



## Zoneamento ambiental por geoprocessamento das áreas propícias ao uso e ocupação do solo no município de Faxinal do Soturno – RS

Diogo Silveira Kersten\*

Fabiano André Marion\*\*

José Américo de Mello Filho\*\*\*

**Resumo:** O estudo visa identificar, com o apoio do geoprocessamento, áreas propícias e de restrição ao uso e ocupação do solo no Município de Faxinal do Soturno – RS. Teve embasamento no modelo de avaliação ambiental por geoprocessamento, conforme Xavier da Silva (2001) com o uso do aplicativo SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental). Por meio deste, foram definidas áreas potenciais e de restrição à ocupação pela integração dos mapas de geologia, solos e áreas de preservação permanente. O mapa de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas foi obtido através da integração dos mapas: geologia, solos, declividade e nível estático das águas subterrâneas. Constatou-se assim que a zona urbana de Faxinal do Soturno situa-se, em uma área de vulnerabilidade média, onde são desenvolvidas atividades de potencial risco de contaminação. Encontrou-se com as avaliações e integrações uma área de 1.440,85 ha sem restrição ao uso e ocupação, e 2.666,82 ha de áreas com restrições no município em questão.

\* Doutorando em Ciências do Solo na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre em Geomática pela UFSM.

\*\* Professor Assistente da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE (Campus de Francisco Beltrão). Mestre em Geomática pela UFSM.

\*\*\* Professor no Departamento de Engenharia Rural da UFSM. Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

## Zoning by environmental geoprocessing Areas conducive use and occupation of the soil In the municipality of Faxinal do Soturno – RS

**Abstract:** The study aims to identify, with the support of GIS, prone areas and use restriction and occupation soil in the Municipality of Faxinal Soturno – RS. Based in the environmental assessment model for geoprocessing, according Xavier da Silva (2001) using the SAGA application (System of Analysis Geo-Environmental). Hereby, potential areas and restriction on occupation are defined by integration of geological maps, soils and areas of permanent preservation. The map of natural vulnerability of groundwater was obtained by integrating the maps: geology, soils, slope and static groundwater level. It was found that the urban area of the Faxinal Soturno is located in an area of medium vulnerability, where are developed potential contamination risk activities. So with assessments and integrations, found an area of 1.440.85 ha without restriction on use and occupation, and 2666.82 ha of areas with restrictions in the municipality in question.

### Palavras-chave:

Vulnerabilidade natural das águas subterrâneas; SIG; avaliação ambiental.

### Key-Words:

Natural vulnerability of groundwater; GIS; environmental assessment.

## Introdução

Com o desenvolvimento urbano, a percepção do ambiente mudou drasticamente, a natureza começou a ocupar uma posição de subserviência em relação à humanidade. Passou a ser conhecida com a finalidade de ser dominada e explorada. A parte da ambiência considerada inútil era estudada basicamente para satisfazer a curiosidade das pessoas a respeito do seu mundo.

Um importante recurso natural hoje utilizado para o abastecimento de água das áreas urbanas e rurais são as águas subterrâneas, obtidas através da perfuração de poços, e/ou, captações como cacimbas, mananciais, “olhos d’água”, fontes. Visto que as águas superficiais que também são utilizadas no abastecimento tornam-se cada vez mais poluídas, (alteradas) e, dependendo da região, há uma baixa distribuição espacial devido à irregular frequência das chuvas e suas precipitações dispersas.

Por isso torna-se crescente a demanda pela busca de águas subterrâneas para o abastecimento da população. Essas captações, quando mal manejadas ou abandonadas, tornam-se ponto potencial de contaminação. “No ano de 2005, as estimativas eram de que existiam no Brasil, pelo menos, 400.000 poços distribuídos por todo o País”, conforme Zoby e Oliveira (2005).

A contaminação das águas subterrâneas devido ao descuido no consumo acaba sendo corriqueira, pois a população, de maneira geral, possui pouco conhecimento sobre os recursos hídricos subterrâneos e por isso acredita, em sua maioria, que dispensam maiores cuidados na sua utilização, incluindo as suas potencialidades. ‘Para isso, tornam-se necessários estudos que orientem e planejem a exploração das águas subterrâneas, alicerçadas na prevenção à sua poluição’ (MARION et al, 2010).

Como instrumento de proteção dos recursos hídricos subterrâneos, ‘o mapeamento da vulnerabilidade natural serve como ferramenta que espacializa áreas com maior suscetibilidade à contaminação, considerando o uso e a ocupação da superfície do terreno onde se desenvolvem as atividades de transformação dos recursos naturais’ (FOSTER; HIRATA, 1993). ‘Frente à sua grande importância no planejamento territorial’, conforme o Código Estadual do Meio Ambiente, Lei Estadual nº 11.520/2000, as áreas vulneráveis a contaminação, deverão ser indicadas na elaboração de Planos Diretores e demais instrumentos de planejamento urbano e rural.

O conhecimento das características naturais deste meio aquífero é indispensável para estabelecer sua potencialidade e suscetibilidade diante das dinâmicas antropogênicas, informações estas indispensáveis para o gerenciamento adequado e racional, com vistas ao bem estar socioambiental e o desenvolvimento municipal.

A localização de atividades produtoras de cargas contaminantes potenciais, em áreas sobrejacentes ao aquífero, como postos de combustível, lavagens de automóveis, indústrias que produzem resíduos químicos, entre outros, evidencia a importância da ampliação dos estudos para a compreensão e entendimento do comportamento e gestão do uso e ocupação do solo. Os fatores citados justificam a execução deste trabalho, salientando as possibilidades de impacto aos recursos hídricos subterrâneos a partir das variadas atividades desenvolvidas no município, que podem vir a provocar a alteração de qualidade das águas em determinadas condições.

Tais diagnósticos buscam, entre outros fins, servir como subsídio à análise de processos de outorga e licenciamento ambiental de empreendimentos que utilizem água subterrânea e o subsolo para disposição de resíduos capazes de alterar a qualidade desses recursos, e ainda a gestão racional dos recursos naturais. Nesse sentido, a avaliação ambiental traz subsídios na elaboração de planos de gestão. Para Xavier da Silva (2001), “trata-se de um caso particular de situação ambiental, geralmente associada a estimativas de riscos e usos potenciais do meio ambiente”.

O mapeamento das áreas de risco ambiental é fundamental na alocação de atividades

humanas, e devem constar nos instrumentos de planejamento. Esses locais de risco, quando ocupados pelo homem, podem desencadear ou acelerar tais danos ambientais, por isso, faz-se de suma importância a identificação e restrição dessas áreas ao uso e ocupação. Os resultados obtidos nas avaliações podem ser hierarquizados, quantificados e espacializados, de modo a servir de base na tomada de decisão do poder público, ao definir áreas favoráveis à ocupação, áreas de restrição e na identificação e mitigação de possíveis conflitos. Assim, o presente estudo, visa identificar por geoprocessamento, áreas propícias e de restrição ao uso e ocupação do solo no município de Faxinal do Soturno - RS.

