

---

**RECURSOS HÍDRICOS E SANEMAENTO**

**AVALIAÇÃO DO RISCO A CONTAMINAÇÃO  
NATURAL DOS AQUÍFEROS NO MUNICÍPIO DE  
CAÇAPAVA DO SUL-RS**

**Ladislau Aparecido da Costa Arruda Junior** – [ladisarrudajr@gmail.com](mailto:ladisarrudajr@gmail.com)

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

**Maximilian Fries** – [maximilianfries@unipampa.edu.br](mailto:maximilianfries@unipampa.edu.br)

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

**Jauana Marilise do Nascimento Riegel** – [riegel.jauana@gmail.com](mailto:riegel.jauana@gmail.com)

Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

## 1. RESUMO

A região do pampa no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil possui como característica hidrogeológica, aquíferos de baixo acúmulo e vazão. Este trabalho tem como principal proposta a confecção de mapa temático de vulnerabilidade de aquífero no município de Caçapava do Sul utilizando o método GOD. A área de estudo localiza-se no encontro de três importantes bacias hidrográficas e a metodologia adotada baseia-se na coleta de informações pré-existentis onde foi gerado um banco de dados dos poços tubulares cadastrados no município. A integração de dados permitiu a geração de um mapa de avaliação de risco. Domínios de *Insignificante*, *Baixo* e *Médio* graus de vulnerabilidade foram definidos e os resultados oferecem uma abordagem de fácil acesso e utilização por profissionais e gestores. Além disso fornecem um diagnóstico inicial e importantes subsídios para formular hipóteses e futuros estudos no aprimoramento da base de dados atual.

**Palavras-Chave:** Método GOD, Região do Pampa, Recurso Hídricos.

## 2. INTRODUÇÃO/ OBJETIVO

A água subterrânea é um recurso natural indispensável para a manutenção dos ecossistemas, subsistência da humanidade e meio ambiente. Apresenta grande importância na retenção de umidade no solo, garantindo um fluxo de base dos cursos de água, respondendo por sua perenização em tempos de estiagens, sendo vital para a sobrevivência de todos os seres vivos. A fim de sanar as deficiências e aumento da demanda no abastecimento público, estes recursos estão sendo cada vez mais explorados. Este aumento da exploração sem estudos prévios e de forma indiscriminada torna esses recursos susceptíveis a agentes externos como saneamento básico precário, indústrias, postos de gasolina, cemitérios, aterros sanitários e lixões.

Estes riscos potenciais de contaminação do aquífero são representados pelos resíduos, tanto sólidos como líquidos gerados através das atividades antrópicas visto que, na maior parte dos casos, a água subterrânea é menos contaminada do que a superficial, uma vez que se encontra protegida da contaminação à superfície proveniente dos solos e da cobertura rochosa (PROSPECTO, 2007). Junto a estes problemas de contaminação existem os problemas relacionados à exploração excessiva dos recursos subterrâneos, a ocupação irregular do solo e a não conformidade quanto as normas legais de utilização destes recursos.

