos ou décadas para que o impacto de um episódio de poluição por um contaminante persistente se torne evidente nas captações de água, especialmente naquelas que extraem água de profundidades maiores. Esse fator pode ser um valioso benefício e, ao mesmo tempo, motivo de séria preocupação, pois pode levar a uma atitude complacente com respeito à probabilidade de penetração dos contaminantes persistentes. (FOSTER; HIRATA, 2003).

Outra consequência é quando a água subterrânea torna-se visivelmente poluída, isso geralmente significa que grandes volumes do aquífero estão comprometidos. As medidas de limpeza, portanto, quase sempre apresentam um elevado custo econômico e frequentes dificuldades técnicas. (FOSTER; HIRATA, 2003).

A expressão “vulnerabilidade do aquífero à contaminação” busca representar a sensibilidade de um aquífero aos efeitos adversos de uma carga contaminante a ele imposta conforme demonstra a Figura 04 (FOSTER et al., 2006).



**Figura 04:** Importância de comparar a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação.  
**Fonte:** (FOSTER et al. 2003 e FOSTER et al., 2006).

A expressão “perigo de contaminação de aquífero” designa a probabilidade de que a água subterrânea venha a apresentar concentrações de contaminantes superiores ao valor estabelecido pela Organização Mundial da Saúde/OMS para a qualidade da água potável (FOSTER et al., 2003 e FOSTER et al., 2006).

O perigo à contaminação de aquífero pode, ou não, ser uma ameaça à qualidade da água subterrânea, isso dependerá de sua zona de captura, da mobilidade, da persistência e da dispersão dos contaminantes.

Para proteger os aquíferos contra a contaminação, é necessário restringir o uso do solo, a emissão de efluentes e as práticas de despejo de resíduos. É possível manejar o solo visando exclusivamente à proteção da água subterrânea.

## 2.6 Evolução do conceito de Vulnerabilidade

Em hidrogeologia o conceito de vulnerabilidade começou a ser usado intuitivamente a partir da década de 1970, na França (ALBINET; MARGAT, 1970), e de maneira mais ampla na década de 1980 (HAERTLE, 1983; ALLER et al., 1987; FOSTER, 1987).

Embora se referisse à suscetibilidade relativa dos aquíferos à contaminação antropogênica, o termo inicialmente era usado sem nenhum objetivo de definição formal. A expressão passou a ter diferentes significados para diferentes pessoas.

Uma definição útil e consistente considera a vulnerabilidade do aquífero à contaminação como o conjunto de características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, isso determina sua suscetibilidade a sofrer os efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície (FOSTER, 1987).

Pode-se definir que a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação seria uma função da acessibilidade ao aquífero saturado, no sentido hidráulico, à penetração dos contaminantes e da capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da zona saturada, resultante da retenção físico-química ou da reação dos contaminantes com o meio. (FOSTER, 1987)

Do mesmo modo, o perigo de contaminação da água subterrânea seria então definido como a probabilidade de que a água subterrânea na parte superior de um aquífero atinja níveis inaceitáveis de contaminação em decorrência das atividades que se realizam na cobertura imediata da superfície do solo (FOSTER; HIRATA, 1988 e ADAMS; FOSTER, 1992).

Mais tarde, dois importantes grupos de trabalho profissionais revisaram e opinaram sobre a aplicabilidade do conceito de vulnerabilidade, decidindo fortemente em favor de sua utilidade (NRC, 1991; IAH/VRBA; ZAPOROZEC, 1993)

Seria desejável que eles tivessem enunciado o uso do termo de maneira mais clara, por exemplo, associando-o especificamente às características intrínsecas dos estratos (zona não saturada ou camadas confinantes) que separam o aquífero saturado da superfície do solo (FOSTER; SKINNER, 1995).

Assim, teria se estabelecido uma relação direta entre o termo e o impacto potencial das decisões sobre o uso do solo nos locais voltados para a água subterrânea imediatamente subjacente.

Alguns consideravam que era preciso incluir na vulnerabilidade algum fator que representasse a mobilidade natural e a persistência dos contaminantes nas zonas saturadas. Isso, no entanto, parece ignorar o aspecto mais útil do mapeamento da vulnerabilidade, que é o de fornecer uma estrutura para o planejamento e controle das atividades na superfície do terreno.

Duas questões fundamentais, acerca da vulnerabilidade do aquífero à contaminação, consistem em saber se é possível:

- propor um índice de vulnerabilidade único e integrado, ou se é melhor trabalhar com a vulnerabilidade específica a determinados contaminantes e condições de poluição;

- fornecer um indicador absoluto da vulnerabilidade à contaminação como um todo, ou restringir-se aos índices de vulnerabilidade relativos, bem menos eficazes. (FOSTER; HIRATA, 1988)

Cientificamente, os resultados são mais consistentes quando a avaliação de vulnerabilidade para cada contaminante (nutrientes, patógenos, microrganismos, metais pesados etc.) ou cada grupo de atividades contaminantes (ausência de rede de esgoto sanitário, cultivo agrícola, lançamento de efluentes industriais etc.), sejam separados em classes.

Por essa razão, Andersen e Gosk (1987) sugeriram que o mapeamento da vulnerabilidade seria mais eficaz se realizado com grupos de contaminantes isolados em condições específicas de poluição.

No entanto, isso geraria uma infinidade de mapas para cada área, o que dificultaria o uso na maior parte das aplicações, exceto talvez para a avaliação e controle da contaminação agrícola difusa (CARTER et al., 1987; SOKOL et al., 1993; LOAGUE, 1994).

Difícilmente se dispõe de dados técnicos adequados e/ou recurso humano suficientes para se alcançar esse ideal. Necessita-se, portanto, de um sistema menos refinado e mais genérico para o mapeamento da vulnerabilidade do aquífero. Tendo em vista objetivos mais práticos, a solução por ora é produzir um mapa integrado da vulnerabilidade, desde que os termos utilizados estejam claramente definidos e as limitações, precisamente descritas (FOSTER; HIRATA, 1988).

A vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação, ao depender de dados de entrada, para ser avaliada e definida, não deve sofrer com a barreira da complexidade técnica de aquisição.

Um índice absoluto (ou classe) de vulnerabilidade do aquífero à contaminação é bem mais útil do que indicações relativas, para todas as aplicações práticas no planejamento do uso do solo e no controle da emissão de efluentes. Pode-se desenvolver um índice absoluto integrado, desde que, cada categoria de vulnerabilidade seja definida com clareza, simplicidade e consistência técnica (Quadro 03). Este quadro ilustra uma definição prática das classes de vulnerabilidade do aquífero.

A incerteza é inerente a qualquer avaliação de vulnerabilidade à contaminação e os sistemas mais complexos de avaliação da vulnerabilidade apresentam o risco de obscurecer o óbvio e tornar indistintas as sutilezas, assim, é possível superar a maioria das objeções que geralmente se colocam ao uso de um índice de vulnerabilidade integrado e absoluto como estrutura para a avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea e para a formulação de políticas de proteção (NRC, 1993).

CLASSE DE VULNERABILIDADE	DEFINIÇÃO CORRESPONDENTE
Extrema	Vulnerável à maioria dos contaminantes, com impacto rápido em muitos cenários de contaminação.
Alta	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente absorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação.
Moderada	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados.
Baixa	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados.
Insignificante	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação).

**Quadro 03:** Definição das classes de vulnerabilidade natural de aquíferos.

**Fonte:** (FOSTER; HIRATA, 2002 e FOSTER et al., 2006).

## 2.7 Mapeando a vulnerabilidade do aquífero à contaminação

O mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação normalmente é o primeiro passo na avaliação do perigo de contaminação da

água subterrânea, e na proteção de sua qualidade, em escala municipal ou estadual. O conceito é válido também para uma estimativa da vulnerabilidade em níveis mais locais, dentro das zonas de captura das fontes de abastecimento de água subterrânea. (FOSTER et al., 2006)

Os mecanismos de recarga da água subterrânea e a capacidade natural de atenuação de contaminantes no solo e no subsolo variam amplamente segundo as condições geológicas próximas à superfície. Assim, em vez de aplicar controles universais sobre o uso do solo e as emissões de efluentes potencialmente poluentes valerá mais a pena, em termos de custo (e será menos prejudicial ao desenvolvimento econômico), variar o tipo e o nível de controle de acordo com essa capacidade de atenuação. Essa é a premissa básica na qual se assenta o conceito de vulnerabilidade do aquífero à contaminação e a necessidade do mapeamento dessa vulnerabilidade. (FOSTER et al., 2006)

## 2.8 Aplicação do Sistema *GOD* para cálculo do Índice de Vulnerabilidade

O sistema *GOD*, de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação, foi amplamente testado na América Latina e no Caribe durante a década de 1990 graças a sua simplicidade conceitual e de aplicação (FOSTER, 1987, FOSTER; HIRATA, 1988 e FOSTER et al., 2006).

Para determinar a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, são considerados dois fatores básicos: o nível de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero e a capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da porção saturada do aquífero.

Esses fatores, no entanto, não podem ser medidos diretamente e dependem, por sua vez, da combinação de outros parâmetros (Quadro 04).

Uma vez que geralmente não se dispõe de dados sobre muitos desses parâmetros, a simplificação da lista é uma medida inevitável se o objetivo é desenvolver um esquema de mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação (FOSTER, 1987; FOSTER; HIRATA, 1988).

Com base em tais considerações os autores citados, o sistema *GOD* caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação tendo em conta os seguintes parâmetros:

**G** = identificação do tipo de confinamento de água subterrânea, com a posterior indexação desse parâmetro na escala entre 0,0–1,0;

**O=** especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero em termos do grau de consolidação, portanto provável presença ou ausência de permeabilidade por fissuras; do tipo de litologia, portanto, porosidade efetiva, a permeabilidade da matriz rochosa e teor de umidade da zona não saturada ou retenção específica; isto leva a uma segunda pontuação, numa escala entre 0,4–1,0;

**D=** estimativa da profundidade até o lençol freático (de aquíferos não confinados) ou da profundidade do primeiro nível principal de água subterrânea (para aquíferos confinados), com posterior classificação na escala de 0,6–1,0 (FOSTER; HIRATA, 1988 e FOSTER et al., 2006).

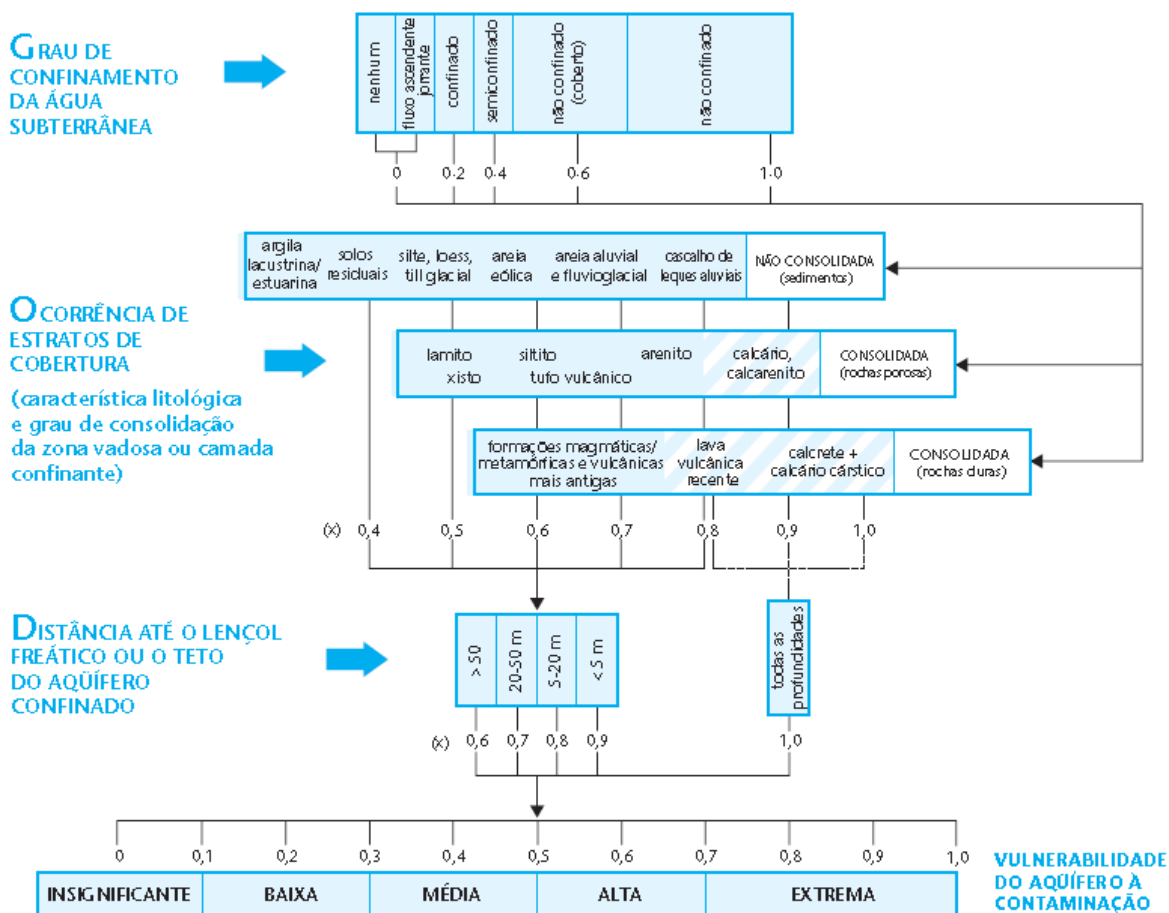
COMPONENTE DE VULNERABILIDADE	DADOS HIDROGEOLÓGICOS	
	idealmente necessários	normalmente disponíveis
<b>Inacessibilidade Hidráulica</b>	grau de confinamento do aquífero profundidade até o lençol freático ou a posição da água subterrânea condutividade hidráulica vertical e teor de umidade da zona não saturada (zona vadosa) ou camada confinante.	tipo de confinamento da água subterrânea profundidade até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado.
<b>Capacidade de Atenuação</b>	distribuição granulométrica dos sedimentose fissuras na zona vadosa ou camada confinante mineralogia dos estratos na zona vadosa ou camada confinante.	Grau de consolidação / fissuração desses estratos característica litológica desses estratos.

**Quadro 04:** Fatores Hidrogeológicos que controlam a vulnerabilidade de aquíferos.

**Fonte:** (FOSTER; HIRATA, 1988 e FOSTER et al., 2006).

O índice final integral de vulnerabilidade do aquífero é o produto dos três índices desses parâmetros **GOD** (Figura 05) (FOSTER et al., 2006).





**Figura 05:** Sistema GOD para determinação da vulnerabilidade natural de aquíferos subterrâneos à contaminação.

**Fonte:** (FOSTER et al., 2006).

É importante notar que, nos lugares com uma sequência variável de depósitos, para a especificação da ocorrência de estratos de cobertura deve-se selecionar a litologia predominante ou limitante, em termos de sua permeabilidade. (FOSTER et al., 2006)

No esquema GOD, poderia ter sido utilizada uma subdivisão descritiva dos depósitos geológicos (contendo características minerais e tamanho dos grãos), o que pareceria mais simples de aplicar. No contexto, porém, da vulnerabilidade à contaminação, a classificação genérica reflete melhor fatores importantes, tais como a estrutura deposicional, e por isso adota-se um sistema híbrido (compatível com os que se utilizam para muitos mapas geológicos), (FOSTER et al., 2006).