## Materiais e métodos

### *Caracterização da área de estudo: o Município de Faxinal do Soturno*

O município de Faxinal do Soturno está localizado na região central do Rio Grande do Sul, na Depressão Central e Rebordo do Planalto Meridional, faz divisa com Nova Palma a norte, Ivorá e Silveira Martins a oeste, São João do Polêsine a sul e Dona Francisca a leste. De acordo com a FEE (2011) ‘possui uma população total de 6.669 habitantes e uma área total de 169,9 Km<sup>2</sup>, o que corresponde a uma densidade demográfica de 39,2 hab./Km<sup>2</sup>’.

Integra a região da Quarta Colônia de Imigração Italiana, formada por nove municípios: Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Ivorá, Nova Palma, Pinhal Grande, Restinga Seca, São João do Polêsine e Silveira Martins, conforme a figura 1.

O clima do município segundo a classificação climática de Köppen é a variedade climática tipo Cfa, clima subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas e média anual de 1.769 mm, sendo a temperatura do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio superior a – 3°C (AYOADE, 1986). Ainda, os verões são quentes, sem estação seca definida, precipitação regular, sendo os meses menos chuvosos março, novembro e dezembro. O município de Faxinal do Soturno está situado sobre o Rebordo do Planalto, o qual é composto basicamente por rochas basálticas e secundariamente por areníticas, formado por sucessivos derrames de lavas da Era Mesozoica. ‘Essas lavas deram origem a rochas efusivas continentais, comumente basaltos, com diques e corpos tabulares de diabásio, cujo conjunto é denominado de Formação Serra Geral’, conforme Müller Filho (1970).

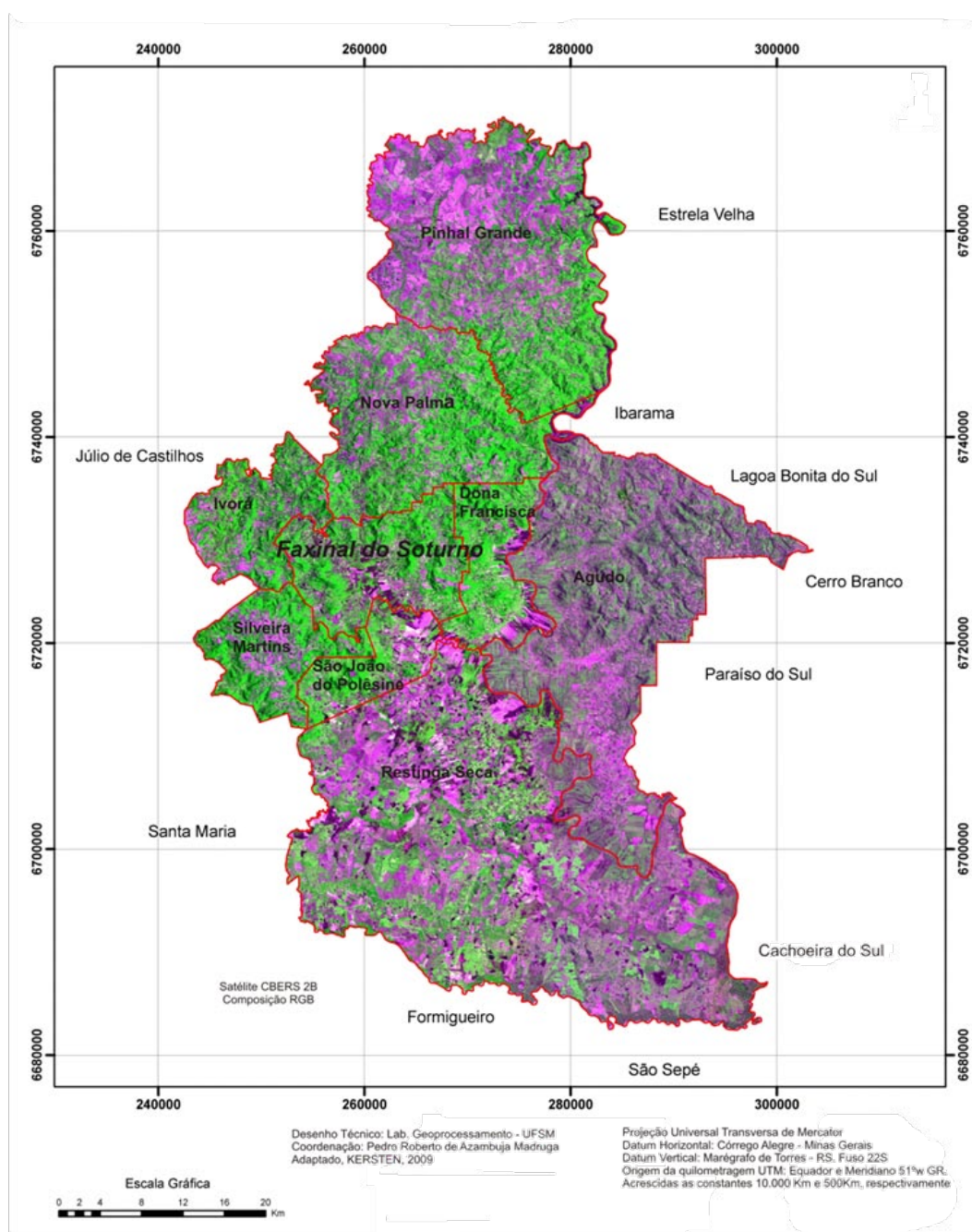
Com base em Silvério da Silva et al. (2004) “as rochas sedimentares clásticas pertencentes à Depressão Central do Estado Rio Grande do Sul formam aquíferos do tipo poroso granular”. Como exemplo, a Formação Botucatu, composta de arenitos finos a médios, bem selecionados, constituídos em geral por mais de 95% de areia quartzosa, apresentando uma elevada relação porosidade/permeabilidade. Em razão do arredondamento dos grãos podem apresentar vazões elevadas, mas apresentam elevado risco à contaminação. Araújo et al., (1995) ‘citou uma porosidade do Aquífero Botucatu de ordem de 17 a 30%’. Conforme Oliveira (1998), as formações geológicas mostram um mergulho de 5° em direção ao centro da Bacia Sedimentar do Paraná.

Ainda Silvério da Silva et al., (2004) “consideram os derrames vulcânicos pertencentes à Formação Serra Geral como aquífero do tipo Cristalino Fissural, constituído por rochas maciças”. Apresentam uma baixa porosidade primária em torno de 1%. Mas que podem apresentar uma porosidade secundária constituída por amígdalas, vesículas e brechas. Lembram que as rochas ácidas apresentam fissuras tabulares enquanto que nas básicas há predominância de fissuras verticais. O que conduz com facilidade a água de infiltração por ação gravitacional.

