



UFSM

Dissertação de Mestrado

**PLANO DE PROTEÇÃO DE AQUÍFEROS
A PARTIR DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS**

Denecir de Almeida Dutra

PPGG

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**PLANO DE PROTEÇÃO DE AqüÍFEROS
A PARTIR DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS**

por

Denecir de Almeida Dutra

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do
Programa de Pós Graduação em Geomática,
Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática.

PPGG

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós Graduação em Geomática**

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

**PLANO DE PROTEÇÃO DE AQÜÍFEROS
A PARTIR DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS**

elaborada por
Denecir de Almeida Dutra

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Cassol
(Professor Orientador)

Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva

Prof. Dr. Pedro Roberto Madruga

Santa Maria, 10 de maio de 2005.

*“A água, recurso natural renovável – mas não inesgotável –
sofre sensivelmente com as ações do ser humano,
que lhes modificam a qualidade e a
quantidade no espaço e no tempo.”*

Demétrios Christofidis

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria pela qualidade e gratuidade do Ensino para o aprimoramento profissional.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Geomática pela contribuição no processo de formação técnico-científica.

Ao professor Dr. Roberto Cassol pela orientação e colaboração no decorrer do curso.

Aos professores Dr. José Luiz Silvério da Silva e Dr. Pedro Roberto de Azambuja Madruga pela participação da banca examinadora.

Aos colegas e amigos, em especial a professora Dr^a Vera Real do Programa de Qualificação Profissional da Área de Saúde, pela oportunidade de participar como bolsista de formação e implementação do banco de dados.

Aos meus pais e irmãos pela compreensão.

A Quelen da Silva Osório pelo apoio, carinho e dedicação.

SUMÁRIO

LISTAS

Lista de Figuras	viii
Lista de Quadros	ix
Lista de Anexos	x

RESUMO	xi
--------------	----

ABSTRACT	xii
----------------	-----

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação da área de estudo	3
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo Geral	6
1.2.2. Objetivos Específicos	6
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1. Enfoque histórico dos recursos hídricos	7
2.2. Situação atual dos recursos hídricos	10
2.3. Legislação dos recursos hídricos subterrâneos no Brasil	12
2.3.1. Após a criação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)	14
2.4. A Política de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul	14
2.5. Gerenciamento dos aquíferos	16
2.6. Sistemas de fluxos subterrâneos	19
2.6.1. Distribuição vertical da água subterrânea	21

2.6.2. Tipos de aquíferos	23
2.7. Perímetros de proteção (de poços e aquíferos)	25
2.8. Atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental .	31
2.9. Sistemas de informações geográficas	38
3. METODOLOGIA	42
3.1. Procedimentos Metodológicos	42
3.2. Procedimentos Técnicos	46
3.2.1. Delimitação da microbacia	46
3.2.2. Geração dos mapas temáticos	46
3.2.2.1. Mapa de energia do relevo	47
3.2.2.2. Mapa de declividade	48
3.2.2.3. Mapa geológico	50
3.2.2.4. Mapa de profundidade da água subterrânea	52
3.2.2.5. Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos	55
3.2.2.6. Mapa de uso e ocupação do solo	57
3.2.2.7. Mapa das zonas de proteção dos aquíferos	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1. Aspectos físico-naturais da microbacia hidrográfica	58
4.2. Aspectos sócio-econômicos da microbacia hidrográfica	69
4.3. Zonas de proteção dos aquíferos	77
5. CONCLUSÃO	88
6. BIBLIOGRAFIA	90