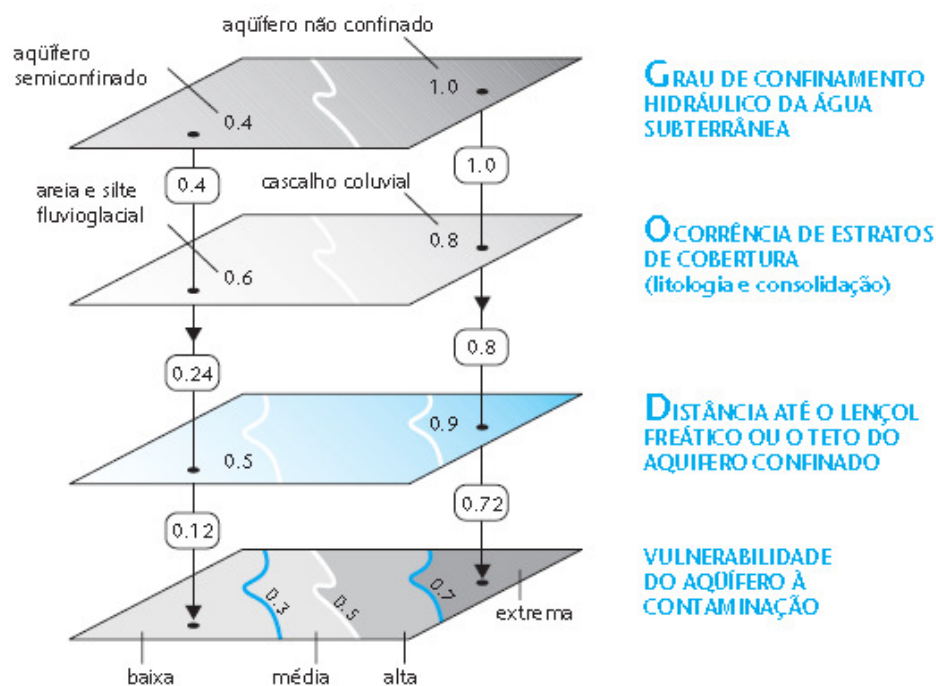
No âmbito da classificação dos estratos de cobertura, havia a preocupação em dar demasiada atenção à condutividade hidráulica e

porosidade efetiva (e, portanto, ao tempo de recarga mais do que à atenuação do contaminante).

## 2.9 Confeção do mapa de índices de vulnerabilidade utilizando o sistema *GOD*

A confeção do mapa de índices de vulnerabilidade *GOD* segue os procedimentos adotados na Figura 06. Isso pode ser feito manualmente traçando-se o contorno de cada um dos três fatores e sobrepondo-os em um mapa final. Outra opção, cada vez mais utilizada, é a tecnologia do SIG.

Na maioria dos casos, dispõe-se de mapas hidrogeológicos e/ou estudos de recursos hídricos subterrâneos, os quais geralmente contêm os dados básicos necessários. No entanto, com frequência é necessário suplementar essas informações com o estudo de mapas geológicos e registros de perfuração de poços e, às vezes, com inspeção de campo. (FOSTER et al., 2006)



**Figura 06:** Confeção de mapas utilizando o sistema *GOD*.  
**Fonte:** (FOSTER et al., 2006).

De acordo com Zingano (2008), “O SURFER<sup>®</sup> é um programa que utiliza métodos geoestatísticos de interpolação para gerar curvas de isovalores e superfícies, baseado em uma malha chamada *Grid*. Esta malha regular é

formada por valores gerados pela interpolação dos dados amostrais de campo. Esses dados, geralmente, são espaçados irregularmente.

A localização dos dados de amostragem de campo é ordenada com o auxílio do SURFER 8.0<sup>®</sup>, que realiza os cálculos de interpolação. Os dados amostrais de campo recebem seus respectivos valores dentro de uma distribuição estatística normal, e num devido intervalo de classe. Neste caso os dados são dos poços tubulares, agrupados em classes.

Os métodos de interpolação possíveis de serem aplicados pelo programa SURFER 8.0<sup>®</sup> são:

- a) Inverso da distância;
- b) Krigagem;
- c) Curvatura mínima;
- d) Ponto mais próximo;
- e) Regressão poligonal;
- f) Função radial basis;
- g) Método de Shepard;
- h) Triangulação com interpolação linear.

O método mais utilizado atualmente é a Krigagem Ordinária, porém, necessita-se saber se os dados tem distribuição normal em variogramas.

Verificar se a distribuição estatística caracteriza-se como normal e observar no variograma se os valores da média e mediana são semelhantes. A escolha da orientação da elipse de busca dos valores deve ser orientada em função da distribuição da amostragem e da existência de algum *trend* (tendência) (RIBEIRO, 2012).

Landin et al. (2002) definem interpolar é predizer (ou estimar) o valor da variável sob estudo num ponto amostrado. Descrevem que o SURFER 8.0<sup>®</sup> é um pacote de programas gráficos comerciais desenvolvidos pela *Golden Software Inc.* que pode ser utilizado para o cálculo e a confecção de mapas e variáveis a partir de dados regularmente distribuídos. É uma importante ferramenta para o técnico ou pesquisador, já que facilita o seu trabalho, evitando traçar mapas com réguas, transferidores e outros instrumentos, reduzindo o tempo desse processo e sendo menos subjetivo, pois usa algoritmos matemáticos para gerar suas curvas, otimizando o trabalho do usuário.

## 2.10 Unidades geomorfológicas e hipsometria do Rio Grande do Sul

De acordo com a Figura 07, são descritas as unidades geomorfológicas do estado, e na Figura 08 está referenciado o mapa hipsométrico do Rio Grande do Sul.

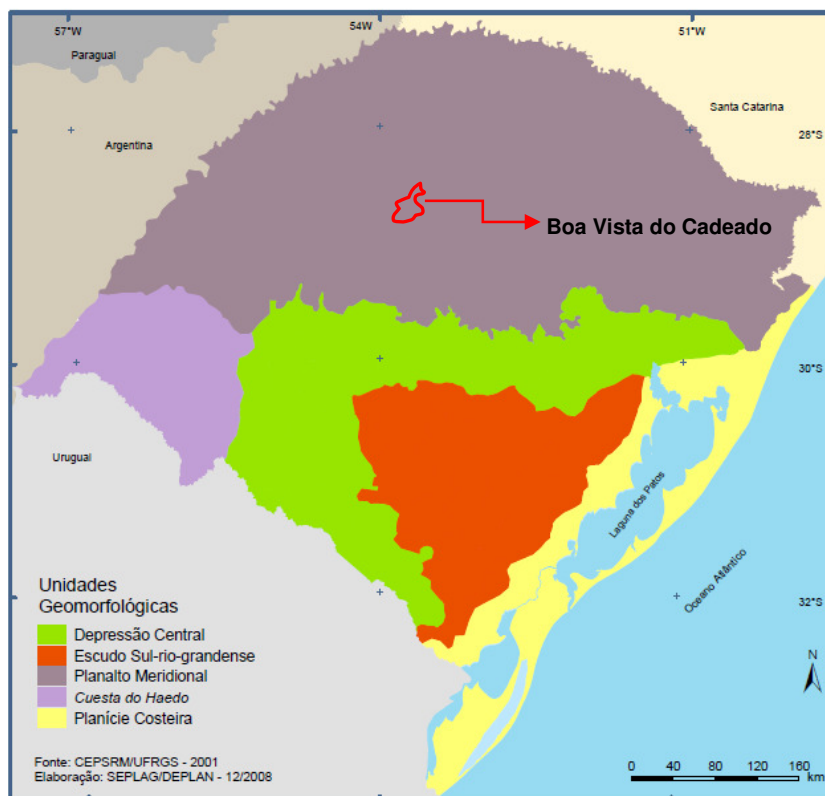
Ao norte do Estado situa-se o Planalto Meridional, formado por rochas basálticas decorrentes de um grande derrame de lavas ocorrido na era Mesosóica. Sua extremidade a oeste, expressa o resultado do trabalho da erosão diferencial, sendo denominada de *Cuesta do Haedo*.

À nordeste encontram-se as maiores altitudes do Planalto, chegando a alcançar 1.398m, no Monte Negro, em São José dos Ausentes, onde suas bordas correspondem à chamada Serra Geral.

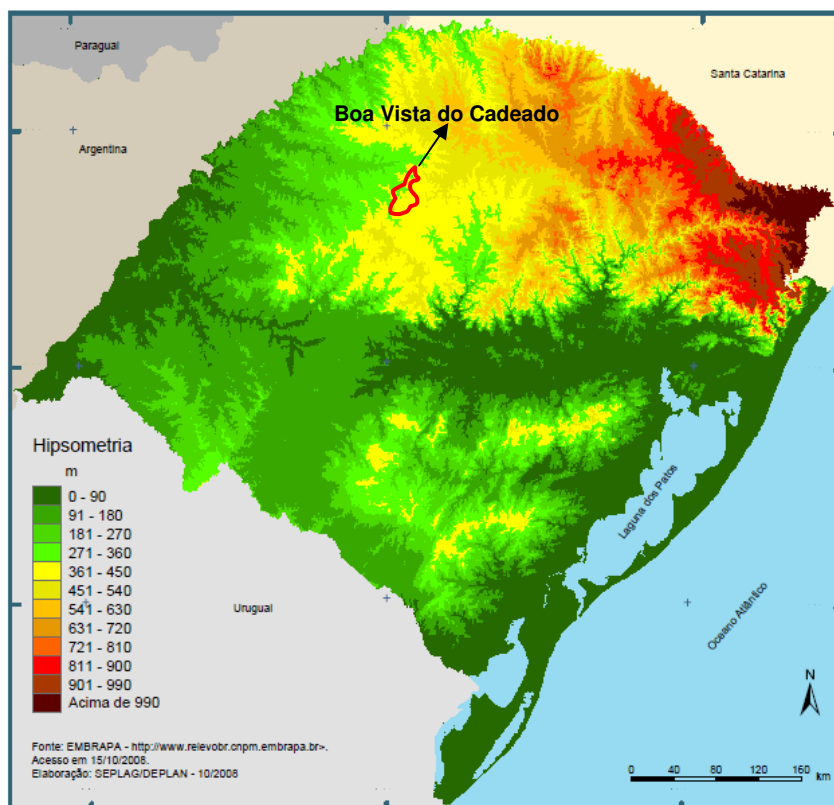
Ao centro do Estado está a Depressão Central, que é formada de rochas sedimentares, dando origem a um extenso corredor que liga o oeste ao leste, através de terrenos de baixa altitude.

Ao sul, localiza-se o Escudo Sul-rio-grandense, com rochas ígneas do período Pré-Cambriano e, por isto, muito desgastadas pela erosão. Sua altitude não ultrapassa os 600m.

A Planície Costeira teve sua formação do período Quaternário, da era Cenozóica, a mais recente da formação da terra. Corresponde a uma faixa arenosa de 622km, com grande ocorrência de lagunas e lagoas, entre as quais destacam-se a Laguna dos Patos e Mirim. O processo de formação desta região tem caráter evolutivo, estando em constante mutação, como decorrência da sedimentação marinha e flúvio-lacustre. (ATLAS SOCIOECONÔMICO, 2008)



**Figura 07:** Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.  
**Fonte:** (ATLAS SOCIOECONÔMICO, 2008).



**Figura 08:** Mapa hipsométrico do Rio Grande do Sul.  
**Fonte:** (ATLAS SOCIOECONÔMICO, 2008).

## 2.11 Cartografia dos Sistemas Aquíferos

O mapeamento dos sistemas aquíferos é de extrema importância aos estudos hidrológicos, pois, através dele pode-se quantificar a capacidade específica de cada região localizada dentro da compartimentação do Sistema Aquífero. Estes aquíferos, de acordo com (MACHADO; FREITAS, 2005), podem ser considerados de alta à média possibilidade para águas subterrâneas, em rochas com porosidade por fraturas, como as rochas ígneas vulcânicas (basaltos ou riólitos).

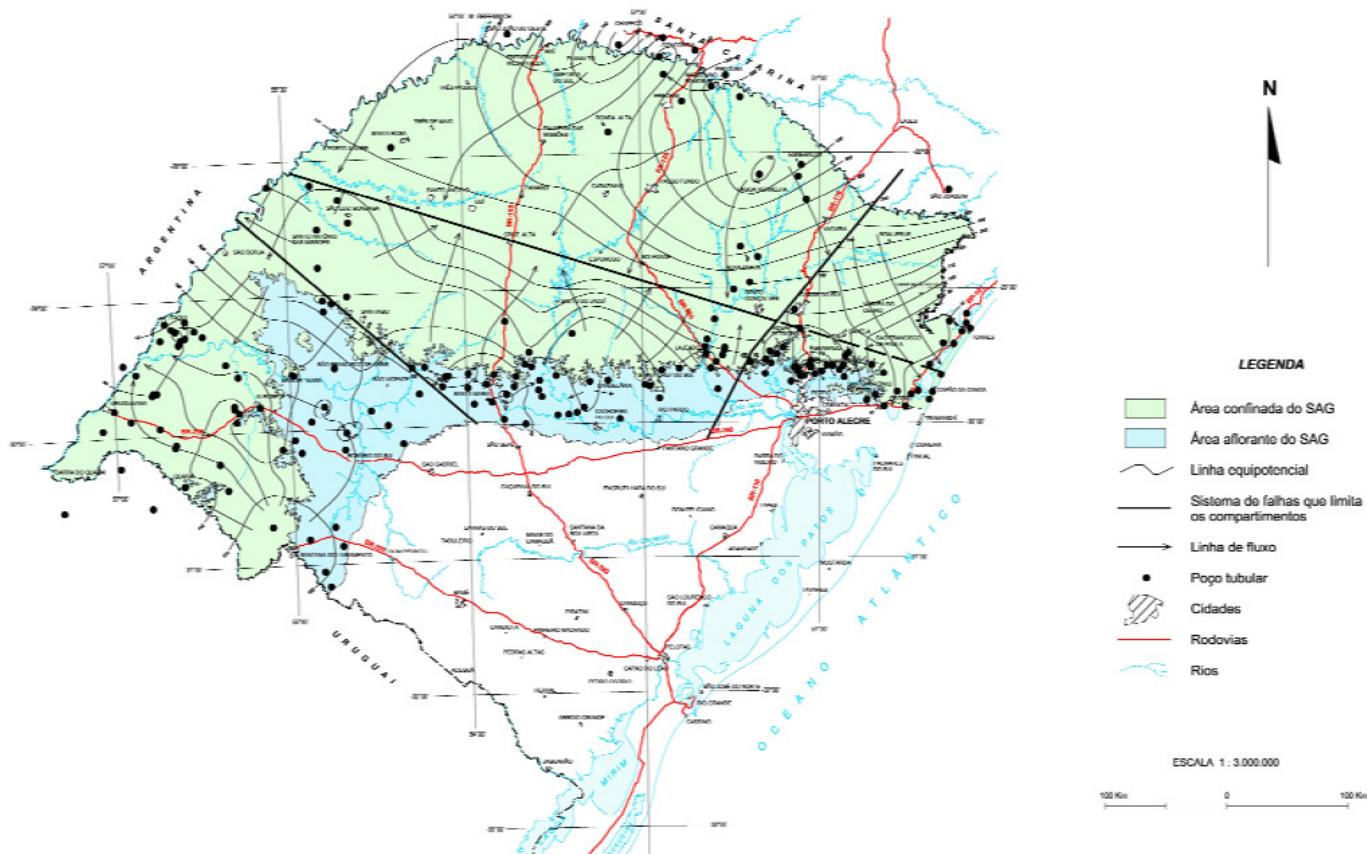
### 2.11.1 Sistema Aquífero Serra Geral I (SASG I)

Ocupa a parte centro-oeste da região dominada pelos derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral, no planalto rio-grandense. Delimita-se pelos municípios de Soledade, Tupanciretã, Santo Antônio das Missões, Santa Rosa, Tenente Portela, Nonoai, Erechim e Passo Fundo. Constitui-se, principalmente, de litologias basálticas, amigdalóides e fraturadas, capeadas por espesso solo avermelhado. As capacidades específicas são muito variáveis, existindo poços não produtivos próximos de outros com excelentes vazões. Predominam poços com capacidades específicas entre 1 e 4 m<sup>3</sup>/h/m, e excepcionalmente se encontram poços com valores superiores a 4 m<sup>3</sup>/h/m. (MACHADO; FREITAS, 2005)

### 2.11.2 Sistemas Aquíferos (SASG aflorante) e SAG (Zona confinamento)

O Sistema Aquífero Guarani/SAG está confinado pelas litologias vulcânicas da unidade hidroestratigráfica Serra Geral/SASG, desde a região da *Cuesta do Haedo*, na região da fronteira oeste, até a região litoral do estado (Figura 09). (MACHADO, 2005 e MACHADO; FREITAS, 2005)

O Estado do Rio Grande do Sul pode ser compartimentado em quatro blocos, separados por sistema de falhas geológicas: Oeste, Leste, Central - Missões e Norte - Alto Uruguai. A área de estudo situa-se entre os sistemas de Falhas Terra de Areia-Posadas (SFTAP) e Sistema de Falhas Jaguari-Mata (SFJM), ambos de direção Noroeste. (MACHADO, 2005)