A configuração natural da região é mais propícia a algumas culturas, como o arroz irrigado, pois as margens dos rios são planas, como a do rio Jacuí e seus afluentes (resultantes da acumulação fluvial), e há áreas brejosas sujeitas a inundações periódicas (várzeas atuais ou áreas levemente inclinadas), ideais para este cultivo.

Segundo Machado e Fitz, (2001), o Município de Faxinal do Soturno possui quatro tipos de solos. Classificados como: Argissolo vermelho amarelo (PVA<sub>b</sub>) apresenta um horizonte sub-superfície mais argiloso no perfil. Os argissolos são solos geralmente profundos a muito profundos, variando de drenados a imperfeitamente drenados; o Alissolo hipocrômico argilúvico (AP<sub>t</sub>), são comuns na região da Depressão Central, sendo medianamente profundos, originados, principalmente de siltitos e arenitos, de textura média. Sua ocorrência é em relevo suavemente ondulado. São solos com acidez elevada na maior parte do perfil; já o Planossolo hidromórfico eutrófico (SG<sub>e</sub>), são solos imperfeitamente ou mal drenados, encontrado em áreas de várzea, com relevo plano a suave ondulado. Este solo muito se destina para agricultura irrigada, em especial a cultura do arroz; Chernossolo argilúvico férrico (MT<sub>f</sub>), são solos rasos a profundos, caracterizam-se por apresentarem razoáveis teores de matéria orgânica, o que confere cores escuras ao horizonte superficial.

**Figura 1** – Carta imagem da 4ª Colônia de Imigração Italiana.



## Procedimentos Técnicos

Para a identificação da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, foram levantados dados primários e de dados pré-existentes referentes aos poços tubulares de captação d'água, disponíveis via on-line (<http://www.siangas.cprm.gov.br>) pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (SIAGAS), Informa-se que em seu cadastro, o SIAGAS/CPRM utiliza 10 dígitos como código identificador (o ID do poço), sendo para o Estado do Rio Grande do Sul esse código iniciado com o número 43.

O passo seguinte foi a realização das pesquisas de campo através de um 'levantamento cadastral dos poços tubulares, conforme previsto no Art. 134 do Código Estadual do Meio Ambiente' utilizando-se, para isso, o receptor de sinal GPS (*Global Position System*).

A partir destas informações, foi gerado um banco de dados georreferenciados com as informações: identificação do poço, proprietário, cota altimétrica, coordenadas UTM, profundidade, localidade, formação geológica e nível estático dos poços, os quais foram organizados e tabulados numa planilha do aplicativo Microsoft Excel 2007. Após, esse banco de dados foi integrado com o mapa base do município, com a utilização do aplicativo computacional ArcMap do ArcGIS 9.2.

Para a extração das informações como limite municipal, estradas, rede de drenagem e limite urbano, foram utilizadas cartas topográficas da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército), Folha de Faxinal do Soturno (SH.22-V-C-V-1), de Nova Palma (SH.22-V-C-II-3), de Val de Serra (SH.22-V-C-I-4), e a carta de Camobi (SH.22-V-C-IV-2), ambas na escala 1:50.000. As cartas topográficas foram transferidas do modo analógico para digital via "scanner". No programa ArcMap do ArcGIS 9.2, realizou-se o georreferenciamento das cartas, para posteriormente fazer a digitalização dos temas, e após, inserir as coordenadas dos poços cadastrados.

Para a avaliação da vulnerabilidade natural, foi utilizado o Nível Estático de 28 poços, obtidos por meio de dados pré-existentes SIAGAS/CPRM e dados obtidos em campo com o uso do freatímetro sonoro Jacirí, o qual possibilita medir o nível freático do poço até 100 m de profundidade. O intervalo de classes e os pesos, foram adaptados do método DRASTIC, fundamentado em Aller et al (1987), para a situação do município de Faxinal do Soturno.

Para realizar as avaliações ambientais, foi necessária a elaboração dos mapas de geologia, solos, declividade e do nível estático da água, para assim, poder-se realizar as interações por geoprocessamento, a fim de identificar a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas. "Tal metodologia, baseia-se na análise ambiental por geoprocessamento", conforme especifica Xavier da Silva e Carvalho Filho (1993).

Para a realização da interação dos mapas, a partir dos pesos e das notas, foi utilizado o aplicativo SAGA 2007. Nele, ao realizar uma avaliação de forma direta, cada classe dos mapas recebe uma nota, de acordo com a possibilidade de associação da classe com o fenômeno estudado. Como produto final, tem-se a geração de um mapa onde cada pixel contém o respectivo resultado do cálculo da média ponderada, apresentando classes que variam de 0 a 10, de acordo com o intervalo escolhido para as notas.

Para a realização dessa aplicação, utilizou-se o módulo Avaliação do SAGA 2007, pela atribuição de pesos aos mapas, conforme o grau de importância, e notas para as suas respectivas classes, conforme tabela 1. As classes não importantes para a avaliação foram bloqueadas, ou seja, foram excluídas do processo avaliativo, porém, registradas no mapa final.

Depois de distribuídos corretamente os pesos, inicia-se a avaliação, para a qual se escolheu a opção com relatório, a qual gera um arquivo "txt" que registra todas as integrações efetuadas entre as planimétricas e possibilita uma análise mais aprofundada do mapa gerado.

Para definição do Risco Ambiental, utilizaram-se os mapas de Geologia e Solos, alocando assim as áreas com riscos a erosão e desmoronamentos, de acordo com as características naturais. Possibilitou-se, com a interação do mapa de proximidades aos cursos d'água (30 metros para os cursos d'água e 50 para as nascentes) e o mapa da Declividade do terreno (declividades acima de 45°), elaborar o Mapa de APP (Áreas de Preservação Permanente), conforme especifica legislação ambiental brasileira vigente na realização do trabalho.