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Localização da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira ...	3
FIGURA 2 - Etapas do procedimento metodológico para determinar o Plano de Proteção dos Aquíferos para a microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira.....	43
FIGURA 3 - Banco de dados sobre os poços presentes na microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira	54
FIGURA 4 - Sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural dos aquíferos	56
FIGURA 5 - Mapa de energia do relevo da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira	60
FIGURA 6 - Mapa de declividade da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira	62
FIGURA 7 - Mapa geológico da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira	63
FIGURA 8 - Mapa de profundidade da água subterrânea da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira.....	66
FIGURA 9 - Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira	68
FIGURA 10 - Mapa de uso e ocupação da microbacia do Arroio Ferreira ..	70
FIGURA 11 - Depósito de resíduos sólidos (“Lixão da Caturrita”)	73
FIGURA 12 - Zona desfavorável à deposição de resíduos sólidos	74
FIGURA 13 - Lagoas de estabilização do Lixão da Caturrita	75
FIGURA 14 - Mapa das zonas de proteção dos aquíferos na microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira	78

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Relação da energia do relevo com a recarga aquífera	48
QUADRO 2 - Classificação do terreno conforme as declividades	49
QUADRO 3 - Descrição geológica e comportamento hidroestratigráfico ...	51
QUADRO 4 - Valores indicativos da vulnerabilidade dos aquíferos	56
QUADRO 5 - Proposta de restrições e condições de uso e ocupação do solo conforme as limitações das zonas de proteção dos aquíferos.	83

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Banco de dados sobre os poços 101

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

PLANO DE PROTEÇÃO DE AQUÍFEROS A PARTIR DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Autor: Denecir de Almeida Dutra

Orientador: Roberto Cassol

Data e Local de Defesa: Santa Maria, 10 de maio de 2005.

A reserva de água disponível, economicamente viável para o consumo humano, restringe-se somente aquela parcela que se encontra na forma de água superficial e subterrânea, que representa apenas 0,7% da água doce existente na superfície da Terra. Deste modo, o presente estudo teve como objetivo geral propor um plano de proteção dos aquíferos para a microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira, localizado no município de Santa Maria/RS. Sendo os objetivos específicos identificar as variáveis sócio-ambientais da microbacia, elaborar planos de informação com o uso das técnicas de SIG e estabelecer o cruzamento dos planos de informação, obtendo-se assim zonas de proteção dos aquíferos. Desta forma, definiu-se cinco zonas de proteção dos aquíferos: Zona I - Proteção imediata, Zona II - Restrição e controle, Zona III - Sem restrição, Zona IV – Prevenção e Zona V – Influência direta de cursos d'água, adaptadas das normas estabelecidas para a proteção dos poços e áreas de recarga aquífera, bem como de trabalhos anteriores. Como pudemos observar a microbacia do Arroio Ferreira apresenta condições naturais propícias à contaminação das águas subterrâneas, além de fazer parte hidrogeologicamente do Sistema Aquífero Guarani. Os planos de informação gerados com o uso das técnicas de geoprocessamento, auxiliaram para as definições das zonas de proteção dos aquíferos. Conclui-se, portanto que, a preservação da quantidade e da qualidade da água subterrânea, tanto para esta como para as futuras gerações, depende não somente das ações dos profissionais da área, mas também de cada indivíduo da sociedade, respeitando as restrições e condições propostas à implantação ou desenvolvimento de atividades socioeconômicas, bem como das medidas de controle das fontes de poluição em cada zona de proteção.

ABSTRACT

Dissertation of Master's degree
Program of Post Graduation in Geomatics
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

AQUIFERS PROTECTION PLAN THE FROM AMBIENT VARIABLES

Author: Denecir de Almeida Dutra

Advisor: Prof. Doc. Roberto Cassol

Dates and Place of Defense: Santa Maria, 10th May 2005.