**Figura 09:** Mapa potenciométrico, com linhas equipotenciais, penetrando o SAG compartimentado.

**Fonte:** (MACHADO, 2005).

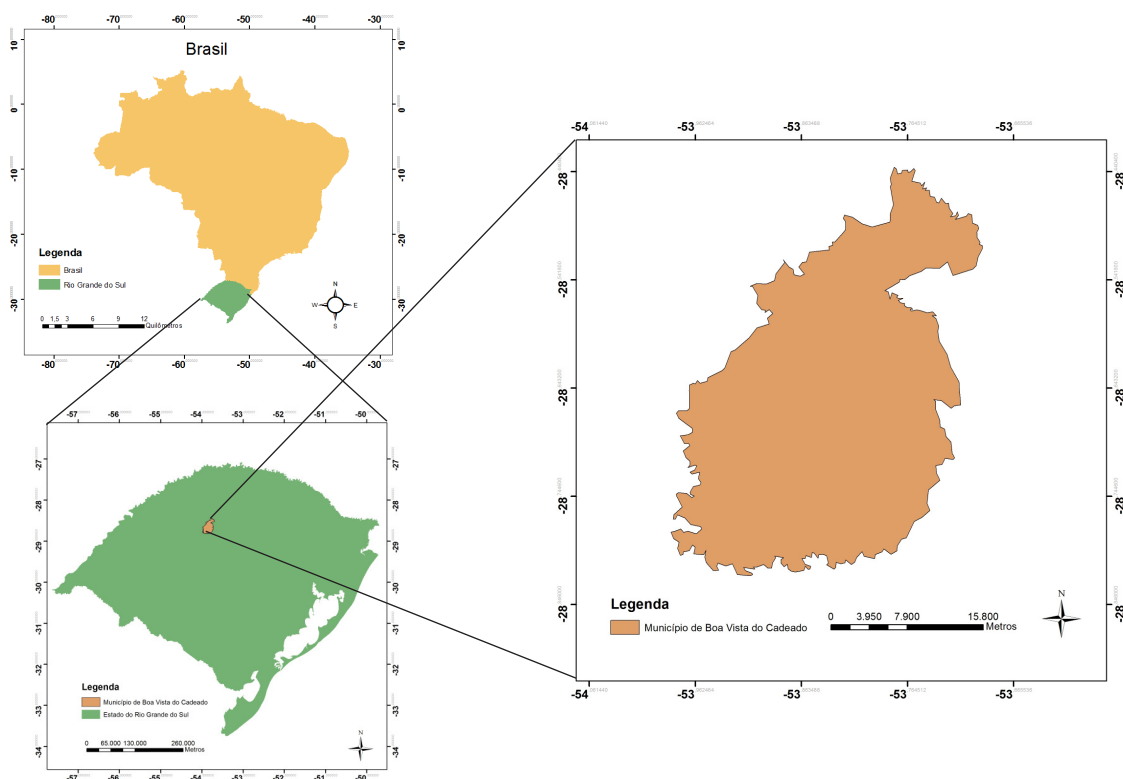
A unidade hidroestratigráfica Botucatu é a que apresenta maior distribuição na área confinada, sendo também o principal aquífero captado pelos poços profundos. (MACHADO, 2005)

O município de Boa Vista do Cadeado está incluso no SASG, caracteriza-se como fissurado, com grau de confinamento confinado, penetrando localmente os poços tubulares na Zona de Confinamento (ZC) do SAG (OEA/PEA/2009), quando então ocorrem os arenitos porosos da unidade hidroestratigráfica Botucatu. Devido a isso, a sua capacidade específica, expressa em ( $m^3/h/m$ ) e calculada, dividindo-se sua vazão pela diferença entre o nível dinâmico (nível do poço em bombeamento) e o nível estático (sem bombeamento). O município de Boa Vista do Cadeado fica dentro de uma faixa de baixa a média possibilidade de água, classificando-se como Sistema Aquífero Serra Geral I, a ser apresentado no capítulo 4 dos resultados.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização geral da área de estudo

O município de Boa Vista do Cadeado localiza-se no noroeste do Estado do RS e está localizado nas coordenadas pelo sistema WGS 84:  $-28^{\circ}36'25''S$ ,  $-53^{\circ}48'54''W$  (Figura 10) (IBGE, 2011).

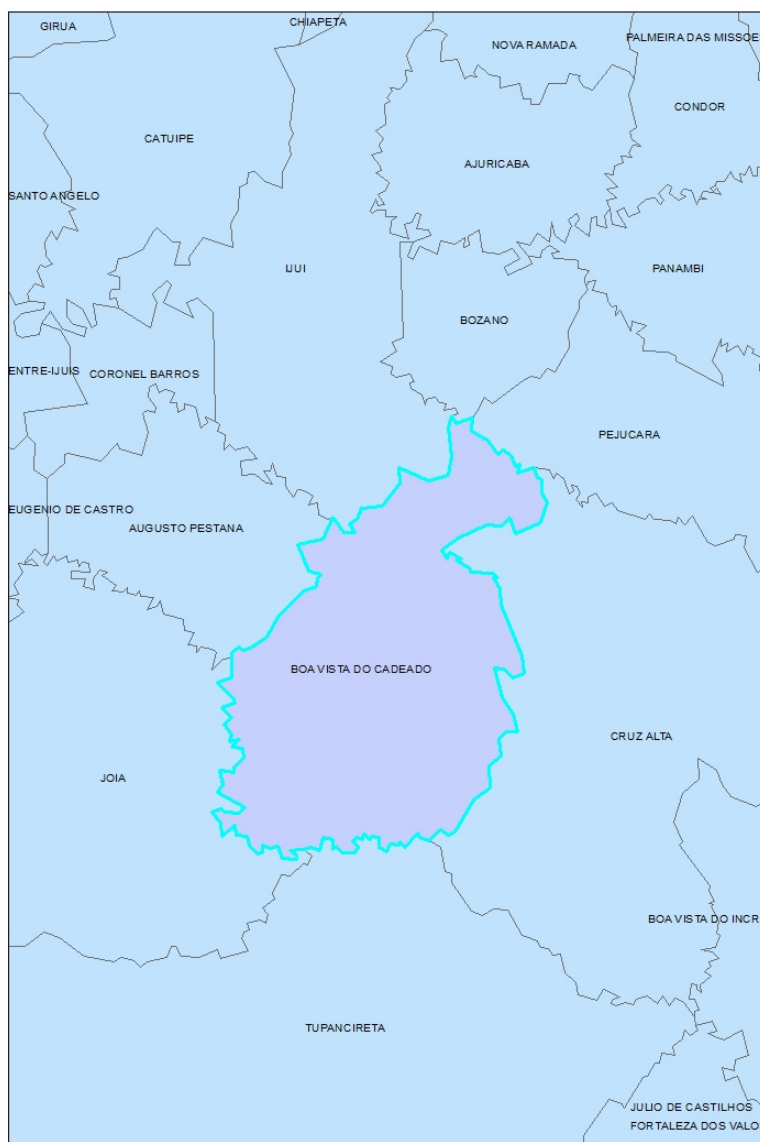


**Figura 10-** Localização do Município de Boa Vista do Cadeado/RS.  
**Fonte:** (Malha digital IBGE, 2011).

Na Figura 11 estão localizados os municípios limítrofes de Boa Vista do Cadeado, para uma melhor orientação regional das informações espaciais a



serem apresentadas no capítulo dos resultados. Destacando-se os Municípios de Ijuí a Noroeste, de Bozano a Norte, de Pejuçara a Nordeste, de Cruz Alta a Leste, de Tupanciretã no Sul, de Jóia a Sudoeste enquanto Augusto Pestana a Noroeste.



**Figura 11-** Localização dos Municípios limítrofes de Boa Vista do Cadeado/RS.  
**Fonte:** (MALHA DIGITAL IBGE, 2011).

Sua Área territorial perfaz cerca de 701,111 km<sup>2</sup>. Localiza-se na Mesorregião noroeste riograndense e insere-se na Microrregião de Ijuí. Conta com uma população 2.441 habitantes (IBGE, 2010), com uma densidade

demográfica baixa, de cerca 3,48 hab./km<sup>2</sup>, apresentando características predominantes de zona rural.

Seu clima, de acordo com Hausman (2005), é subtropical úmido e faz parte do Bioma Pampa (IBGE, 2010).

Os solos, de acordo com Streck et al. (2008), são Argissolos, os quais são intensamente utilizados na cultura de soja, milho e trigo, com uso de agroquímicos. São solos profundos e não pedregosos, que facilitam estas culturas.

Sua economia é basicamente rural, através de cultura de soja, milho e trigo, além de produtos agroindustriais, tais como melado, pães caseiros, rapaduras, legumes em conserva, vinho e licores.

Utilizam água de poços tubulares para abastecimento humano, dessedentação de animais e nas atividades econômicas.

Seu PIB é da ordem de R\$ 99,58 milhões e a renda *per capita* média é de R\$ 39.485,29 (IBGE, 2010).

A rocha matriz aflorante faz parte dos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral e apresenta uma constituição mineralógica contendo Olivina-gabro, com características higroscópicas (MONTARDO, 2011).

De acordo com o mapa da SEMA (2004), faz parte da Bacia Hidrográfica Rio Ijuí – U-90, portanto, U= Uruguai, sendo o Rio Uruguai o mais importante da região. Já o SIAGAS da CPRM considera a Subbacia Hidrográfica Rios Uruguai, Ijuí e outros.

De acordo com Lisboa (1996), faz parte da Província Geomorfológica Planalto Meridional brasileiro. Suas cotas altimétricas em relação ao nível do mar situam-se da ordem de 420m, obtida na boca do poço Rincão do Tigre e a menor na boca do poço Beira Rio, com cerca de 286m. Portanto, pode-se considerar que a área em estudo faz parte de um relevo movimentado.

Sua distância média da capital, Porto Alegre, é de cerca de 384 km, seu acesso rodoviário é feito pela malha rodoviária do Estado do Rio Grande do Sul (DAER, 2005) via BR-386 , ERS-223 e ERS-342.

### 3.2 Aquisição de dados

A aquisição de dados dos 12 (doze) poços localizados dentro do perímetro do município de Boa Vista do Cadeado/RS, foi realizada através de pesquisa no sítio do CPRM-SIAGAS, incursões “in loco” e dos registros da prefeitura de Boa Vista do Cadeado.

As informações adquiridas servem de dados de entrada para o SIG, georreferenciando a área do município. Os dados georreferenciados são utilizados para a confecção de mapas temáticos pelo *software* SURFER 8.0<sup>®</sup>, que utiliza interpolação estatística, a fim de se obter resultados espacialmente analisados para posterior discussão.

Os dados de 02 (dois) poços tubulares (4300017044 – Ponte Queimada e 4300017259- Rincão do Tigre) foram adquiridos do CPRM-SIAGAS, e sobre estes dados foi calculado o índice de vulnerabilidade de cada poço, as informações foram integradas na confecção dos mapas temáticos.

Nas Figuras 12 e 13 estão demonstradas as aquisições de informações do CPRM-SIAGAS para efetuar o calculado do índice de vulnerabilidade natural pelo sistema *GOD*.

Na Figura 12 estão as informações obtidas do poço tubular 4300017044 (localidade Ponte Queimada), pertencente ao cadastro do CPRM-SIAGAS, podem-se retirar as coordenadas locais do ponto de captação, a formação geológica, profundidade final, descrição litológica, nível estático, nível dinâmico, vazão após estabilização e vazão específica.

Assim, como exemplo, foi calculado o índice de vulnerabilidade natural do aquífero pelo sistema *GOD*.

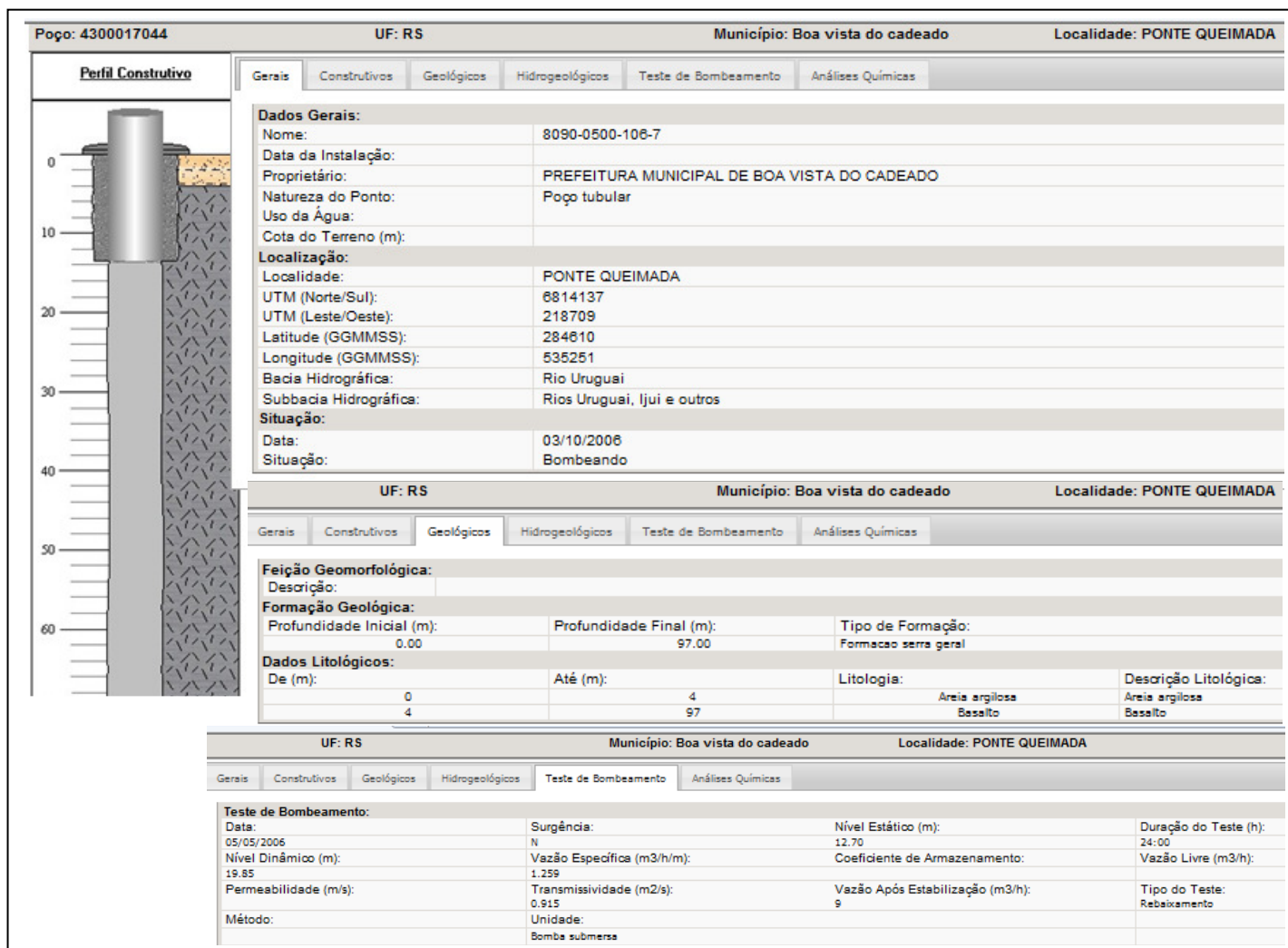
**G** = grau de confinamento do aquífero captado pelo poço tubular 4300017044, por ser aquífero fissural, localizado na formação geológica serra geral, caracteriza-se como confinado, recebendo no sistema *GOD* a nota 0,2.

**O** = como ocorrência de substratos de cobertura foram retiradas informações da descrição litológica, sendo encontradas camadas de areia argilosa e basalto, que são solos provenientes de formações magmáticas/vulcânicas mais antigas, recebendo nota no sistema *GOD* de 0,6.

**D** = retirando as informações relacionadas ao nível estático (12,70m) e o nível dinâmico (19,85m), pode-se calcular a distância até o teto do aquífero,

que é a diferença de valor entre os níveis, ou seja,  $19,85\text{m} - 12,70\text{m} = 7,15\text{m}$ . O valor encontrado permitiu a pontuação de 0,8 no sistema *GOD*.

O cálculo do índice de vulnerabilidade *GOD* deste poço tubular é a multiplicação dos três (03) valores pontuados no sistema, ou seja,  $(0,2 \times 0,6 \times 0,8) = 0,096$ , que caracteriza uma vulnerabilidade insignificante, por estar na faixa entre 0,00 e 0,10 (Figura 05).



**Figura 12** - Dados do poço tubular 4300017044, na localidade de Ponte Queimada, Município de Boa Vista do Cadeado/RS.  
**Fonte:** (CPRM-SIAGAS, 2013).

