



UFSM

Dissertação de Mestrado

**LEVANTAMENTO DA VULNERABILIDADE DOS RECURSOS
HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MUNICÍPIO DE DONA
FRANCISCA - RS**

Leandro Maziero

PPGG

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**LEVANTAMENTO DA VULNERABILIDADE DOS RECURSOS
HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MUNICÍPIO DE DONA
FRANCISCA - RS**

por

Leandro Maziero

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Geografia e Geociências – Mestrado em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia

PPGG

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Curso de Mestrado em Geografia**

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

**LEVANTAMENTO DA VULNERABILIDADE DOS RECURSOS
HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MUNICÍPIO DE DONA
FRANCISCA – RS**

elaborada por
Leandro Maziero

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

Prof. Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro

Prof. Dr. Mauro Kumpfer Werlang

Santa Maria, Fevereiro de 2005

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de realizar este curso de Pós-Graduação.

Ao professor Drº José Luiz Silvério da Silva, pela sabedoria a mim transmitida e disposição em orientar este trabalho. Também pelo companheirismo em momentos de alegria e de dificuldade.

Aos professores do Curso de Mestrado em Geografia, pelo companheirismo e conhecimentos transmitidos.

A minha família, a qual mesmo distante sempre se fez presente.

Aos colegas do curso, pela amizade e compreensão nos momentos difíceis.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Hidrogeologia, pelo auxílio prestado ao longo deste trabalho.

A Tatiele Gabriela Raddats, pela compreensão e companheirismo.

Ao mestrando e amigo Carlos Gilberto Konrad, pelo auxílio prestado ao longo deste trabalho.

A todos os meus amigos, eles sabem quem são e o quanto significam para mim, pelo companheirismo, compreensão e por sempre se fazer presentes, seja em momentos de alegria ou de dificuldade.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo Geral	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA/RS	5
3.1. Caracterização do espaço físico do Município.....	7
3.2. Caracterização sócio econômica do Município.....	15
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
4.1. Contextualização do tema.....	21
4.2. Aspectos legais referentes às águas subterrâneas.....	32
4.3. Os mapas.....	35
4.4. O sensoriamento remoto e suas aplicações	37
4.5. O uso da terra e a declividade como fatores importantes na recarga dos aquíferos	42
5. METODOLOGIA	49
5.1. Elaboração do mapa base	49
5.2. Elaboração da carta clinográfica	50
5.3. Digitalização da carta geológica	51
5.4. Elaboração da carta de uso da terra	51
5.5. Elaboração dos cartogramas de isovalores no Surfer 8.....	52
5.6. Avaliação da vulnerabilidade natural da área.....	56
6. RESULTADOS	66
6.1. Carta clinográfica.....	71
6.2. Carta geológica do Município	75
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
8. REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Enquadramento dos solos do município de Dona Francisca segundo Klamt et al (1997) e EMBRAPA (1999).....	11
QUADRO 2: Enquadramento por grupo de área total no município de Dona Francisca em 1996	15
QUADRO 3: Estabelecimentos com informação de uso de assistência técnica.....	16
QUADRO 4- Principais produtos agrícolas do Município	17
QUADRO 5- Principais produtos da pecuária do Município	18
QUADRO 6. Indústria de transformação e pessoal ocupado no Município ..	19
QUADRO 7- Indústria de construção e pessoal ocupado no Município	19
QUADRO 8: Estabelecimentos comerciais, número de unidades e pessoal ocupado	20
QUADRO 9: Classificação e categorização de fontes de contaminação difusa de acordo com o método POSH	29
QUADRO 10: Classificação e categorização de fontes pontuais de contaminação de acordo com o método POSH	30
QUADRO 11: Valores do escoamento superficial	43
QUADRO 12: Fatores DRASTIC e seus respectivos pesos (Peso=p)	57
QUADRO 13: Faixas de profundidade da água subterrânea e suas respectivas cargas	58
QUADRO 14: Recarga durante o ano	59
QUADRO 15: Tipos de meio aquífero e suas respectivas cargas	59
QUADRO 16: Solos e suas respectivas cargas	60
QUADRO 17: Classes de declividade e suas respectivas cargas	61

QUADRO 18: Impacto da zona vadosa e suas respectivas cargas	61
QUADRO 19: Condutividade hidráulica, adaptado de NBR 7229 L/m ² .dia	64
QUADRO 20: Classes de vulnerabilidade e seus respectivos intervalos	65
QUADRO 21: Cadastro dos poços de Dona Francisca e alguns dados hidrodinâmicos	67
QUADRO 22: Nível estático dos poços e suas respectivas cargas	68
QUADRO 23: Classes de declividade no município de Dona Francisca, suas respectivas áreas, percentagem, distribuição dos poços e cargas sugeridas no modelo DRASTIC	72
QUADRO 24: Unidades Geológicas e fatores DRASTIC a ela relacionados	83
QUADRO 25: Poços cadastrados, seus respectivos parâmetros hidrodinâmicos e cálculo do índice DRASTIC	85
QUADRO 26: Classe de uso da terra “campo”, tipo geológico e índice DRASTIC dos mesmos	93

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Bacia Hidrográfica G50, na qual se insere o Município em estudo	14
FIGURA 2: Províncias hidrogeológicas do Brasil	26
FIGURA 3: Gráfico demonstrativo das percentagens de argila, silte e areia, nas classes básicas de textura do solo	45
FIGURA 4: Gráfico para determinação de coeficiente de infiltração	63
FIGURA 5: Gráfico para determinação de coeficiente de infiltração	70
FIGURA 6: Carta clinográfica da área	74
FIGURA 7: Aspectos da planície aluvial do Rio Jacuí	75
FIGURA 8: Aspectos da Formação Serra Geral	76
FIGURA 9: Aspectos da Formação Botucatu	76
FIGURA 10: Aspectos da Formação Rosário do Sul	77
FIGURA 11: Carta Geológica de Dona Francisca/RS	84
FIGURA 12: Cartograma da variação da condutividade elétrica dos poços do Município	84
FIGURA 13: Cartograma da variação dos STD dos poços do Município	87
FIGURA 14: Cartograma da variação da superfície potenciométrica dos poços do Município	89
FIGURA 15: Sobreposição do cartograma de vetores sobre o cartograma da superfície potenciométrica dos poços do Município de Dona Francisca/RS	89
FIGURA 16: Cartograma da vulnerabilidade da água subterrânea do Município	91
FIGURA 17: Carta de uso da terra	93

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Curso de Mestrado em Geografia
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

LEVANTAMENTO DA POTENCIALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA – RS

AUTOR: LEANDRO MAZIERO
ORIENTADOR: PROFº. DRº. JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA
Santa Maria, Fevereiro de 2005

O correto uso e gerenciamento dos recursos naturais são de fundamental importância para o desenvolvimento econômico e bem estar social de uma nação. Assim, o objetivo deste trabalho é a análise da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no município de Dona Francisca/RS. Para tal análise, lançou-se mão do modelo DRASTIC. O referido modelo é subdividido em em sete fatores, quais sejam: D= profundidade do nível estático; R= recarga total; A= meio aquífero; S= solos; T= topografia; I= impacto na zona vadosa; C= condutividade hidráulica. A este conjunto de fatores são atribuídos pesos de acordo com a capacidade de atenuação de poluentes que cada um possui. Isto é feito no intuito de quantificar um valor chamado de índice de vulnerabilidade. Os índices sugeridos pelo modelo se estendem de <35 (área protegida) até >120 (área de proteção obrigatória). No Município de Dona Francisca/RS, extremo sul do Brasil, foram simulados 21 poços. Destes, chegou-se às classes “Área Vulnerável” (38% da área) com índices contidos entre de 65 – 95; “Muito Vulnerável” (52% da área) no intervalo de 95 a 120 e por fim, na classe de “Proteção Obrigatória” (10% da área) na classe > 120, numa área total de 104 Km². Dos 21 poços, 12 são do tipo cacimba e 9 do tipo tubular. Foram espacializados em SIG (Sistema de Informações Geográficas) com o uso do Aplicativo Surfer 8 os seguintes parâmetros: condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), superfície potenciométrica e vulnerabilidade. Por meio do Aplicativo Spring 4.1 foram espacializados a declividade do terreno, a geologia e o uso da terra. A partir da espacialização da superfície potenciométrica constatou-se uma tendência de fluxo subterrâneo de noroeste para sudeste/sul. Por meio do levantamento da vulnerabilidade natural da área pode-se definir espacialmente o uso e ocupação dos solos. Assim, torna-se possível avaliar a melhor localização para dispor atividades potencialmente contaminantes no Município de Dona Francisca/RS, em relação a vulnerabilidade natural dos aquíferos.

ABSTRACT

**Dissertation of Master's degree
Course of Master's degree in Geography
Federal University of Santa Maria - UFSM**

RISING OF THE POTENTIALITY OF THE GROUNDWATER HYDRIC RESOURCES IN THE MUNICIPAL DISTRICT OF DONA FRANCISCA - RS

**AUTHOR: LEANDRO MAZIERO
GUIDING: PROF. Dr. JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA
Santa Maria, February of 2005**

The correct use and administration of the natural resources are of fundamental importance for the economical development and well to be social of a nation. The main objective of the work is the analysis of the natural vulnerability of the ground waters in the municipal district of Dona Francisca/RS. For this the model DRASTIC was used. This model is subdivided in seven factors, which are: D = depth of the static level; R = total recharge; A = half aquifer; S = soils; T = Topography; I = impact in the vadose zone; C = hydraulic conductivity. To this group of factors weights are attributed in agreement with the reduction capacity of pollutant that each it possesses. That is done in the intention of quantifying a called value of potential index of pollution. The vulnerability indexes suggested by the model extend of <35 (protected area) up to >120 (obligatory protection area). In the Municipal district of Dona Francisca, Rio Grande do Sul State southern of Brazil. Was arrived to indexes contained in the intervals of 65 - 95 (vulnerable area 38% of the total), high vulnerability in the interval 95 - 120 (38% of the total area) by last bigger than > 120 (obligatory protection area 10%). They were simulated 21 wells, being 12 of the type manual drilled and 9 of the tubular type. They were spaced in GIS (Geographical Information System) with the use of the software Surfer 8 the following parameters: electric conductivity, total dissolved solids (TDS), potentiometric surface and the vulnerability index. Through the software Spring 4.1 were mapped the use of the earth, the geology and the steepness of the land. Starting from the mapping of the potentiometric surface was verified a tendency of ground water flow of northwest to southeast. Through the rising of the natural vulnerability of the mapped area can be defined the use and occupation of the soils location and potentiality contaminant activities dispose in this area of 104 Km².

1. INTRODUÇÃO

A análise do espaço em que o homem se insere, o entendimento das transformações que nele ocorre, sua complexidade e interdependência entre os elementos que o compõe são de grande importância. A partir desta compreensão, pode-se alcançar uma relação harmoniosa entre o homem e suas várias formas de intervenção sobre o meio.

Neste contexto Asmus (1990), comenta que a pesquisa configura-se em uma forma valiosa de se buscar o conhecimento do meio natural face às ações antrópicas. Desta forma pode-se chegar a subsídios para discussões e sugestões com fundamentação científica, sendo estas muito importante para a gestão ambiental. Assim, o planejamento configura-se em parte imprescindível para a sustentabilidade de uso dos recursos naturais.

Para Ross (1994, p. 65) “o conhecimento das potencialidades dos recursos naturais passa pelos levantamentos dos solos, do relevo, das rochas, dos minerais, das águas, do clima, enfim de todos os componentes do estrato geográfico que dão suporte a vida animal e do homem”.

A água, em especial, exerce influência sobre todas as formas de vida que se apresentam no planeta. Seu uso é feito para os mais variados fins, entre eles, a dessedentação humana, de animais, abastecimento de indústrias, irrigação de lavouras, utilização em postos de combustíveis, entre outros, sendo assim de fundamental importância para a manutenção da vida na terra. Fernandes e Garrido (2002) comentam que de toda a água potável utilizada pelo homem, menos de 3% provem da superfície, o restante, mais de 97%, é proveniente de mananciais subterrâneos. Portanto, deve-se dedicar especial atenção para a preservação do último.

Segundo Veiga da Cunha (2002, p. 65) “da água doce disponível, são captados atualmente, 3.500 Km³ de água por ano, dos quais 70%

correspondem a utilização pela agricultura, 20% pela indústria e 10% pelos municípios, tendo a pressão sobre os recursos hídricos a agravar-se à medida que o nível de vida aumenta”. O mesmo autor comenta também que as taxas de crescimento nos consumos de água são superiores às taxas de crescimento demográfico. Além disso, os consumos médios per capita oscilam entre 600 l/hab/dia nos EUA e 30 l/hab/dia em alguns países africanos. Pode-se atribuir este fato às características naturais e sócio-econômicas distintas dos países exemplificados.

É importante ressaltar que um dos fatores determinantes na preservação ou degradação de um manancial hídrico são as atividades humanas em superfície. Foster e Hirata (1993) listam como potenciais geradores de carga contaminante atividades como a criação de aterros sanitários, lixões, disposição de efluentes industriais, acidentes ambientais, saneamento urbano sem rede de esgoto e atividades agrícolas com a utilização de agroquímicos. Além destes, pode-se ressaltar também os cemitérios, onde a infiltração do necrochorume pode ser uma fonte importante de contaminação.

No que se refere especificamente às águas subterrâneas, entendidas pelo Conselho Nacional dos Recursos Hídricos CNRH (2001) como as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo, as atividades acima listadas, associadas a uma maior ou menor vulnerabilidade¹ dos mananciais subterrâneos, são determinantes do maior ou menor risco de contaminação dos mesmos. Ressalta-se que esta situação de risco tende a se acentuar na medida em que o homem avalia erroneamente a natureza, ou seja, dentro de uma visão economicista e imediatista, de maior lucro em menor tempo, o que é característico do sistema em que o mundo está inserido.

¹ De acordo com Foster & Hirata (1993), o termo vulnerabilidade à contaminação do aquífero é usado para representar as suas características, as quais determinam a susceptibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga contaminante.

Para Guimarães (2000, p. 24) o fato acima “se reflete na crise de um modelo de sociedade urbano-industrial que potencializa, dentro de sua lógica, valores individualistas, consumistas, antropocêntricos, e ainda como componente desta lógica, as relações de poder que provocam dominação e exclusão, não só nas relações sociais como também nas relações sociedade-natureza”.

Assim, o presente trabalho busca levantar as potencialidades dos recursos hídricos subterrâneos do município de Dona Francisca, localizado na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, na borda da Bacia do Paraná, numa zona de rochas sedimentares em transição para rochas vulcânicas, formando distintos aquíferos. No referido Município, dois mananciais se fazem de grande importância no abastecimento de água. O primeiro deles é o rio Jacuí, responsável pelo abastecimento de aproximadamente 99% do perímetro urbano do município. O segundo manancial é constituído pelo Sistema Aquífero Guarani (SAG), o qual é responsável principalmente pelo abastecimento das áreas rurais do município. Segundo informações fornecidas pela CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento) do referido Município, em 2004, este contava com cinco poços tubulares cadastrados para retirada de água subterrânea, somente nas áreas rurais, sendo que estes são utilizados para o abastecimento de 247 famílias, nas localidades de Linha do Moinho (50 famílias); Trombudo (60 Famílias); Cerro D’ambrosio (90 famílias); Linha Ávila (32 famílias); Sanga Funda (15 famílias). Vale ressaltar que, segundo dados da CORSAN do Município, na área urbana também existe exploração da água subterrânea, porém esta em caráter particular, para abastecimento humano, postos de combustível e outros fins. Estes serão cadastrados, pontuados e discutidos ao longo do trabalho.

Diante disto, este trabalho assume grande importância, uma vez que o mesmo propõe-se a realizar um cadastramento dos poços Município,

especializando as informações em produtos cartográficos georreferenciados, de modo que se possa analisar a vulnerabilidade deste recurso e criar condições para sua exploração sustentável, bem como inferir áreas de recarga ou de descarga aquífera.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a vulnerabilidade dos recursos Hídricos subterrâneos do Município de Dona Francisca e espacializá-la em planos de informação, subsidiando assim o correto uso dos mesmos no Município de Dona Francisca-RS.

2.2. Objetivos Específicos

Realizar mapeamentos que venham de encontro com a aplicação do modelo DRASTIC na área em estudo;

Avaliar o índice de vulnerabilidade natural da área pelo método DRASTIC;

Indicar áreas que devam ser protegidas, conservadas ou recuperadas por serem importantes na recarga do Sistema Aquífero Guarani.

3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA

O processo de ocupação e formação do município de Dona Francisca está intimamente ligado às imigrações italianas que ocorreram no final do século XIX em direção ao Brasil, mais especificamente ao Rio Grande do Sul, e que deram origem a quarta colônia de imigração italiana no estado do Rio Grande do Sul, da qual Dona Francisca faz parte.

De acordo com Sponchiado (1996) as causas da imigração estão, antes de mais nada, ligadas às próprias condições sociais em que se encontrava a Itália na época: as lutas pela unificação da mesma jogavam o povo à margem de tudo. Como consequência tinha-se muitas revoltas, fome e pobreza, além das condições climáticas impróprias para a agricultura. Estes fatores culminaram com a emigração.

Nos anos de 1869/1875 surgem as primeiras colônias de imigração italiana no Rio Grande do Sul, sendo a primeira delas, a colônia de Conde D'eu, atual Garibaldi e, a segunda, a colônia de Dona Isabel, atual Bento Gonçalves. Mais tarde, entre os anos de 1875/1889, surgem as demais colônias, sendo elas: a terceira chamada de Fundos de Nova Palmira, atual Caxias do Sul e quarta colônia chamada de Silveira Martins (Diesel, 1994, p.58). Segundo o mesmo autor, a maior parte destes imigrantes que se dirigiam para a quarta colônia eram provenientes da região de Vêneto, onde estes, subjugados pelos grandes proprietários italianos, viviam em extrema miséria.

De acordo com Sponchiado (1996), no ano de 1878 é fundada a quarta colônia de imigração italiana no Rio Grande do Sul, com a denominação de Silveira Martins. Os imigrantes provenientes da Itália chegavam até a Baía de Guanabara e daí rumavam para o porto de Rio Grande, subiam pelo rio Jacuí até onde a correnteza permitia, e após

continuavam o trajeto a pé até a colônia de Silveira Martins. Na colônia os imigrantes recebiam seus lotes de terra, com extensão média de aproximadamente 22 hectares. Para Sponchiado (1996), na distribuição da terra não era levado em consideração as condições de relevo, ou seja, haviam lotes em áreas totalmente íngremes, pedregosas, sem água e algumas vezes até mesmo sem acesso. Sendo assim, o colono era obrigado a se adaptar as condições do seu lote, sem direito de escolha. Esse fato levou muitos colonos a buscarem novas áreas para a prática da agricultura. Com o passar dos anos, as terras de Silveira Martins acabaram totalmente ocupadas, o que levou a criação de núcleos interioranos. Desta forma, em 1883, criou-se o núcleo Dona Francisca, o Núcleo Norte (atual Ivorá) e o Núcleo de Arroio Grande (Distrito de Santa Maria), e no ano seguinte é criado o núcleo de Nova Palma.

Segundo Sponchiado (1996), Cláudio José Figueiredo foi o primeiro proprietário da área, mais tarde este vendeu as terras a José Gomes Leal, o qual iniciou uma efetiva ocupação da área. Em 1870 pediu a medição. Esta ficou pronta em 27/04/1872, com uma extensão de 2.778 ha. Leal denominou a propriedade de Fazenda Santo Antônio. O mesmo percebeu que na região havia um expressivo trânsito de pessoas, que seguiam para a colônia de Santo Ângelo e Silveira Martins, e colocou uma casa de negócios. Mais tarde a área passou para Manuel José Mostardeiro sendo que estas terras foram dadas por Leal como pagamento de dívidas de comércio com Mostardeiro. Manuel José Mostardeiro fixou-se no local em 1881, e diante do intenso fluxo de pessoas contratou o agrimensor Ernesto Merhing, que concluiu a tarefa de demarcação dos lotes em 1883. A área foi dividida em 69 lotes coloniais, 31 chácaras e 164 lotes urbanos. Para Mostardeiro Filho, a data de fundação da colônia é de 15 de Agosto de 1883.

O nome Dona Francisca foi em homenagem a esposa do fundador, aparecendo nos documentos já em 1891. Em 1900 já haviam adquirido propriedades 85 famílias italianas e 10 alemães, vindas de Silveira Martins e Colônia de Santo Ângelo. Até o ano de 1958, Dona Francisca pertenceu, juntamente com Agudo, Restinga Seca ao município de Cachoeira do Sul. Na época, Dona Francisca foi emancipada com o nome de Faxinal do Soturno, ou seja, era parte integrante do atual município de Faxinal do Soturno. A partir de 1958, iniciou-se em Dona Francisca um movimento no sentido de desvincular a área do atual município de Dona Francisca do então Município de Faxinal do Soturno, e em 1965 este objetivo é alcançado. De acordo com o IBGE, o mesmo pertence à microrregião geográfica de Restinga Seca. Possui 104Km² de extensão territorial e limita-se ao norte com os municípios de Nova Palma, ao sul com Restinga Seca, a leste com Agudo e a oeste com Faxinal do Soturno.

3.1. Caracterização do espaço físico do Município

Para Ross (1994) a organização de um espaço resulta da interação dos vários elementos que o compõe, desta forma temos na configuração do quadro físico, o clima, geologia, geomorfologia, solo, vegetação e hidrografia, que no conjunto pode-se denominar de paisagem natural, a qual, associada à presença humana, constitui-se na paisagem geográfica

O Rio Grande do Sul tem uma situação singular dentro do país sob o ponto de vista climático, pois, o paralelo de 30° de latitude sul representa a transição da zona tropical para a temperada. Outro fator que merece ser destacado da posição geográfica do Estado é o fato de o mesmo estar em uma área de contato direto com as massas de ar do anticiclone móvel polar, e um terceiro fator definidor do clima riograndense é a grande

superfície líquida que o circunda, representada pelo Oceano Atlântico, (Vieira 1984).

Ross (1994) comenta que o clima deve ser entendido como grande responsável pelos processos integrantes do quadro físico-natural de uma determinada área. Assim, o seu entendimento é de suma importância para a análise do quadro físico geral da área em estudo. Rebouças (2002) comenta que a condição climática brasileira é extremamente favorável para o armazenamento de água subterrânea, uma vez que no país há uma predominância do clima tropical úmido, com média pluviométrica entre 800 e 3000mm/ano, com temperaturas acima de 20°C ao longo de praticamente todo ano. Como consequência, tem-se um manto de alteração sobre as rochas que chega aos 150 metros, facilitando a infiltração e estocagem da água subterrânea.

De acordo com a classificação de Köppen, o município de Dona Francisca se enquadra no clima tipo Cfa, ou seja: C= a temperatura média para o mês mais frio fica entre -3 e 18°C, e no mês mais quente superior a 10°C; f= inexistente estação seca ao longo do ano; a= o verão é considerado quente, com temperatura média mensal superior a 22°C. A precipitação média anual do município é de aproximadamente 1.722 mm, sendo que os meses mais quentes são os de dezembro, janeiro e fevereiro e os meses mais frios são junho, julho e agosto.

Vieira (1984) comenta que a penetração da massa de ar de origem polar ao longo do ano merece destaque, pois esta tem atuação na área, da mesma forma que em todo o estado do Rio Grande do Sul, ao menos uma vez por semana, sendo responsável pela formação de frente com a Tropical Atlântica e dando origem a precipitações, configurando-se como elemento de grande importância na determinação do clima da região.

O substrato rochoso, por sua vez, sofre a influência direta das condições climáticas da área, dando origem a feições específicas. “De

maneira geral, pode-se dizer que a geologia do estado do Rio Grande do Sul é simples: um escudo cristalino, separado de um planalto de rochas efusivas básicas por uma depressão denudacional de rochas sedimentares e com uma estreita faixa litorânea de sedimentos recentes” (Müller Filho, 1970, p.9).

Tomando como base os estudos realizados por Vieira (1984), percebe-se que o município de Dona Francisca encontra-se em parte localizado na Depressão Central constituída por rochas sedimentares da Bacia do Paraná e também por formações geológicas atuais e terraços fluviais, e em parte no Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro, o qual se caracteriza por ser uma área de transição entre o referido planalto e a depressão.

O Planalto Meridional Brasileiro constitui-se, de acordo com o Projeto Radambrasil (1986, p. 221) “numa sucessão de corridas de lavas, de composição predominantemente básica, apresentando uma seqüência superior identificada como um domínio relativo de efusivas ácidas”. A Depressão Central, constitui-se, segundo o Projeto Radambrasil (op. cit., p. 347) “numa área baixa, interplanáltica onde os processos erosivos esculpiram em rochas sedimentares de idades paleozóicas, trássicas, jurássicas da Bacia do Paraná colinas alongadas, conhecidas regionalmente como coxilhas”. Ainda de acordo com o referido projeto, esta unidade subdivide-se em duas, quais sejam, a Depressão do Rio Jacuí e a Depressão do Rio Ibicuí-Rio Negro. A Depressão do Rio Jacuí, onde se localiza o Município em estudo, limita-se ao norte com a Formação Serra Geral e os patamares da Serra Geral. A leste com a planície lagunar, a oeste com a Depressão do Rio Ibicuí-Rio Negro e a sul com o Planalto Rebaixado Marginal.