The available water reserve, economically viable for the human consumption, only restricts that parcel that if finds in the superficial and groundwater form, that represents only 0.7% of the water fresh existing in the surface of the Land. Like this, the present study it had as objective generality to propose a plan of protection of aquifers for the watershed of the Arroio Ferreira, located in the city of Santa Maria/RS. The specific objectives were to identify the from partner-ambient variables of the watershed, to elaborate plain of information with the use of the technology GIS and to establish the crossing of the information plans, being gotten itself thus zones of aquifers protection. In this way, defined five zones of protection of the aquifers: Zone I - Immediate protection, Zone II - Restriction and control, Zone III - Without restriction, Zone IV - Prevention and Zone V - Direct influence of watercourse, adapted of the norms established for the protection of the wells and areas of aquifers recharge, as well as of previous works. As we could observe the watershed of the Arroio Ferreira presents propitious natural conditions to the contamination of groundwaters, beyond to belong hydrogeology of the Aquifer System Guarani. The generated plans of information with the use of the technology GIS, had assisted for the definitions of the zones of protection of the aquifers. Conclude, therefore that, the preservation of the amount and the quality of the groundwater, as much for this as for the future generations, not only depends on the actions of the professionals of the area, but also of each individual of the society, respecting the restrictions and conditions proposals to the implantation or development of socioeconomic as activities, as well as of the measures of control of the sources of pollution in each zone of protection.

1. INTRODUÇÃO

A água é uma das principais substâncias existentes na crosta terrestre. No estado líquido e sólido ocupa cerca de 2/3 da superfície da Terra e, na forma gasosa, é constituinte da atmosfera que respiramos no dia-a-dia. Na superfície da Terra, cerca de 97% da água existente está na forma de água salgada e o restante na forma de água doce. Deste, 78% está na forma de neve e cobertura de gelo e o restante na forma de água subterrânea, água superficial e umidade do solo (Hassuda, 1999).

A reserva de água disponível, economicamente viável para o consumo humano, restringe-se somente aquela parcela que se encontra na forma de água superficial e subterrânea, que representa apenas 0,7% da água doce existente na superfície da Terra. As outras formas de ocorrência de água na crosta terrestre são de difícil acesso para o homem, principalmente pelo alto custo de exploração e tratamento, como também pela própria falta de disponibilidade física, no caso da água do solo (*op cit.*).

Desde de 1977 têm-se sucedido as mega-conferências internacionais centradas sobre a problemática da água e a melhor forma de enfrentar as dificuldades já experimentadas e as previstas para um futuro não muito distante (Cunha, 2002).

No entanto, para inserção da água subterrânea no sistema de gerenciamento integrado, torna-se necessário considerar as origens dos seus volumes principais (23 milhões de km³). Este volume de água corresponde à parcela da hidrosfera que ocorre nos poros e fissuras milimétricas do subsolo das partes emersas da Terra. No

mundo estas águas subterrâneas têm três origens principais: meteórica, conata e juvenil (Rebouças, 2002).

Apesar da importância da água subterrânea como insumo básico para o abastecimento público e para indústria, precisa de investimentos para aprofundar um nível de conhecimento técnico científico que possibilite avanços na exploração, aproveitamento e proteção destes recursos hídricos. A atividade de captação e exploração de água subterrânea depende de dispositivos institucionais que disciplinem, controlem ou fiscalizem o seu exercício. A falta desses instrumentos legais coloca em risco a qualidade dos aquíferos e estes, uma vez poluídos e/ou contaminados, sua recuperação é de longa duração, tecnicamente difícil e muitas vezes economicamente inviável (Coelho e Duarte, 2003).

Em função disso, observa-se que a melhor forma de manter a boa qualidade da água subterrânea é a prevenção. Logicamente, locais que já se encontram contaminados devem passar por um processo de remediação para recuperação da área e evitar danos à saúde pública e ao meio ambiente. Atualmente existem instrumentos que visam proteger diretamente, tanto os aquíferos, como também os poços de abastecimento. A metodologia de delimitação destes perímetros pode basear-se no desenvolvimento analítico das fórmulas que regem o fluxo da água subterrânea até o uso de modelos matemáticos numéricos complexos (Hassuda, 1999).

Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma proposta de proteção dos aquíferos para a microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira - Santa Maria/RS, através da análise de variáveis sócio-ambientais da microbacia hidrográfica.