Igualmente ao poço tubular utilizado anteriormente, foram obtidas informações do poço tubular 4300017259, na localidade de Rincão do Tigre (Figura 13), também pertencente ao cadastro do CPRM-SIAGAS.

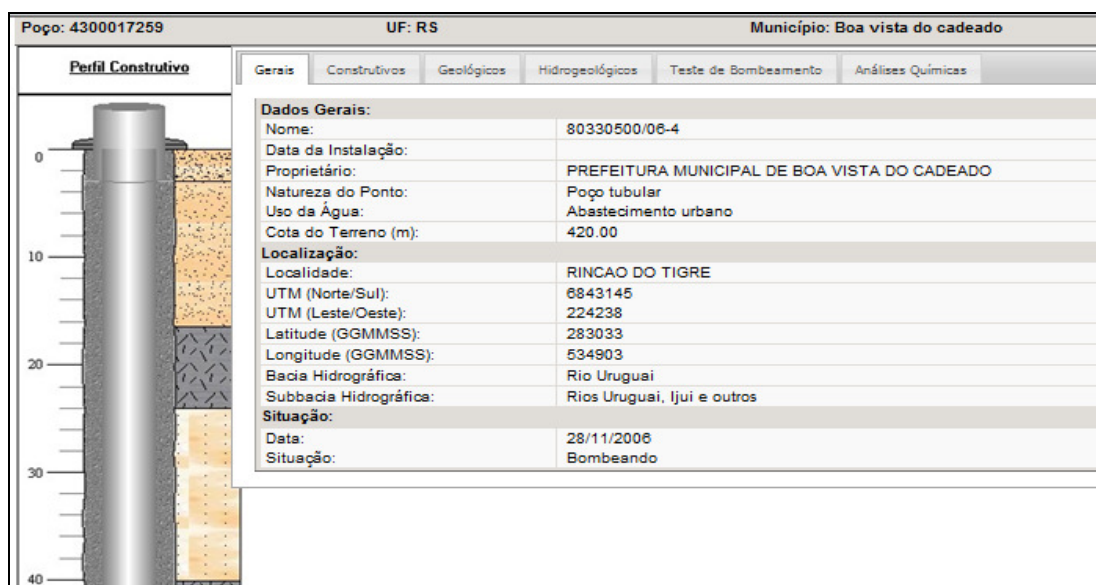
**G** = grau de confinamento do aquífero captado pelo poço tubular 4300017259 também é fissural, localizado na formação geológica serra geral, caracterizando-se como confinado, recebendo no sistema *GOD* a nota 0,2.

**O** = como ocorrência de substratos de cobertura foram retiradas informações da descrição litológica, sendo encontradas camadas de areia siltosa, areia média, arenito e basalto, que são solos provenientes de formações magmáticas/vulcânicas mais antigas, recebendo nota no sistema *GOD* de 0,7.

**D** = retirando as informações relacionadas ao nível estático (39,00m) e o nível dinâmico (44,50m), pode-se calcular a distância até o teto do aquífero, que é a diferença de valor entre os níveis, ou seja,  $44,50\text{m} - 39,00\text{m} = 5,50\text{m}$ . O valor encontrado permitiu a pontuação de 0,8 no sistema.

O cálculo do índice *GOD* deste poço tubular é a multiplicação dos três (03) valores pontuados no sistema, ou seja,  $(0,2 \times 0,7 \times 0,8) = 0,112$ , que caracteriza uma vulnerabilidade baixa, por estar na faixa entre 0,10 e 0,3 (Figura 05).

Os dados gerados por estas informações, bem como, dos demais poços tubulares cadastrados em campo com uso do *Global Position System/ GPS*, Garmin 76MAP CSX, foram tabulados para confecção de mapas temáticos. Adotando-se como datum vertical o Porto de Imbituba/Santa Catarina e o datum horizontal SAD 69, foram obtidas as coordenadas geográficas na boca de cada poço no sistema Geográfico (GGMMSS - Graus, Minutos e Segundos). Estes dados são necessários para a espacialização no SIG e lançados em cartogramas.



UF: RS Município: Boa vista do cadeado Localidade: RINCAO DO TIGRE

**Geológicos**

**Feição Geomorfológica:**

Descrição:

**Formação Geológica:**

Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:
0.00	72.00	Formacao serra geral

**Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	3	Areia siltosa	Silte arenoso
3	16.5	Areia média	Areia média
16.5	24	Basalto	Basalto alterado e fraturado
24	40	Arenito médio	Arenito médio friável e alterado
40	50	Basalto	Basalto maciço
50	72	Basalto	Basalto cinza fanerítico fino com múltiplas fraturas e ocorrência de alguns níveis vesiculares e amigdalóides

UF: RS Município: Boa vista do cadeado Localidade: RINCAO DO TIGRE

**Teste de Bombeamento**

Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
07/08/2006	N	39.00	24:00
Nível Dinâmico (m):	Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m <sup>3</sup> /h):
44.50	0.873		
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m <sup>2</sup> /s):	Vazão Após Estabilização (m <sup>3</sup> /h):	Tipo do Teste:
		4.8	Rebaixamento
Método:	Unidade:		
	Bomba submersa		

**Figura 13-** Dados do poço tubular 4300017259, localidade de Rincão do Tigre, Município de Boa Vista do Cadeado/RS.  
**Fonte:** (CPRM-SIAGAS, 2013).

Os dados dos poços tubulares do Quadro 05 foram obtidos no setor de obras da Prefeitura Municipal de Boa Vista do Cadeado. Tais informações são referentes à denominação das localidades onde estão implantados os poços, vazão (m<sup>3</sup>/h), nível estático (m), nível dinâmico (m) e a profundidade total da perfuração (m). As coordenadas geográficas e cotas da boca dos poços foram verificadas “in loco”.

<p>POÇO CAPELA SANTANA.          PROFUNDIDADE: 101,00 m          VAZÃO: 7,50 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 38,00 m          NÍVEL DINAMICO: 44,00m          COORDENADAS: 28°43'23.0"                            53°46'42.2"          COTA: 409,00m</p>	<p>POÇO BOJO DISTRITO CADEADO.          PROFUNDIDADE: 160 m          VAZÃO: 1,06 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 45,00 m          NÍVEL DINAMICO: 105,50 m          COORDENADAS: 28°46'21.1"                            53°56'30.0"          COTA: 365,00m</p>
<p>POÇO FAXINAL.          PROFUNDIDADE: 90,00 m          VAZÃO: 10,00 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 36,61 m          NÍVEL DINAMICO: 46,50 m          COORDENADAS: 28°31'53.6''                            53°46'44.2''          COTA: 372,00 m</p>	<p>POÇO FAXINAL II.          PROFUNDIDADE: 248,00 m          VAZÃO: 13,20 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 61,00 m          NÍVEL DINAMICO: 65,82 m          COORDENADAS: 28°29'29.2''                            53°42'53.0''          COTA: 370,00 m</p>
<p>POÇO ALTO GRANDE- CAPELA          PROFUNDIDADE: 88,00 m          VAZÃO: 16,50 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 26,40 m          NÍVEL DINAMICO 31,80 m          COORDENADAS: 28° 41'01.1"                            53°48'12.8"          COTA: 385,00 m</p>	<p>POÇO CARLOS GAMA-PONTE QUEIMADA          PROFUNDIDADE: 97,00 m          VAZÃO: 9,00 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO 12,70 m          NÍVEL DINAMICO 19,85 m          COORDENADAS: 28° 46'08.9"                            53°52'51.6"          COTA: 358,00 m</p>
<p>POÇO RINCÃO DO TIGRE          PROFUNDIDADE: 72,00m          VAZÃO: 8,00 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 38,00m          NÍVEL DINAMICO: 44,00m          COORDENADAS: 28° 30'33.7''                            53°49'04.7''          COTA: 420,00 m</p>	<p>POÇO PQ. RODEIO - DISTRITO BOA VISTA          PROFUNDIDADE: 108,00m          VAZÃO 1,50 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 36,84 m          NÍVEL DNAMICO: 80,08 m          COORDENADAS: 28° 35'05.1''                            53°48'30.6''          COTA: 375,00 m</p>
<p>POÇO BEIRA RIO          PROFUNDIDADE: 96,00m          VAZÃO: 17,50 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 7,59 m          NÍVEL DINAMICO: 14,20 m          COORDENADAS: 28° 33'36.5"                            53°50'45.4"          COTA: 286,00 m</p>	<p>POÇO BEIRA RIO II          PROFUNDIDADE: 82,00m          VAZÃO: 10,00 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 13,00 m          NÍVEL DINAMICO: 30,00 m          COORDENADAS: 28° 34'06.4"                            53°48'57.1"          COTA: 359,00 m</p>
<p>POÇO ESQUINA QUINCAS          PROFUNDIDADE: 49,00m          VAZÃO: 13,00 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 36,00 m          NÍVEL DINAMICO: 36,48 m          COORDENADAS: 28° 35'32.1"                            53°47'24.6"          COTA: 384,00 m</p>	<p>POÇO FORMIGUEIRO          PROFUNDIDADE: 109,00m          VAZÃO: 5,00 m<sup>3</sup>/h          NÍVEL ESTÁTICO: 40,00 m          NÍVEL DINAMICO: 72,00 m          COORDENADAS: 28° 33'56.6"                            53°51'55.4"          COTA: 357,00 m</p>

**Quadro 05:** Dados hidrodinâmicos e locais referentes aos poços tubulares do município de Boa Vista do Cadeado.

**Fonte:** (Prefeitura Municipal de Boa Vista do Cadeado e trabalhos em campo, 2011).

### 3.3 Utilização do SIG (Sistema de Informações Geográficas)

Após a coleta de dados com auxílio do *GPS*, as informações geográficas foram transferidas para o SIG *ArcGIS*, a fim de delimitar, e georreferenciar a área de estudo, para espacialização dos dados e classificação temática.

O *ArcGIS* é um software que constitui um Sistema de Informação Geográfica. Neste SIG estão incluídos módulos de trabalho que permitem criar mapas, visualizar dados espaciais, criar shapefiles (arquivos de contorno) e geodatabases (banco e dados geográficos), inclui também ferramentas para manipulação, edição e análise de dados tematicamente inseridos em diferentes *layers* (níveis ou camadas).

O SIG serve de apoio, ou raiz, para inserção dos dados tabulados e estatisticamente tratados pelo *software* SURFER 8.0<sup>®</sup>.

A área urbana do município foi extraída com o auxílio do Google Earth, traçando-se o caminho que corresponde aos limites da área urbana do município, e salvo este caminho no formato KML.

No *ArcGIS* o arquivo foi aberto através do menu *ArcToolbox* e usou-se a ferramenta *Conversion Tools - KML to layer*, que faz a conversão do arquivo KML em *Shapefile*.

O sistema de coordenadas utilizado pelo *Google Earth* e pelo *GPS* é o GCS\_WGS\_1984, já o sistema de coordenadas para trabalho no *ArcGIS*, a fim de georreferenciamento, é o SAD 69 fuso 22, assim, fez-se a troca de coordenadas do *Shapefile* com uso da seleção *coordinate system*.

As áreas do município lidas após o cálculo no *ArcGIS* 10 foram de: Área urbana: 4.771,4 m<sup>2</sup>; Área total município: 701.716.275,9 m<sup>2</sup> ou 701,71km<sup>2</sup>.

### 3.4 Cálculo da vulnerabilidade pelo Sistema *GOD*

A escolha do sistema *GOD*, ao invés de sistemas como *DRASTIC*, vem da proposta de mapear áreas utilizando dados sem complexidade de aquisição, que possam ser coletados e correlacionados de forma simples, sem necessidade de muitos refinamentos estatísticos e subsídios computacionais avançados, mas com representatividade de 100% do real e confiabilidade mínima de 99,95%, para demonstração do cenário que está ocorrendo.



Assim, o poder público municipal poderá implantar, de forma viável, a sua própria rotina para mapeamento, a fim de planejar suas atividades sem correr riscos de contaminação dos recursos hídricos.

O sistema *GOD* se torna uma ferramenta de tomada de decisões, pois aliado ao SIG, caracteriza claramente como é o comportamento da região estudada.

Para o cálculo do índice de vulnerabilidade natural do aquífero, segundo Foster; Hirata (2003), utilizando-se o sistema *GOD*, deve-se levar em consideração:

- a) O Tipo de ocorrência da água subterrânea;
- b) As características em termos litológicos e grau de consolidação dos estratos acima da zona saturada;
- c) A profundidade do nível freático ou teto do aquífero confinado.

Pelo sistema *GOD*, fundamentada em dados pré-existentes, atribuem-se valores a três tipos de parâmetros, tais valores são multiplicados para se obter o índice de vulnerabilidade natural à contaminação. (FOSTER; HIRATA, 2003)

Ainda, segundo os autores, a partir dos mapas é realizada a análise da susceptibilidade à contaminação por poluentes, bem como, o possível trajeto subterrâneo dos mesmos ao atingirem o aquífero.

Para representação espacial utilizam-se cores mais suaves para valores menores, e cores mais intensas para valores maiores. (FOSTER; HIRATA, 2003)

A superfície Potenciométrica (HEATH, 1983) foi obtida pela relação entre a cota altimétrica na boca do poço e o nível da água, registrado durante a perfuração de cada poço. Não foi executada campanha de medição de nível de água nesta pesquisa devido a falta de tubo lateral nos poços.

A capacidade específica de cada poço foi obtida pela relação entre a vazão de estabilização ( $m^3/h$ ) e o rebaixamento associado a cada capacidade de bomba submersa, portanto, a relação entre o Nível Dinâmico (m) e o Nível Estático (m).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Resultados referentes ao cálculo do índice de vulnerabilidade do aquífero à contaminação pelo sistema *GOD***

Com a finalidade de calcular o índice de vulnerabilidade pelo sistema *GOD*, primeiramente deve-se coletar informações, transformá-las em dados de entrada para a espacialização dos mesmos e posteriormente chegar as devidas conclusões sobre cada tema abordado, para tanto, foram executadas as devidas etapas deste processo de pesquisa, obtendo-se os seguintes resultados:

#### **4.1.1 Sobre a utilização do SIG**

A aplicação no programa ArcGIS 10 possibilitou a obtenção da área total do município: 701.716.275,9 m<sup>2</sup> ou 701,71km<sup>2</sup> e também foi estimada sua área urbana em 4.771,4 m<sup>2</sup>. O Quadro 06 sintetiza alguns resultados obtidos em relação aos parâmetros hidrodinâmicos dos doze poços tubulares cadastrados.

Nota-se que as cotas altimétricas da boca dos poços tubulares variaram entre o ponto superior em 420m, na localidade de Rincão do Tigre, e na cota inferior de 286,00m, na localidade de Beira Rio.

O Sistema de Coordenadas apresentado neste quadro é o UTM, o qual será adotado para ser apresentado nos cartogramas de espacialização das informações que estão dispostas em metros.

#### **4.1.2 Transformação das informações coletadas em dados**

Várias temáticas foram abordadas, sendo todas relacionadas as informações hidrogeológicas da área de estudo, assim, puderam-se transformar informações específicas em dados reais de entrada para o sistema *GOD* e para o software SURFER. As seguintes informações serviram de base para a geração de dados de saída para conclusão de cada tema estudado:

A profundidade das captações varia entre o máximo de 248,00m, no poço da localidade de Faxinal II, até o mínimo de 49,00m, na localidade de Esquina Quincas.

A faixa de variação do nível estático foi entre o mínimo de 7,59m, na localidade de Beira Rio, enquanto que o nível de água mais profundo ocorreu na localidade de Faxinal II, atingindo o máximo de 69,00m.

A faixa de variação da vazão de estabilização foi de no mínimo 1,06 m<sup>3</sup>/h, na localidade de Bojo, Distrito de Cadeado, e o máximo e mais produtivo na localidade de Beira Rio, chegando a 17,50 m<sup>3</sup>/h.

A faixa de variação da capacidade específica em (m<sup>3</sup>/h/m) foi mínima na localidade de Bojo, Distrito de Cadeado, com 0,017 (m<sup>3</sup>/h/m), enquanto que a de maior valor foi na localidade de Esquina Quincas, com 27,083 (m<sup>3</sup>/h/m).