As formações geológicas constituintes das feições da paisagem geomorfológica da Depressão Central são: os Sedimentos Atuais

constituídos por conglomerados, arenitos médios argilosos, siltitos arenosos fluviais e os terraços fluviais (areias, argilas e cascalhos fluviais), formados por depósitos de sedimentos fluviais ou sedimentos provenientes dos compartimentos mais elevados do Planalto. Pertencentes às Formações Botucatu e Rosário do Sul.

O Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro se configura em uma transição acentuada, que põe em contato o Planalto propriamente dito com a Depressão Central. Se trata de uma zona terminal do Planalto Meridional Brasileiro. Neste são encontradas as maiores altitudes do município, que chegam a 400 m. Nas áreas de contato do Rebordo com a Depressão Central há o recobrimento das formações sedimentares da depressão com materiais de escorrimento de massa, constituindo mistura entre calhaus, matacões e materiais finos oriundos das rochas vulcânicas e arenito “inter-trapp” do topo do planalto.

No que se refere aos solos encontrados na área, Klamt et al. (1997) salientaram que no Rebordo do Planalto, em locais de forte declive e grande pedregosidade são encontrados solos Litólicos distróficos e eutróficos. Em áreas de relevo menos acentuado que ocorrem como patamares intercalados às encostas fortemente ondulados, além dos Litólicos ocorrem Brunizém Avermelhados. Segundo o Sistema de Classificação dos Solos Brasileiros, Embrapa (1999), os solos Litólicos acima citados correspondem a classe dos Neossolos Litólicos, os quais, de modo geral, caracterizam-se por serem solos pouco evoluídos e sem horizonte B diagnóstico. Os Brunizém Avermelhados, segundo esta mesma classificação, correspondem à classe dos Chernossolos. Na Depressão Central ocorrem dois tipos de solos: os Podzólicos Vermelho Escuros álicos, desenvolvidos em formações constituídas predominantemente por arenitos, e Podzólicos Bruno Acinzentados formados a partir de materiais de textura mais fina como o Membro Alemoa da Formação Santa Maria,

constituídos por materiais silto-argilosos. Estes, de acordo com a classificação proposta pela Embrapa (1999) pertencem à classe dos Argissolos. Na Planície Aluvial do Rio Jacuí aparecem os Planossolos Eutróficos e Gleis Pouco Húmicos derivados de sedimentos aluvionares, os quais são provenientes de duas formações geológicas: aluviões (areias, argilas e cascalhos fluviais) e terraços fluviais (conglomerados, arenitos médios argilosos, siltitos arenosos fluviais), arenitos e siltitos. Com base em Embrapa (1999), estes correspondem às classes Planossolos e Gleissolos. O quadro 1 ilustra as classificações dos solos apresentadas por Klamt et al. (1997) e Embrapa (1999) incluindo-se algumas características gerais de acordo com a classificação da Embrapa.

Quadro 1 : Enquadramento dos solos do Município de Dona Francisca segundo Klamt et al. (1997) e Embrapa (1999).

Klamt et al. (1997)	Embrapa (1999)	Características Gerais	Localização no Município
Litólicos Distróficos e Eutróficos	Neossolos Litólicos Distrófico Típico	Solos pouco desenvolvidos e sem horizonte B diagnóstico	Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro
Brunizém Avermelhado	Chernossolos	Solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte A chernozêmico seguido por: horizonte B incipiente, ou B textural, ou B nítico, todos com argila de atividade alta e saturação por bases alta; ou horizonte cálcico ou caráter carbonático, coincidindo com horizonte A chernozêmico e/ou com horizonte C, admitindo-se entre os dois, horizonte B incipiente com espessura <10cm; ou contato lítico desde que o horizonte A chernozêmico contenha 15% ou mais de carbonato de cálcio equivalente.	Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro
Podzólicos Vermelhos Escuros álicos e	Argissolos	Solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade baixa imediatamente abaixo do horizonte A ou E, e satisfazendo, ainda, os seguintes requisitos: horizonte plântico, se presente, não está acima e nem coincidente com a parte superior do horizonte B textural; horizonte Gleis, se	Depressão Central

Bruno acinzentados		presente, não está acima e nem é coincidente com a parte superior do horizonte B textural.	
Planassolos Eutróficos	Planossolos	Solos constituídos por material mineral com horizonte A ou E seguido de horizonte B plânico e satisfazendo, ainda os seguintes requisitos: horizonte plântico, se presente, coincide com um destes dois horizontes; horizonte glei, se presente, coincide com o B plânico.	Planície Aluvial do Rio Jacuí.
Gleis Pouco Húmicos	Gleissolos	Solos constituídos por material mineral com horizonte glei imediatamente abaixo do horizonte A, ou de horizonte hístico com menos de 40cm de espessura; ou horizonte glei começando dentro de 50cm da superfície do solo; não apresentam horizonte plântico ou vértico, acima do horizonte glei ou coincidente com este, nem horizonte B textural com mudança textural abrupta coincidente com horizonte glei, nem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei.	Planície Aluvial do Rio Jacuí.

Fonte: Klamt et al. (1997) e Embrapa (1999)

Organização: Maziero, L.

No que se refere a hidrografia, o Rio Grande do Sul é bem servido por águas internas, dotado de um vasto sistema lacustre e de rios navegáveis. Vieira (1984, p.42) comenta que o “estado dispõe de cursos d’água tanto em áreas de planalto como de planície, o que denota a existência primeiramente de um excelente potencial para geração de energia elétrica em trechos de maior desnível, e vias de navegação nos trechos planos”.

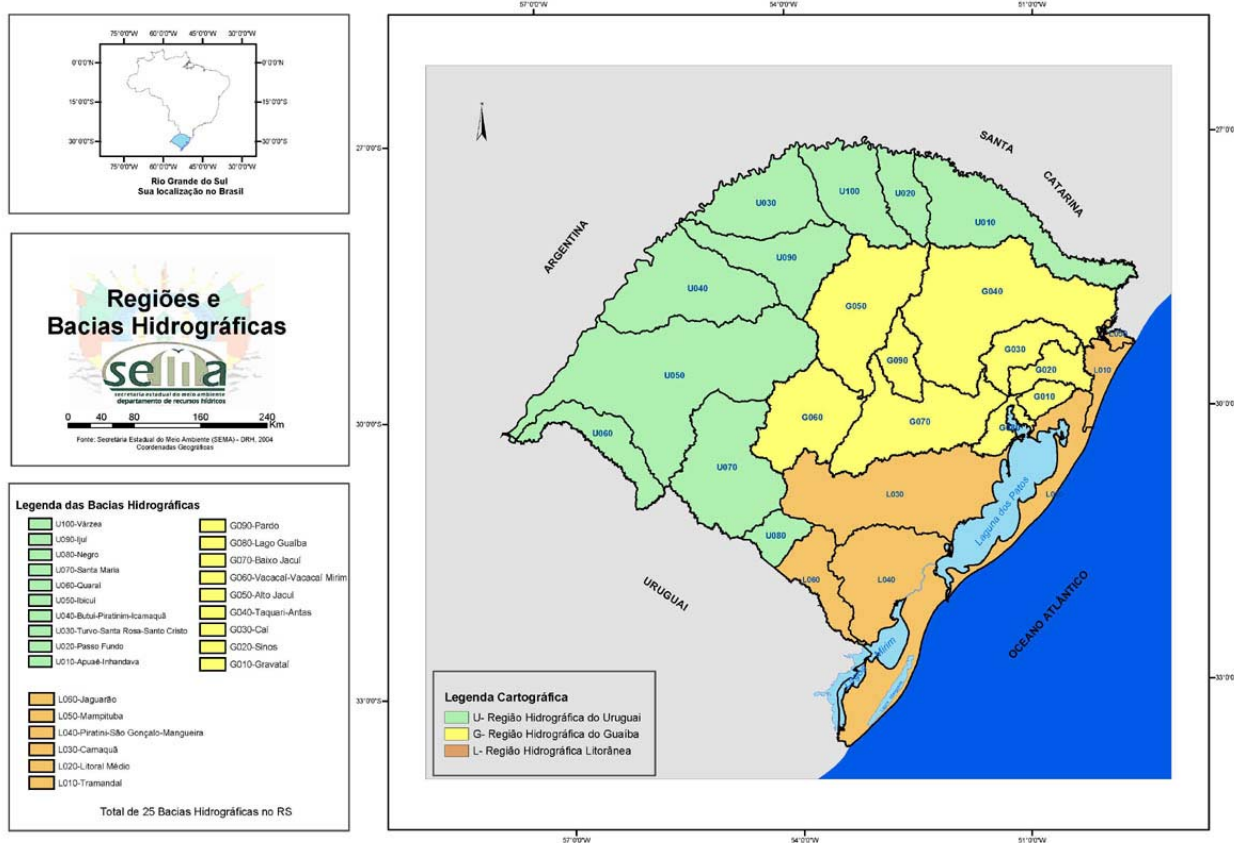
O município de Dona Francisca é dotado de uma farta rede hidrográfica, constituída essencialmente de rios perenes, fruto da regular distribuição das chuvas ao longo de todo o ano. Merece destaque sobremaneira o Rio Jacuí³, pois este, de acordo com o Projeto Radambrasil

³ Segundo Vieira (1984, p.46), o Rio Jacuí possui nitidamente dois trechos distintos – um de planalto até Dona Francisca, outro de planície, daí até o delta do Guaíba – o Jacuí é o rio mais utilizado do Rio Grande do Sul. No trecho superior, a declividade acentuada e a formação de *canyons* após o chamado salto do Jacuí, permitiram a construção de importantes hidroelétricas, como Passo Real, Jacuí e Itaúba e mais recentemente Dona Francisca (nota do autor). Na região de planície, a regularização do curso através de barragens e eclusas propiciou a plena navegabilidade desde o município de Cachoeira do Sul até a foz.

(1980, p.347) é o “principal rio que atravessa a Depressão Central, comanda uma drenagem do tipo subdendrítica⁴”. Este recebe as águas de todas as microbacias da área. É responsável tanto pelo abastecimento de grande parte da água potável consumida no município, como também para o cultivo do arroz irrigado e ainda na geração de energia elétrica ao longo de seu percurso, na porção leste do município. De acordo com SEMA (Secretaria Estadual do Meio Ambiente) (2003) o Município está totalmente incluso na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí (G50), esta por sua vez, é parte integrante da Região Hidrográfica do Guaíba (G), abrangendo 57 municípios. A figura 1 ilustra as Bacias Hidrográficas do Estado do Rio grande do Sul e suas respectivas Regiões Hidrográficas propostas pela SEMA.

No que se refere à vegetação, Klamt et al. (1997) classificam-na em Floresta Estacional Semidecidual, a qual subdivide-se em Floresta Aluvial (ao longo de cursos d’água), Floresta Submontana (de 30 a 400 metros de altitude) e a Floresta Montana (acima de 400 metros de altitude). A Floresta Aluvial ocorre na Depressão Central e a Floresta Estacional Semidecidual no Planalto e também nas escarpas do Planalto. Na Floresta Estacional Semidecidual o frio é responsável pela estacionalidade fisiológica das plantas, sendo que neste conjunto florestal, na época desfavorável (inverno) encontram-se entre 20% e 50% de árvores caducifólias, onde se destacam a *Apuléia Leiocarpa* (grápia) e a *Parapiptadênia Rigidus* (angico).

⁴ Segundo Christofolletti (1980, p.103) “também designada como arborecente, porque em seu desenvolvimento assemelha-se à configuração de uma árvore. Utilizando-se dessa imagem, a corrente principal corresponde ao tronco da árvore, os tributários aos seus ramos e as correntes de menor categoria aos raminhos e folhas”.



Fonte: SEMA (2003)

Figura 1: Bacia Hidrográfica G50, na qual se insere o Município em estudo (figura meramente ilustrativa).

De acordo com o Ministério da Agricultura (1970), a Floresta Aluvial forma um cordão estreito de vegetação ao longo dos cursos d'água ou em áreas alagadiças, sendo composta por vegetação arbórea e arbustiva. Na área em estudo, essa vegetação aparece ao longo do curso do Rio Jacuí e outros cursos d'água de menor importância, sendo conhecidas por mata galeria. A Floresta Submontana surge com um estrato arbóreo emergente, onde aparecem espécies como: *Apuleia leiocarpa* (grápia), *Parapiptadênia rigida* (angico) e outras; um estrato de pequenas árvores como: *Actinostemon concolor* (laranjeira do mato), *Sorocea bomplandii* (cincho) e espécies pertencentes a estratos superiores. Vale ressaltar que atualmente estas áreas (a maior parte das menos declivosas) são ocupadas por culturas

cíclicas, como soja, milho, feijão e fumo. A Floresta Montana é formada por um pequeno número de espécies, entre elas, destacam-se *Parapiptadênia rigida* (angico), a *Cedrela fissilis* (cedro). Estas espécies penetram nas bordas do Planalto das Araucárias, em locais de solo e relevo desfavoráveis a agricultura, fato que não impediu sua devastação. Hoje predominam nesses locais a vegetação secundária em diversos estágios. Os agrupamentos florestais remanescentes ocupam as encostas íngremes e de difícil acesso.

3.2. Caracterização sócio-econômica do município de Dona Francisca

Segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia Estatística), em 2000 o Município possuía uma população residente de 3.902 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 37 habitantes/Km². A maior parte da população do Município se concentra na zona urbana, onde vivem 2.324 pessoas, o que corresponde a 59,5% das mesmas, enquanto o meio rural concentra cerca de 1.578, correspondendo a 40,5% das pessoas.

O sistema fundiário do Município é baseado nas pequenas propriedades rurais, fruto da história da colonização do mesmo. Estas propriedades apesar de serem pequenas possuem um avançado grau de mecanização, principalmente nas áreas onde se cultiva o arroz. Os estabelecimentos por grupo de área podem ser vistos no quadro 2.

Quadro 2: Estabelecimentos por grupo de área total no Município de Dona Francisca em 1996.

Intervalos	Estabelecimentos	% do total
Menos de 10 ha	129	33,59%
De 10 a 100 ha	255	66,41%
Total	384	100%

Fonte: IBGE(1996)
Organizador: Maziero, L.

Do quadro merece ser ressaltado o fato de as propriedades possuírem um máximo de 100 ha, bem como seu maior percentual em dimensão de 10 a 100 ha, fato que evidencia a estrutura fundiária do município.

O Município conta com um total de 384 estabelecimentos. Estes, apesar de serem pequenos, apresentam um elevado índice de assistência técnica, tais como, irrigação, adubos, corretivos, controle de pragas e doenças, conservação do solo, o que certamente aumenta os rendimentos na propriedade. Este fato pode ser constatado no quadro 3:

Quadro 3: Estabelecimentos com informação de uso de assistência técnica.

Assistência Técnica	Nº de propriedades
Adubos e Corretivos	368
Controle de Pragas e Doenças	383
Conservação do Solo	113
Irrigação	233

Fonte: IBGE(1996)

Organizador: Maziero, L.

Dos produtos da agricultura de Dona Francisca merecem destaque o arroz, milho, fumo, feijão, soja e trigo, conforme o quadro 4.

O arroz irrigado é o principal produto agrícola do município, apresentando, a maior área plantada, e conseqüentemente a maior produção em toneladas, além do maior valor da produção. No Município em estudo, o cultivo do arroz é feito na várzea do Rio Jacuí e do Rio Soturno, aproveitando-se da abundância de suas águas e dos solos férteis aí encontrados. É uma cultura totalmente mecanizada e voltada para o mercado interno, sendo assim de grande importância para a economia local, contribuindo com a arrecadação municipal.

Quadro 4- Principais produtos agrícolas do Município

	Área Plantada (em ha)	Quantidade produzida (em ton)	Valor da produção em milhões de reais.
Arroz	2.270	16.117	4.021
Milho	700	1.890	360
Fumo	350	595	1.857
Feijão	220	146	71
Soja	30	58	17

Fonte: FEE (2000)

Organizador: Maziero, L.

O segundo produto em área cultivada é o milho, porém este perde para o fumo em valor de produção. O milho é em grande parte utilizado pelos próprios agricultores na criação de bovinos e suínos em suas propriedades, sendo comercializado apenas os excedentes da produção.

O fumo é o terceiro em área plantada, porém, o segundo em valor comercial da produção. É um produto de grande importância para o Município, uma vez que é totalmente voltado para o mercado, ou seja, é um produto que gera a grande parte da renda do agricultor. O fumo é plantado principalmente nas áreas menos declivosas do Rebordo do Planalto. Este é cultivado com financiamentos feitos pelas próprias empresas compradoras, que também garantem a comercialização. Neste período de cultivo são utilizados vários tipos de agroquímicos que podem ser lixiviados para os cursos d'água superficiais e/ou infiltrarem-se no subsolo. Logo, são substâncias potencialmente contaminantes.

O feijão é cultivado em áreas reduzidas, apresentando baixos rendimentos se comparado com os anteriormente citados. Com uma produção de 146 toneladas, o produto é voltado mais para o consumo dos próprios agricultores, os quais comercializam os excedentes.

A soja é o produto de menor expressão na agricultura da área. Com esta aparecem uma série de outros produtos de menor importância, tais como, cana-de-açúcar, cebola, tomate, batata inglesa e doce, além de uma grande variedade de frutas, as quais em sua grande maioria são consumidas pelos próprios produtores, tais como: banana, laranja, pêsego, limão, melancia, abacaxi, e outros.

A pecuária do município também merece destaque, uma vez que várias espécies de animais são criados. Os bovinos, suínos e as aves (galinhas) são os mais expressivos, conforme o quadro 5:

Quadro 5- Principais produtos da pecuária do Município

Rebanho	Cabeças	% dos produtos
Bovinos	4.250	15,75
Suínos	3.570	13,23
Ovinos	160	0,59
Caprinos	70	0,25
Galinhas	18.430	68,33
Coelhos	400	1,48
Eqüinos	90	0,33
Total	26.970	100

Fonte: FEE (2000)

Organizador: Maziero, L.

No Município em estudo merece destaque principalmente o rebanho bovino, com 4.250 cabeças. Este possui vários fins, sendo o primeiro deles o consumo da carne pela própria família. Um outro aspecto importante é a produção de leite. No Município, segundo dados da FEE (2000) foram produzidos 1.027 milhão de litros de leite no ano 2000, com um valor de produção de 225.049 mil reais. Um terceiro aspecto é a venda do próprio animal, que posteriormente é abatido em frigoríficos.

A produção suína também merece destaque no município, com um rebanho de 3.570 animais. Vale ressaltar que novos estabelecimentos de criação estão sendo implantados, visando cada vez mais o comércio dos suínos.

A criação de galinhas chegou a um total de 18.430 no ano de 2000, alcançou um valor de produção de 30.056 mil reais. Da mesma forma que as demais, esta criação visa antes de mais nada consumo familiar, sendo os excedentes comercializados. Ressalta-se que com a criação de animais são gerados resíduos sólidos e/ou líquidos que podem alterar as condições naturais dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, principalmente os nitratos e os fosfatos.

No que se refere ao setor industrial e de prestação de serviços, o município de Dona Francisca/RS restringe-se a alguns poucos estabelecimentos. Os quadros 6, 7 e 8 ilustram este fato:

Quadro 6- Indústrias de transformação e pessoal ocupado no Município

Indústria de transformação	Número de unidades/pessoas
Número de unidades	31
Pessoal ocupado assalariado	53
Pessoal ocupado	95

Fonte: Fonte: IBGE, Cadastro Central de Empresas 2001.

Organização: Maziero, L.

Quadro 7 – Indústria de construção e pessoal ocupado no Município

Indústria de construção	Número de unidades/pessoas
Número de unidades	3
Pessoal ocupado assalariado	6
Pessoal ocupado	11

Fonte: Fonte: IBGE, Cadastro Central de Empresas 2001.

Organização: Maziero, L.

Quadro 8 – Estabelecimentos comerciais, número de unidades e pessoal ocupado

Comércio; reparação de veículos automotores, objetos pessoais e domésticos	Número de unidades/pessoas
Número de unidades	78
Pessoal ocupado assalariado	34
Pessoal ocupado	118

Fonte: Fonte: IBGE, Cadastro Central de Empresas 2001.

Organização: Maziero, L.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Contextualização do tema

A água é um bem indispensável a toda e qualquer forma de vida. Para Fernandes & Garrido (2002), embora dois terços do planeta sejam formados por água, a água potável, é na realidade um recurso escasso. As águas de oceanos e mares, portanto salgadas, representam 97% do total deste recurso na natureza. Os 3% restantes distribuem-se entre águas doces congeladas nas calotas polares, que representam 2%, e águas superficiais e subterrâneas que representam 1%. O mesmo autor afirma ainda que deste 1% de águas superficiais e subterrâneas doces, as águas subterrâneas perfazem um total de 97%.

Segundo dados da UNESCO/PHI (1998) o volume de água subterrânea em escala mundial é estimado em 23 milhões de quilômetros cúbicos. Este recurso é de fundamental importância, uma vez que os mesmos são vitais para o seres vivos, tanto para manutenção da vida sobre a terra como para o desenvolvimento econômico. Entre os seus principais usos estão a dessedentação humana e de animais, usos domésticos, usos industriais, agrícolas e lazer.

Para Fernandez & Garrido (2002) os usos da água podem ser classificados como consuntivos e não consuntivos. O primeiro refere-se aqueles que retiram a água de seus mananciais, através de captações ou derivações, e apenas parte dessa água retorna a suas fontes de origem. Exemplos de usos consuntivos são a agricultura irrigada, o abastecimento humano, a dessedentação de animais e o abastecimento industrial. Os mesmos autores classificam os usos não consuntivos como aqueles que utilizam a água em seus próprios mananciais sem haver necessidade de retirá-las ou, após captada, retorna integralmente a seus mananciais.

Exemplos deste tipo de uso são a pesca, o lazer e recreação, a navegação fluvial e a preservação da natureza.

Duarte Costa (1997) comenta que a maioria dos usos são consuntivos, e entre estes, alguns requerem maiores cuidados com as características físicas, químicas e/ou biológicas das águas. Dentre estes encontram-se os usos doméstico, a irrigação e as indústrias. Entre os não consuntivos, merece especial atenção os usos com recreação e a preservação da natureza.

Cavalcanti (2001) comenta que a demanda mundial por água dobra a cada 20 anos, no entanto, estima-se que para o ano de 2020 o volume hídrico ofertado, para cada habitante, deva chegar a apenas metade do que representa hoje.

Segundo o Correio da Unesco (1999), há apenas 50 anos, nenhum país do mundo registrava níveis catastróficos em reservas de água. Hoje, cerca de 35% da população mundial vive nessa situação. Em 2025, dois terços dos habitantes do planeta terão reservas de água frágeis, se não catastróficas. Em compensação, os países e regiões ricos em água como o norte da Europa, o Canadá, a quase totalidade da América do Sul, África Central, Extremo Oriente e Oceania continuarão a dispor de vastas reservas. Ressalta-se que no futuro isto poderá ser motivo de discórdia entre países.

São Paulo, citado por Osório (2002, p. 6) afirma que “a partir da década de 70, tem se acentuado a exploração das águas subterrâneas no Brasil. Estima-se, hoje, a existência de 200.000 poços tubulares profundos ativos (além de milhões de poços rasos e escavados), que fornecem água para diversos fins, sobretudo para o abastecimento agrícola e industrial”.

Segundo dados do IBGE (1991), 61% da população brasileira se abastece do manancial subterrâneo, seja por meio de poços profundos, rasos ou nascentes. Este fato ilustra a extrema importância que estes

mananciais assumem no país. Sendo assim, a sua conservação é de vital importância em todos os sentidos.

De acordo com o Código Estadual do Meio Ambiente (2000), Art. 120:

As águas, consideradas nas diversas fases do ciclo hidrológico, constituem um bem natural indispensável à vida e as atividades humanas, dotadas de valor econômico em virtude de sua limitada e aleatória disponibilidade temporal e espacial, e que, enquanto bem público e de domínio do Estado, deve ser por este gerida, em nome de toda a sociedade, tendo em vista seu uso racional sustentável.

Sendo assim, o correto Gerenciamento dos Recursos Hídricos deve ser, segundo Lanna (1993, p. 744) ser embasado em um “conjunto de ações governamentais destinadas a regular o uso e o controle dos recursos hídricos e a avaliar a conformidade da situação corrente com os princípios doutrinários estabelecidos pela política dos recursos hídricos”.

Assim merece destaque a formulação de princípios e diretrizes, bem como de documentos orientadores de gestão. Estes, com vistas a criação de sistemas gerenciais para os mesmos.

Neste sentido, Lanna (1993, p. 748) afirma que “a gestão dos recursos hídricos deve considerar a ligação estreita existente entre os problemas de quantidade e qualidade das águas”.

Sobre a gestão dos recursos hídricos e sua importância para a sociedade, Lanna (op. cit., p. 727) afirma que:

Os recursos hídricos são bens de relevante valor para a promoção do bem estar de uma sociedade. A água é bem de consumo final ou intermediário na quase totalidade das

atividades humanas. Com o aumento da intensidade e variedade desses usos ocorrem conflitos entre usuários. Uma forma eficiente de evitar estes conflitos é a gestão integrada do uso, controle e conservação dos recursos hídricos.