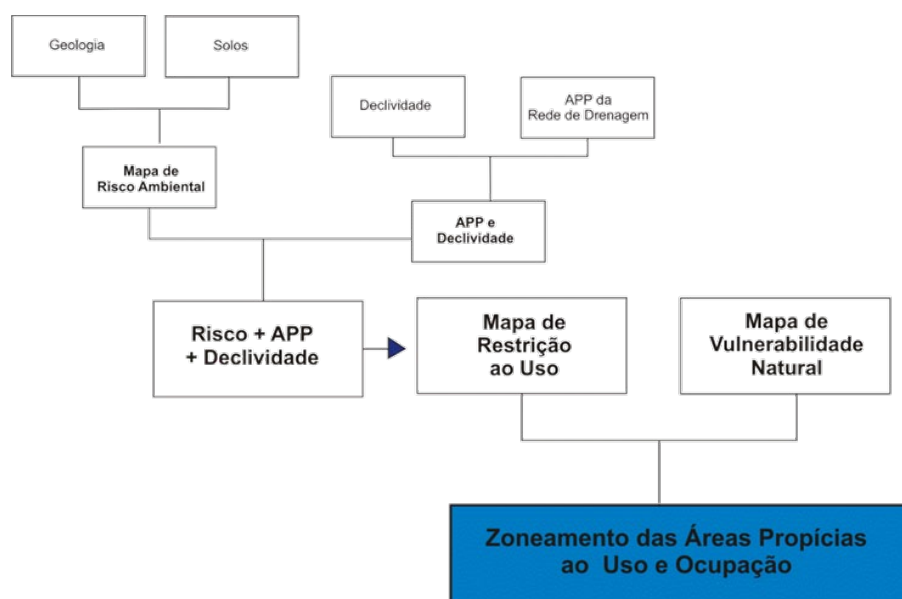
Tabela 1 – Notas e pesos usados na avaliação da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas.

Peso	Variável e fundamentação	Classe	Nota
30 %	<b>Profundidade da água subterrânea</b> (Aller et al., 1987)	0 – 1,5 m	10
		1,5 – 4,6 m	9
		4,6 – 9,1 m	7
		9,1 – 13 m	5
		13 – 18 m	4
		18 – 23 m	3
		23 – 31 m	2
		>31 m	1
30 %	<b>Geologia</b> (Aller et al., 1987; Maciel Filho, 1990)	Formação Botucatu	8
		Depósitos Fluviais de várzea	6
		Fm. Serra Geral	2
		Grupo Rosário	4
15 %	<b>Declividade</b> (Aller et al., 1987)	0 – 1 °	10
		1 – 3 °	9
		3 – 5 °	5
		5 – 10 °	3
		> 10 °	1
25 %	<b>Solo</b> (Machado e Fetz, 2001)	APt	6
		PVAb	4
		SGe	3
		MTf	3

Fonte: adaptado pelos autores com base em (Aller et al., 1987; Maciel Filho, 1990; Machado e Fetz, 2001).

Pela interação do mapa de Risco Ambiental com o mapa de APP e Declividade, foi elaborado o mapa de Risco + APP + Declividade, que se nomeou Mapa de Restrição ao Uso. De posse do Mapa de Restrição ao Uso foi realizada a interação com o Mapa de Vulnerabilidade Natural das águas subterrâneas, gerando assim o mapa ‘Zoneamento das Áreas Propícias ao Uso e Ocupação para o município de Faxinal do Soturno’. A seguir é ilustrada na Figura 2 com o fluxograma de interação das variáveis para elaboração do Mapa de Zoneamento das Áreas Propícias ao uso e ocupação.

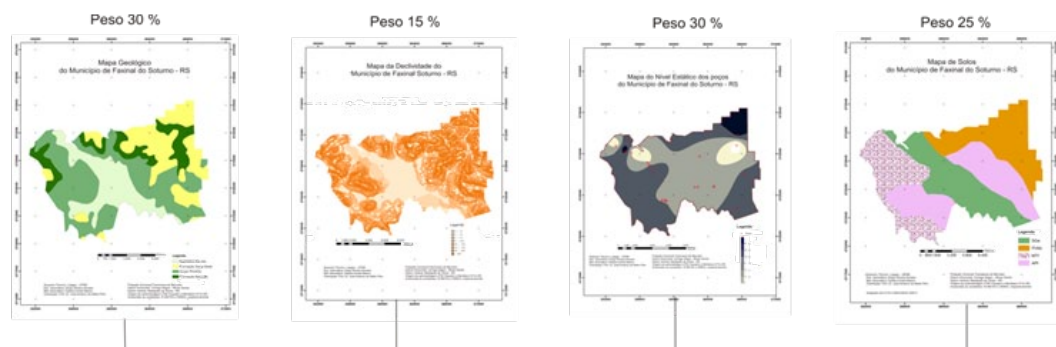
Figura 2 – Fluxograma para elaboração do mapa final



## Resultados

Na figura 3 podem-se visualizar os mapas elaborados para realizar tal avaliação com seus respectivos pesos, atribuída conforme a sua importância. Esta integração gerou o Mapa de Vulnerabilidade Natural e alocou as áreas mais propícias a contaminação por atividades potencialmente contaminantes.

**Figura 3**— Mapas utilizados e seus respectivos pesos para obtenção do Mapa da Vulnerabilidade Natural das águas subterrâneas.



Fonte: elaborado pelos autores.

No que se referem à avaliação da vulnerabilidade natural, as notas resultantes oscilaram entre 2 a 8. 'As classes de vulnerabilidade foram baseadas em (FOSTER; HIRATA, 2003), que vão de 0 a 1'. Para adaptarem-se as notas geradas pelo aplicativo SAGA, multiplicou-se essa escala por 10. Assim, as notas resultantes da avaliação entre 2 (nota mais baixa obtida) a 3, foram definidas como de vulnerabilidade baixa. A partir da nota 4 até a nota 5, definiu-se como de Média Vulnerabilidade. Já as notas 6 e 7, foram definidas como de Vulnerabilidade Alta, e acima de 7,5 classificada como Extrema Vulnerabilidade, conforme a tabela 2.

**Tabela 2**— Hierarquia das classes de vulnerabilidade natural determinadas no zoneamento.

Classe de Vulnerabilidade Natural	Notas obtidas na avaliação	Área (%)
Baixa	2–3	23,5 %
Média	4–5	54,3 %
Alta	6–7	22,05 %
Extrema	8	0,15 %