Assim, de acordo com (MACHADO; FREITAS, 2005), os resultados enquadram-se no SASG, na faixa de produtividade aquíferos com alta a média possibilidade para águas subterrâneas, em rochas de porosidade por fratura, no Sistema Aquífero Serra Geral I (onde predominam poços com capacidades específicas entre 1 a 4 m<sup>3</sup>/h/m), sendo que cerca de 58% dos poços cadastrados enquadram-se nesta faixa. Somente um poço tubular, na localidade de Esquina Quincas, apresentou um valor muito superior, cerca de 27,083 m<sup>3</sup>/h/m, sugerindo-se que este valor esteja associado ao grau de fraturamento do Sistema de Falhas de direção Noroeste (SFJMA e SFTAP), (MACHADO, 2005) (Figura 07). Notar que todas as captações são consideradas em aquífero confinado. Tem-se conhecimento, a partir de dois perfis litológicos no SIAGAS, que apenas o poço P07, na localidade de Rincão do Tigre (Figura 13- poço SIAGAS 4300017259), penetrou também os arenitos médios do SAG, em cerca de 26,00m (de cota -24 até -50m) em sua Zona de Confinamento (ZC) (Figura 09) (OEA/PEA/2009).

As informações, referentes aos poços tubulares do município de Boa Vista do Cadeado, são tabuladas em planilhas do Excel, e transformadas em quadros de dados, separados em três agrupamentos:

- a) Características físicas e hidrodinâmicas (Quadro 06);
- b) Resultados obtidos da aplicação do sistema *GOD* (Quadro 07);
- c) Dados categorizados para confecção dos mapas temáticos (cartogramas) (Quadro 08).

Poço	Cota (m)	Coordenadas (UTM)		Profundidade Final (m)	Níveis (m)		Vazão Estabilizada (m³/h)	Grau de Confinamento	Capacidade Específica m³/h/m	Formação geológica	Localidade
		N / S	E / W		Estático	Dinâmico					
01	409,00	228608.08567583526	6819541.690450011	101,00	38,00	44,00	7,50	Confinado	1,250	Serra Geral	Capela Santana
02	365,00	212787.3513088968	6813673.797142787	160,00	45,00	105,50	1,06	Confinado	0,017	Serra Geral	Bojo- Distrito Cadeado
03	372,00	228060.0928795241	6840769.383524144	90,00	36,61	46,50	10,00	Confinado	1,011	Serra Geral	Faxinal
04	370,00	234246.67179658526	6845359.840708108	248,00	61,00	65,82	13,20	Confinado	2,738	Serra Geral	Faxinal II
05	385,00	226045.98510150204	6823853.74068976	88,00	26,40	31,80	16,50	Confinado	3,055	Serra Geral	Alto Grande-Capela
06	358,00	218704.22959691338	6814194.562497221	75,00	12,70	19,85	9,00	Confinado	1,258	Serra Geral	Carlos Gama-Ponte Queimada
07	420,00	224181.4405477323	6843140.581563479	72,00	38,00	44,00	8,00	Confinado	1,333	SASG + SAG	Rincão do Tigre
08	375,00	225304.9002806056	6834804.972846048	108,00	36,84	80,08	1,50	Confinado	0,034	Serra Geral	Parque Rodeio-Distrito Boa Vista
09	286,00	221576.01310690062	6837446.759669784	96,00	7,59	14,20	17,50	Confinado	2,647	Serra Geral	Beira Rio
10	359,00	224542.07727080892	6836595.63633104	82,00	13,00	30,00	10,00	Confinado	0,588	Serra Geral	Beira Rio II
11	384,00	227118.22190685663	6834015.520100526	49,00	36,00	36,48	13,00	Confinado	27,083	Serra Geral	Esquina Quincas
12	357,00	219687.67592911562	6836782.405845838	109,00	40,00	72,00	5,00	Confinado	0,156	Serra Geral	Formigueiro

**Quadro 06:** Características físicas e hidrodinâmicas dos 12 poços tubulares cadastrados no município de Boa Vista do Cadeado.

**Fonte:** (Prefeitura Municipal de Boa Vista do Cadeado e pesquisa em campo, 2011).

O Quadro 07 apresenta os resultados da aplicação do sistema *GOD* aos doze poços tubulares cadastrados no Município de Boa Vista do Cadeado.

Poço	G	O	D	VULNERABILIDADE		LOCALIDADE
				Índice (G x O x D)	Classe	
01	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante	Capela Santana
02	0,2	0,6	0,6	0,072	Insignificante	Bojo, Distrito Cadeado
03	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante	Faxinal
04	0,2	0,8	0,9	0,144	Baixa	Faxinal II
05	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante	Alto Grande-Capela
06	0,2	0,6	0,8	0,096	Insignificante	Carlos Gama-Ponte Queimada
07	0,2	0,7	0,8	0,112	Baixa	Rincão do Tigre
08	0,2	0,4	0,7	0,056	Insignificante	Parque Rodeio-Distrito Boa Vista
09	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante	Beira Rio
10	0,2	0,4	0,8	0,064	Insignificante	Beira Rio II
11	0,2	0,4	0,9	0,072	Insignificante	Esquina Quincas
12	0,2	0,7	0,7	0,098	Insignificante	Formigueiro

**Quadro 07:** Resultados obtidos da aplicação do sistema *GOD* aos doze poços tubulares cadastrados no Município de Boa Vista do Cadeado. (FOSTER et al., 2006)

Nota-se que a classe de vulnerabilidade predominante foi a insignificante, com 83,3% das captações inseridas, e apenas 16,7% das captações na classe baixa. Estes resultados indicam que a proteção natural oferecida pelos derrames de rochas vulcânicas, basaltos do SASG, podem ser considerados efetivos, sendo que os aquíferos confinados dificultam a infiltração de água de precipitação pluviométrica, que podem conter contaminantes originados das atividades antrópicas, na superfície do terreno, como a contaminação difusa, no caso de predomínio das atividades agrícolas (FOSTER et al., 2006). Salienta-se que, a partir dos resultados obtidos, destas classes de vulnerabilidade (insignificante e baixa), deve-se monitorar a implantação de atividades potencialmente poluidoras com carga de contaminantes elevada, pois somente se lixiviados continuamente podem atingir o aquífero. O Sistema *GOD* informa como o meio físico (rochas vulcânicas) reage em caso de haver algum contaminante sendo infiltrado no SASG.

O Quadro 08 apresenta os dados de 12 poços tubulares usados na confecção dos cinco mapas temáticos (cartogramas), com uso do *software* SURFER 8.0<sup>®</sup>, bem como, sua espacialização em SIG. Estes se referem ao Nível Estático, o qual dá uma ideia de sua profundidade, isto é a facilidade ou dificuldade de um contaminante atingir a água subterrânea. A Superfície Potenciométrica, que é

indicativa da direção dos fluxos subterrâneos. O de vazão, que indica as áreas com maior produção de águas subterrâneas, juntamente com o de capacidade específica, que indica os locais de melhor recuperação do aquífero em termos de bombeamento para uso humano. Finalmente, o de vulnerabilidade, que espacializa as áreas e seus riscos de contaminação, podendo ser utilizado no planejamento do uso e ocupação dos solos.

Poço	Coordenadas (UTM)		Nível Estático (m)	Superfície Potenciométrica (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Classe de Vulnerabilidade	Capacidade Específica (m <sup>3</sup> /h/m)	Localidade
	E (m)	N (m)						
01	228608	6819541	38,00	371,00	7,50	0,064	1,250	Capela Santana
02	212787	6813673	45,00	320,00	1,06	0,072	0,017	Bojo (Distrito Cadeado)
03	228060	6840769	36,61	335,39	10,00	0,064	1,011	Faxinal
04	234246	6845359	61,00	309,00	13,20	0,144	2,738	Faxinal II
05	226045	6823853	26,40	358,60	16,50	0,064	3,055	Alto Grande-Capela
06	218704	6814194	12,70	345,30	9,00	0,096	1,258	Carlos Gama-Ponte Queimada
07	224181	6843140	38,00	300,00	8,00	0,112	1,333	Rincão do Tigre
08	225304	6834804	36,84	338,16	1,50	0,056	0,034	Parque Rodeio-Distrito Boa Vista
09	221576	6837446	7,59	278,41	17,50	0,064	2,647	Beira Rio
10	224542	6836595	13,00	346,00	10,00	0,064	0,588	Beira Rio II
11	227118	6834015	36,00	348,00	13,00	0,072	27,083	Esquina Quincas
12	219687	6836782	40,00	317,00	5,00	0,098	0,156	Formigueiro

**Quadro 08:** Dados categorizados dos 12 poços tubulares cadastrados no município de Boa Vista do Cadeado, para confecção dos mapas temáticos (cartogramas).

Notar que a maior carga hidráulica associada à superfície potenciométrica em relação ao datum Porto de Imbituba/SC ocorreu no poço (P01), na Localidade de Capela Santana, com carga de 371,00m, indicando um alto potenciométrico. O baixo potenciométrico formou-se no poço (P09), na localidade Beira Rio, com uma carga de 278,41m. Tais valores nos indicam a pressão da coluna d'água sobre a superfície subterrânea e demonstra-nos a direção preferencial do fluxo subterrâneo, do poço (P01) ao poço (P09), com uma diferença de carga de 92,59m.

#### 4.1.3 Utilização do *software* SURFER 8.0<sup>®</sup>

Depois de elaboradas as planilhas no Excel, são transferidos os dados para o *software* SURFER 8.0<sup>®</sup>, para elaboração dos mapas e para avaliação da vulnerabilidade natural pelo “Método da Krigagem”, ou “Processo Gaussiano de

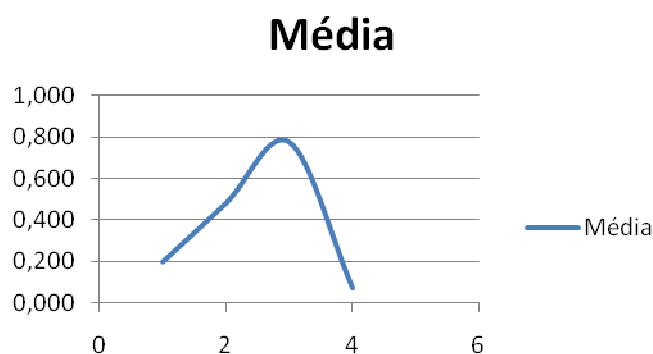
Regressão”, este processo é uma forma da Inferência Bayesiana, um tipo de inferência estatística que descreve as incertezas sobre quantidades invisíveis de forma probabilística. As incertezas são modificadas periodicamente após observações de novos dados ou resultados.

A operação que calibra a medida das incertezas é conhecida como operação bayesiana e é baseada na Fórmula de Bayes. A fórmula de Bayes é muitas vezes denominada Teorema de Bayes.

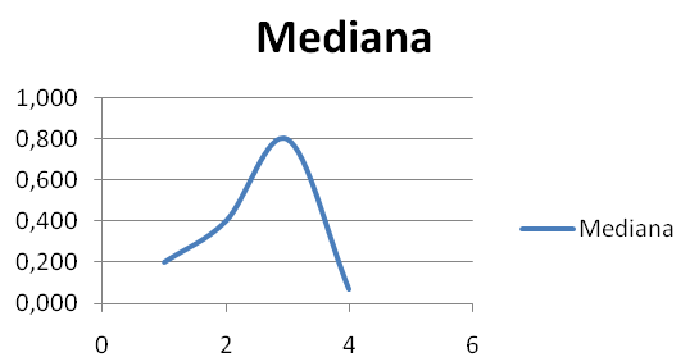
Em si, a Krigagem parte deste princípio, onde os pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados, esta técnica assume que os dados recolhidos de uma determinada população se encontram correlacionados no espaço, sem extrapolações. Nos mapas (cartogramas) as coordenadas utilizadas são no sistema UTM; os níveis, cotas, profundidades e distâncias em metros (m); vazões em metro cúbico por hora (m<sup>3</sup>/h) e o índice de vulnerabilidade adimensional. Neste estudo foram analisados estatisticamente os dados hidrogeológicos, a fim de poder habilitar o uso da Krigagem, como exemplo, são demonstrados os variogramas (Figuras 14,15 e 16) da média, mediana e desvio padrão da distribuição amostral dos dados para o cálculo do índice de vulnerabilidade natural do aquífero (Quadro 09), sendo que os valores caracterizaram-se como uma distribuição normal, seguindo tendência elíptica, valores de média e mediana bem aproximados e com desvio padrão menor que 5%, a orientação da elipse seguiu a distribuição da amostragem.

	G	O	D	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE
	0,20	0,40	0,80	0,064
	0,20	0,60	0,60	0,072
	0,20	0,40	0,80	0,064
	0,20	0,80	0,90	0,144
	0,20	0,40	0,80	0,064
	0,20	0,60	0,80	0,096
	0,20	0,70	0,80	0,112
	0,20	0,40	0,70	0,056
	0,20	0,40	0,80	0,064
	0,20	0,40	0,80	0,064
	0,20	0,40	0,90	0,072
	0,20	0,70	0,70	0,098
Média	0,200	0,481	0,774	0,075
Mediana	0,200	0,400	0,800	0,068
Desvio Padrão	0,000	0,057	0,018	0,005

**Quadro 09:** Análise estatística dos dados para cálculo do índice de vulnerabilidade natural do aquífero.



**Figura 14:** Variograma da média dos dados do **GOD** utilizados para o cálculo do índice de vulnerabilidade.



**Figura 15:** Variograma da mediana dos dados do **GOD** utilizados para o cálculo do índice de vulnerabilidade.



**Figura 16:** Variograma do desvio padrão dos dados do **GOD** utilizados para o cálculo do índice de vulnerabilidade.

## 4.2 Resultados referentes à espacialização das informações hidrodinâmicas das captações e do índice de vulnerabilidade do aquífero

Os dados, gerados das coletas de informações do portal do CPRM-SIAGAS, dos registros da Prefeitura Municipal e das visitas de campo, foram espacializados e analisados por meio dos mapas apresentados nas Figuras 17, 18, 19, 20 e 21.

### 4.2.1 Mapa do Nível Estático

O nível estático é um elemento importante a ser considerado em poços tubulares, pois indica o nível da água do aquífero em repouso, sem bombeamento, é indicativo de quanto de coluna de água está sobre o relevo subterrâneo.

Observando-se o Quadro 08, nota-se que a faixa de variação do nível estático nos 12 poços ocorreu entre 7,59m no poço (P08), na localidade de Beira Rio,



enquanto que o mais profundo foi o poço (P04), com 61,00m, na localidade de Faxinal II (extremo Nordeste da área).

Por meio da avaliação realizada em relação as variações do nível estático no mapa (Figura 17), observa-se que os poços com maior coluna de água disponível localizam-se próximos à divisa com os demais municípios, e os poços mais rasos, com menor coluna de água, estão no interior da área do município, portanto, deve-se dar atenção a esta condição no momento em que intensificarem-se as atividades produtivas na parte central do município, pois os poços mais rasos recebem alimentação freática em sua recarga, tornando-os mais suscetíveis à cargas de poluentes.