O artigo 134 do Código Estadual do Meio Ambiente (2000) afirma que “incumbe ao Poder Público manter programas permanentes de proteção das águas subterrâneas, visando ao seu aproveitamento sustentável, e a privilegiar a adoção de medidas preventivas em todas as situações de ameaça potencial a sua qualidade”. O poder público deve gerenciar os recursos com investimentos em projetos, obras e ações que garantam a oferta deste recurso. Assim, o mesmo tem o direito de implementar cobrança pelo uso dos recursos, de maneira que com esta, possa gerenciar projetos de conservação ou recuperação de mananciais.

Fernandes & Garrido (2002, p. 47) afirmam que “a cobrança pelo uso dos recursos hídricos é um instrumento de política nacional de gestão do uso da água dos mananciais, previsto desde 1934, no Código de Águas”. Salientam ainda que a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 reafirmou a necessidade de manutenção deste instrumento, sobretudo como indutor de uma postura de racionalidade do usuário da água, para que o mesmo use-a sem desperdício.

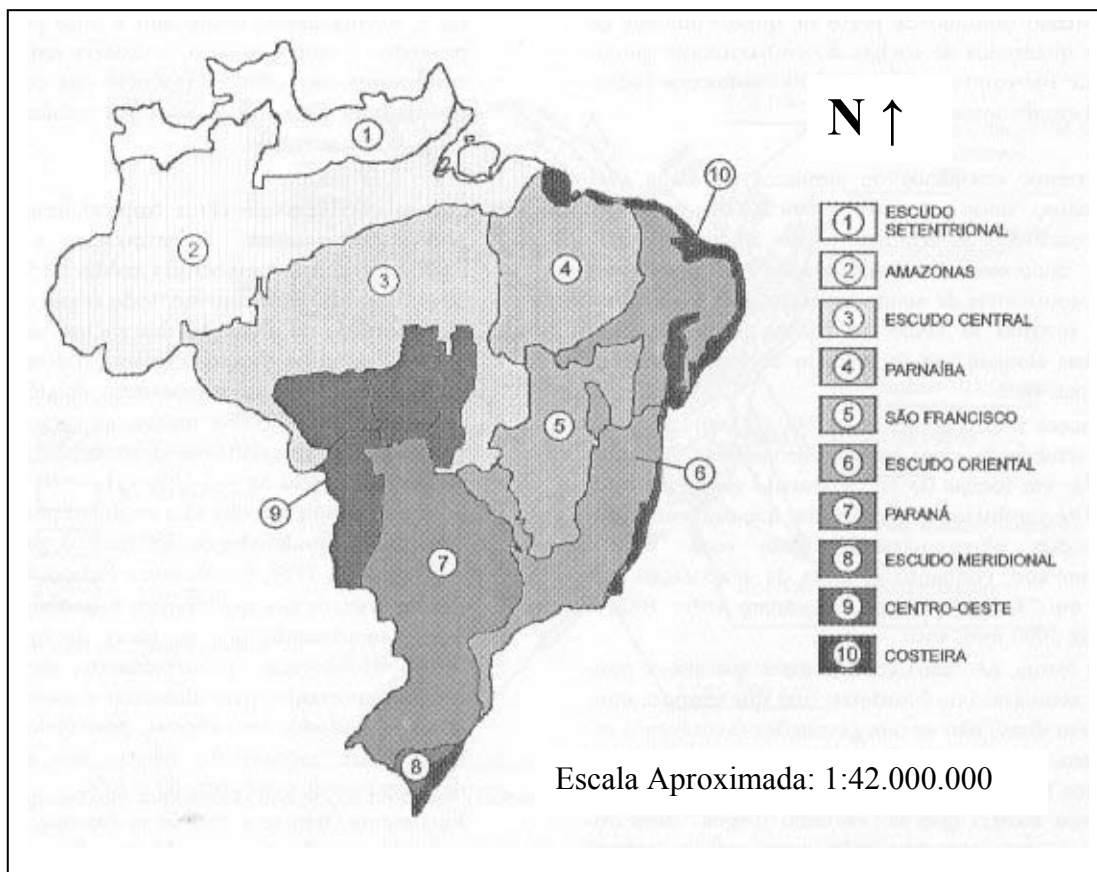
Hirata (1997) tecendo comentários a respeito da poluição de mananciais hídricos ressaltou que a contaminação de águas superficiais é mais fácil de acontecer do que em águas subterrâneas. No entanto, a recuperação de mananciais superficiais também é mais fácil, pois as águas subterrâneas, além de possuir um poder de renovação muito lento, possuem camadas de solo e rocha sobre si. Se por um lado estas camadas lhes dão

proteção, por outro dificultam programas de despoluição. Neste sentido, é importante ressaltar que as atividades antrópicas executadas em superfície estão diretamente vinculadas com a qualidade dos mananciais subterrâneos. No Município em estudo merecem destaque os agroquímicos usados na agricultura.

Rebouças (1999) comenta que os aquíferos são corpos rochosos com características relativamente favoráveis a circulação e armazenamento de água subterrânea, podem variar em extensões de alguns Km² até milhões de Km², ter espessuras variadas. Estes podem ocorrer na superfície ou encontrar-se em profundidade, podem estar encerrados em camadas relativamente pouco permeáveis, ter porosidade, permeabilidade, intergranular ou fraturas, podem fornecer água de excelente qualidade para o consumo ou ter águas relativamente salinizadas.

Segundo o CNRH (2001, Resolução N° 16) “os aquíferos são corpos hidrogeológicos com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”.

O autor salienta que, no Brasil, em função de seu complexo quadro geológico, litológico, tectônico e estrutural, pode-se identificar 10 províncias hidrogeológicas. Províncias hidrogeológicas são entendidas por Rebouças (op. cit.) como domínios hidrogeológicos onde as condições de estocagem (porosidade), de fluxo (permeabilidade) e de recarga natural (infiltração das chuvas) são relativamente similares. A figura 2 ilustra as 10 Províncias Hidrogeológicas do Brasil. O Município de Dona Francisca situa-se na Província Hidrogeológica do Paraná (número 7).



Fonte: DNPM/CPRM (1983) citado por Rebouças (2002, p.41)

Figura 2- Províncias hidrogeológicas do Brasil (figura ilustrativa).

Comparando-se as figuras 1 e 2 pode-se perceber que as Províncias Hidrogeológicas (águas subterrâneas) não são coincidentes com as Bacias Hidrográficas⁵(águas superficiais).

O mesmo autor salienta ainda que as águas subterrâneas têm, regra geral, três origens principais, quais sejam, meteórica, conata e juvenil.

Para Rebouças (2002, p. 40) a água meteórica “corresponde às águas subterrâneas que são naturalmente recarregadas pela infiltração da parcela das que caem da atmosfera – chuva, neblina e neve, principalmente nos continentes, em geral, e numa bacia hidrográfica, em particular”. Para o mesmo esta perfaz um total de 10 milhões de Km³ e ocorre, regra geral,

⁵ Definida por Tucci (1993, p. 40) como “ uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no exutório”.

até a profundidade de 1000 metros, movimentando-se lentamente (cm/dia) através do solo/subsolo, podendo desaguar em corpos d'água em períodos de estiagem ou sem chuva. Assim, o autor afirma que a determinação do escoamento básico dos rios constitui, regra geral, uma metodologia consistente de avaliação das recargas naturais da água subterrânea, ou seja, em regiões de rios perenes a contribuição dos fluxos subterrâneos é suficiente para alimentar as suas descargas durante o período sem chuvas. Esta situação ocorre em mais de 90% dos rios brasileiros. Ao contrário, quando os rios tem regime de fluxo temporário, significa que a contribuição dos fluxos subterrâneos não é suficiente para alimentar as suas descargas de base durante o período de estiagem ou sem chuva.

As águas conatas, segundo Rebouças (op. cit.) são “aquelas retidas nos sedimentos, desde a formação dos referidos depósitos, ou foram recarregadas em períodos climáticos favoráveis, a exemplo do que ocorre no *High Plains e Great Plains* (USA) cuja última fase de recarga mais abundante parece ter ocorrido durante o último período glacial”.

Para o mesmo autor (op. cit) águas de origem juvenil, por sua vez, são aquelas “geradas pelos processos de formação das rochas graníticas magmáticas, principalmente”. O mesmo autor citando Berner e Berner (1987) comenta que esta é estimada em $0,3\text{Km}^3$ por ano. Salienta que desta forma, a mesma é quase insignificante se comparada aos volumes de água meteórica.

Zimbres (2003) comenta que as águas subterrâneas, regra geral, podem ser classificados em três tipos, de acordo com a rocha armazenadora, sendo eles:

1) Aquíferos contínuos ou porosos: estes se constituem nos melhores reservatórios de água. Ocorrem em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados e solos arenosos, decompostos *in situ*. Estes aquíferos destacam-se pela sua porosidade, quase sempre homogeneamente

distribuída, permitindo o livre fluxo da água, tão somente em função da pressão hidrostática. A porosidade de uma rocha é entendida por Leinz e Amaral (1995, p. 80) como “a relação existente entre o volume dos poros e o volume total, relação esta expressa em percentagem”. Zimbres (2003) salientou que estes aquíferos podem ser subdivididos em outros três grupos, de acordo com a pressão hidrostática a que estão submetidos, quais sejam: aquíferos livres, freáticos ou não confinados onde a pressão da água na superfície da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica. O aquífero confinado, artesianos ou sob pressão, ocorre quando o aquífero encontra-se entre duas camadas impermeáveis, ou seja, confinado. Já o aquífero suspenso ou semiconfinado, ocorre quando o volume de água subterrânea está separado da água subterrânea principal por um estrato relativamente impermeável. Ressalta-se que as rochas sedimentares pertencentes a Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul se enquadram neste grupo, ou seja, nos aquíferos contínuos ou porosos.

2) Aquíferos descontínuos, fraturados ou fissurados: ocorrem quando a água subterrânea armazena-se em fendas e fraturas de rochas ígneas e /ou metamórficas, sendo que neste caso a capacidade de acumulação de água restringe-se à quantidade de fendas e fraturas, suas aberturas e suas intercomunicações. Os derrames de rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral pertencem a este grupo, como será discutido em etapa posterior.

3) Aquíferos cársticos: nestes a água ocupa espaços vazios decorrentes da dissolução de porções do material original, principalmente rochas carbonáticas, como calcários e mármore. Estes não ocorrem no Município em estudo.

Outro fato a ser ressaltado se refere à vulnerabilidade das águas subterrâneas, entendida por Foster e Hirata (1993) como a maior ou menor susceptibilidade de um manancial subterrâneo em ser contaminado. Neste

sentido, salientam que existe basicamente dois tipos de contaminação, a pontual e a difusa. A primeira se refere à contaminação com aterros sanitários, lixões, acidentes ambientais e deposição de efluentes industriais, mais fáceis de serem localizados. Na contaminação de maneira difusa podem ser citados o saneamento urbano sem rede de esgoto e as atividades como os cultivos e a irrigação, sendo que toda e qualquer contaminação depende basicamente das características hidrogeológicas intrínsecas a cada aquífero. Entre elas destaca-se: os tipos de aquíferos, a composição litológica, a profundidade do nível d'água, além das interações água percolante com o meio hidrogeológico, alterações biogeoquímicas, bem como das formas de uso e ocupação do solo.

Foster et al. (2003) cita o método POSH para caracterização do potencial de carga contaminante ao subsolo. Este método baseia-se em duas características facilmente estimáveis, sendo elas, a origem do contaminante (Pollutant Origin) e sua sobrecarga hidráulica (Surcharge Hydraulically). A partir destas duas características, o método POSH gera três níveis qualitativos de potencial de geração de uma carga contaminante no subsolo: reduzido, moderado e elevado. Os quadros 9 e 10 fazem a classificação e categorização das fontes pontual e difusa de contaminação da água subterrânea, de acordo com o método POSH.

Quadro 9- Classificação e categorização de fontes de contaminação difusa de acordo com o método POSH

Potencial de carga contaminante ao subsolo	Saneamento <i>in situ</i>	Fonte de contaminação, práticas agrícolas
Elevado	Cobertura de serviços de cloacas menor do que 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/ha	Cultivos comerciais intensivos e a maioria das monoculturas em solos bem drenados em climas úmidos com baixa eficiência de drenagem, pastoreio intensivo sobre pradarias altamente fertilizadas
Moderado	Intermediário entre elevado e reduzido	
Reduzido	Cobertura de serviços cloacais maior do que 75% e densidade populacional inferior a 50 pessoas/há.	Rotação de cultivos tradicionais, pastoreio extensivo, sistemas de granjas ecológicas, drenagem de grande eficiência em áreas áridas

Fonte: Foster, S. et al. (2003)

Organização: Maziero, L.

Quadro 10: Classificação e categorização de fontes pontuais de contaminação de acordo com o método POSH

Potencial de geração de carga contaminante ao subsolo	Disposição de resíduos sólidos	Sítios industriais*	Lagunas de efluentes	Atividades urbanas	Exploração mineral e petrolífera
Elevado	Resíduos de indústrias tipo 3, resíduos de origem desconhecida	Indústrias tipo 3, qualquer atividade que maneje mais que 100 Kg/d de substâncias químicas	Todas as indústrias tipo 3, qualquer efluente (exceto águas residuais residenciais) se a área for maior que 5 há		Operação de campos de petróleo, minas metalíferas
Moderado	Precipitação maior do que 500 mm/ano com resíduos residenciais / industriais do tipo 1/ agroindustriais	Indústrias tipo 2	Água residual residencial se a área for maior do que 5ha, outros casos que não figuram acima ou abaixo	Postos de gasolina, rotas com tráfego regular de substâncias químicas perigosas	Algumas minas/ canteiros de matérias inertes
Reduzido	Precipitação menor do que 500 mm/ano com resíduos residenciais/ industriais tipo 1/ agroindustriais	Indústrias tipo 1	Efluente residencial, urbano mesclado, agroindustrial e minério não metálico se a área for menor que 1ha	cemitérios	
<p>*os terrenos contaminados por indústrias abandonadas tem a mesma categoria que as próprias indústrias</p> <p>Indústrias tipo 1: carpintarias, fábricas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos</p> <p>Indústrias tipo 2: fábrica de caucho , polpa de papel, têxteis, artigos elétricos, fertilizantes, detergentes e sabão</p> <p>Indústria tipo 3: talleres mecânicos, refinarias de gás e petróleo, manufaturas de pesticidas, plásticos, produtos farmacêuticos e químicos, curtidoria, fábricas de artigos eletrônicos, processamento de metal</p>					

Fonte: Fonte: Foster, S. et al. (2003)

Organização: Maziero, L.

De acordo com o §2º do Art. 134 do Código Estadual do Meio Ambiente (2000) “a vulnerabilidade dos lençóis d’água subterrâneos será prioritariamente considerada na escolha da melhor alternativa de localização de empreendimentos de qualquer natureza potencialmente poluidora das águas subterrâneas”. Da mesma forma o §5º deste mesmo artigo afirma que “os municípios deverão manter seu próprio cadastro

atualizado de poços profundos e poços perfurados sob sua responsabilidade ou interveniência direta ou indireta”.

Neste trabalho, a avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos será feita com base no modelo DRASTIC. A metodologia a ser empregada para no levantamento da vulnerabilidade baseia-se no modelo DRASTIC. Leite e Möbus (1998) descrevem-no como sendo um sistema padronizado de avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos a partir dos dados decodificados em planos de informações (PI's). É um dos índices de vulnerabilidade mais difundido atualmente. Essa metodologia foi desenvolvida pela *National Ground Water Association*, (Aller et. al. 1987) e é empregada pela Agência de Proteção Ambiental norte-americana (US-EPA), constituindo-se num modelo qualitativo para avaliar a poluição potencial das águas subterrâneas. O cenário hidrogeológico inclui os principais fatores geológicos e do meio aquífero que conferem o nome à metodologia, sendo que para cada um dos fatores atribui-se pesos, os quais estão relacionados a maior ou menor importância do fator na avaliação da vulnerabilidade do aquífero

Neste contexto, acredita-se que o gerenciamento dos recursos hídricos são vitais para a sobrevivência da humanidade, e como tal, exigem que se trace diretrizes gerais a respeito. Um modelo de gerenciamento que estabeleça a organização legal e institucional, de modo que fiquem claras as condições de uso e ao mesmo tempo de proteção contra agentes causadores de deterioração da qualidade da água, seja direta ou indiretamente.

4.2. Alguns aspectos legais referentes às águas subterrâneas

A água em suas mais variadas formas na natureza é um recurso vulnerável e finito. Como tal, a sua conservação exige que se trace diretrizes a respeito, bem como um conjunto de leis que garantam o uso sustentável deste recurso.

No Código das Águas, de 10 de julho de 1934, a água subterrânea encontra-se referenciada no Título IV, conforme segue:

Art. 96 – o dono de qualquer terreno poderá apropriar-se por meio de poços, galerias etc das águas que existam debaixo da superfície de seu prédio, contando que não prejudique aproveitamentos existentes nem derive ou desvie de seu curso natural águas públicas dominicais⁶, públicas de uso comum ou particulares.

Parágrafo Único – se o aproveitamento das águas subterrâneas de que trata este artigo prejudicar ou diminuir as águas públicas dominicais ou públicas de uso comum ou particular, a administração competente poderá suspender as ditas obras e aproveitamentos.

Art. 97 – não poderá o dono do prédio abrir poço junto ao prédio vizinho, sem guardar a distância necessária ou tomar as precisas precauções para que ele não sofra prejuízo.

Art. 98 – são expressamente proibidas construções capazes de poluir ou inutilizar, para uso ordinário, a água do poço ou nascente alheia, a eles preexistente.

Art. 99 – todo aquele que violar as disposições dos artigos antecedentes é obrigado a demolir as construções feitas, respondendo por perdas e danos.

Art. 100 – as correntes que desaparecerem momentaneamente do

⁶ Segundo o Código das Águas (1934) são públicas dominicais todas as águas situadas em terreno que também o sejam, quando as mesmas não forem de domínio público de uso comum, ou não forem comuns.

solo, formando um curso subterrâneo, para reaparecer mais longe, não perdem o caráter de coisa pública de uso comum, quando já o eram na sua origem.

Art. 101 – depende de concessão administrativa a abertura de poços em terrenos de domínio público.

O Código do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul, Lei 11.520 de 03 de agosto de 2000 ressalta aspectos importantes referentes as águas superficiais e subterrâneas.

De acordo com o Art. 123 nos processos de outorga e licenciamento de utilizações de águas superficiais ou subterrâneas deverão ser obrigatoriamente considerados pelos órgãos competentes:

IV – A manutenção de níveis históricos médios adequados para a manutenção da vida aquática e o abastecimento público, no caso de lagos, lagoas, banhados, águas subterrâneas e aquíferos em geral.

Art. 132 – É proibida a disposição direta de poluentes e resíduos de qualquer natureza em condições de contato direto com corpos d'água naturais superficiais ou subterrâneos, em regiões de nascentes, ou em poços e perfurações ativas ou abandonadas, mesmo secas.

Art. 133 – Os poços jorrantes e quaisquer perfurações de solo que coloquem a superfície do terreno em comunicação com aquíferos ou com o lençol freático deverão ser equipados com dispositivos de segurança contra vandalismo, contaminação acidental ou voluntária e desperdícios.

Parágrafo Único – As perfurações desativadas deverão ser adequadamente tamponadas pelos responsáveis, ou na impossibilidade da identificação destes, pelos proprietários dos terrenos onde estiverem localizadas.

Art. 134 – Incumbe ao Poder Público manter programas permanentes de proteção das águas subterrâneas, visando ao seu aproveitamento sustentável, e a privilegiar medidas preventivas em todas as

situações de ameaça potencial da sua qualidade.

Conforme o parágrafo 2º - A vulnerabilidade dos lençóis d'água subterrâneos será prioritariamente considerada na escolha da melhor alternativa de localização de empreendimentos de qualquer natureza potencialmente poluidoras das águas subterrâneas.

§ 4º - Toda a pessoa jurídica pública ou privada, ou física, que perfurar poço profundo em território estadual, deverá providenciar seu cadastramento junto aos órgãos competentes, mantendo completas e atualizadas as respectivas informações.

§ 5º - Os municípios deverão manter seu próprio cadastro atualizado de poços profundos e rasos perfurados sob sua responsabilidade ou interveniência direta ou indireta.

§ 6º - Nas áreas urbanas e de alta concentração industrial deverão ser delimitadas e cadastradas as áreas de proteção de poços para abastecimento público.

Art. 135 - Nas regiões de recursos hídricos escassos a implantação de loteamentos, projetos de irrigação e colonização, distritos industriais e outros empreendimentos que impliquem intensa utilização de águas subterrâneas ou impermeabilização de significativas porções de terreno deverá ser feita de forma a preservar ao máximo o ciclo hidrológico original.

Art. 136 - Na elaboração de Planos Diretores e outros instrumentos de planejamento urbano deverá ser levada em consideração a vulnerabilidade dos lençóis de água subterrânea.

Art. 142 - Nos projetos de licenciamento ambiental de qualquer obra deverão ser obrigatoriamente indicadas fontes de utilização de água subterrânea.

4.3. Os mapas

Ao longo do tempo a relação homem/meio ambiente tem causado profundas alterações no ambiente natural. Estas estão ligadas a fatores diversos. As alterações são mais visíveis onde a exploração econômica é mais acentuada, especialmente quando se lança mão dos recursos de maneira desordenada e irracional, não levando em consideração as aptidões do meio natural. Pode-se dizer que este fato não é algo novo, pois a natureza sempre foi pensada como estando a serviço e a disposição do homem. No Brasil, particularmente, as práticas predatórias se iniciaram no período colonial com a exploração do Pau-Brasil, onde esta aconteceu visando acima de tudo os lucros para a coroa portuguesa.

Com o constante aumento da exploração, a nível mundial, os danos ambientais foram sendo aumentados, fato que leva a humanidade a cada vez mais repensar algumas práticas e valores, o que gradativamente desperta no mundo uma consciência ambiental.

Dentro desse contexto, os mapas se revelam ferramentas preciosas, pois, permitem a representação de todo e qualquer fenômeno da superfície terrestre, facilitando o planejamento das ações do homem. Santos (1990) comenta que os mapas podem ser entendidos como a representação cartográfica dos fenômenos naturais e humanos de uma determinada área, dentro de um sistema de projeções e em uma determinada escala, de modo que traduz com fidelidade as formas e dimensões do terreno. O mesmo autor comenta ainda que os mapas podem ser divididos em dois tipos: os mapas básicos e os mapas temáticos. No primeiro caso, o autor afirma que se trata de um mapa que contenha informações concernentes a superfície do terreno que está sendo estudado, e o mapa temático, por sua vez, é o fenômeno em análise propriamente dito.

Para Joly (1990, p.35) “o objetivo dos mapas temáticos é fornecer, com o auxílio de símbolos qualitativos e/ou quantitativos dispostos sobre uma base de referência uma representação convencional dos fenômenos localizáveis de qualquer natureza e de suas correlações”.

Raisz (1969) refere-se ao assunto comparando o homem a uma formiga sobre um tapete, sendo assim impossível para o homem conhecer a estrutura do espaço além de seu campo visual. Neste sentido se faz necessário reduzir a superfície a tal proporção que o permita ter uma compreensão total ou parcial da superfície em estudo com uma simples visão. O mesmo autor comenta ainda que os mapas são representados por símbolos, áreas, linhas e pontos, por meio dos quais são facilitadas a localização, a identificação e distribuição dos elementos no espaço, sendo que a escala do mapa deve levar em consideração o número de detalhes que se procura.

Sendo assim, a utilidade dos mapas é muito grande, pois estes se prestam para análise de todo e qualquer fenômeno sobre a superfície terrestre, fornecendo bases para a análise dos objetos de estudo. Exemplo disso são os mapas clinográficos e de uso da terra.

Desta forma, pode-se vincular o uso de mapas diretamente ao planejamento ambiental, seja a nível de microbacia ou de unidade administrativa. Para Santos (1990) o planejamento ocupa um lugar proeminente dentro das projeções governamentais, especialmente o seu alcance, exige a análise de todos os fatores que integram os quadros da infra-estrutura natural e construída de um Estado. Desta forma, os mapas temáticos mostram a sua utilidade, como sendo ferramentas indispensáveis para tal.

4.4. O sensoriamento remoto e suas aplicações

Com o desenvolvimento da ciência ao longo dos anos, em especial das ligadas ao meio ambiente, a demanda por mapas que representem aspectos ligados a esta cresceu muito, pois estes se constituem em importantes bases para estudos e soluções de problemas. Este crescimento estimulou o surgimento de instrumentos capazes de fornecer informações acerca de uma dada parte da superfície terrestre. Exemplo disso é o avanço das técnicas computacionais, as quais propiciaram a cartografia estes valiosos instrumentos, que além de acelerar a confecção dos mapas, imprime maior qualidade aos produtos cartográficos, possibilitando a substituição de produtos analógicos por digitais. Este fato estreitou os vínculos entre a cartografia, Sensoriamento Remoto e SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Para Curran (1985) o Sensoriamento Remoto ampliou a capacidade do homem em obter informações sobre os recursos naturais e o meio ambiente, colocando-se como mais uma ferramenta complementar para facilitar trabalhos temáticos e de levantamento.