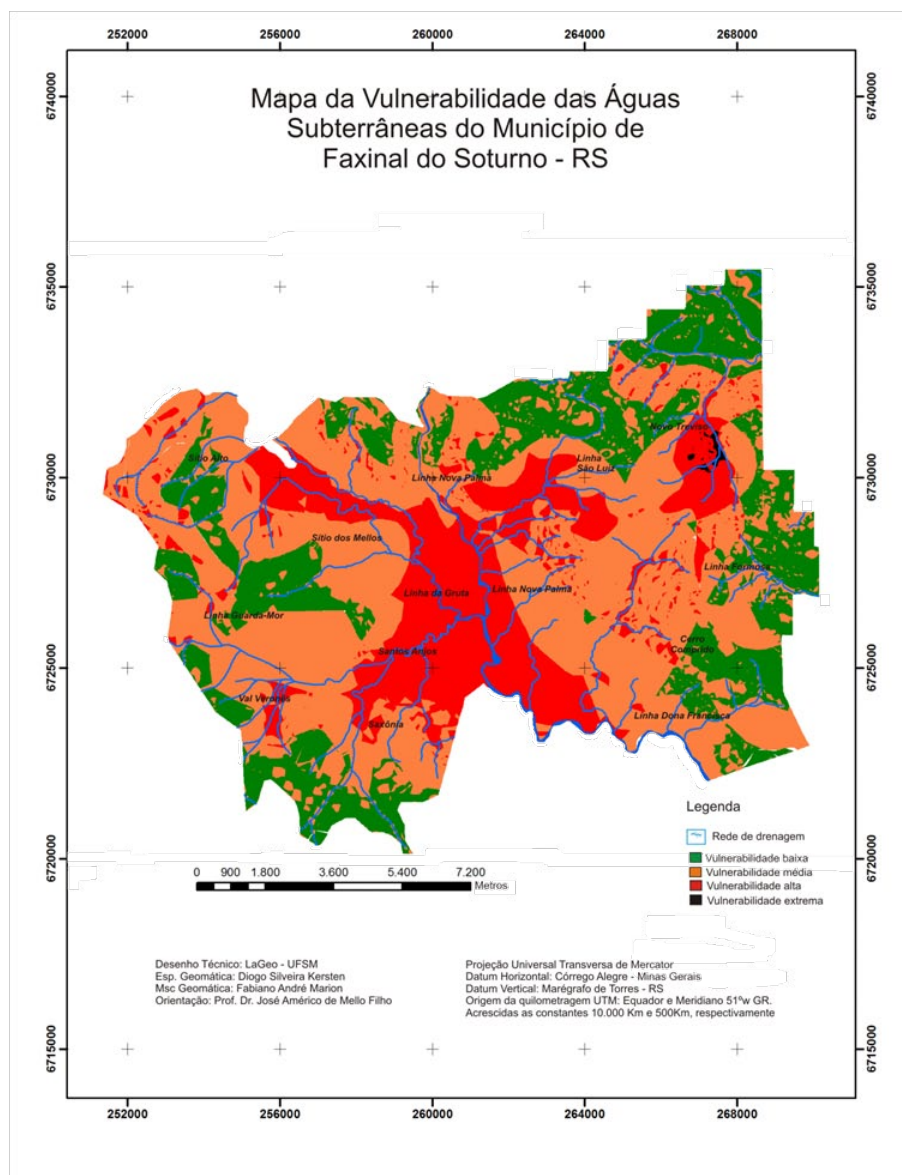
Fonte: elaborado pelos autores.

Observou-se com o uso desta técnica que, no município de Faxinal do Soturno, predomina a classe Vulnerabilidade Média, em cor laranja no Mapa da Vulnerabilidade Natural (figura 4), com 54,3 % de abrangência sobre a área, o que corresponde a mais da metade da área total do município de Faxinal do Soturno de 170,20 km<sup>2</sup>. Já a Vulnerabilidade Alta possui 22,05 % de abrangência, a qual ocorre em sua maior concentração a oeste do limite da área urbana, acompanhando a Planície Aluvial ou a várzea do rio Soturno da área em estudo. E a Vulnerabilidade Extrema, com 0,15% da área municipal, ilustrada na cor preta, a nordeste do mapa da figura 4.

Na área de Vulnerabilidade Alta, situada a oeste da cidade, e representada pela cor vermelha, é desenvolvida a maioria das atividades agrícolas, e onde há também poços tubulares que abastecem a população rural. Já a Vulnerabilidade Baixa foi identificada em algumas regiões

alocando-se ao entorno do limite municipal, porém afastada da área urbana, cobrindo 23,5% do município (representada pela cor verde). Em termos de conservação das águas subterrâneas, os locais com Baixa Vulnerabilidade são os mais adequados para a ocupação urbana, a qual suportaria a quantidade de nitrato gerada pelos dejetos do homem e/ou animais, que também constitui um potencial poluidor.

**Figura 4** – Mapa de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas



Fonte: elaborado pelos autores.

Não foi encontrada combinação que resultasse em Vulnerabilidade Desprezível. Isso ocorreu porque as menores notas atribuídas para as variáveis com maior importância, a Geologia, foram 2,35; e nível estático foi 2,4 referente à Formação Serra Geral, e SGe Planossolo hidromórfico eutrófico consecutivamente, o que elimina a possibilidade de gerar combinação que resultasse em notas inferiores a 2,0.

Nas áreas identificadas como de Alta e de Extrema vulnerabilidade, é recomendável a realização de análises da água com frequência, para assim garantir que a população inserida em tais áreas não esteja consumindo uma água que pode estar com suas características de potabilidade



alteradas, devido, pois, haver alguma atividade contaminante que esteja causando tais mudanças na qualidade da água.

Houve, também, a combinação de variáveis que pudessem gerar notas acima de 7,0 (Vulnerabilidade Extrema). Cabe ressaltar que, conforme Hirata (2002), ‘áreas com vulnerabilidade extrema são consideradas como áreas de proteção imediata, e recomendado que nas mesmas seja restrita qualquer atividade que possa oferecer risco de contaminação aos aquíferos’.

Pela análise do relatório final, a combinação que mais contribuiu para a identificação da Vulnerabilidade Alta foi principalmente da classe de formação geológica: “Fm. Botucatu, e os Depósitos Aluviais” rochas sedimentares clásticas com alta relação porosidade/permeabilidade e, portanto, fonte de maior risco de contaminação”, conforme assevera Silvério da Silva et al. (2004). E, ainda, o solo classificado, segundo Machado e Fitz (2001), ‘como Argissolo Vermelho Amarelo (PVAb), uma vez que esses solos são geralmente profundos a muito profundos, variando de drenados (maior risco a contaminação) a imperfeitamente drenados (menor risco de contaminação)’, e que recebeu nota 4, na tabela 1.

Outras combinações, como as ocorridas entre a Fm. Botucatu, Declividade de

0 - 2 % e o Solo PVAb, obtiveram notas superiores a 7,0, estas classificadas como Vulnerabilidade Extrema.

Os riscos ambientais são as formas de reação do ambiente ao uso inadequado, quer seja por alteração lenta e progressiva das condições ambientais, por fenômenos ou catástrofes naturais, ou por ação antrópica. Estimativas de riscos de diversos tipos podem ser combinadas, o que pode gerar a identificação de áreas críticas, com diferentes níveis de risco ambiental.

Num primeiro momento, para avaliação das áreas de risco ambiental, realizou-se uma interação, a partir da lógica Booleana, entre o Mapa Geológico e o Mapa de Solos, resultando-se nas seguintes classes de Risco conforme fluxograma Kersten (2009):

*Risco Extremo* - esta definição foi assim classificada devido às suas características, com relação ao solo por ser susceptível a erosão, e associado com a formação geológica de caráter arenítico a qual pode, além de provocar escorregamentos de encostas, ter característica de ser propícia à lixiviação superficial, pela qual poderá afetar a qualidade das águas subterrâneas.