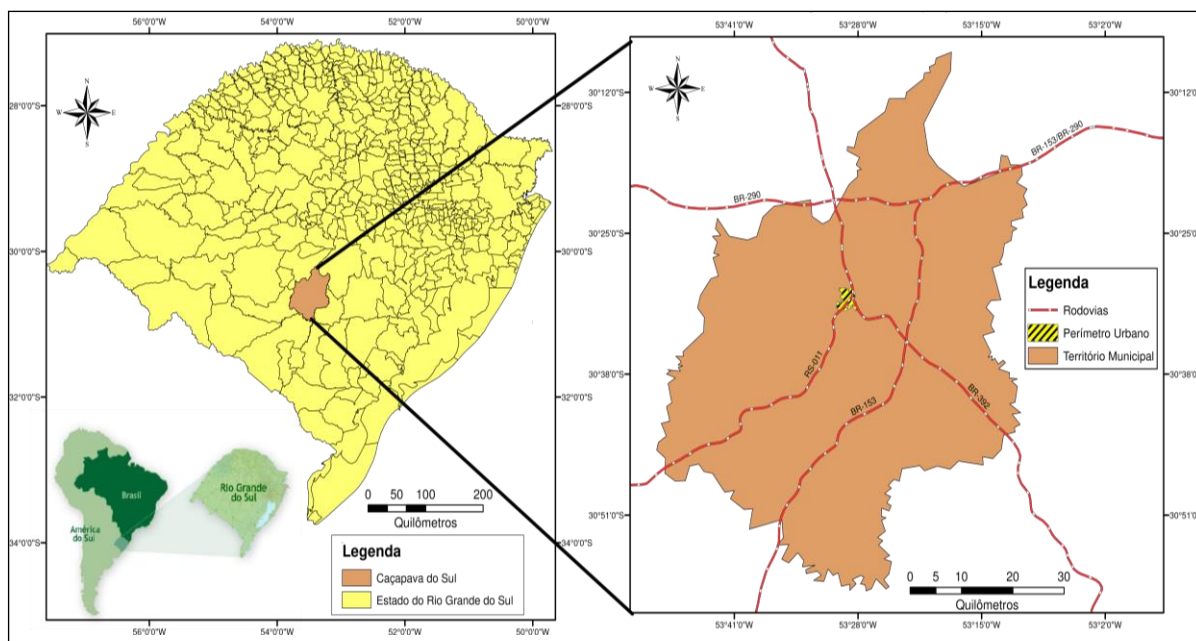
Tendo em vista que os contaminantes em sua maioria podem ser oriundos de: nutrientes, metais pesados, micro-organismos, patógenos (SELLER e CANTER 1980; LE GRAND, 1983; CARTER et. al., 1987). Desta forma, faz-se necessário, segundo (AMARAL et al., 2003), a tomada de medidas de proteção especial para os poços e nascentes, sejam públicos ou privados. Ainda, de acordo com (FOSTER et al. 2006), é importante considerar que a água subterrânea é um recurso natural vital para o abastecimento econômico e seguro nos meios urbano e rural.

Portanto, prover a captação e fornecer água de qualidade para o abastecimento é de fundamental importância no desenvolvimento socioeconômico das cidades situadas na região do pampa. Considerando esses fatores, uma avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação é importante na análise de aquíferos. Atua de forma diagnóstica, a partir das características destes, avaliando sua capacidade de ser afetado por uma carga contaminante imposta.

Análises usando-se o estudo do mapeamento da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação já vem sendo realizados largamente no mundo todo (AFONSO et al., 2008; ALMARSI, 2008; AWAWEH e NAWAFLEH, 2008; THIRUMALAIVASAN e KARMEGAM, 2011) e no Brasil (HIRATA et. al., 1991; CUTRIM e CAMPOS, 2010; BARBOSA et al., 2007), associando-se as áreas de potencial poluidor segundo os licenciamentos cadastrados no site da Fundação Estadual de Proteção Ambiental – RS (FEPAM) servem, também, como subsídios técnicos para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos do município e uso e ocupação do solo.

Este trabalho tem como principal objetivo um estudo da vulnerabilidade através da técnica desenvolvida por FOSTER e HIRATA (1987) denominada de GOD (G – *Grau de confinamento hidráulico da água subterrânea/aquífero*; O – *Ocorrência de extratos de cobertura*; D – *Distância/Profundidade até o lençol freático*), na prevenção da contaminação dos aquíferos no município de Caçapava do Sul, Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1).

O município possui uma área total de 3.047.113 km<sup>2</sup> e população de 34.654 (IBGE 2015). Apresenta uma densidade demográfica de 11,06 hab/km<sup>2</sup>. A renda *per capita* é 18.021,00 (IBGE 2013) e a cidade pertence a macrorregião sul do país e mesorregião do Sudeste Rio-Grandense, inserida na microrregião das Serras de Sudeste.



**Figura 1** - Mapa de localização, principais rodovias e acessos da área de estudo.

### 3. METODOLOGIA

Para a avaliação do índice de vulnerabilidade através da técnica GOD é considerado o nível estático do aquífero, o meio onde encontra-se do aquífero e as litologias. Como todos os parâmetros possuem o mesmo grau de importância, pode-se determinar o Índice de Vulnerabilidade segundo a definição de FOSTER et al. (2006), onde TAVARES et al. (2009) estabelece etapas para a determinação do índice de vulnerabilidade:

- i) Grau de confinamento da água subterrânea;
- ii) Ocorrência de estratos de cobertura;
- iii) Distância da água subterrânea à superfície do terreno;

As três etapas indicam o índice de vulnerabilidade dos aquíferos em insignificante (0 a 0,1); baixo (0,1 a 0,3); médio (0,3 a 0,5), alto (0,5 a 0,7) e extremo (0,7 a 1,0).