Neste contexto Barra Rocha (2000, p.115), afirma que “o Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos da superfície da Terra, sem contato físico com eles”.

Para Novo (1992, p. 02) o Sensoriamento Remoto é definido como:

a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e análise de interações

entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta terra, em suas mais diversas manifestações.

Para Novo (op. cit., p. 05) “o Sensoriamento Remoto visto como sistema de aquisição de informações pode ser subdividido em dois subsistemas: 1) subsistema de coleta de dados e 2) subsistema de análise de dados”.

A autora afirma ainda que “o que chega ao sensor é uma certa intensidade de energia que posteriormente se transforma em sinal passível de interpretação. As interpretações compõem os sistemas de análise dos dados que incluem o processamento fotográfico, o processamento eletrônico do sinal, a modelagem, etc.”

Para Crósta citado por Frasson (2001, p.34):

do ponto de vista técnico-científico, imagens de Sensoriamento Remoto vêm servindo de fonte de dados para estudos de levantamentos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, entre outros. As imagens de Sensoriamento Remoto passaram a representar uma das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escala local e global. Nesse momento em que a humanidade começa a encarar seriamente a necessidade de monitorar as mudanças globais que vem ocorrendo na superfície do planeta, o Sensoriamento Remoto aparece como ferramenta estratégica para o futuro.

Neste sentido, as imagens de Sensoriamento Remoto tem a seu favor a periodicidade, fato que permite a geração de mapas de qualquer parte da superfície terrestre sempre atualizados, tanto no que se refere a dados quantitativos como qualitativos. Neste sentido, o potencial de aplicação do Sensoriamento Remoto para o mapeamento dos recursos naturais é inegável, especialmente em levantamentos de uso da terra.

Hoje estas técnicas são aplicadas nas mais diversas áreas no intuito de aumentar o poder investigativo do homem, ampliando as possibilidades de planejamento e gerenciamento dos recursos naturais.

Com estes incrementos tecnológicos, a cartografia é uma área extremamente beneficiada, pois novas técnicas computacionais diminuem o tempo gasto para a confecção de um mapa, além de permitirem um incremento de qualidade ao produto final e facilitar a interpretação dos dados gerados, ou seja, o vínculo entre a cartografia e o Sensoriamento Remoto torna-se cada vez mais estreito mediante, entre outros, Sistema de Gerenciamento de Dados e Sistemas de Informações Geográficas.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é definido por Assad & Sano (1998, p.06) como "um sistema que efetua tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica qualquer".

Assad & Sano (1998) salientam que o Sistema de Informações Geográficas (SIGs), entendido como instrumentos computacionais do geoprocessamento, permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados. Para os mesmos, os SIGs tornam possível ainda a automatização da produção de documentos cartográficos.

Assim, pode-se dizer que ao lançar mão dos SIGs, o Sensoriamento Remoto ganha ainda mais importância, pois com a associação destas duas ferramentas, a geração de planos de informação pode ser rápida e periódica, facilitando sobremaneira o levantamento de informações acerca de um dado objeto de estudo.

Sobre o Sistema Sensor, Novo (1992, p. 52), afirma que o mesmo se trata de "qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o

ambiente”.

No Brasil, o Sistema Orbital de maior difusão é o LANDSAT – 5 TM e LANDSAT – 7 ETM+.

Barra Rocha (2000, p. 123) afirma que “ o LANDSAT 5- TM é composto por sete bandas. O LANDSAT 7- ETM+ possui as mesmas bandas que o cinco, com mais uma banda PAN e melhoria de resolução espacial na banda termal 6 para 60m. Cada banda representa a resposta de uma certa faixa espectral”.

O autor acima citado destaca ainda que a fusão das bandas do LANDSAT- 7 ETM+ permite a extração de maior conteúdo de informações combinando a precisão de 15m da PAN com a riqueza de dados obtido pelos outros canais.

No presente trabalho, para geração do mapa de uso da terra da área optou-se pelo sistema LANDSAT – 7 ETM+. Isto deve-se ao fato de ser uma fonte de dados de fácil aquisição e de baixo custo, sendo aplicável na análise de objetos e fenômenos de grandes proporções, facilmente detectados visualmente e espacialmente.

O Sistema LANDSAT – 7 TM permite a fusão de suas bandas, sendo que pode-se optar pelas bandas que melhor ressaltem os alvos a serem estudados, fato este que facilita a identificação de um maior conteúdo de informações.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, citado por Barra Rocha (2000) recomenda as seguintes combinações para composições coloridas: Bandas 1, 2 e 3, imagens em cor natural, com boa penetração de água, realçando as correntes, a turbidez e os sedimentos; Bandas 2, 3 e 4, definem melhor os limites entre o solo e água, ainda mantendo algum detalhe em águas profundas, e mostrando as diferenças na vegetação; Bandas 3, 4 e 5, mostram mais claramente os limites entre solo e água, com a vegetação mais discriminada.

Para classificação do uso da terra optou-se pela composição das bandas 3,4 e 5. A banda 3 caracteriza-se da seguinte forma: vegetação verde, densa e uniforme. Esta apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação.(Exemplo: solo exposto, estradas e área urbana). Apresenta bom contraste entre tipos de cobertura vegetal. (exemplo: campo, cerrado e floresta).

Permite análise de variações litológicas em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento de drenagem através da visualização de mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite identificação de áreas agrícolas.

Na banda 4 caracteriza-se os corpos de água absorvem muita energia, ficando escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos d'água. A vegetação verde, densa e uniforme reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade a rugosidade da copa das florestas(dossel). Apresenta sensibilidade a morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre a geomorfologia, solos e geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pínus e eucalípto. Serve para mapear áreas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas(Exemplo: Aguapé). Permite identificação de áreas agrícolas.

A banda 5 apresenta sensibilidade ao teor da umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.

A composição 3, 4 e 5 foi escolhida por ser a que melhor ressalta os principais usos da terra da área em estudo.

4.5. O uso da terra e a declividade do terreno como fatores importantes na recarga dos aquíferos

São antigas as relações entre os homens e o meio ambiente, portanto, analisar o espaço em que o mesmo está inserido e compreender as transformações que nele ocorrem, sua complexidade e a interdependência entre os elementos que o compõe, são de suma importância para que se alcance uma relação de harmonia entre o homem e o meio.

O levantamento do uso da terra visa antes de mais nada planejar o melhor aproveitamento da mesma. Sabe-se que cada área possui aptidão para usos específicos. Sendo assim, no momento que este é feito em desacordo com a aptidão natural da terra, gera-se conflitos de uso. Estes, por sua vez, são responsáveis por um maior desgaste e perda de fertilidade natural da mesma. Para Bertoni & Lombardi Neto (1990, p.29) “cada terreno deve ser utilizado de acordo com sua capacidade e tratado conforme sua necessidade”.

A carta clinográfica, por sua vez, é definida por Duarte apud Rocha (1997, p. 181) como “a inclinação do relevo em relação a linha do horizonte, ou mais tecnicamente, como sendo a tangente trigonométrica da inclinação da linha do relevo relacionada com a linha do horizonte”. Esta presta-se, antes de mais nada, para indicar as diferentes configurações do relevo no que se refere à inclinação das vertentes.

Rocha (1999) ressalta que o uso da terra e a declividade do terreno estão intimamente relacionados com uma maior ou menor infiltração da água no solo. Este, realizando experimentos para algumas áreas do Rio Grande do Sul constatou que a infiltração da água da chuva, com chuvas

pesadas, em locais de floresta pode chegar a aproximadamente 150mm/hora, enquanto em locais de lavoura estimou em apenas 6mm/hora. Para o mesmo, isto significa que em locais de lavoura, especialmente as mal conduzidas, a água quase não infiltra. Pode-se destacar assim dois fatos negativos. O primeiro diz respeito à degradação do solo por erosão e o conseqüente assoreamento de leitos fluviais. O segundo relaciona-se com a recarga dos mananciais subterrâneos. Quanto menos água infiltra no subsolo, menor será a recarga dos aquíferos.

Rocha (op. cit. p. 125) apresenta ainda um quadro demonstrativo do escoamento superficial, levando em consideração a influência dos fatores uso da terra, declividade e textura do solo, conforme quadro 13.

Quadro 11 - Valores do escoamento superficial

Uso da terra	Declividade (%)	Solo arenoso	Solo franco	Solo argiloso
Florestas	00 – 05	0,10	0,30	0,40
	05 – 10	0,25	0,35	0,40
	10 – 30	0,30	0,50	0,60
Pastagens	00 – 05	0,10	0,30	0,40
	05 – 10	0,15	0,35	0,55
	10 – 30	0,20	0,40	0,60
Cultivos Agrícolas	00 – 05	0,30	0,30	0,60
	05 – 10	0,40	0,60	0,70
	10 – 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: Rocha (1999, p. 125)

Organização: Maziero, L.

O referido quadro demonstra a importância do tipo de constituintes do solo, da cobertura do mesmo e da declividade do terreno no processo

de escoamento superficial da água, e por consequência, na infiltração da mesma, pois, quanto maiores os valores de escoamento superficial, menores os valores de infiltração.

De acordo com Hausman (1995) existe uma concordância entre os pesquisadores em relação aos valores de infiltração de águas de precipitação nos aquíferos profundos. Para o mesmo, esta situa-se em aproximadamente 10% do total de chuvas anuais.

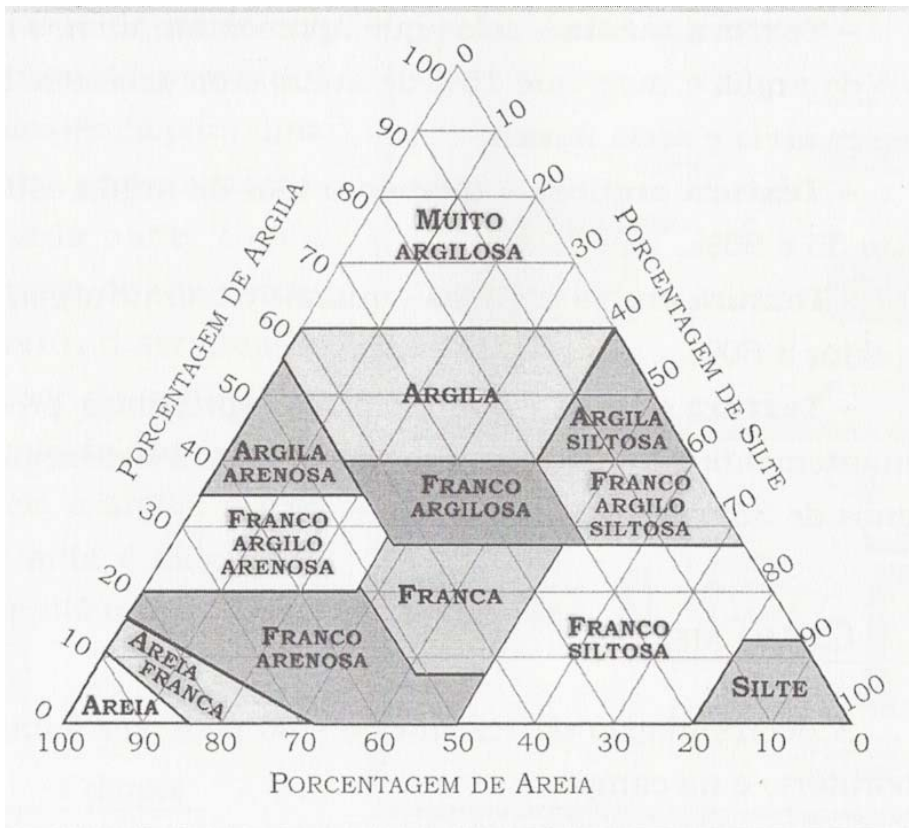
Salgado Vieira (1975, p.262) referindo-se a textura do solo afirma que a mesma “se refere à proporção dos vários grupos de grãos individuais que formam o solo, referindo-se principalmente ao conteúdo de argila, silte e areia, isto é, de partículas com diâmetro inferior a 2 mm”. O mesmo autor comenta que várias são as classes e subclasses de textura, entre elas tem-se as texturas areia, areia franca, franca arenosa, franca, franca siltosa, silte, franco argilo arenosa, franco argilosa, franco argilo siltosa, argilo arenosa e argila, que exprimem, de acordo com seus respectivos diâmetros a distribuição relativa das partículas de solo.

Salgado Vieira (1975) diferencia as três classes de textura principais do solo como segue: um solo arenoso caracteriza-se por possuir 85% ou mais de areia e a percentagem de silte e argila em torno de 15%; o solo franco caracteriza-se por possuir entre 7 e 27% de argila, de 28 a 50% de silte e menos de 52% de areia; um solo argiloso caracteriza-se por possuir 40% ou mais de argila, menos de 45% de areia e menos de 40 % de silte.

Azevedo e Dalmolin (2004, p.16, 17) salientam que a “textura do solo refere-se justamente a proporção das frações de areia, silte e argila encontrados no solo, sendo agrupadas em 13 classes texturais”. Para tal classificação os mesmos referem-se ao triângulo textural, conforme figura 3.

Suguo & Bigarella (1990) comentam que a capacidade de

infiltração da água no solo durante uma chuva depende da sua textura e estrutura, da cobertura vegetal da área e das estruturas biológicas. A retirada da vegetação facilita o escoamento superficial. E com isso ocorre uma diminuição na taxa de infiltração e um aumento da capacidade de erosão dos solos.



Fonte: Azevedo e Dalmolin (2004, p.17)

Figura 3: Gráfico demonstrativo das porcentagens de argila, silte e areia, nas classes básicas de textura do solo.

Da mesma forma que a constituição do solo, as florestas são importantes sob o ponto de vista da recarga de mananciais subterrâneos, sendo que os índices de infiltração tendem a ser melhores em declividades menores e em solos de sedimentação mais grosseira. Referindo-se a importância à infiltração, Cederstrom (1964) afirma que a permeabilidade de um solo é sempre maior quando este está coberto por vegetação. Esta

exerce papel fundamental na proteção do solo contra a compactação e na geração de matéria orgânica. Para o mesmo autor, um solo com matéria orgânica possui uma capacidade de embeber muito mais água em um tempo mais curto. Meinzer, citado por Cederstrom (1964, p. 20) diz que “um solo fica compacto, particularmente depois de arado e cultivado por muitos anos, com uma perda do material orgânico. Ali a falta de porosidade é talvez de tanto quanto 25%. Uma chuva torrencial tende a compactar uma terra nua. Neste caso a infiltração pode levar partículas que entopem os poros.

Para Rocha (1999) as florestas ganham muita importância neste contexto, sendo esta uma das maiores importâncias do florestamento, bem como a justificativa vital para a manutenção das florestas nativas. Para o mesmo, cada árvore adulta (8m de diâmetro de copa, com sistema radicular de, aproximadamente, mesmo diâmetro, pode infiltrar no solo um mínimo de 7.000 litros de água por hora de chuva, intensa a média, em solos, onde a capacidade de infiltração seja de 150mm/hora.

O autor salienta ainda que é por essa razão que os florestamentos bem planejados permitem recuperar os rios e manter a sua perenidade, inclusive desassoreando-os naturalmente, sem necessidade de dragagem.

Foster e Hirata (1993, p. 42) ressaltam que “o cultivo e o manejo agrícola do solo exerce uma grande influência na qualidade da água subterrânea e controla fortemente as taxas de recarga do aquífero”.

Albuquerque Filho (1995) ressalta que o rebaixamento do lençol poderá ser desencadeado por atividades que impeçam a entrada natural de água no aquífero, enquanto a elevação relaciona-se com atividades facilitadoras da recarga.

Dentro deste um contexto de influência antrópica, Foster e Hirata (1993) comentam que as práticas de uso do solo são capazes de causar uma séria contaminação nas águas subterrâneas por nutrientes e/ou

pesticidas, sendo que este risco aumenta em áreas de solo pouco espessos, muito poroso e/ou de textura arenosa.

É importante ressaltar que a poluição das águas subterrâneas é mais difícil de acontecer do que as águas de superfície, pois a mesma está protegida por camadas de solos e rochas que funcionam como filtros. No entanto, sua despoluição também é dificultada, pois além de sua renovação natural ser muito lenta, a mesma também se torna de difícil acesso para programas de despoluição. Assim, a melhor maneira de conservar este recurso, é fazendo sua exploração de maneira racional e em consonância com sua capacidade de renovação.

Neste sentido Christofolletti (1993, p.23) afirma que “os processos de desenvolvimento e ocupação do espaço pela atividade humana tem desencadeado uma necessidade crescente de estudos da paisagem que subsidiem a elaboração de planos ordenadores da relação homem natureza, afim de ser minimizada a degradação ambiental”.

Assim, pode-se perceber que o levantamento do uso da terra pode servir de base para o correto aproveitamento dos recursos naturais, no caso específico, a água, fornecendo aos planejadores as diretrizes básicas de ação que visem a conservação de tal recurso.

Ross (1994, p. 65) afirma que “o conhecimento das potencialidades dos recursos naturais passa pelos levantamentos dos solos, relevo, rochas, minerais, das águas, do clima, enfim de todos os componentes do estrato geográfico que dão suporte a vida animal e do homem”.

Para May (1981, p. 208) "a utilização de um mapa de uso da terra é essencial no planejamento e implantação dos programas de desenvolvimento, antes mesmo da realização de quaisquer atividades. Os mapas temáticos tornam-se vitais para os programas de desenvolvimento de um município". Comenta ainda que os levantamentos de uso da terra de

uma dada unidade geográfica, cada vez mais ganham importância em estudos relacionados à conservação dos recursos naturais, sejam eles solo, água, vegetação, entre outros.

5. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido por etapas, sendo a primeira delas a elaboração do mapa base da área. Posteriormente foi elaborada a carta clinográfica e digitalizada a carta geológica. Por fim, elaborou-se a carta de uso da terra. Estas se configuram em elementos importantes para o levantamento e análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas da área em estudo. Posteriormente elaborou-se os cartogramas referentes às características hidrodinâmicas dos poços. Todos os produtos cartográficos foram elaborados utilizando os Aplicativos Computacionais Spring na versão 4.1 desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e o Surfer 8. A edição dos mesmos foi realizada por meio do Aplicativo Computacional Scarta na versão 4.1 desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pelo Surfer 8.

5.1. Elaboração do mapa base

Para a elaboração do mapa base da área em estudo, inicialmente contatou-se a prefeitura do município de Dona Francisca, onde obteve-se a delimitação do mesmo, conforme a Lei nº 4993 de 17 de Julho de 1965. Esta foi feita sobre as cartas topográficas da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico), em escala de 1:50.000. A área do Município estende-se sobre duas cartas topográficas, sendo elas: Carta de Faxinal do Soturno, folha SH. 22-V-C-V-I, MI-2966/1 e carta de Nova Palma, folha SH. 22-V-C-II-3, MI-2949/3. Escaneou-se as mesmas, e a partir do registro das referidas cartas, passou-se a trabalhar em meio digital, com base no Aplicativo Computacional Spring 4.1. Desta forma, fez-se a digitalização via tela do computador da base cartográfica do município em estudo, onde foram digitalizadas as estradas, a rede de drenagem e a área urbana.

5.2. Elaboração da carta clinográfica

Para elaboração da carta clinográfica foram levadas em consideração as classes sugeridas por Leite & Möbus (1998), sendo que a espacialização das mesmas em meio digital foi realizada com base no Aplicativo Computacional Spring 4.1. O referido autor sugere cinco classes de declividade, sendo elas: 0 – 2%; 2 – 6%; 6 – 12%; 12 – 18%; >18%.

Para o INPE (2001) a declividade pode ser caracterizada como a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Considerando um modelo numérico de terreno (MNT) de dados altimétricos extraídos de uma carta topográfica e traçando um plano tangente a esta superfície num determinado ponto (P), a declividade em P corresponderá à inclinação deste plano em relação ao plano horizontal.

Para a geração da carta clinográfica partiu-se inicialmente da digitalização das curvas de nível, a partir das quais criou-se uma grade triangular (TIN), com base na triangulação Delaunay. Esta serviu de base para a geração da carta clinográfica. Após, gerou-se a grade retangular, a qual serviu para fazer o fatiamento das classes de declividade. Esta foi gerada usando a média ponderada por cota e por quadrante como critério de interpolação.

O fatiamento consistiu em gerar uma imagem temática a partir de uma grade retangular. Esta, por sua vez, trata-se de um modelo numérico que representa mais fielmente possível o relevo. Os temas da imagem temática resultante correspondem a intervalos de valores de cotas, chamados no Spring de fatias. Desta forma, um Plano de Informação da categoria numérica originará um Plano de Informação de categoria temática representando um aspecto particular do modelo numérico de terreno, conseqüentemente, a cada fatia deve ser associada a uma classe temática previamente definida no esquema conceitual do Banco de Dados ativo,

estabelecendo-se assim às diferentes classes de declividade para a área em estudo. Por fim, para a edição do mapa foi utilizado o Aplicativo Scarta.

5.3. Digitalização da carta geológica

A carta geológica foi digitalizada no Aplicativo Spring 4.1 a partir do Mapa Geológico da Folha de Camobí. Para que tal operação seja possível inicialmente deve-se criar um modelo de dados temático no aplicativo ao qual serão associadas às classes temáticas desejadas. No caso em análise, as classes criadas relacionam-se a classificação geológica do Mapa Geológico de Camobí. Segundo o referido mapa, na área existem quatro formações Geológicas diferentes, quais sejam: os Aluviões Atuais (Qa), a Formação Serra Geral (JKsg), a Formação Botucatu (TRjb) e a Formação Rosário do Sul (TRrs/TRsm).

A digitalização propriamente dita tem por base a rotina de edição vetorial do Spring 4.1, a partir da qual são feitas basicamente a digitalização das classes, a poligonização e a associação das mesmas a uma cor que as represente.

5.4. Elaboração da carta de uso da terra

A carta de uso da terra foi elaborada totalmente em meio digital, com base na imagem do satélite LANDSAT-7 ETM+, órbita ponto 222/81, datada de 24/07/2000, bandas 3, 4 e 5. A composição 3, 4 e 5 foi escolhida por discriminar de maneira clara os limites entre solo e água, com a vegetação mais discriminada.

A classificação digital de imagens é o processo de extração de informação sobre as mesmas para se reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os métodos de classificação são usados para mapear áreas da

superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais.

Nesta classificação optou-se pela classificação digital supervisionada, e parâmetros estatísticos de Máxima Verossimilhança com classificação “pixel a pixel”. Nessa, parte-se inicialmente coletando amostras sobre a área a ser classificada, sendo que as mesmas servirão de base para que o Aplicativo realize a classificação.

As classes de uso da terra foram estabelecidas com base no objetivo do trabalho, que visa identificar os principais usos da terra encontrados na área em estudo. Assim identificou-se cinco classes de uso da terra, sendo elas, agricultura, campo, floresta, água e área urbana. Vale ressaltar que a classe água refere-se apenas aos açudes, não estando contabilizados os rios do Município.

Vencida a etapa de classificação, partiu-se para a edição do mapa no Aplicativo Scarta.

5.5. Elaboração dos cartogramas de isovalores no Aplicativo Surfer 8

Para geração dos cartogramas no referido Aplicativo partiu-se da criação de uma planilha contendo os dados a serem amostrados. Para criação de uma planilha de dados existem dois caminhos, que são: através do comando “*Worksheet*” do menu “*File*” ou através do comando “*New*” do menu “*File*”. Após irá aparecer a janela da planilha de inserção e edição de dados do Surfer. Esta planilha deve conter um mínimo de três colunas (X, Y, Z), onde X e Y são as coordenadas do ponto e Z o valor a ser interpolado. Pode ser inserido mais colunas Z's sendo que no momento da interpolação deve-se selecionar a coluna a ser interpolada. A interpolação utilizada no presente trabalho foi a krigagem ou krigeagem.

Para Camargo et al. (2004) a *krigagem* compreende um conjunto de técnicas de estimação e predição de superfícies baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial. A hipótese implícita no procedimento geoestatístico é que o processo estudado é estacionário. O que diferencia a *krigagem* dos outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos as diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a *krigagem* também fornece estimadores com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

A *krigagem* é um método geoestatístico que tem provado ser usual e popular em muitos campos de atividades. Este método produz recursos visuais de mapas com informações espaçadas irregularmente. A *krigagem* busca expressar tendências sugeridas em seus dados, tais como, por exemplo, pontos elevados podem ser conectados ao longo de uma crista ou de um pico, de preferência a um tipo de contornos isolados como na *mosca* de um alvo. A *krigagem* é um método de malhas muito flexível. Pode-se aceitar que o padrão da *krigagem* pode ser um ajuste para um arranjo de dados, especificando-se um modelo de variograma. Dentro do Surfer 8 (Golden software, 2002) a *krigagem* pode ser um interpolador exato ou suavizador, dependendo do uso específico dos parâmetros. Ele incorpora a anisotropia e as tendências básicas de um modo eficiente e natural.

De acordo com Zingano (2004) o Surfer é um *software* de interpolação para gerar curvas de isovalores e superfícies, baseados em um *grid*. O *grid* é formado por uma malha regular de valores que são gerados pela interpolação dos dados amostrados em campo. Esses dados, geralmente, estão espaçados irregularmente. O Surfer atribui a extensão [.GRD] para o arquivo “*grid*”. O Surfer possui vários métodos de

interpolação que devem ser selecionados conforme o tipo de dado que está sendo interpolado e que represente melhor a realidade do local.