*Alto Risco* - mesmo estando em uma geologia constituída pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, encontra-se em região com solo APt, o qual tem características de drenagem imperfeita e susceptibilidade à erosão, conforme Machado e Fitz, (2001).

*Baixo Risco* - as áreas de Baixo Risco são propícias para o uso e ocupação, porém com algumas restrições.

*Áreas Propícias* - as áreas propícias ao uso e ocupação são adequadas a esse fim por seus fatores ambientais manterem-se aptos e suportarem com mais eficiência as atividades antrópicas, sem comprometimento dos elementos naturais, fundamentais à qualidade de vida. Na tabela 3 encontram-se as classes do Mapa de Risco Ambiental, com as respectivas áreas em hectares.

**Tabela 3** – Classes dos riscos ambientais

<b>Id</b>	<b>Classes</b>	<b>Area (ha)</b>
<b>1</b>	<b>Risco Extremo</b>	<b>2.278,90</b>
<b>2</b>	<b>Alto Risco</b>	<b>4.636,92</b>
<b>3</b>	<b>Baixo Risco</b>	<b>5.738,59</b>
<b>4</b>	<b>Áreas Propícias a uso e ocupação</b>	<b>4.345,79</b>

Fonte: elaborado pelos autores.

Após a elaboração do Mapa de Riscos Ambiental, o mesmo foi interagido com o mapa das Áreas de Preservação Permanentes (APP), foi elaborado a partir da combinação do Mapa de Declividade com o Mapa das Áreas de Preservação Permanente, conforme a legislação ambiental que determina uma faixa marginal ao longo dos cursos d'água, assim como um raio de 50 metros nas nascentes, além das encostas acima de 45° de declividade. A tabela 4 apresenta as classes do Mapa de APP, suas aglutinações e suas áreas respectivas.

**Tabela 4** – Mapa da Declividade com Mapa APP da Rede de Drenagem = APP

Id	Classes	Classes Aglutinadas	Áreas (ha)
1	> 45°+APP_h	APP	30,61
2	25 - 45°+APP_h	APP	105,5
3	10 - 25°+APP_h	APP	179,97
4	0 - 10°+APP_h	APP	1212,45
5	> 45°+Fundo	APP	1863,69
6	25 - 45°+ Fundo	Área de Conservação	3286,04
7	10 - 25°+ Fundo	Uso Restrito	4282,51
8	0 - 10°+ Fundo	Área Propícia	6039,43

*Fundo* = área não classificada como APP.

*APP\_h*: Área de Preservação Permanente das matas ciliares

Fonte: elaborado pelos autores

Para classificação das Áreas de Preservação Permanente, foi selecionada como APP uma faixa de 100 metros ao longo do rio Soturno e de 30 metros, em ambos os lados dos demais rios, e uma área de 50 metros de raio para as nascentes, além das de declividade acima de 45°. Conforme legislação ambiental vigente, essas áreas são inadequadas para qualquer tipo de uso e ocupação.

A tabela 5 mostra as classes aglutinadas e suas respectivas áreas, estas encontradas pela integração do Mapa de APP com o Mapa das Áreas de Risco Ambiental.

**Tabela 5** – Classes aglutinadas da integração Mapa APP com Áreas de Risco Ambiental

Id	Classes	Classes Aglutinadas	Áreas (ha)
1	APP + Área de Conservação APP + Uso Restrito APP + Área Propícia	APP	3.376,775
2	Risco Extremo + Área de Conservação Risco Extremo + Uso Restrito Risco Extremo + Área Propícia	ÁREA INADEQUADA	2.781,895
3	Risco Alto + Área de Conservação Risco Alto + Uso Restrito Risco Alto + Área Propícia	ÁREA INADEQUADA	1.896,655
5	Risco Médio + Área de Conservação Risco Médio + Uso Restrito Risco Médio + Área Propícia	ÁREA COM RESTRIÇÃO DE USO	2.568,565
6	Risco Baixo + Área de Conservação Risco Baixo + Uso Restrito	ÁREA COM RESTRIÇÃO DE	4.601,635
	Risco Baixo + Área Propícia	USO	
7	Área propícia + Área Propícia	ÁREA PROPÍCIA	1.774,675

As classes aglutinadas com maior representação na área de estudo formaram a Área com Restrição de Uso, que ocupa 4.601,635 ha, ou cerca de 27% da área total do município. Para a elaboração do Mapa Zoneamento das Áreas Propícias ao Uso e Ocupação, foi realizada a avaliação complexa entre o Mapa de Restrição ao Uso com o Mapa de Vulnerabilidade Natural, com o objetivo de alocar áreas de menor risco e áreas mais propícias, tanto ao uso agrícola como a ocupação de residências, indústrias dentre outros.

O Zoneamento Ambiental que determinou quais as áreas propícias ao uso e ocupação do solo, no município de Faxinal do Soturno, que expressa a avaliação complexa de integração temática por geoprocessamento, possibilitou identificarem-se as seguintes classes baseado em metodologia de Xavier da Silva (2001):

*Área de Preservação Permanente (APP):* As Áreas de Preservação Permanente são áreas de grande importância ecológica, cobertas ou não por vegetação nativa, que têm como função preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica dos taludes, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar da população humana. Esta identificada no município como sendo a faixa marginal das matas ciliares, e as declividades acima de 45°, conforme Lei Federal nº 7.803/89.

*Áreas Inadequadas ao Uso:* Estas áreas são inadequadas ao uso por estarem situadas sob condições de Alta e de Extrema Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, associadas com áreas de conservação, áreas com declividades entre 25° e 45°, ou seja, constituídas por áreas íngremes, impedem o tráfego de máquinas agrícolas e o escoamento superficial é sempre muito rápido, podendo também os solos ser suscetíveis à erosão hídrica.

*Alta Restrição ao Uso:* Mesmo estando em algumas áreas propícias ao uso, em função de declividade, estas áreas se encontra também em regiões com uma alta vulnerabilidade natural a contaminação dos aquíferos, como também em regiões inadequadas ao uso e podem, também, estar em áreas de conservação.

*Média Restrição ao Uso:* Está identificada com média restrição por se alocar em área de média vulnerabilidade natural e em uma área que pode estar sob condições de conservação com uso restrito.

*Baixa Restrição ao Uso:* Estas áreas inserem-se em regiões com uma baixa vulnerabilidade natural e em áreas classificadas com alguma restrição de uso.

*Áreas Propícias ao Uso e Ocupação:* São áreas de baixa declividade, e que não oferecem dificuldades ao desenvolvimento de atividades agrícolas, e também se inserem em regiões classificadas como áreas propícias a ocupação, por ser também de baixa vulnerabilidade natural das águas subterrâneas.