1.1. Apresentação da área de estudo

A área de estudo compreende a microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira, localizada entre as coordenadas UTM-N de 6720000mN e 6708000mN, e UTM-E de 216000mE e 228000mE, abrangendo uma superfície de aproximadamente 5.207,72 ha, situada (Figura 1) na zona Oeste do município de Santa Maria, Região Central do Estado do Rio Grande do Sul.

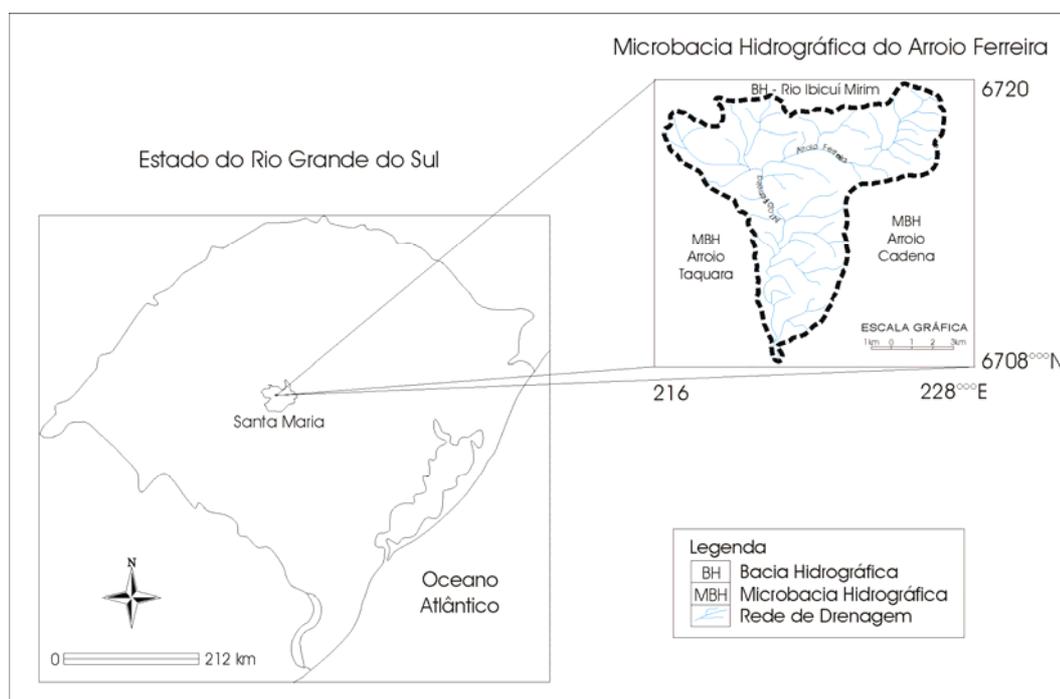


FIGURA 1 - Localização da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira

Abrange em seus limites duas rodovias pavimentadas (BR 158 e RST 287) em duas ou mais vias, além de uma ferrovia e diversos caminhos que facilitam o acesso e interligação aos diferentes pontos da microbacia, que se intercala entre zona industrial, urbana e rural,

pois compreende o Distrito Industrial de Santa Maria, os bairros Tancredo Neves, porção Oeste do Parque Pinheiro Machado, do Conjunto Habitacional Santa Marta e Nova Santa Marta, bem como inúmeras ocupações clandestinas; além de parte do Distrito de Boca do Monte, especificamente a Vila Esmeralda, com uma população estimada de 30 mil pessoas.

A microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira possui forma triangular, observada de acordo com a classificação de Christofolletti (1980), e o padrão de drenagem caracteriza-se por ser dendrítico ou arborescente, onde as ramificações da hidrografia são semelhantes a galhos de árvores, porque ocorrem tipicamente sobre rochas de resistência uniforme ou em rochas sedimentares estratificadas.