Abaixo estão os métodos de interpolação que o Surfer oferece:

- Inverso de distância;
- Krigagem;
- Curvatura mínima;
- Ponto mais próximo;
- Regressão polinomial;
- Função *radial basis*;
- Método de Shepard;
- Triangulação com interpolação linear.

A interpolação por *krigagem* utilizada no Surfer é a *krigagem* ordinária pontual. Antes de aplicar a interpolação por *krigagem*, o usuário deve realizar um estudo de continuidade espacial sobre os dados. Esse estudo é imprescindível para correta utilização do método, por ser à base da geoestatística e o diferencial sobre os outros métodos de interpolação.

Nesta pesquisa escolheu-se como interpolador a *krigagem* pólo fato desta representar melhor a variabilidade dos dados espacializados, anisotropia, variações em diferentes direções, tais como: estudo de sólidos totais dissolvidos, variação do nível estático, superfície potenciométrica, vulnerabilidade natural.

A orientação da elipse de busca foi feita em função da distribuição da amostragem e da existência de algum “*trend*” na amostragem. O número de pontos utilizados na interpolação deve levar em conta a distância entre as amostras e entre o ponto a ser interpolado e, também, da autocorrelação

entre as amostras (variograma). Isso explica a importância de uma boa amostragem.

Para verificar se a interpolação foi realizada dentro de uma faixa de confiança aceitável utiliza-se o comando “*Residuals*” no menu “*Grid*”. Esse comando calcula o erro entre os valores interpolados e valores amostrados. Os valores dos erros são acrescentados em uma coluna no arquivo de dados, onde no modo “*Worksheet*” pode-se calcular a estatística da coluna de erros.

Para Camargo et al. (2004), inicialmente o método de *krigagem* foi desenvolvido para solucionar problemas de mapeamentos geológicos, mas seu uso expandiu-se com sucesso no mapeamento de solos, mapeamento hidrológico, mapeamento atmosférico e outros campos correlatos. A diferença entre a *krigagem* e os outros métodos de interpolação é a maneira como os pesos são distribuídos as diferentes amostras. No caso de interpolação linear simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a $1/N$ (N = número de amostras); na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados. Na *krigagem*, o procedimento é semelhante ao da interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no variograma experimental. Além disso, a *krigagem* fornece, em média, *estimativas não tendenciosas e com variância mínima*. (Estimativas não tendenciosas significam que, em média a diferença entre valores estimados e observados para o mesmo ponto deve ser nula; e variância mínima significa que estes estimadores possuem a menor variância dentre todos os estimadores não tendenciosos).

5.6. Avaliação da vulnerabilidade natural da área

A avaliação da vulnerabilidade natural de um aquífero consiste, segundo Foster & Hirata (1993, p. 67) em “representar as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero de ser adversamente afetado por uma carga contaminante”. Os autores salientam que a carga contaminante é proveniente das atividades antrópicas de superfície. A interação entre as características naturais do aquífero e as atividades antrópicas resultarão na caracterização preliminar de áreas de maior ou menor risco de degradação.

As coordenadas dos poços foram coletadas com GPS GARMIN 12 XLX, utilizando-se as coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM), com uso do Datum SAD 69.

As informações do proprietário, tais como: localização, altitude do poço, o tipo de poço (escavado, tubular). Os parâmetros hidrodinâmicos, profundidade do nível estático, profundidade do nível dinâmico, superfície potenciométrica e parâmetros físico químicos como, condutividade elétrica foram levantados e tabelados no Aplicativo EXCEL para posteriormente serem espacializadas no Aplicativo SURFER 8. Este aplicativo utiliza interpoladores capazes de realizar e traçar linhas de isovalores ou de isoconcentrações, obtendo-se cartogramas.

A metodologia empregada no levantamento da vulnerabilidade baseou-se no modelo DRASTIC. Leite e Möbus (1998) descrevem-no como sendo um sistema padronizado de avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos a partir dos dados decodificados em planos de informações (PI's). É um dos índices de vulnerabilidade mais difundido atualmente. O modelo foi desenvolvido para avaliar áreas maiores do que 0,4 km². Suas variáveis ou fatores encontram-se descritos a seguir.

O cenário hidrogeológico inclui os principais fatores geológicos e do meio aquífero que conferem o nome à metodologia, sendo que para cada um dos fatores atribui-se pesos, os quais estão relacionados a maior ou menor importância do fator na avaliação da vulnerabilidade do aquífero. O quadro 12 ilustra os fatores DRASTIC, bem como seus respectivos pesos:

Quadro 12: Fatores DRASTIC e seus respectivos pesos (Peso= p)

Fatores DRASTIC	Pesos (p)
D – Profundidade das águas subterrâneas (Depth to water);	5
R – Recarga total (Recharge);	4
A – Meio aquífero (Aquifer media);	3
S – Solos (Soil media);	2
T – Topografia (Topography);	1
I – Impacto na zona vadosa (Impact of the vadose zone);	5
C – Condutividade hidráulica (Conductivity hydraulic).	3

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Elaboração: Maziero, L.

De acordo com o modelo, os fatores DRASTIC são divididos em faixas ou tipos de meios, cada um dos quais é estimado para uma variação entre 1 e 10, baseado na significância do potencial de contaminação da água subterrânea ou do tipo de meio. A partir das faixas se estabelece a carga para cada situação. Quanto maior a carga, maior sua vulnerabilidade, ou seja, pior a condição no que se refere à susceptibilidade a contaminação.

Ao conjunto dos sete itens acima descritos (DRASTIC) são atribuídos pesos de acordo com a provável contribuição de cada um na contaminação do lençol freático (ilustrados no quadro 12). Isso é feito com o intuito de se obter e quantificar um valor chamado de índice potencial de poluição. Quanto mais elevado o índice, maior a vulnerabilidade do

aquífero, o qual pode ser espacializado em cartogramas. Os fatores DRASTIC estão abaixo descritos:

D – Profundidade do lençol freático, pode ser obtido em campo com medidor Jaciri ou de dados preexistentes. Pode-se adquiri-los acessando o sistema de informações de Águas Subterrâneas do Brasil, na página da CPRM, <http://www.cprm.gov.br>. O quadro 13 ilustra as faixas de profundidade do lençol freático e suas respectivas cargas:

Quadro 13: Faixas de profundidade da água subterrânea e suas respectivas cargas (Dc). (Peso: Dp=5).

Faixas (m)	Carga (Dc)
0 – 1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
>30,5	1

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Elaboração: Maziero, L.

R – É consenso entre pesquisadores de que a infiltração profunda em aquíferos seja 10% da precipitação média anual de uma área, Hausman (1995). Significa dizer que para o Município de Dona Francisca/RS tem-se uma infiltração para recarga aquíferos profundos de aproximadamente 170 mm/ano. O quadro 14 ilustra esse fator.

Quadro 14: Recarga total durante o ano (Peso: Rp= 4).

Intervalo de recarga em polegadas	Intervalo de recarga em mm/ano	Carga
0 – 2	0 – 51,85	1
2 – 4	51,85 – 103,7	3
4 – 7	103,7 – 181,48	6
7 – 10	181,48 – 259,26	8
>10	>259,26	9

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Elaboração: Maziero, L.

A – Meio aquífero, definido a partir de unidades geológicas e hidrogeológicas, podendo-se associar aos tipos de aquíferos (livres, confinados, semiconfinados, nascentes), disponíveis no *site* do SIAGAS/CPRM. O quadro 15 ilustra este fator:

Quadro 15: Tipos de meio aquíferos e suas respectivas cargas (Ac). (Peso: Ap=3).

Tipo de meio aquífero	Faixa de variação (carga)	Cargas (Ac)
Folhelho maciço (rocha argilosa)	1 – 3	2
Metamórfica/Ígneas (rochas cristalinas)	2 – 5	3
Rochas Metamórficas/ ígneas intemperizadas (saprólitos)	3 – 5	4
Till Glacial (depósitos de degelo glacial)	4 – 6	5
Calcários, arenitos e	5 – 9	6

folhelhos acamadados		
Arenito maciço	4 – 9	6
Calcário maciço	4 – 9	6
Cascalho com matriz arenosa (conglomerado)	4 – 9	8
Basalto fraturado	2 – 10	9
Calcário cárstico (poroso)	9 – 10	10

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Elaboração: Maziero, L.

S – Solos podem ser obtidos a partir de levantamentos pré-existentes, ou da caracterização da granulometria das rochas sedimentares e/ou rochas e produtos de alteração, frações de areia, silte e argila. Também podem ser espacializados e separados com o uso de imagens de satélite e/ou fotografias aéreas. O quadro 16 ilustra alguns tipos de solos e suas respectivas cargas.

Quadro 16: Solos e suas respectivas cargas (Sc), (Peso: Sp=2).

Granulometria	Carga (Sc)
Cascalho	10
Arenoso	9
Turfa	8
Argila agregada e/ou expansiva	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco siltoso	4
Franco argiloso	3
Estrume	2
Argiloso não expansivo e não	1

agregado	
----------	--

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Elaboração: Maziero, L.

T – Topografia, pode ser levantada a partir das classes de declividade, obtidas por meio da elaboração da carta clinográfica da área. Pode-se usar as classes sugeridas por Leite & Möbus (1998). O quadro 17 ilustra as diferentes classes de declividade e suas respectivas cargas.

Quadro 17: Classes de declividade e suas respectivas cargas (Tc). (Peso: Tp=1).

Declividade (Topografia)	Cargas (Tc)
0 - 2%	10
2 - 6%	9
6 - 12%	5
12 - 18%	3
>18%	1

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Elaboração: Maziero, L.

I – Impacto da zona vadosa, isto é, aquela região do terreno não saturada em água, contendo poros mais gases (CO₂ + O₂), podendo sofrer ação dos elementos da biosfera, organismos escavadores, tais como oligoquetas, termites, etc. É a região que pode sofrer flutuações sazonais pela flutuação do nível do lençol freático. Este fator pode ser analisado no quadro 18, bem como suas respectivas cargas.

Quadro 18: Impacto da Zona Vadosa e suas respectivas cargas (Ic). (Peso: Ip=5).

Tipo de material	Faixa (carga)	Cargas típicas (Ic)
Camada confinante.	1	1

(Ex: Formação Santa Maria (Membro Alemoa)		
Silte/Argila	2 - 6	3
Folhelho (argilitos laminados)	2 – 6	3
Calcário	2 – 5	3
Arenito	2 – 7	6
Calcário, arenito e folhelho interacamados	4 – 8	6
Areia e cascalho com significante matriz siltica ou argilosa	4 – 8	6
Cascalho com pouca areia na matriz	4 – 8	8
Basalto (fraturas, amígdalas, vesículas)	2 – 10	9
Calcário cárstico (rocha porosa)	8 – 10	10

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002)

Elaboração: Maziero, L.

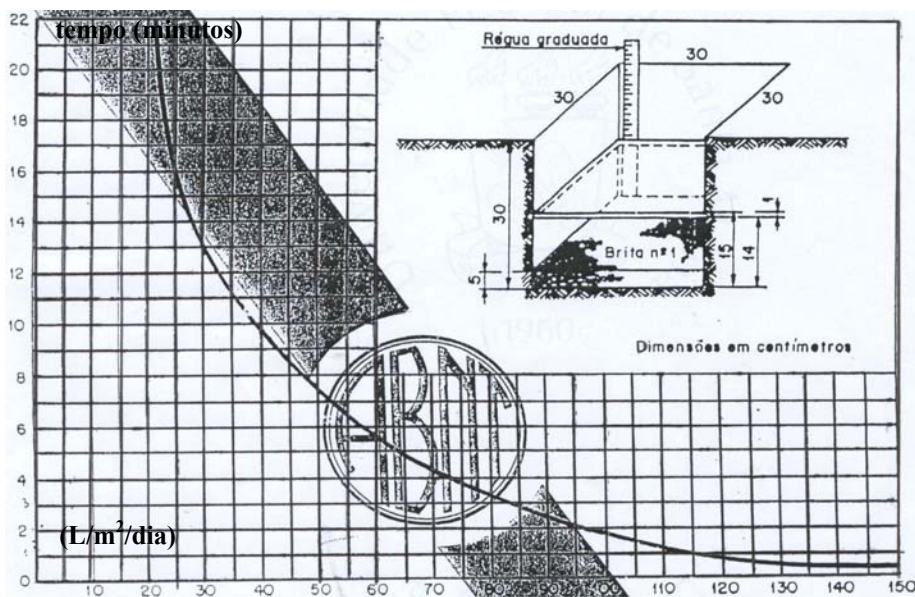
C – Condutividade hidráulica nas formações superficiais determina a quantidade de percolação no subsolo através do aquífero. Para solos arenosos altamente permeáveis, a circulação do poluente é facilitada, fato que determina valores elevados na pontuação. Este parâmetro pode ser avaliado no campo com ensaios de infiltração, de acordo com NBR 7229 (1983), ou em ensaios de laboratório. Neste trabalho optou-se pelo trabalho de campo. Este tem por base a abertura de sumidouros (covas) de 30cm de profundidade e 30cm em todos os lados, levando-se em conta que o sumidouro deve estar no mínimo 1,5m acima do nível máximo do lençol freático. Em uma etapa posterior deve-se raspar os lados e o fundo da cova de modo que fiquem ásperos. Posteriormente deve-se cobrir o fundo com

uma camada de 5cm de brita número 1.

No primeiro dia de ensaio, deve-se manter as covas cheias de água durante 4 horas, e no dia seguinte encher as covas de água e aguardar que estas se infiltrem totalmente. Em uma etapa posterior deve-se encher novamente as covas com água até a altura de 15cm, e cronometrar o período de rebaixamento de 15cm até 14cm, correspondente às alturas da água em cada cova. Quando o intervalo de tempo para rebaixamento de 1cm se der em menos de 3 minutos, deve-se refazer o ensaio 5 vezes, adotando o tempo da quinta medição.

Por fim, com os tempos de infiltração determinados, obtém-se os coeficientes de infiltração do solo ($L/m^2/dia$) na curva sugerida pela NBR 7229 (1983), conforme a figura 4.

No presente trabalho, as covas foram abertas em cada unidade geológica, sendo que o resultado do teste foi adotado para toda a unidade geológica correspondente. Ressalta-se que para cada unidade geológica foi aberto apenas uma cova. Nesta, efetuou-se de três a cinco medições, sendo adotada a de menor valor. O quadro 19 descreve este fator, bem como suas respectivas cargas.



Fonte: NBR 7229 (1983)

Figura 4: Gráfico para determinação de coeficiente de infiltração

Quadro 19: Condutividade hidráulica, adaptado de NBR 7229 L/m².d (L=litro; m²=metro quadrado; d= dia) cargas (Cc). (Peso: Cp=3).

Tipo de materiais	Coefficiente de infiltração L/m².d	Cargas (Cc)
Rochas, argilas compactas de cor branca cinza ou preta variando a rochas alteradas e argilas mediamente compactas de cor vermelha.	<20	1
Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom mediamente compacta, variando a argilas, pouco siltosas e ou arenosas.	20 - 40	4
Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marron.	40 - 60	6
Areia ou silte argiloso, ou solo arenoso com húmus e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areias e siltes.	60 - 90	8
Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalhos.	>90	10

Fonte: abe.www.ecn.purdue.edu (2002), adaptado para as condições brasileiras, de acordo com a NBR 7229 (1983).

Elaboração: Maziero, L.

Estes fatores, denominados fatores DRASTIC, são avaliados entre si através de uma equação, aplicada a cada unidade geográfica de trabalho.

$$\text{Índice DRASTIC} = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c \quad (1)$$

Onde: D_p, R_p, A_p, S_p, T_p, I_p e C_p = pesos dos fatores DRASTIC.

Onde: D_c, R_c, A_c, S_c, T_c, I_c e C_c = Fator de carga das variáveis nos seus respectivos intervalos de ocorrência.

Como reforço na importância do modelo, pode-se citar o fato de que a partir da espacialização dos valores de vulnerabilidade obtidos pelo mesmo, pode-se saber as melhores áreas para locação de novos poços, bem como os locais onde os mesmos não são aconselhados, sugerindo-se áreas de preservação permanentes.

O quadro 20 ilustra os intervalos de vulnerabilidade sugeridos pela metodologia. Pode-se perceber que estes se estendem de uma susceptibilidade mínima, com índice menor que 35 (bem protegida, pouco vulnerável), até um índice máximo maior que 120 (área de proteção obrigatória, extremamente vulnerável).

Quadro 20: Classes de vulnerabilidade e seus respectivos intervalos, segundo Aller et al. (1987)

Grau de vulnerabilidade	Intervalos dos índices DRASTIC
Área protegida	<35
Área pouco vulnerável	35 – 65
Área vulnerável	65 – 95
Área muito vulnerável	95 – 120
Área de proteção obrigatória (Extremamente vulnerável)	>120

Fonte: Aller et al. (1987), extraído de abe.www.ecn.purdue.edu (2002)
Elaboração: Maziero, L.

6. RESULTADOS

Foram identificados 26 poços na área em estudo. Destes, 12 são poços do tipo cacimba e 14 tubulares, todos identificados em trabalhos de campo, uma vez que o Município não conta com cadastro de seus poços. Os usos principais são a dessedentação humana e em segundo plano animal. Os poços foram locados com base em coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) por meio de GPS Garmin. Foram identificados ainda, quando possível, alguns parâmetros hidrodinâmicos, tais como, profundidade do poço em metros, o nível estático (por meio do medidor Jaciri) e a condutividade hidráulica (por meio do condutivímetro Hanna). O quadro 21 ilustra as informações obtidas em trabalhos de campo no Município de Dona Francisca/RS. Neste, os poços receberam números, de norte para sul do município, que vão de 1 (P1) até 26 (P26). Assim, cada poço está identificado por uma sigla. Para cada poço tem-se informações referentes ao proprietário, local, posição com base em coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), profundidade, tipo de poço, altitude, nível estático e condutividade elétrica em $\mu\text{S}/\text{cm}$. As células com um traço demonstram ausência de dados.

Quadro 21: Cadastro dos poços do Município de Dona Francisca e alguns dados hidrodinâmicos

Código	Proprietário	Local	Posição N	Posição E	Profundidade	Tipo	Altitude	Nível Estático	Cond. Elét. $\mu\text{S/cm}$
P1	Miguel Dallanora	Linha Ávila	6734562	277011	-	Cacimba	82	2,5	600
P2	Comunitário	Linha Sta Terez.	6734931	276397	96	Tubular	90	-	300
P3 (CPRM-IJ786)	Teobaldo Rechziegel	Linha Sta Terez.	6734930	276374	-	Cacimba desativado	90	2	-
P4	Cleani Horbach	Linha Ávila	6734447	276980	-	Cacimba	82	2	200
P5	Cláudio Schmacher	Linha Ávila	6734099	276937	-	Cacimba	77	3	300
P6 (CPRM- IJ735)	Comunitário	Linha Ávila	6734009	276974	96	Tubular	69	0	300
P7 (CPRM- IJ736)	Comunitário	Sanga Funda	6737984	274424	105	Tubular	129	-	300
P8	Carolina Berger	Linha Ávila	6731102	275946	-	Cacimba	70	1	100
P9	Ivone Trebien	Linha Ávila	6731003	275922	-	Cacimba	70	0	71
P10	Gilberto Schio	Trombudo	6730158	274172	59	Tubular	81	25	300
P11	Alberi Posser	Trombudo	6729933	274005	70	Tubular	70	-	300
P12	Valdo Golke	Trombudo	6731690	274013	-	Cacimba	66	2	100
P13	Valdo Golke	Trombudo	6731852	273991	70	Tubular	70	6	100
P14 (CPRM- IJ737)	Comunitário	Trombudo	6730351	270712	80	Tubular	130	-	300
P15	Leonardo Alves	Formoso	6728204	272347	-	Cacimba	87	4,5	178
P16	Romeu Trevisan	Formoso	6728252	272593	-	Cacimba	64	2,5	200
P17	Tarcildo Berger	Formoso	6729630	275537	-	Cacimba	57	9	100
P18	Eli Bartz	Formoso	6730015	275771	-	Cacimba	50	7,5	300
P19 (CPRM- IJ739)	Comunitário	Cerro D'ambrósio	6725603	274360	102	Tubular	79	39	1740
P20	Jacob Fantinel	Linha Grande	6722975	274709	65	Tubular	53	5	390
P21	Cláudio Dalla corte	Cidade	6720163	271113	28	Tubular	47	13	450
P22	Juventino Barbieri	Cidade	6720176	271145	26	Tubular	48	12	530
P23	Elton Scapin	Cidade	6720197	271190	30	Tubular	47	24	700
P24	Sandro Bortolotto	Linha do Soturno	6721239	268913	31	Tubular	60	10	850
P25	Nair Benetti	Linha do Soturno	6720832	269278	9	Cacimba	55	1	320
P26	João Francisco Argenta	Linha do Soturno	6720403	270116	36	Tubular	48	26	550

Fonte: trabalho de campo

Organização: Maziero, L.

A identificação do nível estático dos poços, entendida como o nível da água do poço em situação de não bombeamento é de grande importância para a aplicação do modelo DRASTIC, uma vez que é o primeiro fator (fator D) levado em consideração pelo mesmo. Este recebe peso 5, e junto com o impacto na zona vadosa, que também recebe peso 5, é um dos elementos mais importantes. Em trabalhos de campo, realizados nos dias 30 de novembro, 01, 02, 03 de dezembro de 2004 conseguiu-se identificar e mensurar o nível estático de 22 poços, a maior parte deles por meio de medições diretas, com a utilização do medidor Jaciri. O quadro 22 e a figura 5 ilustram este fator.

Quadro 22: Nível estático dos poços e suas respectivas cargas

Intervalos de Nível Estático	Poços no intervalo	Índice DRASTIC (cargas)
0 – 1,5	P6, P8, P9, P25	10
1,5 – 4,6	P1, P3, P4, P5, P12, P15, P16	9
4,6 – 9,1	P13, P17, P18, P20	7
9,1 – 15,2	P21, P22, P24	5
15,2 – 22,9	Sem poços cadastrados	3
22,9 – 30,5	P10, P23, P26,	2
>30,5	P19	1

Fonte: trabalho de campo

Organização: Maziero, L.

Por meio da figura 5 pode-se observar que os maiores níveis estáticos estão na porção centro sul do Município (poços P23, P26 e P19), pertencentes ao arenitos da Formação Rosário do Sul, em sua área de recarga. Sendo assim, no que se refere ao fator em análise, esta é a porção que se encontra em melhor condição sob o ponto de vista da vulnerabilidade dos aquíferos.

Na porção centro norte, de modo geral, estão os poços que apresentaram os menores níveis estáticos. Salienta-se que os poços P8, P9, P1, P4, P12, P13, P17, P18 e P20 ocorrem nas planícies aluviais constituídas por matérias predominantemente silto-argilosos pertencentes Aluviões Cenozóicos, onde o uso da terra é feito predominantemente com o cultivo de arroz irrigado. Informa-se que estas culturas que ocorrem aproximadamente de Novembro a Março, são utilizados vários tipos de agroquímicos, cada um deles com meia vida e poder residual diferente, portanto, com potencial poluidor distinto e constituindo uma fonte de poluição difusa. A partir da análise deste fator sugere-se que esta é a porção da área estudada que representa espacialmente a pior condição em termos de vulnerabilidade natural. Uma vez que, de acordo com este método de avaliação, quanto mais próximo da superfície do terreno estiver a zona saturada, maior facilidade terá um agente potencialmente contaminante, de qualquer natureza, de chegar até o mesmo. Por outro lado, os poços P6, P3, P5, P15, P16, P21, P22 e P24 pertencentes a Formação Rosário do Sul, constituindo uma área de recarga do SAG, portanto potencialmente de maior vulnerabilidade ao cultivo de arroz irrigado e com uso de agroquímicos.