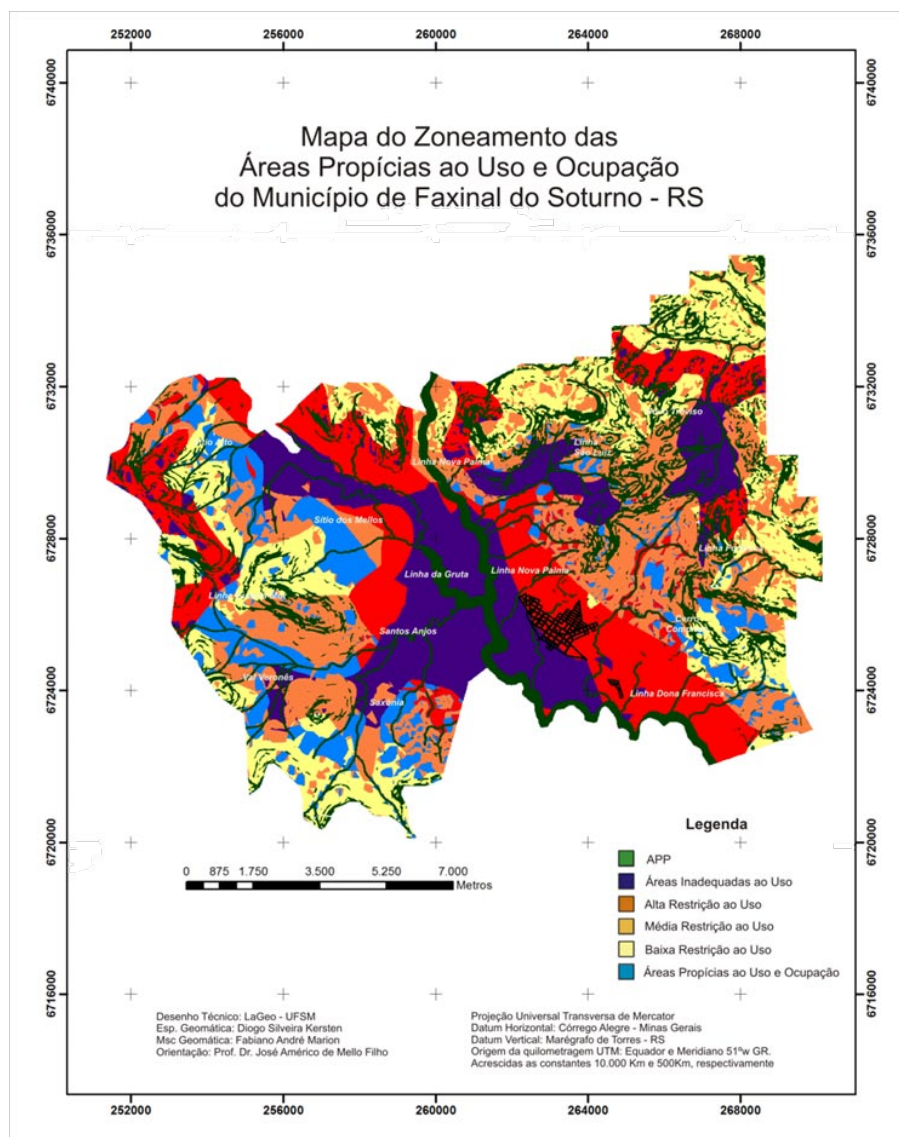
Para se permitir realizar os diagnósticos que indicaram algumas variáveis ambientais do município de Faxinal do Soturno, procedeu-se à identificação das condições ambientais físicas para identificar o contexto da possível vulnerabilidade ambiental dos recursos naturais subterrâneos. Formou-se, como resultado de várias análises e interações como, por exemplo, o Mapa do Zoneamento das Áreas Propícias ao Uso e Ocupação no município, onde foi elaborado o Mapa do Zoneamento das Áreas Propícias ao uso e Ocupação do Município de Faxinal do Soturno, que pode ser visualizado na figura 5.

Para melhor compreensão das análises, foi realizada a quantificação das áreas de cada classe encontrada na avaliação (tabela 6).

Por meio dela, identificou-se que somente 8,66% da área total do município estão aptos a destinação de uso e ocupação sem restrições, associada com uma

baixa vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação. Porém, com certos e rigorosos cuidados, pode àquela classe ser acrescida, para uso e ocupação, a classe de Baixa e Média Restrição, que unidas formam 37,06% da área municipal.

Figura 5 – Mapa do zoneamento das áreas propícias ao uso e ocupação.



Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 6 – Classes com suas respectivas áreas.

CLASSES	AREA (ha)	AREA (%)
<b>APP</b>	<b>3.361,84</b>	<b>19,77</b>
<b>Área Inadequada ao Uso</b>	<b>2.697,19</b>	<b>15,86</b>
<b>Alta Restrição</b>	<b>3.171,80</b>	<b>18,65</b>
<b>Média Restrição</b>	<b>3.497,83</b>	<b>20,58</b>
<b>Baixa Restrição</b>	<b>2.800,34</b>	<b>16,48</b>
<b>Áreas Propícias ao Uso e Ocupação</b>	<b>1.471,22</b>	<b>8,66</b>

Fonte: elaborado pelos autores.

Encontrou-se uma área de aproximadamente 20% do município como Áreas de Preservação Permanente, estas por representarem as matas ciliares e declividades acima de 45° que, são protegidas pela legislação ambiental. As classes Área Inadequada ao Uso e a classe Alta Restrição ao Uso pelas análises e interações realizadas, são áreas inaptas para uso e ocupação urbana e rural, por serem áreas vulneráveis a contaminação dos recursos naturais, estarem em áreas de conservação e representam uma área de 34,51% da área municipal.

Em primeira ordem a classe mais adequada ao uso e ocupação é Áreas Propícias ao Uso e Ocupação, que pelas combinações e avaliações dos recursos naturais foi à classe que teve maior segurança tanto para atenuar os potenciais de contaminação, como também são áreas com menores declividades, facilitando o desenvolvimento de atividades urbanas e rurais. Seguido das classes de Baixa Restrição e Média Restrição em que, segundo as avaliações são áreas que podem ser mais propícias aos atenuantes, podendo ter risco de contaminação dos recursos hídricos, estas devem ser tomadas as medidas ambientais cabíveis para o seu uso, onde que representa 45,72% do município de Faxinal do Soturno.

## Considerações finais

Por análise de contido no documento cartográfico, que representa o Zoneamento das Áreas Propícias ao Uso e Ocupação, no município de Faxinal do Soturno, foram identificados 1.471,22 hectares que constituem áreas em primeira ordem para uso e ocupação, toda ela em baixa declividade, por ser esta uma área de menor risco à contaminação de ações antrópicas pelas variáveis ambientais estudadas.