Observando-se a (Figura 05), que apresenta o sistema *GOD*, em relação ao parâmetro ( $D=Depth$ ), as faixas de variação do nível da água em classes nos 12 poços estudados são:

N.E. < 5m ocorreram zero poços na área estudada;

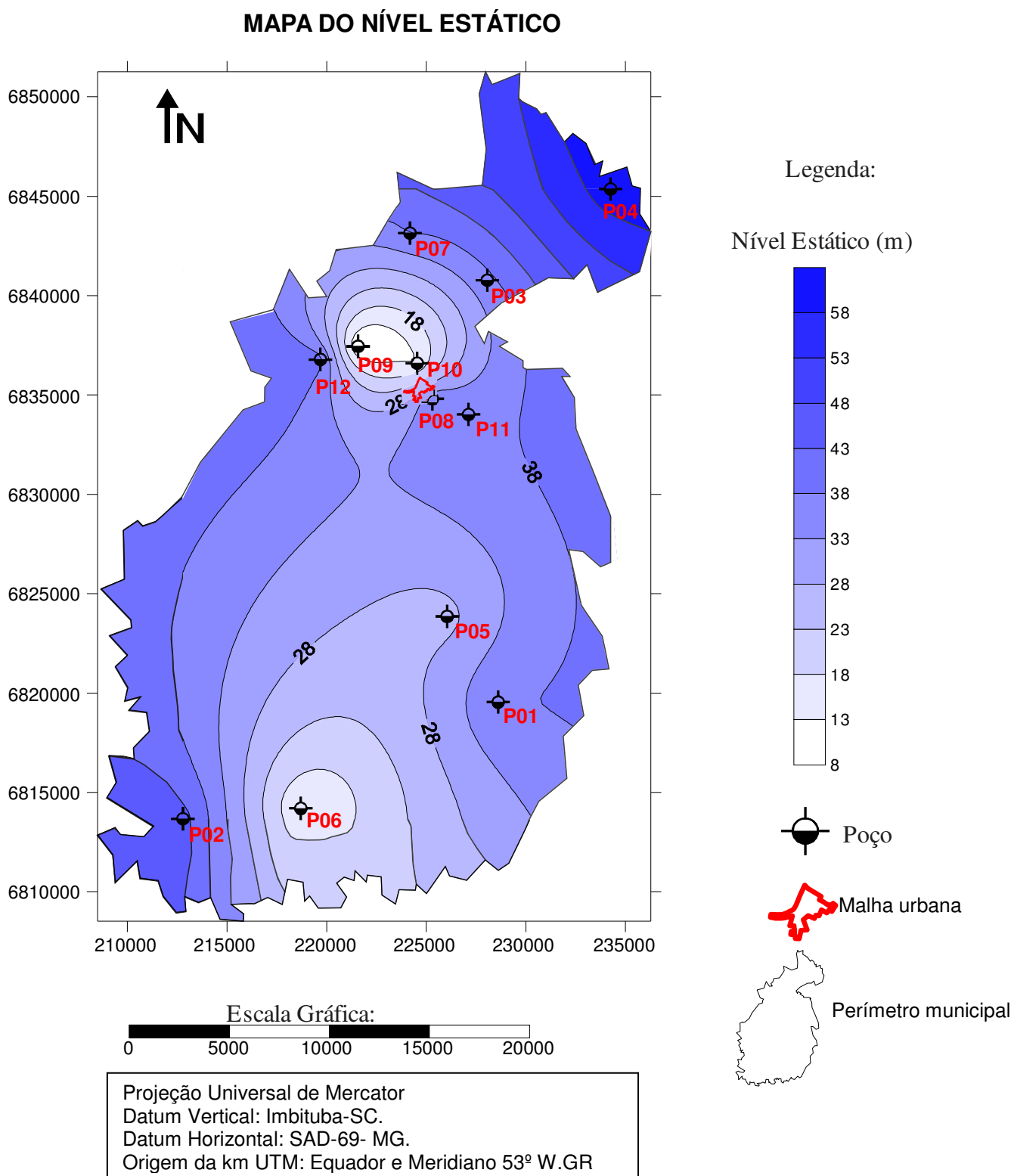
N.E. (5- 20m) ocorreram três poços, representando 25,0% na área;

N.E. (20- 50m) ocorreram oito poços, representando 66,7 % na área, portanto, a faixa de variação predominante, que irá influir grandemente nos resultados de índice de vulnerabilidade de classes baixa e insignificante;

N.E. (> 50m) ocorreu em apenas um poço (P04), na localidade de Faxinal II.

A média dos níveis estáticos foi de 32,59m, os quais penetram vários tipos de meios físicos, incluindo: solos argilosos, areia siltosa e arenitos porosos (como no poço (P07), na localidade de Rincão do Tigre), todos confinados por derrames de rochas vulcânicas maciças, como no poço (P07), o que determina uma boa proteção natural do manancial subterrâneo em relação à contaminação.

Ainda observando-se o posicionamento dos poços na Figura 30, nota-se que todas as captações cadastradas estão fora da área urbana ( área contornada em vermelho no mapa), mas devido interpolação matemática, realizada pelo software Surfer 8.0, pode-se visualizar em que faixa se enquadrou a mesma, pelo princípio da vizinhança entre os pontos lançados por meio dos valores inseridos de nível estático dos poços circundantes a malha urbana.

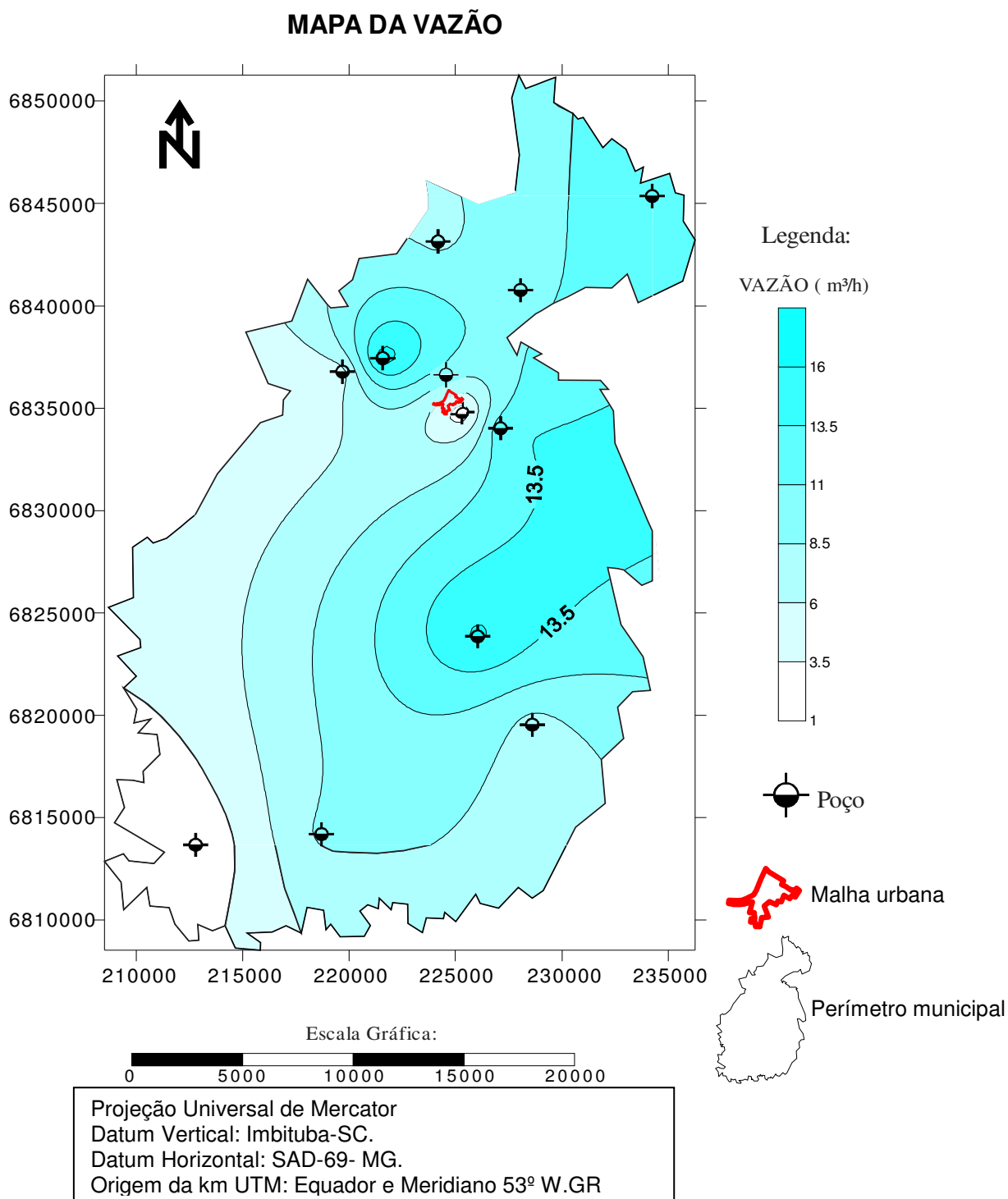


**Figura 17** - Mapa referente ao Nível Estático dos poços tubulares mapeados no Município de Boa Vista do Cadeado/RS.

#### 4.2.2 Mapa da Vazão

Avaliando-se as vazões após estabilização, apresentadas no mapa (Figura 18), observa-se que ela variou de 1,06m<sup>3</sup>/h, no poço (P08), na localidade de

Parque Rodeio-Distrito de Boa Vista, localizado na porção central do cartograma. Já a maior vazão, de 17,50m<sup>3</sup>/h, ocorreu no poço (P09), na localidade de Beira Rio, na porção central do cartograma. Também merece atenção a vazão elevada de 16,5 m<sup>3</sup>/h no poço P05, na localidade de Alto Grande-Capela, na porção sudeste do cartograma. Destaca-se que a média da vazão de todos os poços foi da ordem de 9,35m<sup>3</sup>/h.



**Figura 18** – Mapa da Vazão dos 12 poços tubulares mapeados no Município de Boa Vista do Cadeado/RS.

#### 4.2.3 Mapa da Superfície Potenciométrica

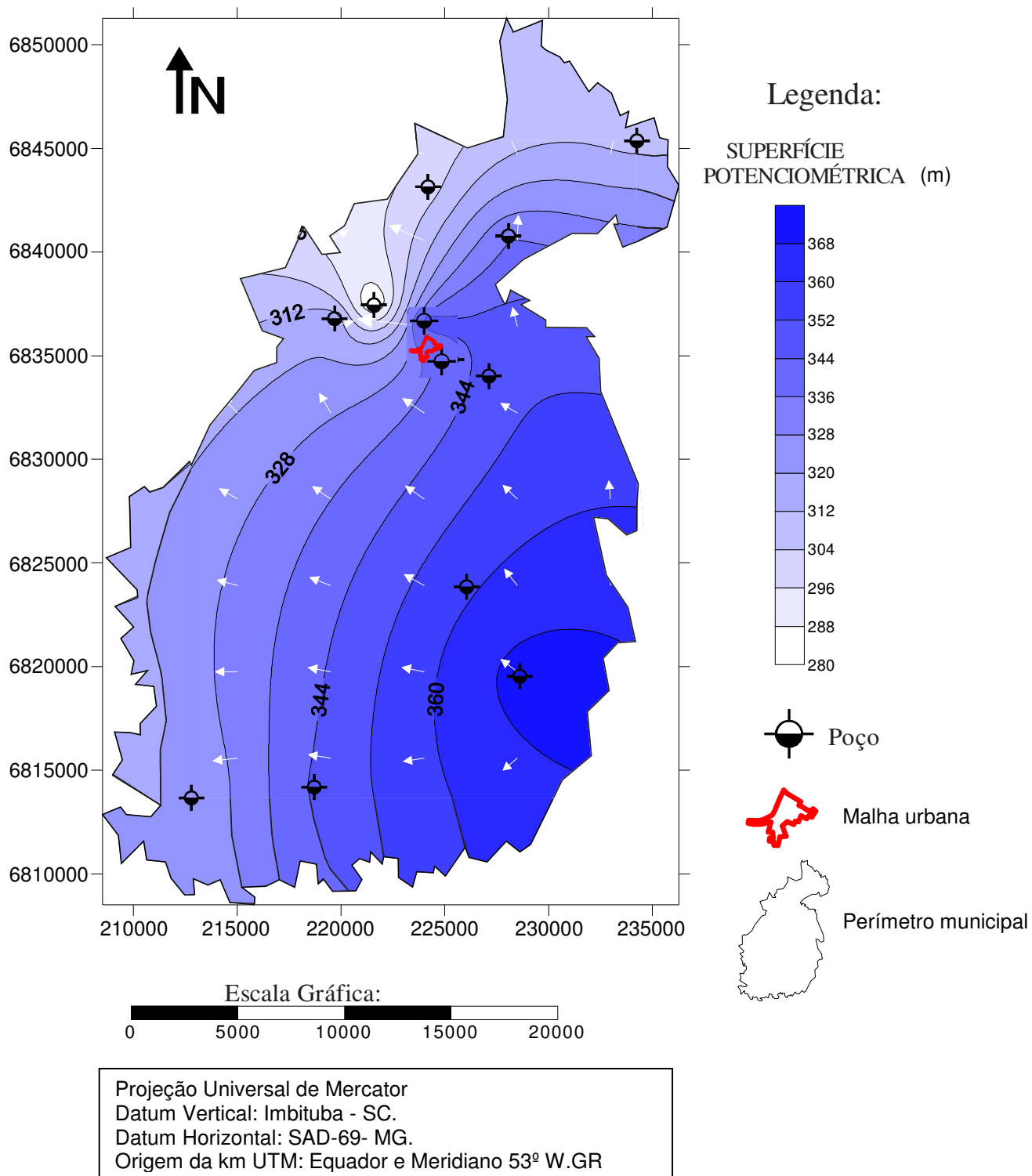
A superfície potenciométrica corresponde ao peso da coluna d'água em relação ao datum vertical adotado.

Avaliando-se os valores da superfície potenciométrica Quadro 08 e (Figura 19), observa-se que a variação da carga hidráulica encontrada foi de 278,41m no poço (P09) no localidade de Beira Rio. Já o maior valor de carga ocorreu no poço (P01) 371,00m na localidade de Capela Santana localizado no extremo sudeste do cartograma. Isso demonstra a inclinação da superfície líquida subterrânea, conformando com o relevo da região concordando com observações feitas por (MACHADO, 2005 e MACHADO; FREITAS, 2005) Figura 07. Possivelmente ocorram efeitos tectônicos nas fraturas e fissuras dos basaltos (SASG) e no SAG (confinado) associados aos sistemas de falhas (SFTAP e SFJM) (MACHADO, 2005).

Apresentando um desnível de 92,59m, de direção sudeste para sudoeste/nordeste, ficando assim definida a direção do fluxo subterrâneo, esta condição delimita onde um possível contaminante poderia escoar se atingisse o SASG e/ou o teto do aquífero confinado SAG.

Observa-se a ocorrência de dois altos potenciométricos localizados no poço (P04) na localidade de Faxinal II no extremo Nordeste da área em estudo, e outro, poço (P02) na localidade de Bojo na extremidade sudoeste da área. Na porção central da área avaliada forma-se uma Depressão Potenciométrica, onde as cargas hidráulicas subterrâneas são menores representadas pelos poços (P09) na localidade Beira Rio e (P10) Beira Rio II, indicando uma possível contribuição subterrânea do Rio Conceição para a manutenção do nível de base do Rio Ijuí, afluente do Rio Uruguai, Bacia Hidrográfica do Ijuí- U-90 (SEMA, 2004).

### MAPA DA SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA



**Figura 19** – Mapa da Superfície Potenciométrica dos 12 poços tubulares mapeados no Município de Boa Vista do Cadeado/RS.

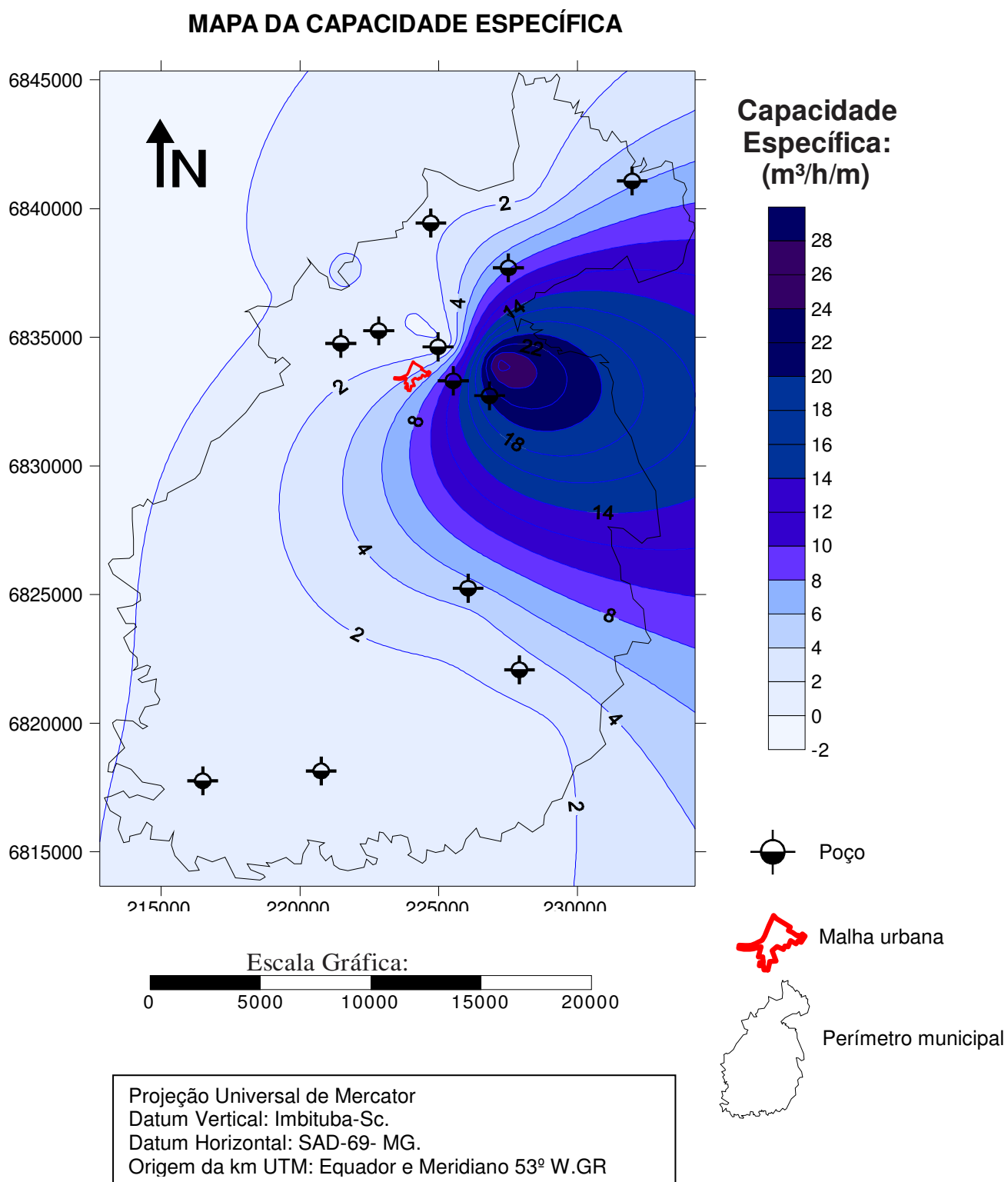
#### 4.2.4 Mapa da Capacidade Específica

A capacidade específica (HEATH, 1983), ou vazão específica Quadros 08 e na (Figura 20), é um indicativo de capacidade real de exploração de água. A média das vazões específicas foi de  $3,43\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ , caracterizando a região em estudo como pertencente à de aquíferos de alta a média possibilidade para águas subterrâneas, em rochas com porosidade por fraturas, e do Sistema Aquífero Serra Geral I (MACHADO; FREITAS, 2005) no Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul.