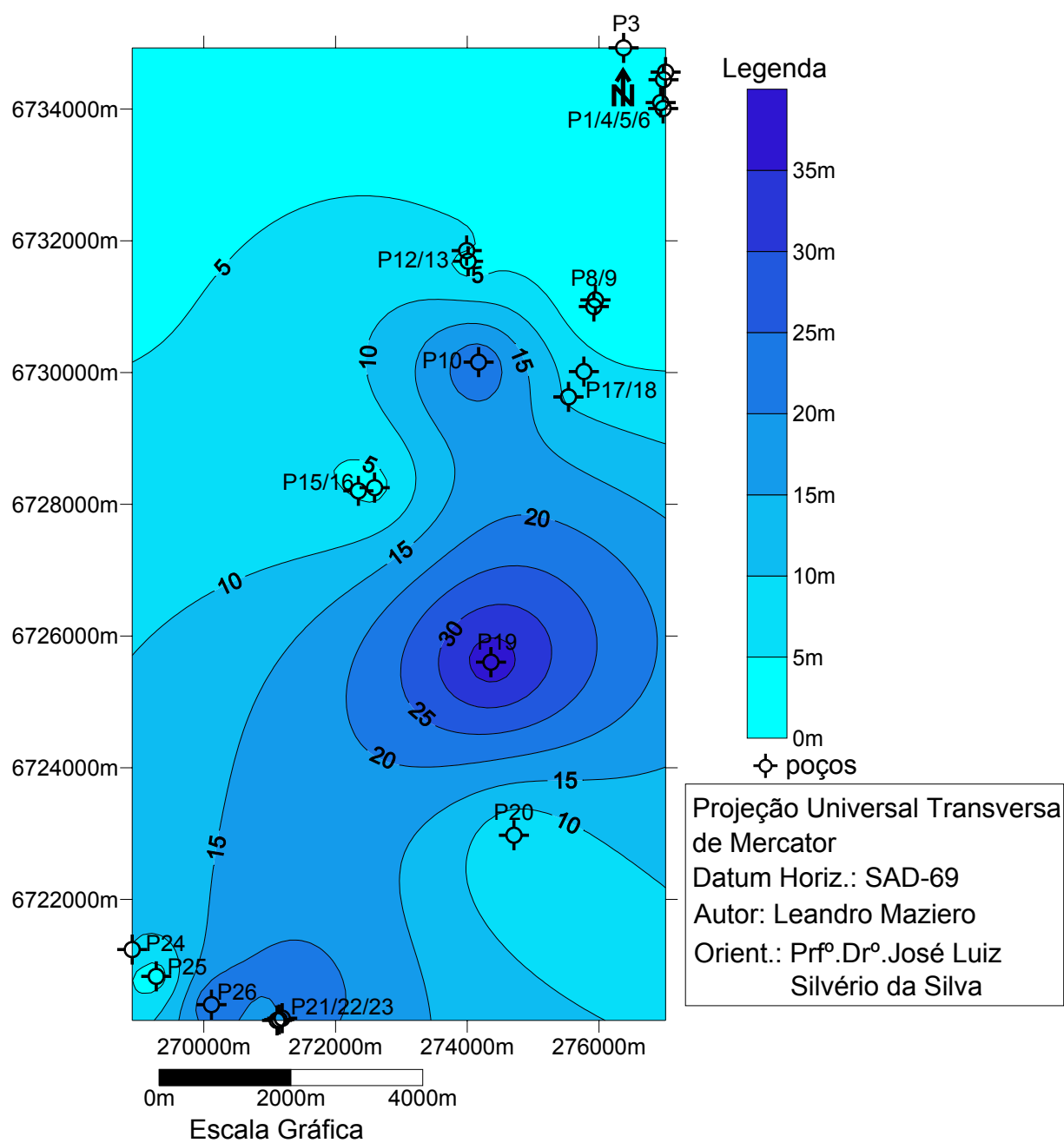


Figura 5: Cartograma do Nível Estático dos poços do município de Dona Francisca/RS

Neste aspecto, ressalta-se que nos trabalhos de campo foi observado que as cacimbas, regra geral, possuem os menores níveis estáticos, situando-se predominantemente na faixa de zero a 4,6 metros de profundidade (P1, P3, P4, P5, P8, P9, P12, P15, P16, P25). Por outro lado, tem-se os poços tubulares, com nível estático acima dos 4,6 metros, exceto

o poço P6, poço surgente localizado na comunidade de Linha Ávila. Ressalta-se ainda que na maior parte dos poços (cacimbas e tubulares) o nível estático está compreendido entre zero e 4,6 metros abaixo da superfície. No modelo DRASTIC esta faixa de profundidade do nível d'água recebe carga 9 e 10. Cargas estas consideradas altas.

O segundo fator considerado pelo modelo é o R (recarga devido à chuva). Este relaciona-se à quantidade de água que atinge a zona saturada, ou seja, condiciona o transporte dos poluentes que possivelmente poderá chegar ao aquífero. De maneira geral quanto maior for a recarga maior o potencial de poluição.

Segundo Hausman (1995), cerca de 10% da precipitação total anual infiltra-se e reabastece os aquíferos profundos. Na área em estudo tem-se uma precipitação anual média de 1700mm/ano, ou seja, aproximadamente 170mm/ano se infiltram para recarga do SAG. Na aplicação do modelo considerou-se que esta infiltração é homogênea para toda a área, uma vez que a mesma possui apenas 104Km² e não apresenta variações na precipitação anual em suas diferentes porções. Sendo assim, no que se refere ao fator R, a área em estudo encontra-se no intervalo de recarga que vai de 103,7 a 181,48. Este intervalo confere ao fator uma carga igual a 6, conforme quadro 14 da metodologia.

6.1. Carta clinográfica

Levando-se em conta o ponto de vista prático, a carta clinográfica fornece informações valiosas a respeito das aptidões naturais da terra, ou seja, é reveladora dos limites impostos pelo relevo para os diferentes tipos de uso. Neste sentido é de grande valia para o planejamento de uso de uma área. Esta foi elaborado com base no Modelo Digital do Terreno (MNT).

Neste trabalho, especificamente, ela é de fundamental importância,

pois configura-se em um dos fatores levados em conta pelo modelo DRASTIC para o levantamento da vulnerabilidade natural da área, qual seja, o fator topografia (T). As classes de declividade adotadas foram as sugeridas por Leite e Mobus (1998). Estas estão distribuídas nos seguintes intervalos sobre a carta: 0 – 2%, 2 – 6%, 6 – 12%, 12 – 18% e > 18%. Para o modelo DRASTIC o fator topografia tem peso igual a um (1), ou seja, é o fator considerado de menor importância pelo modelo em questão. A partir dos intervalos de classe da carta clinográfica foram estabelecidos os diferentes valores de carga para a área conforme o quadro 23.

Quadro 23: Classes de declividade no município de Dona Francisca, suas respectivas áreas, percentagem, distribuição dos poços e cargas sugeridas no modelo DRASTIC (Tc)

Classes de Declividade	Poços no intervalo	Área em ha	Área em %	Carga DRASTIC
0 – 2%	P2, P3, P7, P12, P13, P17, P20, P24	3172,5	30,5	10
2 – 6%	P6, P21, P22, P23, P25, P26	1099,9	10,6	9
6 – 12%	P1, P4, P9, P10, P14, P16, P19,	853,07	8,20	5
12 - 18%	P5, P8, P15	1207,64	11,6	3
>18%	P11, P18	4067,75	39,1	1
Total	26	10.400	100%	-

Organização: Maziero, L.

O quadro acima demonstra que a classe de declividade >18% é predominante na área. Esta classe destaca-se especialmente nas áreas pertencentes ao Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro. Sob o ponto de

vista da vulnerabilidade natural destas, no que se refere ao fator topografia, são as menos vulneráveis, uma vez que a declividade está diretamente relacionada com a maior ou menor infiltração de água no solo. Sendo estas áreas as de maior declividade, conseqüentemente serão as menos vulneráveis, uma vez que a maior declividade determina menor quantidade de água a se infiltrar. Assim, as áreas com declividade >18% recebem carga mínima (1), conforme pode ser observado no quadro 23.

A segunda classe de maior expressão em área é a que se estende de 0 – 2%. Esta, por ser extremamente plana, facilita a infiltração da água no solo. Sendo assim recebe carga máxima (10) no modelo DRASTIC. A classe de declividade de 0 – 2% encontra-se predominantemente nas planícies aluviais dos Rios Jacuí e Soturno. Estas áreas são as de pior condição no que se refere ao fator topografia, pois sendo áreas planas, dificultam o escoamento superficial e facilitam a infiltração. Sobre a carta clinográfica foram locados os poços cadastrados no Município. Assim, observando-se a declividade onde está situado o poço foi possível de se estabelecer um valor de carga para o mesmo. Isto permite dizer que todos os poços localizados em áreas de mesma declividade receberam o mesmo valor de carga. A carta clinográfica e a sobreposição dos poços sobre a mesma podem ser visualizados na figura 6.

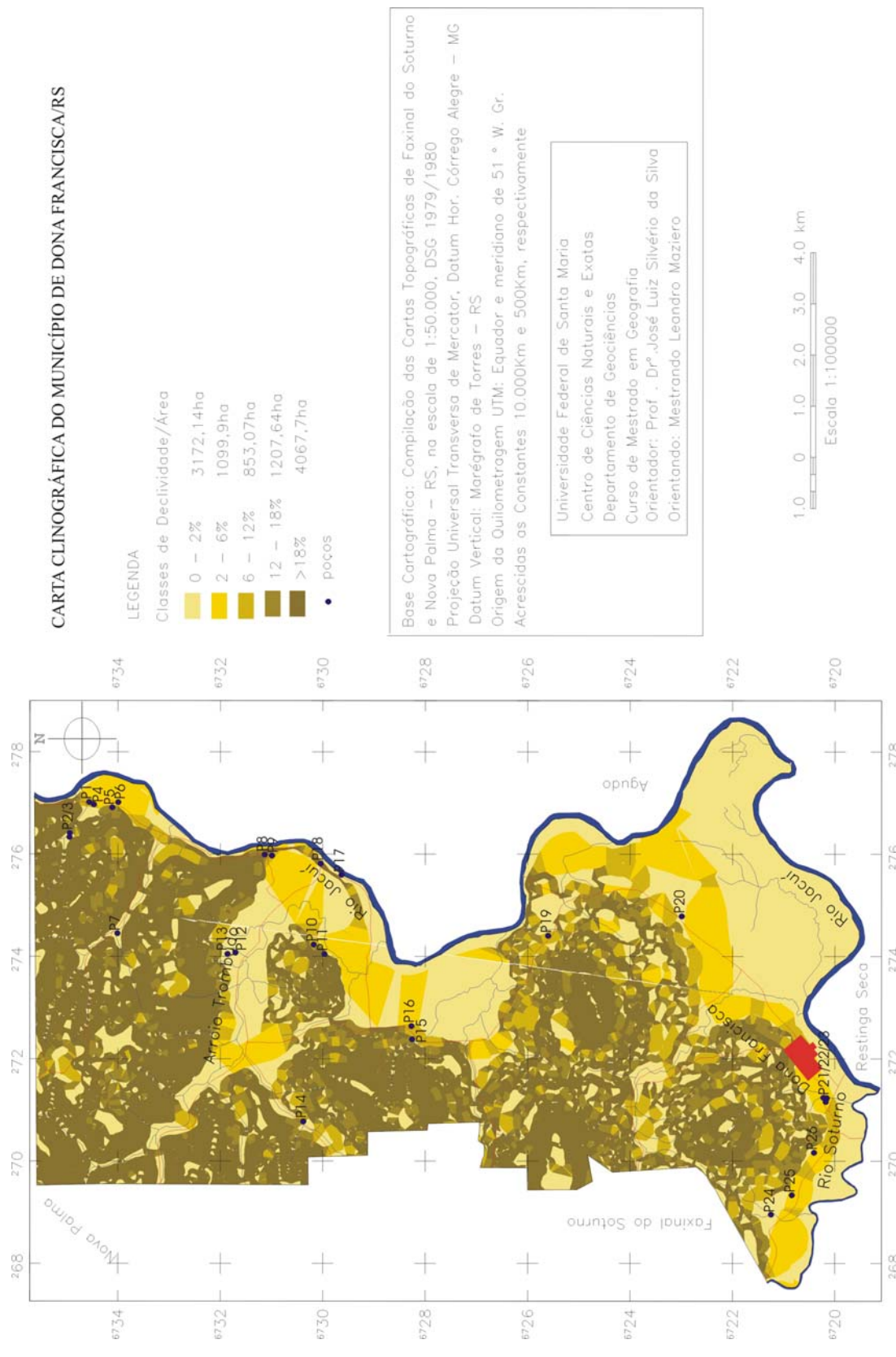


Figura 6: Carta clinográfica do município de Dona Francisca/RS

6.2. Carta geológica do Município

Tendo por base o Mapa Geológico da folha de Camobí, foram identificadas quatro unidades geológicas na área, quais sejam: os aluviões atuais inconsolidados (Qa), compostos por materiais de acumulação recente, datados do quaternário, constituídos em essência por clásticos finos e grosseiros. Estes perfazendo uma área de aproximadamente 2888,18ha e encontrando-se predominantemente ao longo da várzea dos Rios Soturno e Jacuí, conforme figura 7.



Figura 7: Aspectos da Planície Aluvial do Rio Jacuí
Localização: Trombudo

Formação Serra Geral (JKsg) que perfaz aproximadamente 3243,19ha e é composta por derrames de basaltos toleíticos, cinza escuros a pretos afaníticos, datados do Jurássico – Cretácio. Estes encontrados nas porções de maior altitude do relevo, conforme figura 8.



Figura 8: Aspectos da Formação Serra Geral

Localização: Sanga Funda

Formação Botucatu (TRjb), esta datada do Triássico – Jurássico, perfaz no Município aproximadamente 907,46ha. Esta unidade aparece na porção centro norte do Município. É formada por arenitos de cor rosa clara, finos e médios, com estratificação cruzada acanalada de grande porte. A figura 9 ilustra aspectos desta formação.



Figura 9: Aspectos referentes a Formação Botucatu

Localização: Linha Ávila

Formação Rosário do Sul (TRrs/TRsm), datada do triássico, perfaz aproximadamente 3361,14ha na área de estudo. A unidade TRrs é composta de arenitos avermelhados, finos a médios, com estratificação paralela e cruzada acanalada e lentes de conglomerado intraformacional. A unidade TRsm é composta por siltitos vermelhos maciços, arenitos médios a grosseiros, rosados com laminação plano paralela e estratificações cruzada acanalada e cruzada tabular, pertencente a Formação Santa Maria (Membro Alemoa), conforme figura 10.



Figura 10: Aspectos da Formação Rosário do Sul
Localização: Área urbana de Dona Francisca

A identificação das diferentes unidades geológicas é um aspecto que necessariamente deve ser considerado para a aplicação do modelo DRASTIC.

Contribuirá para identificação e pontuação dos fatores meio aquífero (A), Solos (S), Impacto na Zona Vadosa (I) e Condutividade Hidráulica (C).

O fator “A” (quadro 15 da metodologia) é definido a partir de unidades geológicas e hidrogeológicas, podendo-se associar aos tipos de aquíferos (livres, confinados, semiconfinados, nascentes). Este parâmetro refere-se à capacidade de atenuação do aquífero que é função do material que o constitui. Uma rocha de grãos mais grosseiros ou mais fraturados possui uma menor capacidade de atenuação de poluentes.

No Município em estudo, as áreas da Planície Aluvial (Qa) dos Rios Jacuí e Soturno foram as que receberam a menor carga, ou seja, as que, no fator em análise, possuem a melhor condição. Esta unidade (Qa), foi enquadrada no tipo de meio aquífero Folhelho Maciço (rocha argilosa). Este tipo de rocha se caracteriza por possuir altos percentuais de argila, e assim, possuir alta capacidade de atenuação de poluentes, recebendo por isso carga 2 no modelo DRASTIC.

A Formação TRjb (Formação Botucatu) e TRrs/TRsm (Formação Rosário do Sul) foram enquadradas no tipo de meio aquífero dos arenitos e arenitos e folhelhos acamadados, respectivamente, os quais, por serem menos atenuantes que a formação anteriormente comentada receberam carga 6 .

A Formação Serra Geral (JKsg), a qual está inclusa no tipo de meio aquífero dos basaltos fraturados, recebeu nota 9, ou seja, esta é a formação em pior condição no que se refere ao fator A.

Ressalta-se que a carga é dada para toda a unidade geológica em análise. Assim, os poços que estiverem sobre a mesma unidade estarão

inclusos na mesma situação. O quadro 15 da metodologia permite a visualização dos diferentes meios aquíferos e suas respectivas cargas.

O fator solos (S) foi avaliado através da caracterização granulométrica das rochas sedimentares e/ou rochas e produtos de alteração, frações de areia, silte e argila. Este recebe peso 2 e pode ser visualizado no quadro 16. O enquadramento e pontuação deste fator foi realizado para cada unidade geológica encontrada na área em estudo. A referida análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências. Foi analisada uma amostra para cada unidade geológica.

As cargas deste fator (S) foram dadas para cada unidade, de acordo com a percentagem de areia, silte e argila, conforme sugerido pelo modelo DRASTIC. As referidas cargas foram dadas seguindo-se a lógica de que quanto maior a granulometria de um solo, maior a permeabilidade. Como exemplo pode-se citar a areia muito grossa (1,0 – 2,0 mm) e o silte e argila (<0,062 mm). O primeiro, de maior granulometria, possui maior permeabilidade que o segundo, de menor granulometria. Um solo que tem maior permeabilidade se caracteriza por deixar a água percolar mais facilmente. Sendo assim, a carga contaminante que se infiltra junto com a água sofrerá uma menor atenuação antes de chegar ao aquífero.

Os testes de granulometria revelaram que nos Aluviões Atuais (Qa) a percentagem de areia é de 17,54% as de silte de 32,09% e a de argila de 50,37%. Assim, de acordo com o triângulo textural (figura 3), este solo é considerado de textura argilosa, o que lhe confere, de acordo com o modelo DRASTIC (fator ilustrado no quadro 16 da metodologia) uma carga igual a 7. Ressalta-se que este solo foi classificado como sendo Argila agregada e/ou expansiva pelo fato de o mineral dominante ser a esmectita, a qual é expansiva. Desta forma, mesmo sendo um solo com alta percentagem de argila recebe carga 7 (nota do orientador).

O teste de granulometria realizado na unidade de mapeamento geológico TRsm (Formação Santa Maria, Membro Alemoa) revelou que este possui uma percentagem de 10,52% de areia, 55,2% de silte e 34,31% de argila. Assim, de acordo com o triângulo textural (figura 3), este solo é classificado como sendo de textura Franco Argilo Siltosa. Esta unidade de mapeamento recebeu carga 4 (carga do solo de textura franco siltosa), pois a fração predominante foi a de silte, conforme quadro 16.

A unidade de mapeamento TRjb (Formação Botucatu) recebeu carga 6, uma vez que, de acordo com o triângulo textural, este se enquadrava no tipo Franco Arenoso, com 72,63% de areia, 9,4% de silte e 18% de argila.

A unidade de mapeamento JKsg (Formação Serra Geral) foi classificada, de acordo com o triângulo textural, em Textura Franco Siltosa, com 26,7% de areia, 54,8% de silte e 18,4% de argila. Assim, esta unidade recebeu carga 4.

O fator impacto na zona vadosa (I), entendida como a região do terreno não saturada em água que antecede a zona saturada recebe peso 5. É definida a partir da análise do tipo de material da zona acima do nível freático (zona vadosa). Este material é determinante do tempo de percurso do poluente até a zona saturada, permitindo a ocorrência de diversos processos de atenuação. O quadro 18 apresenta o fator I. Neste, a unidade dos Aluviões Atuais (Qa) recebeu carga 3, ou seja, foi enquadrada no tipo de material silte/argila; a Formação Botucatu (TRjb) foi enquadrada nos arenitos, recebendo carga 6; a Formação TRrs/TRsm foi enquadrada no tipo de material Silto Argiloso da Formação Santa Maria, recebendo carga 1; a Formação JKsg (Formação Serra Geral) enquadra-se no tipo de material basalto (fraturas, amígdalas e vesículas) e recebeu carga 9.

Fator condutividade hidráulica (C), determinante da quantidade de percolação no subsolo através do aquífero (peso 3). Quanto maior a

facilidade de percolação, ou seja, quanto mais permeável o material pior a condição, pois o poluente terá maior facilidade para se movimentar no interior do aquífero, fato que determina valores elevados de carga para o mesmo. Para estabelecer as cargas deste fator foram realizados testes de infiltração para cada unidade geológica com base na metodologia sugerida por NBR 7229 (1983), conforme descrito na metodologia do trabalho. Destaca-se que a maior parte dos poços do Município foram perfurados em locais de infiltração $<20\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$. Tais locais são pertencentes aos Aluviões Atuais (Qa) e a Formação Santa Maria (Membro Alemoa). Assim, de acordo com os testes realizados em campo seguindo-se a metodologia NBR 7229 (1983), pode-se afirmar que sob o ponto de vista da vulnerabilidade, no que se refere ao fator condutividade hidráulica dos aquíferos, estas áreas são as de melhor condição. Ressalta-se que 21 dos 26 poços cadastrados enquadram-se nesta condição. Segundo o modelo DRASTIC, estas áreas recebem carga 1, ou seja, estão na melhor condição deste fator.

Na Formação Serra Geral, onde se cadastrou apenas 1 poço, obteve-se por meio dos testes de infiltração uma condutividade hidráulica de $60\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$. Isto lhe confere, segundo o modelo DRASTIC uma carga 6.

Nos locais onde se registra a Formação Botucatu, foram cadastrados 4 poços. Nesta unidade, a condutividade hidráulica foi de $83\text{L}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$. Assim, a mesma recebe carga 8, o que a torna a unidade de pior condição no que se refere ao fator em questão. Isto se deve ao fato de esta rocha apresentar grande permeabilidade, fato este que facilita a circulação da água no interior da mesma. Assim, a mesma recebe peso 3. Este fator pode ser visualizado no quadro 19.

O quadro 24 ilustra as unidades geológicas encontradas na área e os fatores DRASTIC a ela relacionados.

A figura 11 ilustra as diferentes unidades geológicas encontradas na área com a locação dos poços sobre as mesmas. O quadro 25 agrupa todas

as informações levantadas em trabalhos de campo, todos os fatores DRASTIC e suas respectivas cargas além do índice DRASTIC, obtido pela multiplicação e soma dos pesos pelas cargas de cada fator.

Quadro 24: Unidades Geológicas e fatores DRASTIC a ela relacionados

Geologia	Área em há	Poços na classe	Área em %	Fator Litologia A	carga	Fator Solos (textura) S	carga	Fator Imp. Zona Vadosa I	carga	Fator Condução Hidráulica C	carga
Qa	2888,2	P1, P4, P8, P9, P12, P13, P17, P18, P20	27,8	Folhelho maciço	2	Qa Textura Argilosa	7	Folhelho (argilitos laminados)	3	<20L/m ² .dia	1
JKsg	3243,2	P7	31,2	Basalto	9	JKsg Franco Siltoso	4	Basalto (fraturas, amígdalas, vesículas)	9	60L/m ² .dia	6
TRjb	907,5	P2, P3, P5, P6	8,7	Arenito maciço	6	TRjb Franco Arenoso	6	Arenito	6	83L/m ² .dia	8
TRrs/TRsm	3361,1	P10, P11, P14, P15, P16, P19, P21, P22, P23, P24, P25, P26	32,3	Arenitos e Folhelhos acamadados	6	TRrs/TRsm Franco Arenoso	4	Formação Santa Maria (silo argilosa)	1	<20L/m ² .dia	1
Total	10400	26	100	-	-	-	-	-	-	-	-

Organização: Maziero, L.