A utilização desta técnica, além de proporcionar a determinação da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do município gerou, secundariamente, através da sistemática adotada os seguintes resultados:

- a) Quantidade de poços de águas subterrânea existentes na região e suas respectivas condições de funcionamento e atividades potencialmente poluidoras do município das águas subterrâneas;
- b) Mapas temático com dados de vulnerabilidade natural de contaminação dos aquíferos e potencial poluidor dos principais empreendimentos no município.

#### **a) Base de dados**

Inicialmente, para a criação da base de dados, foi utilizado:

- Dados do *Sistema de Informações de Águas Subterrâneas* (SIAGAS), (CPRM 2016);
- Dados dos 585 licenciamentos ambientais cadastrados na *Fundação Estadual de Proteção Ambiental* (FEPAM, 2016).

#### **b) Determinação do índice de vulnerabilidade e espacialização dos dados – mapas temáticos**

O banco de dados integrado foi gerado em *software* específico para dados em ambiente SIG. Uma planilha com fórmula pré-programada que multiplica os valores estabelecidos para cada parâmetro, gerando automaticamente o resultado final foi aplicada.

Estes resultados, inseridos em planilha própria do *software* Surfer v12 da GOLDENSOFTWARE (2012) foram interpolados nas áreas com ausência de dados amostrados. Para interpolação utilizou-se o método da Krigagem. De acordo com ISAACS E SRIVASTAVA (1989), consiste na análise de um semivariograma experimental, fornecendo, em média, estimativas não tendenciosas e com variância mínima.

Os produtos gerados pela interpolação serviram para a geração dos mapas espacializados e blocos diagrama. Tanto para georreferenciamento como para a geração dos mapas de vulnerabilidade, foi empregado o sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) utilizando *Datum* Horizontal SIRGAS 2000, zona 22 sul.

Todos os processamentos, análises e geração de mapas foram realizados utilizando-se *softwares* licenciados e de propriedade da Universidade Federal do Pampa – Campus Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise dos atributos i) cota do terreno; ii) geologia da área e iii) nível estático. O índice GOD final foi obtido e possibilitou a identificação de áreas mais sensíveis à contaminação e áreas com grande risco de contaminação.

Conforme apresentado na Tabela 1, as avaliações de *vulnerabilidade* variam de *insignificante a média*.

Este (UTM)	Norte (UTM)	Código do Poço (43000+)	Cota do Terreno (m)	Geologia	Nível Estatístico (m)	Índice de Vulnerabilidade "GOD"
260680	6628025	02184	380	Complexo Granítico- Gnáissico	3,00	0,43 Média
260720	6628000	02185	360	Complexo Granítico- Gnáissico	3,00	0,43 Média
261980	6625126	20715	385	Complexo Granítico- Gnáissico	2,00	0,14 Baixa
235253	6594764	20717	237	Formação Rio Bonito	3,00	0,45 Média
235296	6594815	20716	243	Formação Rio Bonito	18,00	0,40 Média
254788	6606400	20757	424	Complexo Granítico- Gnáissico	7,80	0,13 Baixa
258505	6614042	20758	407	Complexo Granítico- Gnáissico	70,00	0,10 Baixa
264391	6612773	20759	384	Complexo Granítico- Gnáissico	14,00	0,13 Baixa
260772	6627946	20760	370	Complexo Granítico- Gnáissico	3,00	0,14 Baixa
260668	6628031	20761	380	Complexo Granítico- Gnáissico	3,00	0,14 Baixa
269001	6616940	20762	155	Complexo Granítico- Gnáissico	3,00	0,16 Baixa