Observou-se que o menor valor deste parâmetro  $0,017\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$  ocorreu no poço (P02), na localidade Bojo (Distrito de Cadeado), situado na porção sudoeste da área estudada. Enquanto o maior valor  $27,083\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  ocorreu no poço (P11), na localidade de Esquina Quincas, situado na porção centro-leste da área do estudo. Este valor de capacidade específica está muito acima daquele descrito por (MACHADO; FREITAS, 2005), no mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul. Esta elevada produção pode ser resultado de fraturas abertas associadas aos SFTAP e SFJM (MACHADO, 2005) de direção NW, onde se encontra parcialmente encaixados o Rio Ijuí.

Estes sistemas de falhas se estendem desde o município de Cruz Alta, localidade de Boa Parada, passa por Boa Vista do Cadeado, permeando várias localidades, chegando até o município de Ijuí, próximo ao entroncamento das rodovias ERS-342, BR- 285 e ERS-522.

Estas falhas drenam grande parte das áreas do município de Boa Vista do Cadeado, escoando a água de superfície rumo ao Rio Conceição, afluente do Rio Ijuí, pertencente à Bacia do Rio Uruguai.



**Figura 20** – Mapa da Capacidade específica dos 12 poços tubulares mapeados no Município de Boa Vista do Cadeado/RS.

#### 4.2.5 Mapa da Vulnerabilidade Natural do Aquífero

Avaliando-se os resultados dos Quadro 08 Utilizando-se o Sistema *GOD* (FOSTER et al., 2006). Nota-se uma ampla predominância de classe de vulnerabilidade insignificante em cerca de 83,3% da área estudada.

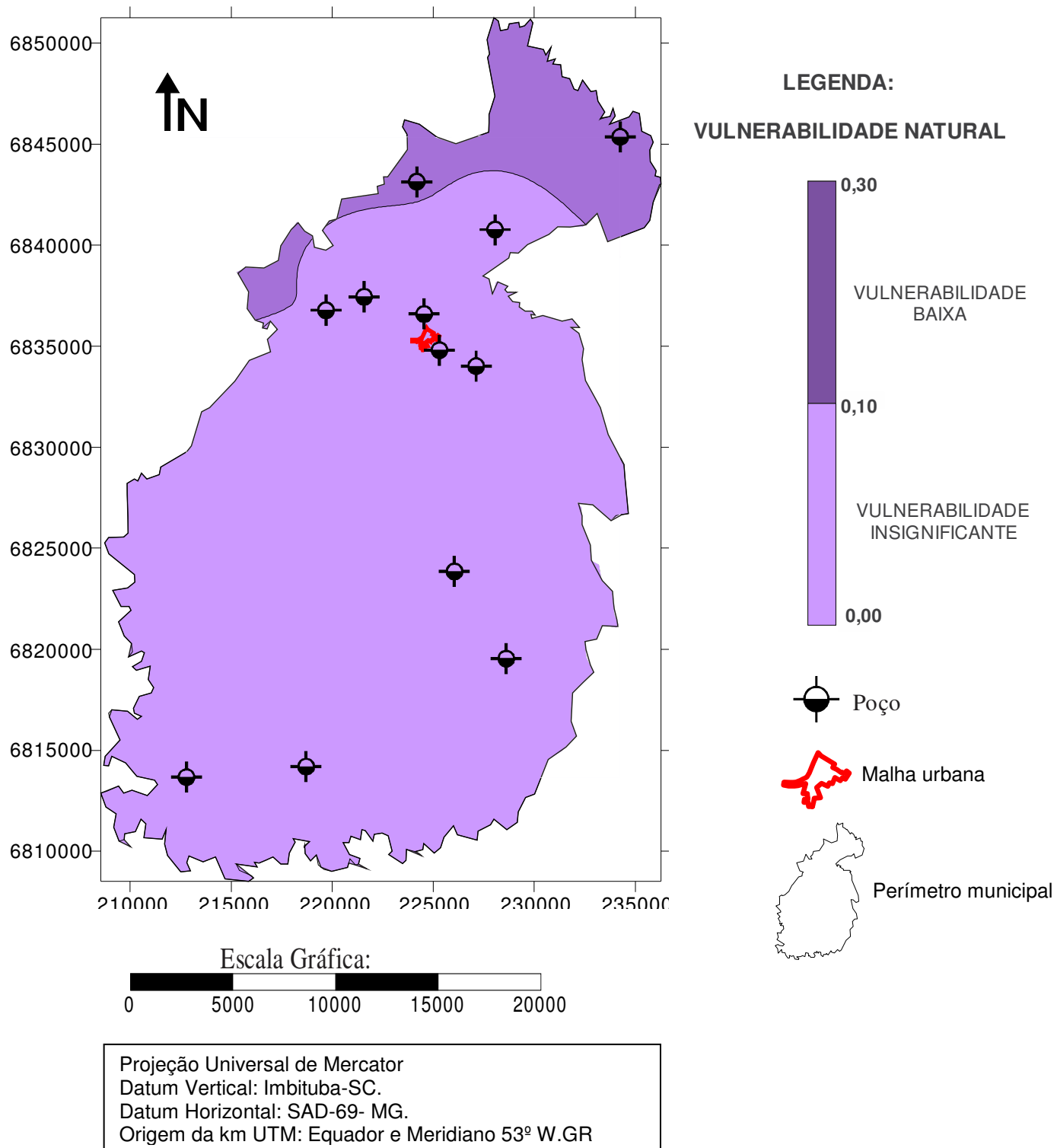
No mapa dos índices de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação (Figura 21), verifica-se que, no município de Boa Vista do Cadeado, as áreas situadas ao norte são consideradas como de vulnerabilidade baixa, incluindo as localidades de Faxinal (II) poço (P04) e na localidade de Rincão do Tigre poço (P07).

Lembrando que a faixa de vulnerabilidade insignificante e baixa (Quadro 03) não exclui as ações de prevenção e monitoramento quanto à contaminantes conservadores, que tem ação acumulativa, de efeito à longo prazo. Deve-se efetivar a regulação e o controle das atividades onde são utilizados agrotóxicos, como por exemplo, a atividade agrícola, principalmente o cultivo do soja. Não se deve esquecer também as ações de saneamento, uma vez que esgotos, não coletados e não tratados, poderão atingir o SASG, dependendo da intensidade da carga e da inacessibilidade do contaminante (FOSTER et al., 2003 e FOSTER et al., 2006), além da profundidade do Nível da água. Conforme observado nos mapas a zona urbana não conta com captações por poços mais estaria completamente inserida na classe insignificante, necessitando de cuidados no uso e ocupação dos solos.

Ainda conforme apresentado nas Figuras 18 a 29, várias captações por poços tubulares não seguem a legislação estadual Decreto nº42.047/2002, não tendo implantados os perímetros mínimos de proteção, cercamento, deixando o aquífero sob risco de alteração de sua qualidade natural mesmo com índices de vulnerabilidade baixa e insignificante.



## MAPA DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO

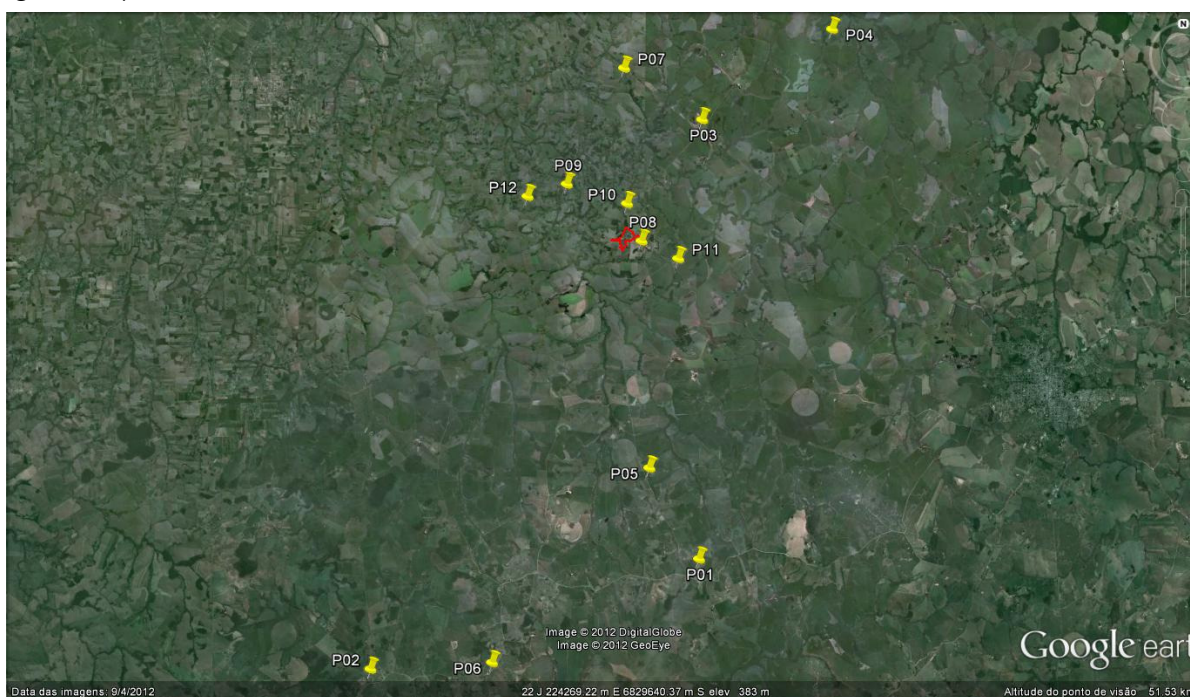


**Figura 21** - Mapa da Vulnerabilidade do SASG à contaminação, no Município de Boa Vista do Cadeado/RS.

### 4.3 Resultados referentes ao mapeamento dos poços tubulares cadastrados no município de Boa Vista do Cadeado e comparação com a legislação vigente

Em visitas nos locais onde situavam-se os 12 poços tubulares mapeados, verificou-se que a comunidade local (formada em média por 15 unidades econômicas) e a prefeitura municipal de Boa Vista do Cadeado, concentraram esforços para implantar o abastecimento por meio de poços tubulares, em diversas localidades, porém, alguns detalhes construtivos, preconizados nas normas NBR's 12212/2006 e 12244/2006, não foram atendidos na implantação da maioria dos poços tubulares cadastrados neste mapeamento. A seguir são enumerados os poços (P01 até P012) os quais encontram-se descritos nos Quadros 06, 07 e 08 e espacializados na Figura 22. Os poços foram devidamente registrados fotograficamente e sobre eles foi descrita a situação atual. Após comparação com a legislação vigente os poços foram avaliados se estão adequados ou não.

Para facilitar a compreensão, os poços foram separados em três patamares de altitudes, com base em sua cota altimétrica (Quadro 06), considerando-se a cota altimétrica da boca do poço: entre 400 até 500m (Superior); entre 400 até 300m (Intermediária) e entre 300 até 200m (Inferior). Os patamares de altitude foram observados com referência no mapa hipsométrico do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 08).



**Figura 22-** Espacialização dos 12 poços tubulares cadastrados na área rural de Boa Vista do Cadeado.

**Fonte:** (Imagem Google Earth, 2012).

Poço P01 (Figura 23), foi perfurado na localidade de Capela Santana . Ocupa uma posição superior, cota altimétrica de 409,00m, com profundidade útil de 101,00m. Penetra o Sistema Aquífero Serra Geral/SASG, tipo fissural, confinado. Este poço abastece 27 unidades consumidoras. Possui um reservatório elevado com capacidade de 15,00 m<sup>3</sup>, hidrômetro instalado, rede de distribuição, instalação elétrica, cercamento, laje de proteção sanitária, proteção contra intempéries e tubo lateral para medições do nível da água subterrânea. Poço em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 23-** Poço P01 (Localidade de Capela Santana). Cota altimétrica de 409,00m. SASG.

Poço P02 (Figura 24), foi perfurado na localidade de Bojo – Distrito Cadeado. Ocupa uma posição intermediária, cota altimétrica de 365,00m, com profundidade útil de 160,00m. Penetra o SASG, tipo fissural, confinado. Este poço abastece 23 unidades consumidoras. Possui um reservatório deslocado 550,00m (capacidade de 15,00m<sup>3</sup>), rede de distribuição, instalação elétrica, laje de proteção sanitária e registro tipo gaveta. Não possui hidrômetro, tubo lateral, cercamento e proteção contra intempéries. Poço em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 24-** Poço P02 (Localidade de Bojo– Distrito Cadeado). Cota altimétrica de 365,00m, SASG.

O Poço P03 (Figura 25), foi perfurado na localidade de Faxinal I-Distrito Faxinal. Ocupa uma posição intermediária, cota altimétrica de 372,00m, com profundidade útil de 90,00m. Penetra o SASG, tipo fissural, confinado. Este poço abastece 21 unidades consumidoras. Possui um reservatório elevado (capacidade de 15,00 m<sup>3</sup>), hidrômetro, rede de distribuição, instalação elétrica e laje de proteção sanitária. Não possui tubo lateral, cercamento e proteção contra intempéries. Poço em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 25-** Poço P03 (Localidade de Faxinal). Cota altimétrica de 372,00m, SASG.

O Poço P04 ( Figura 26), foi perfurado na localidade de Faxinal II-Distrito Faxinal. Éste poço situa-se no extremo nordeste da área estudada. Ocupa uma posição intermediária, cota altimétrica de 370,00m, com profundidade útil de 248,00m. Penetra o SASG, tipo fissural, confinado. Apresenta o nível estático mais

profundo, com cerca de 61,00 m. Este poço abastece 18 unidades consumidoras. Possui rede de distribuição, hidrômetro, instalação elétrica, laje de proteção sanitária e proteção contra intempéries. Não possui reservatório elevado, tubo lateral e cercamento. Poço em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 26-** Poço P04 (Localidade de Faxinal II). Cota altimétrica de 370,00m. SASG.

O Poço P05 (Figura 27), foi perfurado na localidade de Alto Grande- Distrito Capela. Ocupa uma posição intermediária, cota altimétrica de 385,00m, com profundidade útil de 88,00m. Penetra o SASG, tipo fissural, confinado. Este poço abastece 17 unidades consumidoras. Possui um reservatório elevado (capacidade 15,00 m<sup>3</sup>), rede de distribuição, instalação elétrica e laje de proteção sanitária. Não possui hidrômetro, tubo lateral, cercamento e proteção contra intempéries. Poço em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 27-** Poço P05 (Localidade de Alto Grande – Distrito Capela). Cota altimétrica de 385,00m, SASG.

O Poço P06 (Figura 28), foi perfurado na localidade de Carlos Gama- Distrito Ponte Queimada. Equivale ao poço SIAGAS/CPRM (4300017044). Ocupa uma posição intermediária, cota altimétrica de 358,00m, com profundidade útil de 75,00m. Penetra o SASG, tipo fissural, confinado. Este poço abastece 15 unidades consumidoras. Possui um reservatório de 15,00m<sup>3</sup>, hidrômetro, rede de distribuição, instalação elétrica, laje de proteção sanitária e proteção contra intempéries. Não possui tubo lateral e cercamento. Poço em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 28-** Poço P06 (Localidade de Ponte Queimada). Cota altimétrica de 358,00m, SASG.