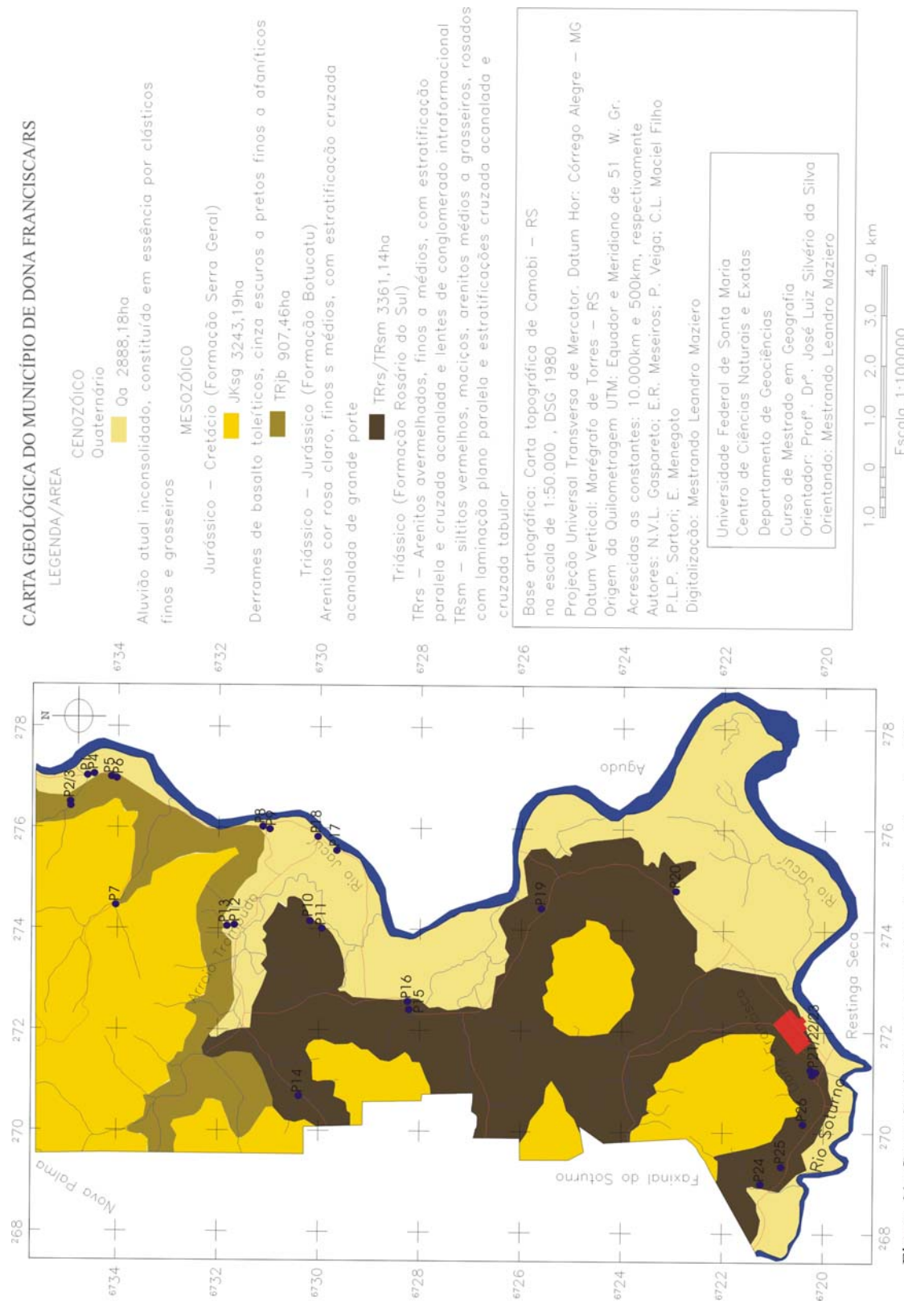


Figura 11: Carta Geológica do município de Dona Francisca/RS

Quadro 25: Poços cadastrados, seus respectivos parâmetros hidrodinâmicos e cálculo do índice DRASTIC

Código	Proprietário	Localidade	Posição N	Posição E	Profundidade	Nível Estático (m)	Tipo	Cond. Elét. $\mu\text{S/cm}$	Altitude	STD mg/L	Tipo de H ₂ O	Sup Pot.	Nível Estático (m) Peso 5		Recarga Peso 4		Litologia Peso 3		Solos (Textura) Peso 2		Topografia Peso 1		Imp. Zona Vadosa Peso 5		Cond. Hidráulica L/m ² .dia Peso 3		Índice DRASTIC	Grau de Vulnerabilidade
													Fator D	carga	fator R	carga	fator A	carga	fator S	carga	fator T	carga	fator I	carga	fator C	Carga		
P1	Miguel Dallanora	Linha Ávila	6734562	277011	-	2,5	Cacimba	600	82	390	Doce	79,5	2,5	10	6	Qa	2	Qa	7	6 - 12	5	Qa	3	<20	1	117	*M. V.	
P2	Comunitário	Linha Sta Terez.	6734931	276397	96	-	Tubular	300	90	195	Doce	-	-	-	6	TRjb	6	TRjb	6	0 - 2	10	TRjb	6	83	8	-	-	
P3	Teobaldo Rechziegel	Linha Sta Terez.	6734930	276374	-	2	Cacimba desativada	-	90	-	-	88	2	9	6	TRjb	6	TRjb	6	0 - 2	10	TRjb	6	83	8	163	*P. O.	
P4	Cleani Horbach	Linha Ávila	6734447	276980	-	2	Cacimba	200	82	130	Doce	80	2	9	6	Qa	2	Qa	7	6 - 12	5	Qa	3	<20	1	112	M. V.	
P5	Cláudio Schmacher	Linha Ávila	6734099	276937	-	3	Cacimba	300	77	195	Doce	74	3	9	6	TRjb	6	TRjb	6	12 - 18	3	TRjb	6	83	8	156	P. O.	
P6	Comunitário	Linha Ávila	6734009	276974	96	0	Tubular	300	69	195	Doce	-	-	-	6	TRjb	6	TRjb	6	2 - 6	9	TRjb	6	83	8	-	-	
P7	Comunitário	Sanga Funda	6737984	274424	-	-	Tubular	300	129	195	Doce	-	-	-	6	JKsg	9	JKsg	4	0 - 2	10	JKsg	9	60	6	-	-	
P8	Carolina Berger	Linha Ávila	6731102	275994	-	1	Cacimba	100	70	65	Doce	69	1	10	6	Qa	2	Qa	7	12 - 18	3	Qa	3	<20	1	115	M. V.	
P9	Ivone Trebien	Linha Ávila	6731003	275922	-	0	Cacimba	71	70	46	Doce	70	0	10	6	Qa	2	Qa	7	6 - 12	5	Qa	3	<20	1	117	M. V.	
P10	Gilberto Schio	Trombudo	6730158	274172	59	25	Tubular	300	81	195	Doce	56	25	2	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	6 - 12	5	TRrs/ TRsm	1	<20	1	73	*A. V.	
P11	Alberi Posser	Trombudo	6729933	274005	70	-	Tubular	300	70	195	Doce	-	-	-	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	>18	1	TRrs/ TRsm	1	<20	1	-	-	
P12	Valdo Golke	Trombudo	6731690	274013	-	2	Cacimba	100	66	65	Doce	64	2	9	6	Qa	2	Qa	7	0 - 2	10	Qa	3	<20	1	117	M. V.	
P13	Valdo Golke	Trombudo	6731852	273991	70	6	Tubular	100	70	65	-	64	6	7	6	Qa	2	Qa	7	0 - 2	10	Qa	3	<20	1	107	M. V.	
P14	Comunitário	Trombudo	6730351	270712	80	-	Tubular	300	130	195	Doce	-	-	-	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	6 - 12	5	TRrs/ TRsm	1	<20	1	-	-	
P15	Leonardo Alves	Formoso	6728204	272347	-	4,5	Cacimba	178	87	116	-	82,5	4,5	9	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	12 - 18	3	TRrs/ TRsm	1	<20	1	106	M. V.	
P16	Romeu Trevisan	Formoso	6728252	272593	-	2,5	Cacimba	200	64	130	Doce	61,5	2,5	9	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	6 - 12	5	TRrs/ TRsm	1	<20	1	108	M. V.	
P17	Tarcildo Berger	Formoso	6729630	275537	-	9	Cacimba	100	57	65	Doce	48	9	7	6	Qa	2	Qa	7	0 - 2	10	Qa	3	<20	1	107	M. V.	
P18	Eli Bartz	Formoso	6730015	275771	-	7,5	Cacimba	300	50	195	Doce	42,5	7,5	7	6	Qa	2	Qa	7	>18	1	Qa	3	<20	1	98	M. V.	
P19	Comunitário	Cerro D'ambrosio	6725603	274360	102	39	Tubular	1740	79	1131	Salobra	40	39	1	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	6 - 12	5	TRrs/ TRsm	3	<20	1	78	M. V.	
P20	Jacob Fantinel	Linha Grande	6722975	274709	65	5	Tubular	390	53	253	Doce	48	5	7	6	Qa	2	Qa	7	0 - 2	10	Qa	3	<20	1	107	M. V.	
P21	Cláudio Dalla corte	Cidade	6720163	271113	28	13	Tubular	450	47	292	Doce	34	13	5	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	2 - 6	9	TRrs/ TRsm	1	<20	1	92	M. V.	
P22	Juventino Barbieri	Cidade	6720176	271145	26	12	Tubular	530	48	344	Doce	36	12	5	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	2 - 6	9	TRrs/ TRsm	1	<20	1	92	M. V.	
P23	Elton Scapin	Cidade	6720197	271190	30	24	Tubular	700	47	455	-	23	24	2	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	2 - 6	9	TRrs/ TRsm	1	<20	1	77	M. V.	
P24	Sandro Bortolotto	Linha do Soturno	6721239	268913	31	10	Tubular	850	60	552	Salobra	50	10	5	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	0 - 2	10	TRrs/ TRsm	1	<20	1	93	M. V.	
P25	Nair Benetti	Linha do Soturno	6720832	269278	9	1	Cacimba	320	55	208	Doce	54	1	10	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	2 - 6	9	TRrs/ TRsm	1	<20	1	117	M. V.	
P26	João Francisco Argenta	Linha do Soturno	6720403	270116	36	26	Tubular	550	48	357	-	22	26	2	6	TRrs/ TRsm	6	TRrs/ TRsm	4	2 - 6	9	TRrs/ TRsm	1	<20	1	77	A. V.	

Os valores de recarga foram considerados homogêneos, uma vez que a área é de pequena extensão, não havendo variação nos índices pluviométricos no interior da mesma.

*A. V.: área vulnerável; *M. V.: área muito vulnerável; *P. O.: área de proteção obrigatória; * -: não estimado

Organização: Maziero, L

A condutividade elétrica, conforme ilustrada no quadro 25, foi obtida em medições de campo apoiadas pelo condutímetro Hanna. Esta é importante para o levantamento dos sólidos totais dissolvidos e classificação da água em doce ou salgada, de acordo com a resolução N°20 do CONAMA, conforme será visto a seguir. A figura 12 ilustra a condutividade elétrica dos poços do Município, realizada para um total de 25 poços. Pode-se visualizar que a condutividade elétrica é maior na porção centro sul da carta, chegando-se a um máximo de 1740 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no poço P19.

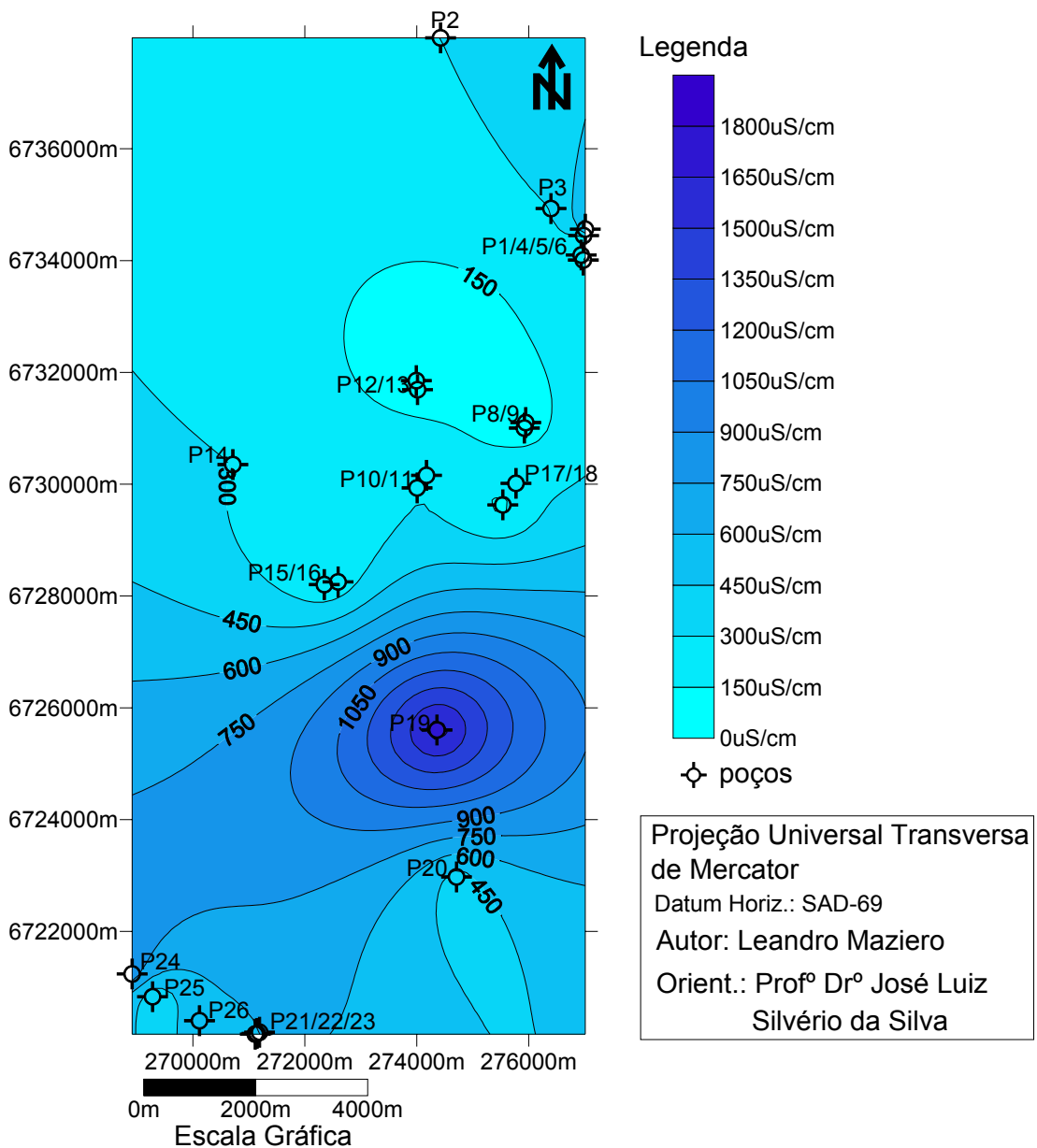


Figura 12: Cartograma da variação da condutividade elétrica dos poços do Município

Para se obter a classificação da água (doce ou salgada) utilizou-se a relação entre a condutividade elétrica em ($\mu\text{S}/\text{cm}$) x 0,65 (Mathess, 1973), obtendo-se a concentração dos sólidos totais dissolvidos (STD) em (mg/L). Informa-se que de acordo com a resolução N°20 do CONAMA (1986) as água são consideradas doces até 500 mg/L; salobras entre 500 – 3000 mg/L e salinas >3000 mg/L. Portanto dos 25 poços avaliados, apenas 2 poços tubulares apresentaram água salobra (P19 e P24). Os dois poços situam-se em rochas TRrs/TRsm (Formação Rosário do Sul), de acordo com o mapa geológico ilustrado no trabalho. A figura 13 ilustra a espacialização do STD.

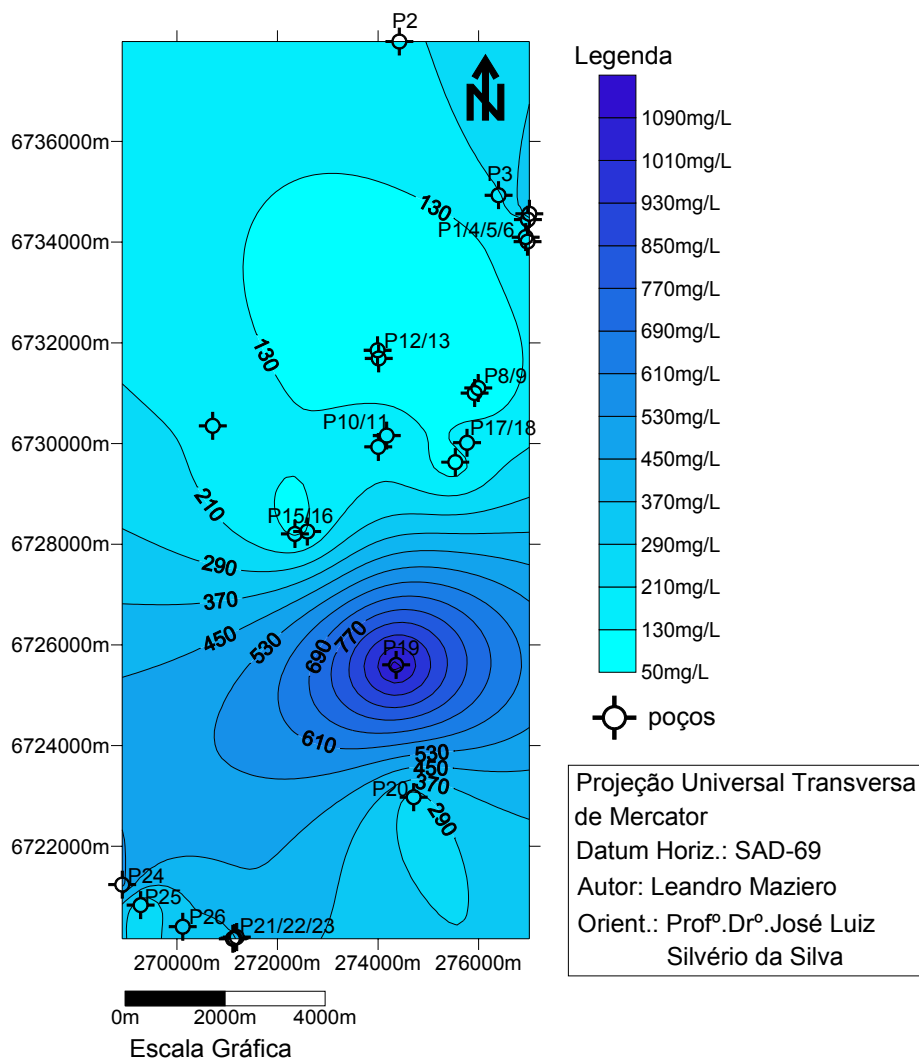


Figura 13: Cartograma da variação dos STD dos poços do município de Dona Francisca/RS

Outro parâmetro analisado merecedor de destaque, conforme quadro 25, foi a superfície potenciométrica dos poços. Esta calculada por meio da subtração da altitude pelo nível estático. Representa o peso da coluna d'água sobre um *datum*. Com base na análise da superfície potenciométrica pode-se obter a direção preferencial de fluxo da água subterrânea. Fez-se duas simulações para a superfície potenciométrica da água subterrânea do Município, utilizando-se o interpolador krigagem. Na primeira (figura 13), foi editado um único vetor sobre o cartograma de contorno, mostrando a direção geral preferencial de fluxo. Na segunda simulação (figura 14), utilizou-se também o interpolador krigagem, no entanto, a direção preferencial de fluxo foi indicada pela sobreposição de um cartograma de vetores sobre um cartograma de contorno. Ressalta-se que no segundo, é possível a visualização mais detalhada da referida informação.

Assim, por meio da visualização dos cartogramas, pode-se inferir que a direção preferencial de fluxo das águas subterrâneas do Município de Dona Francisca/RS é de Noroeste para Sudeste/Sul.

As figuras 6 e 11 demonstram claramente que é nas porções Sudeste e Sul que se situam as calhas dos dois rios principais do Município, quais sejam, Rio Jacuí e Soturno, respectivamente. Isto permite afirmar que as águas subterrâneas do Município contribuem com a perenização dos rios citados. As figuras 14 e 15 ilustram este fato.

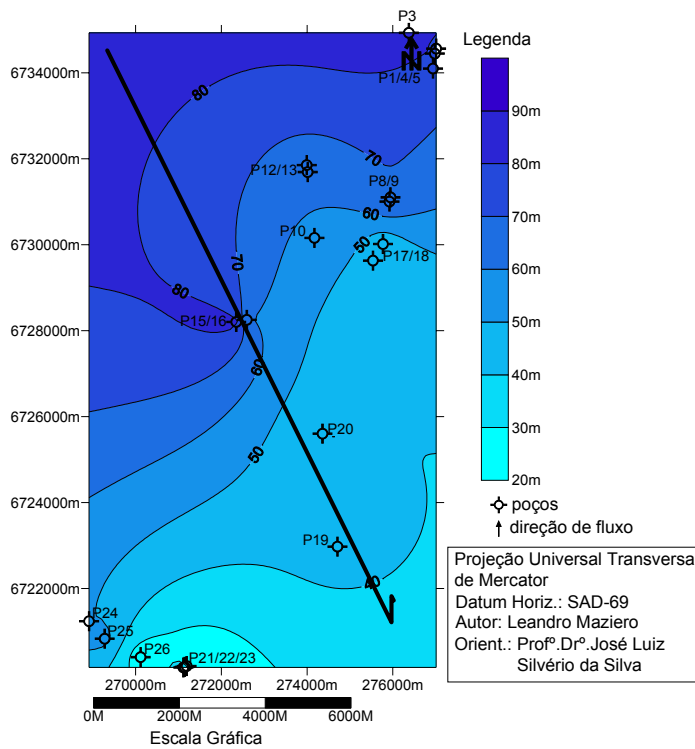


Figura 14: Cartograma da variação da Superfície Potenciométrica dos poços do Município

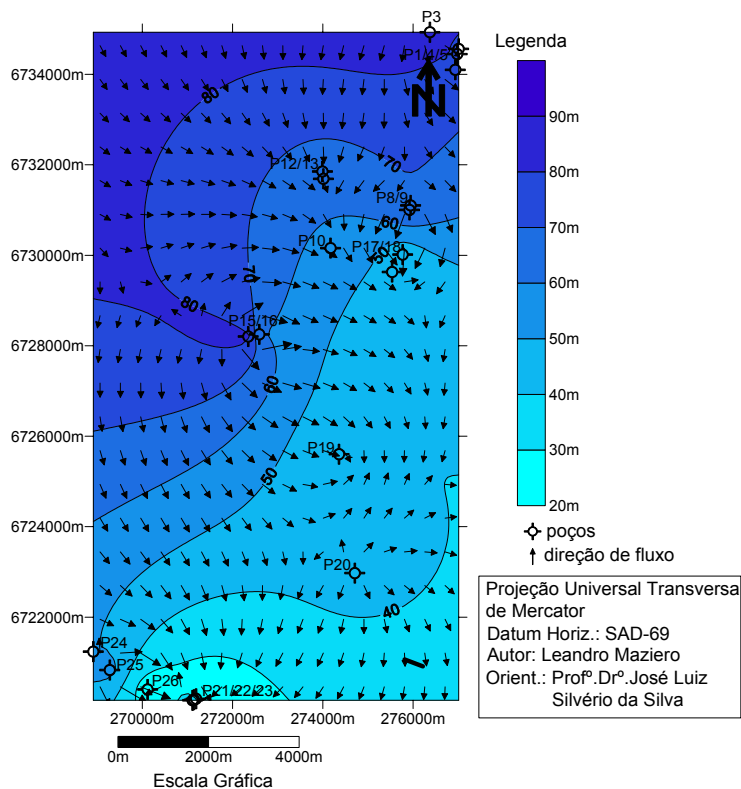


Figura 15: Sobreposição do cartograma de vetores sobre o cartograma da superfície potenciométrica dos poços do Município de Dona Francisca/RS.

A vulnerabilidade natural da área pode ser visualizada na última coluna do quadro 25, bem como o seu enquadramento nas classes sugeridas pelo modelo DRASTIC. Ressalta-se que dos 26 poços analisados, 5 não estão com seu índice de vulnerabilidade calculado. Este fato deve-se à falta de informação referente ao nível estático dos mesmos, ou seja, do fator D.

Os sete fatores, calculados pela multiplicação e soma dos pesos pelas cargas resultaram na estimação dos valores de vulnerabilidade (quadro 25). Chama-se a atenção que a análise da vulnerabilidade natural foi feita com base em parâmetros hidrodinâmicos dos poços e outros ligados a geologia, e a partir destes, inferida para a área como um todo. A vulnerabilidade natural da área se estende de um índice mínimo de 73, considerado uma área vulnerável, até um índice máximo de 163, considerado área de proteção obrigatória de acordo com método DRASTIC. A figura 16 ilustra a espacialização da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do Município. Por meio da referida figura pode-se perceber que as áreas em pior condição encontram-se na porção nordeste do Município. Na direção sul, regra geral, os índices tendem a baixar.

Dos 21 poços que tiveram a vulnerabilidade natural analisada, 11 se encontram em áreas consideradas pelo modelo DRASTIC “Muito Vulneráveis”, (índice entre 95 e 120). Fazem parte desse grupo os poços P1, P4, P8, P9, P12, P13, P15, P16, P17, P20 e P25. Oito poços estão em áreas consideradas “Vulneráveis” (índice entre 65 e 95), sendo eles, P10, P18, P19, P21, P22, P23, P24 e P26. Por fim, 2 em áreas consideradas de “Proteção Obrigatória” (índice >120), quais sejam, os poços P3 e P5. Como pode-se perceber, a vulnerabilidade natural da área, de maneira geral é elevada, uma vez que as três classes encontradas são consideradas altas, ou seja, a área não possui grande poder de defesa natural contra possíveis agentes degradantes que possam atingir as águas subterrâneas, sejam eles, lixões (chorumes), cemitérios (necrochorumes), agroquímicos (pesticidas,

herbicidas, fungicidas), postos os de combustível (óleos, graxas, gasolina, álcool), resíduos industriais, principalmente relacionados as madeireiras (tintas, vernizes) e outros.