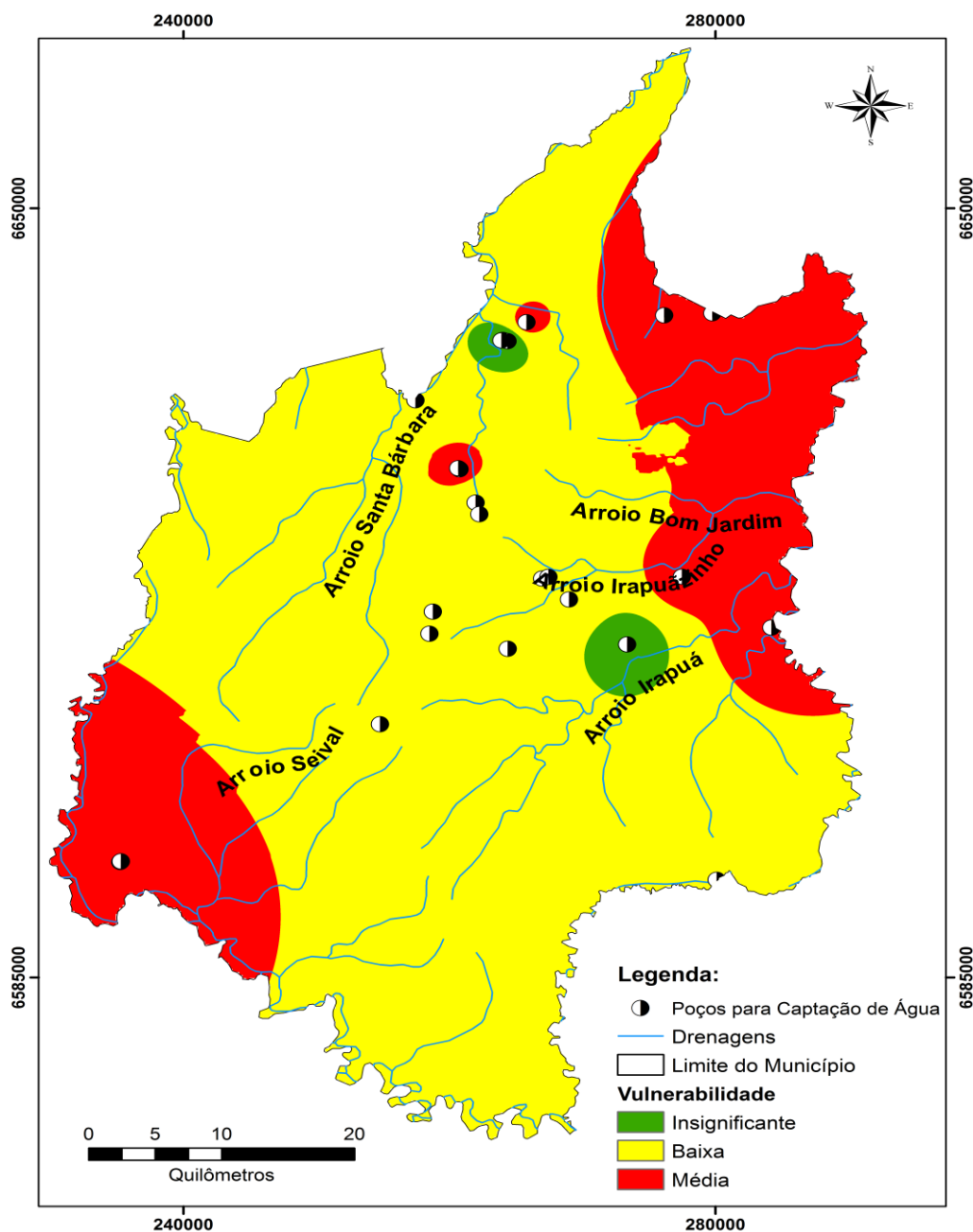
258760	6615918	20763	414	Complexo Granítico-Gnáissico	5,80	0,13 Baixa
284221	6614567	20764	88	Grupo Guaritas	8,00	0,40 Média
280106	6593251	20765	242	Complexo Granítico-Gnáissico	3,71	0,14 Baixa
273364	6613140	20766	147	Formação Hilário	9,00	0,08 Insignificante
264015	6638871	20767	170	Complexo Granítico-Gnáissico	6,00	0,13 Baixa
264370	6638761	20768	163	Formação Hilário	8,60	0,08 Insignificante
263921	6638834	20769	167	Formação Hilário	2,00	0,07 Insignificante
266979	6618706	20770	177	Complexo Granítico-Gnáissico	12,70	0,13 Baixa
267445	6618845	20771	161	Complexo Granítico-Gnáissico	6,00	0,13 Baixa
276148	6640954	21428	192	Formação Palermo	77,43	0,30 Média
277491	6618859	21445	175	Grupo Santa Bárbara	1,03	0,45 Média
257449	6633773	22738	227	Complexo Granítico-Gnáissico	6,00	0,13 Baixa
262254	6624142	22739	412	Complexo Granítico-Gnáissico	1,00	0,14 Baixa
265799	6640365	22740	122	Formação Palermo	45,00	0,35 Média
279768	6641133	23324	165	Formação. Rio Bonito	36,66	0,35 Média