O Poço P07 (Figura 29), foi perfurado na localidade de Rincão do Tigre II- Distrito Rincão do Tigre. Equivale ao poço SIAGAS/CPRM (430017259). Ocupa uma posição superior, cota altimétrica de 402,00m, com profundidade útil de 72,00m. Penetra o SASG e o SAG, tipo fissural e poroso (arenitos SAG) na Zona de Confinamento (ZC, OEA/PEA/ 2009), confinado. Este poço abastece 11 unidades consumidoras. Possui rede de distribuição e instalação elétrica. Não possui laje de proteção sanitária, reservatório, hidrômetro, tubo lateral e cercamento. Poço em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 29-** Poço P07 (Localidade de Rincão do Tigre II). Cota altimétrica de 402,00m. Penetra SASG e SAG na (ZC em 26,00m)

O Poço P08 (Figura 30), foi perfurado na localidade de Parque Rodeio-Distrito de Boa Vista do Cadeado sede. Ocupa uma posição intermediária, cota altimétrica de 375,00m, com profundidade útil de 108,00m. Penetra o SASG, tipo fissural, confinado. Este poço abastece 08 unidades consumidoras. Possui três reservatórios elevados ( capacidade total de 20,00 m<sup>3</sup> ), rede de distribuição, instalação elétrica e laje de proteção sanitária. Não possui hidrômetro, tubo lateral , cercamento e proteção contra intempéries. Poço em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 30-** Poço P08 (Localidade de Parque Rodeio). Cota altimétrica de 375,00m. SASG.

O Poço P09 (Figura 31), foi perfurado na localidade de Beira Rio-Distrito Beira Rio. Ocupa uma posição inferior, cota altimétrica de 286,00m, ocupa o menor valor altimétrico da área avaliada por captações. Apresenta profundidade útil de 96,00m. Penetra o SASG, tipo fissural, confinado. Este poço abastece 13 unidades consumidoras. Possui rede de distribuição, instalação elétrica e cercamento (fora do especificado em norma). Não possui reservatório, hidrômetro, laje de proteção sanitária, tubo lateral e proteção contra intempéries. Poço em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 31-** Poço P09 (Localidade de Beira Rio). Cota altimétrica de 286,00m, SASG.

O Poço P10 (Figura 32), foi perfurado na localidade de Beira Rio II- Distrito Beira Rio. Ocupa uma posição intermediária, cota altimétrica de 359,00m, com profundidade útil de 82,00m. Penetra o SASG, tipo fissural, confinado. Este poço abastece 07 unidades consumidoras. Possui rede de distribuição, instalação elétrica, cercamento (fora do especificado em norma) e laje de proteção sanitária. Não possui reservatório, hidrômetro, tubo lateral e proteção contra intempéries. Poço em



desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 32-** Poço P10 (Localidade de Beira Rio II). Cota altimétrica de 359,00m. SASG.

O Poço P11 (Figura 33), foi perfurado na localidade de Esquina Quincas-Distrito Cadeado. Ocupa uma posição intermediária, cota altimétrica de 384,00m, com profundidade útil de 49,00m, o poço mais raso de todos os avaliados. Penetra o SASG, tipo fissural, confinado. Este poço abastece 14 unidades consumidoras. Possui rede de distribuição, instalação elétrica e laje de proteção sanitária. Não possui reservatório, hidrômetro, tubo lateral, cercamento e proteção contra intempéries. Poço em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 33-** Poço P11 (Localidade de Esquina Quincas). Cota altimétrica de 384,00m. SASG.

O Poço P12 (Figura 34), foi perfurado na localidade de Formigueiro-Distrito Formigueiro. Ocupa uma posição intermediária, cota altimétrica de 357,00m, com profundidade útil de 109,00m. Penetra o SASG, tipo fissural, confinado. Este poço abastece 12 unidades consumidoras. Possui reservatório elevado ( capacidade de 15,00 m<sup>3</sup> ), hidrômetro, rede de distribuição, instalação elétrica, laje de proteção sanitária e proteção contra intempéries. Não possui tubo lateral e cercamento. Poço

em desacordo com a legislação ambiental estadual e as NBR's 12212/2006 e 12244/2006.



**Figura 34-** Poço P12 (Localidade de Formigueiro). Cota altimétrica de 357,00m,SASG.

## 5.CONCLUSÕES

No Município de Boa Vista do Cadeado foi possível espacializar, com uso do *software* SURFER 8.0<sup>®</sup>, duas classes de vulnerabilidade, insignificante e baixa, com 83,3% das captações enquadradas na classe insignificante e, 16,7% na classe baixa, esta última predominando no setor nordeste da área de estudo. O sistema *GOD* foi considerado de fácil aplicação e forneceu resultados preditivos. Sempre sendo necessários estudos complementares relativos a alguma carga poluente gerada na superfície do terreno, resultante de atividades antrópicas.

Por meio da espacialização dos dados hidrodinâmicos é possível observar as zonas onde a água subterrânea, representada pelo seu nível estático, ocorre mais próxima da superfície do terreno. A superfície potenciométrica, traçada perpendicularmente as linhas equipotenciais, indica as direções preferenciais dos fluxos subterrâneos de sudeste para sudoeste/nordeste, podendo atingir o curso de águas na localidade Beira Rio.

Há necessidade de adequação de todos os poços tubulares já implantados, principalmente com relação à instalação de equipamentos de medição de vazão, instalação de tubo lateral para monitoramentos futuros, cercamento relativo a área de proteção, execução de proteção sanitária e contra intempéries, em concordância com a NBR-12.212/2006 e NBR-12.244/2006.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

O mapeamento das captações por poços tubulares, utilizados para abastecimento da população urbana e rural do município de Boa Vista do Cadeado, possibilitou a aquisição de informações reais e uma visão geral das condições de exploração atual do manancial subterrâneo. As informações coletadas foram transformadas em dados de entrada no *software* utilizado para estimar os índices e na espacialização dos temas escolhidos. Isso tornou possível a determinação das condições da vulnerabilidade natural (intrínseca) do aquífero fissural, SASG à contaminação.

A espacialização dos dados, através da confecção de mapas temáticos, permitiu a visualização de forma simples, clara, objetiva e direta de cada um dos elementos necessários para a tomada de decisão em relação a cada aspecto estudado sobre o aquífero, possibilitando planejar o uso e ocupação dos solos.

As principais contribuições deste estudo são referentes aos aspectos de prevenção e proteção da água subterrânea, por meio do cadastro, mapeamento e avaliação de dados reais nas distintas localidades e usuários com diferentes usos deste recurso.

Sugere-se a Prefeitura Municipal de Boa Vista do Cadeado outorgar as captações sob sua responsabilidade, adequando-se a legislação ambiental estadual. Manter o cadastro das captações atualizado, conforme previsto no Código Ambiental do Meio Ambiente do estado. Também adequar as futuras captações por poços tubulares as normas construtivas da ABNT.

Por último, realizar análises físico-químicas das captações, buscando-se identificar a possível ocorrência de agroquímicos e/ou pesticidas nas águas subterrâneas.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**. Informação e documentação: referências - elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 12244**. Construção de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 12212**. Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ADAMS, B. & FOSTER, S.S.D. (1992) Land-surface zoning for groundwater protection. **Inst. Wat. Environ. Manage** 6, 312- 320.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **ATLAS BRASIL**: abastecimento urbano de água: resultados por estado. Engecorps/Cobrape: Brasília, 2010.

ALBERTI, E.A; SILVÉRIO DA SILVA, J.L. **Estudo da vulnerabilidade natural dos aquíferos no perímetro urbano de Tupanciretã/RS**. UFSM, 2005.

ALBINET, M. & MARGAT, J. **Cartographie de la vulnérabilité a la pollution des nappes d'eau souterraine** (Mapping of groundwater pollution vulnerability). Bull. BRGM 2ème, 1970; Série 3(4), 13-22.

ALLER, L., BENNETT, T., LEHR, J.H., PETTY, R.J. & HACKETT, G. (1987). **DRASTIC**: a standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. *US-EPA Report 600/2-87-035*.

ANDERSEN, L.J. & GOSK, J. **Applicability of vulnerability maps**. TNO Coram. Hydrol. Res. Proc. & Information 38, 1987. 321-332.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura**. Brasília, EMBRAPA, 1998 (2z. edição).

BATALHA, B. L. **Glossário de engenharia ambiental**. Brasília: DNPM, 1986.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução n. 15** de 11 de janeiro de 2001. Delega competência a SINGRH e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, poder executivo, Brasília, DF, 2001. 03p.

CAMPONOGARA, I.; KONRAD, C.G.; SILVA, J.L.S.; GOLDANI, J.Z.; BRUTTI, E. A. **Mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos e risco de poluição dos recursos hídricos subterrâneos no Município de Soledade, RS.**; 6º COBRAC (Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário para países da América Latina) p.1-8; Florianópolis; 2004.

CEDERSTROM, D.J. **Água Subterrânea: uma introdução.** Rio de Janeiro: Centro de Publicações Técnicas da Aliança Brasil – USAID, 1964.

CIVITTA, M. **La carte della vulnerabilità deli aquíferi all'inquinamento: teoria e pratica.** Bologna: Pitagora Editrice, 1994. 325p.

CUSTODIO, E.; SILVA JUNIOR, G.C, (2008). **Conceptos básicos sobre o papel ambiental das águas subterrâneas e os efeitos da sua exploração.** Boletín Geológico y Minero, 119(1), 93– 106.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, SIAGAS. Banco de dados dos poços cadastrados em Boa Vista do Cadeado - RS. Disponível em: <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)>. Acesso em: 11 dez. 2011.

\_\_\_\_\_. Mapa Geológico do Estado do RS. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em: 04 Jan. 2012.

FOSTER, S.S.D. **Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy.**- In: VAN DUIJEVENBODEN, W.; VAN WAEGENINGH, H.G. [eds.]: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants, TNO Committee on Hydrogeological Research, Proceedings and Information, 38: 69-86; The Hague. (1987)

FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997.

FOSTER, S; VENTURA, M; HIRATA, R. **Groundwater pollution: an executive overview of the Latin America-Caribbean situation in relation to potable watersupply.** CEPIS Technical Report: 38 p. 1987.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R. (1988): **Groundwater Pollution Risk Assessment- A Methodology Using Available Data.** – Pan-American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), 73p.; Lima/Peru.

FOSTER, S. & HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes.** São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim n° 10).

FOSTER, S. S. D.; SKINNER, A. C. Groundwater Quality: Remediation and Protection (Proceedings of the Prague Conference, May 1995). **IAHS** Publ. no. 225, 1995.

FOSTER, S; HIRATA, R. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo. Servemar. 2003.

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. São Paulo, Servemar, 2006.

HAERTLE, A. **Method of working and employment of EDP during the preparation of groundwater vulnerability maps**. In: *Groundwater in Water Resources Planning* (Proc. Koblenz Symp., August-September 1983), IAHS Publ. no 142, 1073-1085, 1983.

HAUSMAN, A. **Províncias Hidrogeológicas no Rio Grande do Sul**. Acta Geológica Leopoldensia. UNISINOS. 1995. p 125.

HEATH, R. C. **Hidrologia Básica de Água Subterrânea**. USGS Water Supply Paper 2220. Tradução Mario Wrege e Paul Potter. Porto Alegre: UFRGS/IPH, 1983.

HOLDEN, L.R., J.A. Graham, R.W. Whitmore, W.J. Alexander, R.W. Pratt, S.K. Liddle, and L.L. Piper. (1992). Results of the nationalalachlor water well survey. *Environ. Sci. & Technology* 26, p.935-943.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados populacionais e da produção agrícola do município de Boa Vista do Cadeado**, disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> acesso em 01 fev. 2012.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Laboratório Geomatemática, Texto Didático 08, 21 p. 2002.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. 6. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1975.

LEITE, C.E.S.; MÖBUS, G. **Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da região de rochas sedimentares da bacia do rio Mundaú/Ceará**. Águas Subterrâneas, n. 1, 2011.

LOAGUE, K. **Regional scale groundwater vulnerability estimates**: impact of reducing data uncertainties for assessments in Hawaii. *Groundwater* 32, 605-616, 1994.

MACHADO, J.L.F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia. UNISINOS. São Leopoldo, 2005. 237 p.

MACHADO, J.L.F.; FREITAS, M.A. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: relatório final - Porto Alegre: CPRM, 2005.

MENDES, C.A.B. Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: **ABRH**, 2001. 536p.

MONTARDO, D.K. **Laudo geológico na rodovia de acesso à sede de Boa Vista do Cadeado, RS**. Assessoria Ambiental Gaia. Ijuí, 2011.

NANNI, A. S.; TEDESCO, M. A.; FREITAS, M. A., de; BINOTTO, R. B. **Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero subterrâneo Serra Geral pela suinocultura na Região das Missões - RS**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, 2005.

NRA. **Policy and Practice in the Protection of Groundwater**. National Rivers Authority, Bristol, UK, 1992.

NRC. **Groundwater Vulnerability Assessment: Contamination Potential under Conditions of Uncertainty**. National Academy Press, Washington DC, USA, 1993.

OEA; PEA; PSAG- Programa Estratégico da Ação. 2009. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/ana>>. Acesso em: 12 jan. 2012.

OLIVEIRA, M.J.; SOUTO, F.A.F.; ROSÁRIO, J.M.L.; SACASA, R.J.V.; MOURA, H.P. **Vulnerabilidade natural e sazonal do aquífero livre no loteamento Marabaixo III – Macapá – AP**. Universidade Federal do Amapá, 2003.

REBOUÇAS, A.C. **Condições de uso e proteção das águas subterrâneas**. In: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo. ABAS, ABEGE, SBG/SP, Seminário. 1992, p. 77-87.

REBOUÇAS, A. C. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 703 p. 2ª edição revisada e ampliada, São Paulo, 2002.

RIBEIRO, L. **Um Novo índice de vulnerabilidade específico de aquíferos**. Formulação e Aplicações. 2005.

RIBEIRO, L. **Métodos Geoestatísticos aplicados a la hidrologia Subterrânea**, notas de aula, 201-21. Colômbia, 2012.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Constituição (1989). Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CORAG, 1989.

\_\_\_\_\_. Decreto n. 42.047 de 26 de dezembro de 2002. Regulamenta disposições da Lei n. 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações, relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, dezembro 2002.

\_\_\_\_\_. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 18 jan. 2012.

ROSEN, G. **Uma história da saúde pública**. 2. ed. São Paulo: Hucitec, 1994.

SAMPAT, P. **Expondo a Poluição Freática**. In: Estado do Mundo 2001, WWI.



SECRETARIA DA COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: SCP, 1998.

\_\_\_\_\_. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: SCP, 2ª edição, 2002.

\_\_\_\_\_. Estudo de Desenvolvimento Regional e Logística de Transportes no RS - Projeto Rumos 2015. Porto Alegre: SCP, 2006.

SOKOL, G.; LEIBURGIT, C.; SCHULZ, K.P. & WEINZIERL, W. (1993). Mapping procedures for assessing groundwater vulnerability to nitrates and pesticides. In: *Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management* (ed. by K. Kovar & H. P. Nachtnebel) (Proc. HydroGIS 93 Conf. at Vienna, April 1993), **IAHS** Publ. no. 211,80-92.

STRECK, E. V; KÄMPF, N; DALMOLIN, R.S. D; KLAMT, E; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P; GIASSON, E; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. EMATER/RS - ASCAR 2 ed. RV. Porto Alegre, 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM). **MDT**, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Biblioteca Central, Editora da UFSM. –7 ed. rev. e atual. – Santa Maria: Editora UFSM, 2010.

WREGGE, M. **Termos Hidrogeológicos Básicos**. Caderno Técnico da associação Brasileira Águas Subterrâneas, nº 4, 1997.

VRBA, J.; ZAPOROZEC, A. **Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Contributions to Hydrogeology**. Volume 16, 131p. Hanover, Verlag Heinz Heise, 1994.

ZAPOROZEC, A. **Groundwater protection maps**. Mem. Intl. Symp. Hydrol. (Maps as Tools for Economic and Social Development). Hannover: 153-162. Hannover, Heise, 1989.

ZINGANO, A.C. **Surfer para Windows**. Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro-LPM. Surfer guia de consulta. Golden Software, 2008, p.21.