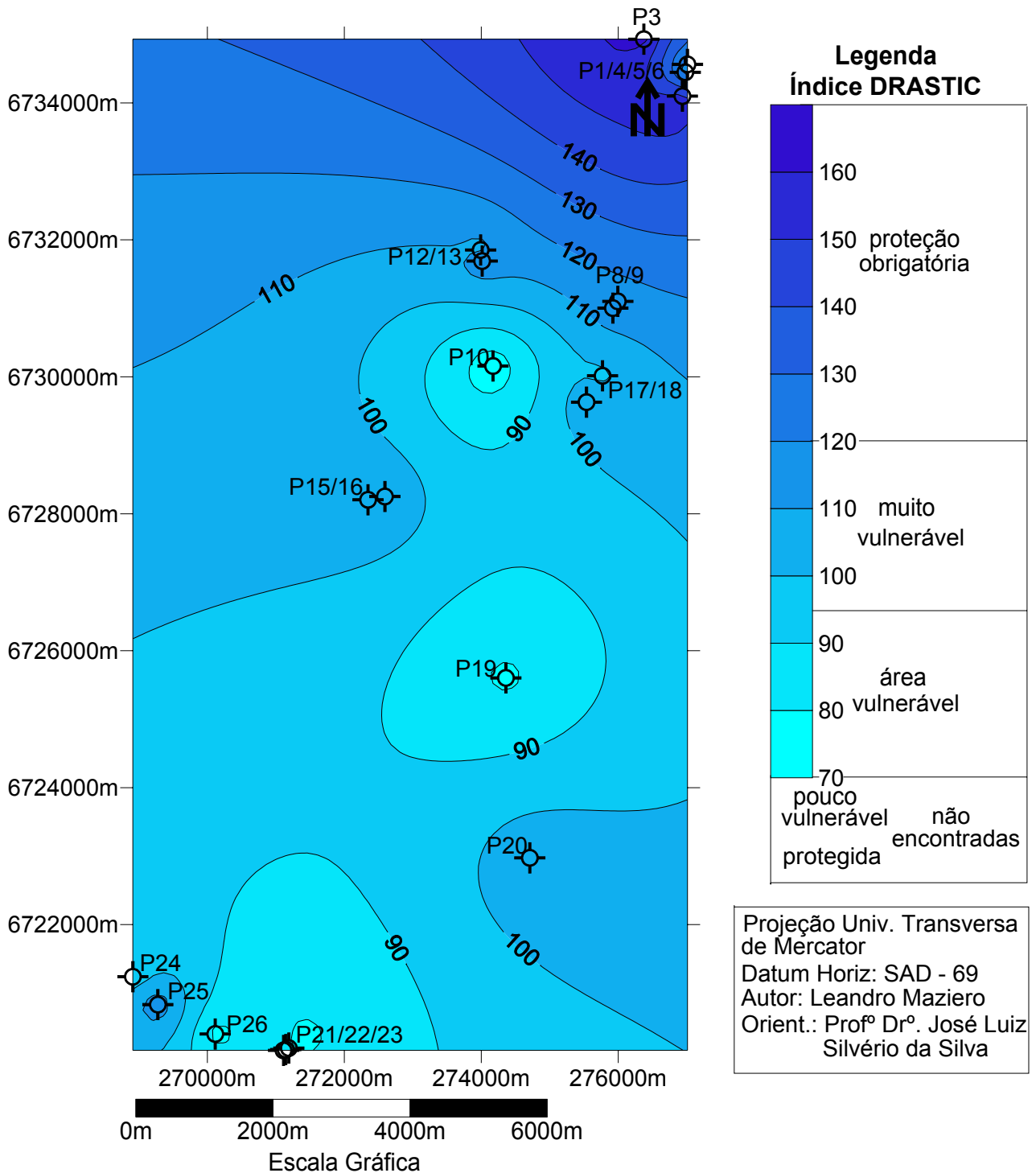


Figura 16: Cartograma da vulnerabilidade das águas subterrâneas do Município de Dona Francisca/RS.

A figura 17 permite visualizar os diferentes usos da terra da área de estudo. Ressalta-se que a partir da sobreposição do mapa de uso da terra e o cartograma de vulnerabilidade, torna-se possível a identificação de áreas discordantes sob o ponto de vista da vulnerabilidade natural dos aquíferos e do uso da terra.

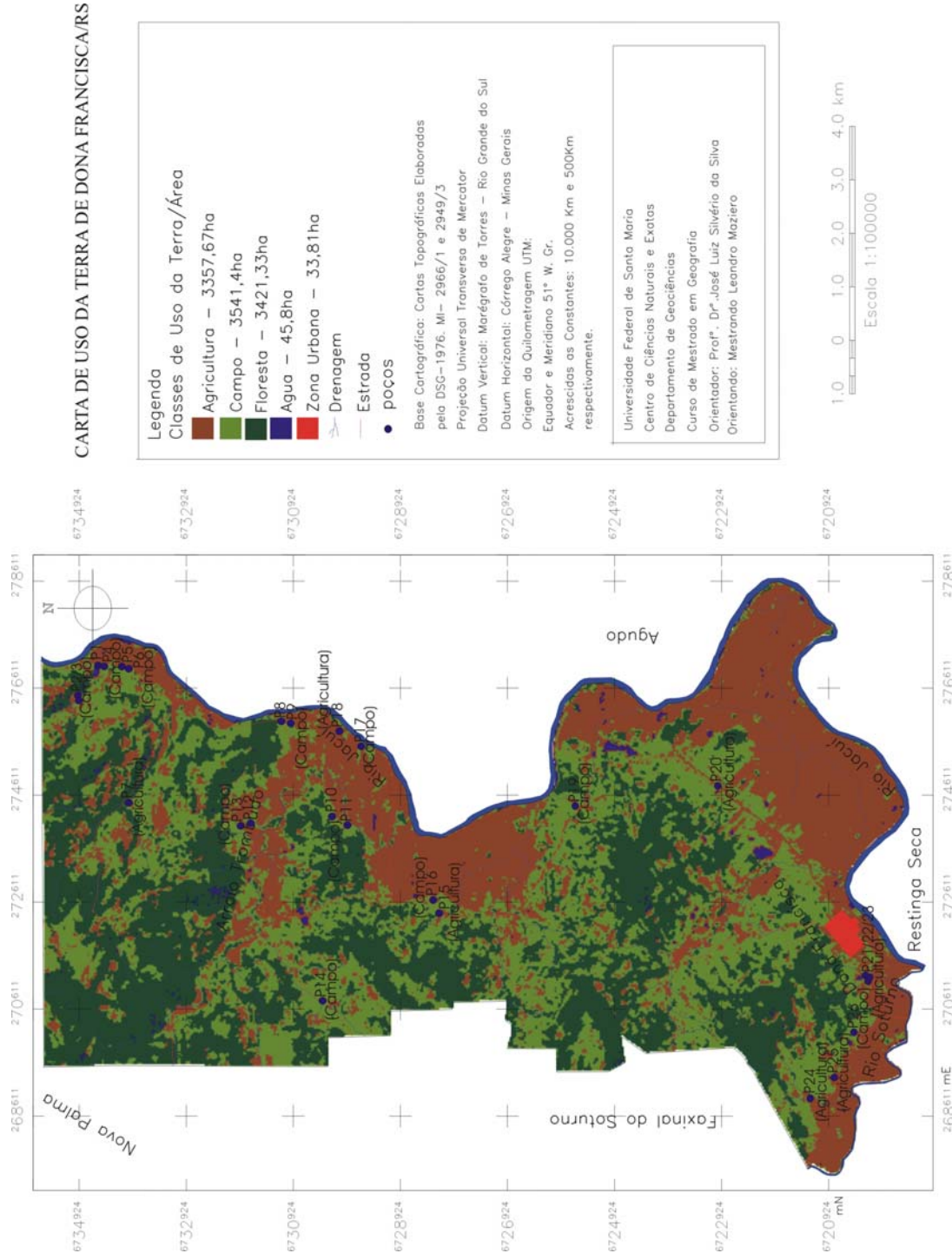


Figura 17: Carta de uso da terra do município de Dona Francisca/RS

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o exposto ao longo do trabalho, pode-se afirmar que recursos hídricos subterrâneos da área merecem especial atenção, uma vez que nesta ocorrem áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Ressalta-se que a exploração sustentável dos mesmos, passa antes de mais nada, pelo correto uso e ocupação do solo, pois este tem relação estreita com a preservação ou degradação dos mananciais hídricos, neste caso, os subterrâneos, através da recarga pela infiltração. Desta forma, a comparação do cartograma de vulnerabilidade com o de uso da terra (figura 17) permite observar algumas áreas merecedoras de maior atenção.

De acordo com a referida figura tem-se os poços P7, P15, P18, P20, P21, P22, P23, P24, P25 situados sobre a classe de uso agricultura. Nesta, tem-se um predomínio do cultivo de arroz irrigado. Assim, chama-se a atenção para o fato de que neste tipo de cultivo utiliza-se grande quantidade de agroquímicos, o que pode ser uma fonte difusa potencial de contaminação dos aquíferos.

Na classe de uso da terra “campo” ocorreram 17 poços, sendo eles, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P16, P17, P19, P26. Estes, em sua maioria situados sobre as formações geológicas Botucatu e Rosário do Sul (ver figura 11), ou seja, áreas importantes de recarga do SAG. O SAG se configura na maior reserva de água doce do planeta, com importância crescente Araújo et al. (1995 e 1999). O quadro 26 ilustra a localização dos referidos poços, bem como seus respectivos índices DRASTIC e as classes nas quais os mesmos se enquadram.

De modo geral as áreas de campo estão situadas na transição entre a Planície Aluvial dos Rios Jacuí e Soturno, que ocupam as cotas altimétricas mais baixas em o Planalto Meridional Brasileiro, constituído por rochas sedimentares (SAG) e derrames vulcânicos. Nesta transição, onde a

declividade do terreno aumenta significativamente (ver figura 6), o cultivo do arroz irrigado, dá lugar aos cultivos de fumo, soja, milho, feijão, entre outros. Entre estes cultivos, o que merece maior destaque nesta área é a do fumo. Este, conforme quadro 4, é o segundo mais importante do Município em valor de produção, perdendo neste aspecto apenas para o arroz. Assim, este cultivo se configura em uma importante fonte de divisas para os produtores e por extensão para o Município em questão.

Por outro lado, entre os cultivos explicitados no quadro 4, o fumo é o que mais se utiliza de agroquímicos em sua produção. Ressalta-se novamente que agroquímicos podem ser considerados como poderosas fontes difusas de contaminação de aquíferos, neste caso, do SAG.

Quadro 26: Classe de uso da terra “campo”, tipo geológico e índice DRASTIC dos mesmos.

Poços	Geologia	Índice DRASTIC	Classe
P1	Aluviões Atuais	117	*M. V.
P2	Form. Botucatu	-	*-
P3	Form. Botucatu	163	*P. O.
P4	Aluviões Atuais	112	M. V.
P5	Form. Botucatu	156	P. O.
P6	Form. Botucatu	-	-
P7	Form. Serra Geral	-	-
P8	Aluviões Atuais	115	M. V.
P9	Aluviões Atuais	117	M. V.
P10	Form. Ros. do Sul	73	*A. V.
P11	Form. Ros. do Sul	-	-
P12	Aluviões Atuais	117	M. V.

P13	Aluviões Atuais	107	M. V.
P14	Form. Ros. do Sul	-	-
P15	Form. Ros. do Sul	106	M. V.
P16	Form. Ros. do Sul	108	M. V.
P17	Aluviões Atuais	107	M. V.

*A.V.:área vulnerável; *M. V.:área muito vulnerável; *P. O.:área de proteção obrigatória; *-:não avaliado

Organização: Maziero, L.

De maneira geral, as áreas de campo situam-se na transição entre Planície Aluvial dos Rios Jacuí e Soturno com o Planalto Meridional Brasileiro. São áreas de afloramento das Formações Rosário do Sul e Botucatu (ver figura 11), ou seja, áreas de recarga do SAG, merecendo por isso especial atenção. Chama-se a atenção para o fato de que a maioria dos poços do quadro 26 estão situados em locais muito vulneráveis ou de proteção obrigatória, com índices que variam de 106 até 163. Este fato reforça a tese de que estas áreas merecem cuidados especiais sob o ponto de vista da conservação dos mananciais hídricos subterrâneos.

Por fim, ressalta-se que o modelo em questão mostrou ser de possível aplicação. Configura-se em um poderoso instrumento para o planejamento ambiental, ganhando força na medida em que é aplicado em paralelo com outras técnicas, especialmente as relacionadas ao Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Neste trabalho foram utilizados os Aplicativos Spring 4.1 e Surfer 8.

Salienta-se que não foram realizadas avaliações da qualidade da água pormenorizadas neste trabalho. Estas poderão ser realizadas em trabalhos posteriores, buscando a comprovação de possíveis agentes degradantes da qualidade das águas subterrâneas da área, especialmente nas áreas de maior vulnerabilidade, mapeadas e discutidas ao longo deste trabalho, incluindo-se os agroquímicos.

As limitações encontradas para aplicação do modelo DRASTIC

foram basicamente relacionadas à carência de informações. Dos 26 poços estudados no Município de Dona Francisca/RS, apenas 5 estão devidamente cadastrados pela prefeitura do Município até o ano de 2004, sendo que os cadastros são incompletos no que diz respeito aos aspectos hidrodinâmicos dos poços, bem como dos construtivos. Assim, dos 26 poços cadastrados 5 não tiveram o seu nível estático identificado, uma vez que os poços tubulares em funcionamento não possibilitaram medições com o medidor Jaciri, por terem a tampa lacrada. Ressalta-se que o nível estático é um dos fatores de maior peso (5) da metodologia utilizada, o que o torna um dos mais importantes. Por conta desta carência, os poços P2, P6, P7, P11, P14 não tiveram suas respectivas vulnerabilidades identificadas, logo diminuindo o número de informações simuladas pelo Programa SURFER 8. Ressalta-se também que para a aplicação deste modelo é importante que sejam identificados o maior número de poços possíveis, sejam eles cacimbas ou poços tubulares, uma vez que a identificação do nível estático está diretamente relacionado a estes. Neste trabalho foram identificados durante as tarefas em campo 26 poços. Considerou-se este número suficiente, pois a área em estudo possui apenas 104 Km² de extensão superficial. Além disso, procurou-se identificar poços bem distribuídos pela área em estudo, a partir do extremo norte até o extremo sul do Município ilustrados nas figuras 6, 11 e 17.

Partindo do princípio que a conservação dos recursos hídricos exige programas claros, aplicação de metodologias eficientes, e antes de tudo conscientização de que a água potável é um recurso finito, pode-se afirmar que este trabalho poderá servir de subsídio para órgãos públicos de planejamento, tais como prefeituras municipais, EMATER, sindicatos rurais, comitês de bacias hidrográficas, entre outros, que trabalham tendo em vista a conservação ambiental e o bem estar social na gestão integrada dos recursos hídricos.

Sugere-se que seja realizado um aprofundamento dos estudos de qualidade físico-química dos poços cadastrados, visando um maior conhecimento de variações sazonais na composição e também no nível estático dos poços.

Chama-se ainda a atenção para a existência de outros métodos de avaliação da vulnerabilidade natural. Um método bastante conhecido é o “GOD”. Este considera três aspectos, quais sejam: G: grau de confinamento hidráulico, O: ocorrência do substrato suprajacente, D: nível estático.

A comparação entre o método DRASTIC e o GOD permitiria identificar possíveis diferenças no resultado final para a área, no que se refere a vulnerabilidade natural, visando a obtenção de informações que subsidiem o correto uso e gerenciamento dos recursos naturais.

Por fim, pode-se afirmar que o trabalho alcançou os objetivos a que se propôs inicialmente, sendo eles, avaliar a vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos do município de Dona Francisca e espacializa-la em planos de informação, bem como indicar áreas que devam ser protegidas, conservadas ou recuperadas por serem importantes na recarga do Sistema Aquífero Guarani.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

abe.www.ecn.purdue.edu. DRASTIC Groundwater. Acessada em 2002.

Albuquerque Filho, J. L. *Oscilações induzidas no freático e as repercussões ao uso do solo*. Curso de Geologia Aplicada ao Meio ambiente. ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia). 1995. 247p.

ARAÚJO, L. N. ; FRANÇA, A. B. & POTTER, P. E. Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. UFPR/Petrobrás. 1995. 16p. mais mapas.

ARAÚJO, L. N. ; FRANÇA, A. B. & POTTER, P. E. *Hidrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA*. UFPR/Petrobrás. 1999.

Associação Brasileira de Normas Técnicas/ABNT. NBR 7229. Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos. Setembro de 1993, 28p.

ASSAD, E. D. & SANO, E. E.. *Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura*. 2ª Ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. 434 p.

ASMUS, H. E. Uma Visão Crítica da Metodologia para Levantamento Ambiental costeiro no Brasil. In: *Encontro Nacional de Estudos Sobre o Meio Ambiente*, Londrina, 1991.

AZEVEDO, L. e DALMOLIN, R. S. D. *Solos e Ambiente: Uma Introdução*. Santa Maria: Ed. Pallotti, 2004. 100p.

BARRA ROCHA, C. H. *Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar*. Juiz de Fora -MG. Ed. do Autor, 2000. 220p.

BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria do Serviço Geográfico. Carta Topográfica de Faxinal do Soturno. Folha SH-22-V-C-V-I. MI- 2966/1.

BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria do Serviço Geográfico. Carta Topográfica de Nova Palma. Folha- SH. 22-V-C-II-3, MI-2949/3.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. *Conservação dos Solos*. SP, Ícone, 1990.p.355.

CAMARGO, E.C.G.; FUCKS, S.D. e CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: Análise espacial de dados Geográficos. EMBRAPA. Editores: Suzana Druck, Marília Sá Carvalho, Gilberto Câmara, Antônio Miguel Vieira Monteiro. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/análise/>>, capítulo 3, segunda edição, julho de 2004, disponívelk em arquivo pdf. Visitado em 15 de janeiro/2004.

CAMPOS, H. & CHASSOT, A. (org) *Ciências da Terra e Meio Ambiente – Diálogos para (inter) ações no Planeta*. São Leopoldo: UNISINOS, 1999.

CAVALCANTI, I. N. Atividades impactantes em áreas de exploração de águas subterrâneas. *Anais*. XII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste. Olinda: ABAS. 14 – 17/10/2001. p. 67.

CEDERSTROM, D. J. *Água subterrânea: Uma introdução*. Rio de Janeiro: Aliança para o Progresso, 1964. 280p.

CETESB, DAEE, Secretaria do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto Geológico, CETESB, 1997. 2 volumes. 128p.

CÓDIGO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. *Art. 120, § 2º e 5º; Art. 134*. Rio Grande do Sul. 2000.

CURRAN, P. J. *Principles of remote sensing*. New York: John Wiley & Sons, 1985.

- CUSTÓDIO, E. *Gestión y protección Del água subterránea. Curso de actualización Profesional. 2º Congreso Latinoamericano de Hidrologia Subteránea.* Santiago do Chile. 1994.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia.* São Paulo: Edgard Blücher, 1964. 180p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Morfologia do Relevo na Média Bacia do Rio Corumbataí.* In: *V Simpósio de Geografia Física Aplicada.* Anais. São Paulo, 1993.
- DE BIASI, M. *Carta de Declividade de Vertentes: Confecção e Utilização. Geomorfologia.* n.º. 21 IGEO/USP. São Paulo. 1970.
- DIESEL, V. *A inserção da educação no novo patamar tecnológico da agricultura.* Santa Maria, UFSM, Departamento de Exptensão Agrícola e Extensão Rural, Relatório de Pesquisa-FAPERGS, 1994
- DUARTE COSTA, W. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Uso e Gestão das águas subterrâneas.* Fortaleza: CPRM, 1997. p. 341-365.
- FEE, Anuário Estatístico. 2001.
- FERNANDES, J. C. & GARRIDO, R. J. *Economia dos Recursos Hídricos.* Salvador: Edufba, 2002. 457p.
- FOSTER, S. & HIRATA R. *Determinação de riscos de contaminação das águas subterrânes: uma metodologia embasada em dados existentes.* São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 91p.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'Elia, M. e PARIS, M. *Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para empresas de Agua, autoridades municipales y agencias ambientales.* Washington, D.C.: Banco Mundial, 2003. 115p.
- FRANZ, I. *Planejamento Ambiental através do Sensoriamento Remoto na área do distrito agropecuário do Amazonas.* In: *VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.* Manaus. Anais. Manaus, AM, 1990.

FRASSON, A. R. Localização de Áreas Propícias à instalação de Aterro Sanitário Através do Geoprocessamento. Estudo de Caso. Município de Garopaba-SC, Brasil. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2001.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 2ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUIMARÃES, Mauro. *Educação Ambiental: no consenso um embate?* Campinas: Papirus, 2000.

HAUSMAN, A. *Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul. São Leopoldo/RS*: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1995. 125p.

HIRATA, R. et. al. *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no estado de São Paulo*. Instituto Geológico, [http://WWW.Sema.rs.gov.br/recursos hídricos](http://WWW.Sema.rs.gov.br/recursos_hídricos). Acesso em Agosto de 2002.

<http://WWW.Cnrh-srh.gov.Br/resoluções/R015.htm>. Acessado em Janeiro de 2003.

<http://www.unesco.org.uy/phi/libros>. Acessado em Janeiro de 2003.

IBGE, *Instituto Brasileiro de Geografia Estatística*. 1996.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Geoprocessamento. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuário/geoproc.htm>> Acesso em Agosto de 2002.

INTERSAT. Imagem de Satélite Lansat 7 ETM+. Órbita ponto 222/81 datada de 24 de Julho de 2000.

JOHNSON Division. *Água subterrânea e poços tubulares*. UOP, Saint Paul, Minnesota. 3ed. São Paulo, CETESB, 1978. 482p.

JOLY, F. *A Cartografia*. São Paulo: Ed. Papiros, 1990. 136p.

KLAMT, E. ; DALMOLIN, R. S.; CABRAL, D. *Solos do município de São João do Polêsine: Características, distribuição Geográfica e Aptidão de Uso*. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Solos, 1997. 93p.

- LANDIM, P. M. B. *Introdução a geoestatística*. Rio Claro: Unesp, 1988. 144 p. (Publicação Didática, 3).
- LANNA, A. E. Gestão dos Recursos Hídricos. In: *Hidrologia, Ciência e Aplicações*. Porto Alegre: Editora da Universidade, ABRH, EDUSP, 1993. p. 728-768.
- LEITE, C. E. S. e MÖBUS, G. *Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da região de rochas sedimentares da bacia do rio Mundaú/Ceará*. X Congresso Brasileiro de Água Subterrâneas: São Paulo, 9 – 11 de Setembro. 1998. 8p.
- LEINZ, V. e AMARAL, S. E. *Geologia Geral*. 3ª Ed. São Paulo: Editora Nacional, 1970. 487p.
- MATHESS, G. *Die Beschaffenheit des grundwassers lenhubuch der Hydrologie*. Berlin: Borntraeger. V. 2. 1973.
- MAY, M. A.C. Uso da Terra no Município de Santiago-RS analisado por aerofotogramas de 1975. *Revista Ensino e Pesquisa*. Santa Maria: nº5, 1991.
- MULLER FILHO, I. L. *Notas para estudo de geomorfologia do Rio Grande do Sul*. Santa Maria: ed. Da Imprensa Universitária da UFSM, 1970. 34p.
- NIMER, E. Clima. Geografia do Brasil. *Região Sul*. V2. Rio de Janeiro: IBGE. 1990.
- NOVO, E. L. M. Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações. 2ª ed. São Paulo, Ed.Edgard Blücher, 1992.
- O Correio da Unesco*. Rio de Janeiro, FGV/Unesco. Maio 1996, fev. 1999 e maio, 1999.
- OSÓRIO, Q. da S. *Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos e Potencial de Poluição das águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica de Arroio Arenal, Santa Maria/RS*. 2002. Trabalho de Graduação A (Curso de Geografia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002. 53 p.

RADAMBRASIL, Folhas SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: *geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.

RAISZ, E. *Cartografia Geral*. Rio de Janeiro: Ed. Científica. 1969.

RANZANI, G. *Manual de Levantamento de Solos*. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo. 1965.

REBOUÇAS, A. C. *A inserção da água subterrânea no Sistema Nacional de Gerenciamento*. In: RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 7 n.4, Out./Dez. 2002. p. 39-50.

REBOUÇAS, A. C. *Águas Subterrâneas*. Academia Brasileira de Ciências. São Paulo: USP. 1999.

Rio Grande do Sul: <www.Sema.rs.gov.br>. Acesso em Março de 2001.

ROCHA, J. S. M. *Manual de Projetos Ambientais*. Santa Maria: Ed. UFSM, 1997. 446p.

ROCHA, J. S. M. *Educação Ambiental: ensino fundamental, médio e superior*. Santa Maria: Ed. UFSM, 1999. 584p.

ROSS, J. L. S. *A análise da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados*. Revista do Departamento de Geografia. Nº 08, USP, 1994.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: *Revista do Departamento de Geografia FFLCH-USP*, nº8, São Paulo, 1994.

SALGADO VIEIRA, L. *Manual da Ciência do Solo*. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1975. 464p.

SPONCHIADO, B. A. *Imigração e Quarta Colônia: Nova Palma e Pe. Lizinho*. Santa Maria: Pallotti, 1996.

SANTOS, M. C. S. R. *Manual de Fundamentos Cartográficos e Diretrizes Gerais para a Elaboração de Mapas Geológicos, Geomorfológicos e Geotectônicos*. 1990. 50p.

SPIRONELLO, R. L. *Mapeamento do Uso da Terra em função das classes de declividade no Município de Iporã do Oeste – SC*. 2001. (Monografia de Especialização) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

SUGUIO, K. & BIGARELLA, J.J. *Ambientes fluviais*. 2^a ed. Florianópolis: Editora da UFSC/Ed. UFPR. 1990. 183p.

SURFER 8 Golden Software, Inc. User's Guide. Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. February 2002, 640p.

TUCCI, C. E. M. *Hidrogeologia: Ciência e Aplicações*. Porto Alegre: Ed, da Universidade. 1993.

User's Guide. Surfer 8: Gold Software, Inc. 640p.

VEIGA da CUNHA, L. *Perspectivas da Gestão da Água para o Século XXI: Desafios e Oportunidades*. Portugal: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, 2002. p.65-73.

VIEIRA, E. F. *Rio Grande do Sul: Geografia Física e Vegetação*. Porto Alegre: Sagra, 1984. 109p.

ZIMBRES, E. *Água Subterrânea*. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br/água/guia/aguasubterrânea.htm>> Acesso em 09/07/2003.

ZINGANO, A. C. *Surfer para Windows – Guia de consulta*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro. Notas de aula, Curso 2004, 20 p., ilustrado.