**Tabela 1** - Poços de abastecimento do município de Caçapava do Sul usados na análise (CPRM/SIAGAS).

A partir desses índices, foi gerado o *Mapa de vulnerabilidade* do município (Figura 2). Pode-se observar os respectivos domínios apresentando áreas com grau de variação de *Insignificante a Média*, sendo:

- a) *Insignificante* (11%);
- b) *Média* (35%);
- c) *Baixa* (54%).

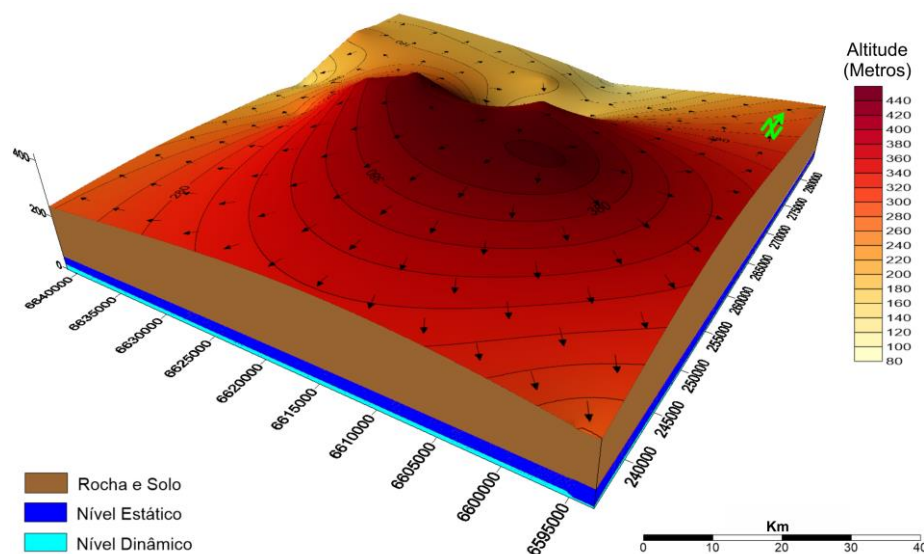




**Figura 2** - Mapa vulnerabilidade do aquífero gerado, domínios e áreas com potencial suscetibilidade à contaminação.

A partir dos dados processados os valores dos níveis *Estáticos* e *Dinâmicos* permitiram a geração de uma superfície com visualização 3D (Figura 3) com distinção da camada solo/rocha e a direção do escoamento superficial dos fluidos.





**Figura 3** - Bloco diagrama com visualização em 3D entre o nível estático *versus* dinâmico em relação a superfície e linhas de direções preferenciais de fluxo (escoamento superficial).

A integração com os dados da FEPAM possibilitou a definição de domínios com atividades impactantes para o meio ambiente e aquíferos conforme abaixo descritas:

- a) Agrossilvipastoril;
- b) Mineração;
- c) Infraestrutura e Transporte;
- d) Indústria e Saneamento.