Nas áreas classificadas de como sendo de Baixa e Média Restrição ao uso e ocupação, o estudo indica também como áreas para uso e ocupação, porém com algumas restrições de uso, pois são áreas com média e alta vulnerabilidade e em algumas regiões são áreas de conservação. Desta forma estão em segunda e terceira ordem de classificação, abrangendo uma área de 6.298,17 hectares.

A cidade de Faxinal de Soturno pelas análises e interações procedidas chegou-se a conclusão que se insere em uma área de baixo risco por apresentar uma declividade entre 0 – 25° e uma vulnerabilidade média para vulnerabilidade das águas subterrâneas. Sendo de relevância realizar análises químicas da água subterrânea consumida pela população, uma vez que estas se encontram, muitas vezes, próximas da superfície terrestre.

As demais áreas não são aconselhadas para uso e ocupação pelos parâmetros avaliados nesse trabalho, pois requerem cuidados especiais, principalmente se forem destinadas às indústrias, (atividades potencialmente contaminantes), perfuração de poços tubulares ou atividades agrícolas que possam vir a modificar as condições de qualidade da água subterrânea.

Com o mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos, obtida através da aplicação com base no Modelo GOD e pesos do método DRASTIC, o qual relaciona fatores ligados ao meio natural, possibilitou a identificação de quatro classes de vulnerabilidade (vulnerabilidade baixa, vulnerabilidade média, vulnerabilidade alta e vulnerabilidade extrema) no município de Faxinal do Soturno. Os métodos utilizados mostraram resultados satisfatórios, e recomenda-se que o mesmo seja testado em diferentes áreas para comparar sua eficácia.



O município pode adotar medidas preventivas para a proteção de possíveis eventos que venham a contaminar os aquíferos ou a expansão e ocupação urbana evitando muitas vezes desmatamentos inadequados. De posse dos mapas, foi elaborado o Mapa da Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas, representado pela figura 4, de grande valia no ordenamento do uso e ocupação do solo, no qual é uma das responsabilidades dos Planos Diretores Municipais previsto no Estatuto das Cidades.

Propondo assim a locação de atividades potencialmente contaminantes em áreas de baixa vulnerabilidade, onde o terreno “as formações naturais” possa atenuar possíveis contaminantes, em conjunto com o Plano Diretor irá efetuar o uso racional do território e contribuir, dessa forma, na manutenção da qualidade dos recursos naturais para as atuais e futuras gerações, conforme especifica o Código Estadual do Meio Ambiente - Lei Estadual nº 11.520 de 03.08.2000.

Uma melhor caracterização do risco de contaminação das águas subterrâneas consiste, também, na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com as atividades desenvolvidas no solo ou em sub-superfície. Por isso, é extremamente importante, em estudos de vulnerabilidade de aquíferos, realizarem levantamentos das atividades potencialmente contaminantes, uma vez que a carga poluidora pode ser controlada e/ou modificada conforme prevê Resolução 396/2008 (CONAMA).

O zoneamento das áreas propícias ao uso e ocupação é de primeira importância, pois constitui a base para expansões da área urbanizada, futuros empreendimentos industriais, uso de atividades agrícolas, atividades relacionadas ao turismo municipal, dentre outras que sejam de interesse municipal, estas devem estar inclusas no planejamento municipal.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são importantes para o planejamento municipal, uma vez que fornecem subsídios para a gestão ambiental e apoio na definição de futuras áreas de expansão, localização de áreas de riscos ambientais, identificação de áreas críticas, etc. Assim, poderão servir como subsídio imprescindível ao Plano Diretor de Faxinal do Soturno – RS, o qual se encontra em fase de implantação.

## Referências

ALLER, L., et al. **A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings**, NWWA/EPA. 1987. (Series, EPA-600/2-87-0350).

ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTER, P. E. **Aquífero gigante do MERCOSUL no Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai; mapas hidrogeológico das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do sul, Buena vista, Misiones e Tacaurémbo**. Mapas. Curitiba: UFPR / PETROBRÁS, 1995, 16 p.

CONAMA, **Resolução no 396**, de 3 de abril de 2008, no DOU nº 066, em 07/04/2008.

CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **SIAGAS**. Disponível em: <<http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice>>. Acesso em 27 jul. 2012.

FEE - Fundação de Economia e Estatística, Governo do Estado do Rio Grande do Sul. **Resumo**

**estatístico.** Disponível em: [http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg\\_municipios\\_detalhe.php?municipio=Faxinal+do+Soturno](http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_municipios_detalhe.php?municipio=Faxinal+do+Soturno). Acesso em 21 dez. 2012.

FOSTER, S.; HIRATA, R. C. A. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas.** São Paulo: Instituto Geológico, 2003.

FOSTER, S.; HIRATA, R. C. A. **Determinação de riscos de contaminação das águas subterrâneas:** um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 87 p. (Boletim, n. 10).

HIRATA, R. C. A. Carga contaminante y peligros a las aguas subterráneas, **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, n.2, p. 81-90, 2002.

MACHADO, M. L. L.; FITZ, P. R. **Mapa de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul:** Geoprocessamento. Porto Alegre: Divisão Técnica EMATER-RS, 2001.

MARION, F. A.; MELLO FILHO, J. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Análise da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas por geoprocessamento, no campus da UFSM-RS. **Terr@ Plural**, Ponta Grossa, v.4, n1, p.65-76, jan./jun. 2010.

MÜLLER FILHO, I. L. **Notas para o Estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil.** Santa Maria: Imprensa Universitária, 1970.

OLIVEIRA, A. M. S. et al. **Geologia de engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998, 573 p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. **Código estadual do meio ambiente.** Lei estadual nº 11.520 de 03.08.2000. Porto Alegre: SEMA/SEMA/FZB, 2000. 107 p.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; MAZIERO, L.; SANTOS, E. F. dos. Impactos da atividade humana sobre o solo - Aquíferos. In: FÓRUM SOLOS E AMBIENTE, 1., 2004, Santa Maria. **Anais.** Santa Maria: Pallotti, 2004. p. 145-167.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro: Ed. do autor, 2001. 227 p.

XAVIER DA SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. Sistemas de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1993.

ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** Brasília: Agência Nacional de Águas, 2005. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/pnrh\\_novo/documentos/panorama.pdf](http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/panorama.pdf)>. Acesso em 16 dez. 2012.

Geografia Ensino & Pesquisa, v. 18, n.1, p. 119-134, jan./abr. 2014

Kersten, D. S.; Marion, F. A.; Mello Filho, J. A.

## **Correspondência**

**Diogo Silveira Kersten**

**E-mail:** diogokerstenv@gmail.com

Recebido em 1 de setembro de 2013.

Revisado pelo autor em 11 de abril de 2014.

Aceito para publicação em 27 de abril de 2014.