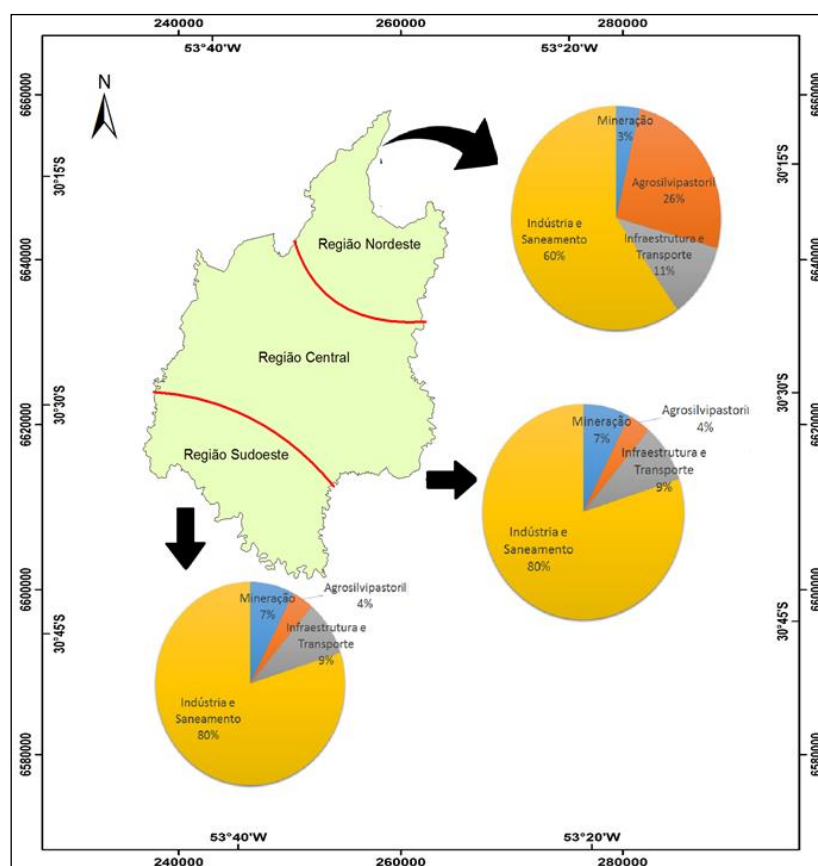
Estes elementos foram definidos em quatro grandes grupos (Tabela 2) que foram georreferenciados e permitiram gerar o *Mapa Integrado com Áreas Potenciais Poluidoras* onde os resultados espacializados podem ser visualizados (Figura 4). A partir desse mapa, foi delimitado três grandes regiões com suas respectivas características:

- *Região Nordeste* – empresas de laticínios, estocadoras de grãos, cultivo agroindustrial e pequenos produtores;
- *Região Central* – indústria, empresas de mineração e alimentos;
- *Região Sudoeste* - pequenos agricultores e pecuaristas.

Ramo do Empreendimento	Número de Empreendimentos	Média do Potencial Poluidor
------------------------	---------------------------	-----------------------------

Mineração	33	Médio
Agrossilvipastoril	66	Alto
Infraestrutura e Transporte	61	Médio
Indústria e Saneamento	425	Alto

**Tabela 2** - Quantidade e tipos de empreendimentos e seus respectivos Potenciais Poluidores.



**Figura 4** – Mapa Integrado com Áreas Potenciais Poluidoras dos principais empreendimentos do município.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A elaboração do mapa da vulnerabilidade do aquífero à contaminação através do método GOD integrado aos dados pré-existentes do SIAGAS e FEPAM contribuiu para o refinamento e compreensão dos aquíferos no Escudo Cristalino do município de Caçapava do Sul. Foi possível identificar regiões mais susceptíveis a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, que integrados a informações estruturais, pedológicas e petrográficas visam

minimizar impactos ambientais e propiciar otimização na locação, perfuração e construção de poços tubulares.

Os poços com maiores riscos de contaminação situam-se na região nordeste e sudoeste do município, enquanto as áreas menos vulneráveis situam-se nas áreas centrais.

A visualização 3D com as linhas de fluxo do escoamento superficial e distinção da camada solo/rocha – Nível Estático/Dinâmico permite definir que os aquíferos com menor altitude estão menos susceptíveis a contaminação.

Por fim sugere-se um cadastramento respeitando a importância da inserção de todas as informações de poços tubulares do município pelo órgão expedidor, assim como monitoramento ambiental constante dos empreendimentos. Estes poços tubulares são usados, na sua maioria, para o abastecimento humano e, principalmente, nas indústrias do setor primário como a agricultura e pecuária.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Luiz Augusto do et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista de Saúde Pública**, p. 510-514, 2003.

FEPAM – **Fundação Estadual de Proteção Ambiental – RS**, dados de licenciamento ambiental, disponível em < [www.fepam.rs.gov.br](http://www.fepam.rs.gov.br) > Acesso em 27 de junho 2016.

FOSTER, Stephen SD; HIRATA, Ricardo César; ROCHA, Gerônimo Albuquerque. Riscos de Poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. **Águas Subterrâneas**, 1987.

SELLER, L. E.; CANTER, Larry W. **Summary of Selected Ground Water Quality Impact Assessment Methods**. National Center for Ground Water Research, 1980.

TAVARES, Paulo Roberto Lacerda et al. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 2, 2009.