Esta microbacia limita-se à Oeste com a microbacia do Arroio Taquara, a Leste com a microbacia do Arroio Cadena e ao Norte com a bacia hidrográfica do Rio Ibicuí Mirim.

Identificou-se cinquenta rios de primeira ordem, onze rios de segunda ordem, dois rios de terceira ordem e um rio de quarta ordem de drenagem. O rio principal (Arroio Ferreira) apresenta uma extensão total de 18.735,78 metros e faz parte da Bacia do Sudeste (Moreira, 1995), pois é afluente do Arroio Picadinho que deságua no Arroio Arenal que desemboca no rio Vacacaí, que por sua vez deságua no rio Jacuí chegando até o Rio Guaíba.

A amplitude altimétrica da área é de 363 metros, sendo 438 metros o ponto mais alto localizado à Nordeste da microbacia e 75 metros o mais baixo situado no Sul da mesma, pois abrange áreas da Depressão Central Sul Riograndense e Rebordo do Planalto da Bacia do Paraná.

O clima, por sua vez, destaca-se segundo a classificação climática de Wilhelm Köppen, por Cfa, ou seja, subtropical com verões quentes, e chuvas bem distribuídas o ano inteiro. O clima, apesar de quente úmido durante boa parte do ano, conserva, por apreciável período o caráter frio, capaz de imprimir restrições a proliferação e ao desenvolvimento de grande número de espécies tipicamente tropicais (Moreira, 1995).

Segundo dados da CPRM (1994), a precipitação média anual é de 1.769 mm e os meses de maio, junho e setembro são mais chuvosos, enquanto novembro e dezembro são mais secos. A média anual da temperatura é de 19,2 °C, com amplitude térmica da ordem de 10°C. O trimestre mais quente dezembro, janeiro e fevereiro apresentam como média 24,2°C, ao passo que o trimestre mais frio, junho, julho e agosto a média é de 14,4°C.

A umidade relativa média anual é de 72%, alcançando os valores mínimos no trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro, 64%. A insolação é baixa em relação ao restante do Estado, com cerca de 2.200 horas anuais de duração, registrando menor valor no mês de junho (133horas).

A CPRM, ainda expõem que na área em estudo, pela análise do balanço hídrico, estima-se para a região uma evapotranspiração real de 836 mm, equivalente a 47% da precipitação média. Os aquíferos são alimentados no intervalo abril-setembro, havendo a depressão num longo período outubro-março, quando os aquíferos complementam a vazão dos rios.

A vegetação presente na microbacia, caracteriza-se como Floresta Ombrófila Densa, Ombrófila Temperada e Floresta Estacional Decidual, atualmente encontram-se no Rebordo do Planalto

as Florestas Subcaducifolia Subtropical, formada por espécies arbóreas, arbustivas e rasteiras. Na depressão ocorrem os campos mistos com várias espécies de gramíneas. Ao longo dos cursos de água existem várias espécies arbóreas de caráter mais ou menos higrófilo, constituindo as matas galerias (RADAMBRASIL, 1986).

As matas ciliares apresentam-se preservadas nos setores Norte, Nordeste e Noroeste da microbacia. O setor Centro-Sul também se apresenta preservado, mas com grandes quantidades de depósitos de resíduos sólidos, junto às margens dos córregos.

1.2. Objetivos

Objetivo Geral

Propor um plano de proteção dos aquíferos para a microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira, Santa Maria/RS

Objetivos Específicos

Identificar as variáveis sócio-ambientais da microbacia hidrográfica.

Elaborar planos de informação com o uso das técnicas de geoprocessamento.

Estabelecer o cruzamento dos planos de informação obtendo-se as zonas de proteção dos aquíferos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Enfoque histórico dos recursos hídricos

Desde a época de Ptolomeu e até o século XVI, pensava-se que o mundo era um disco cercado por um pequeno Oceano. Segundo as teorias de Aristóteles (384-322 a.C) somente a precipitação não bastava para abastecer o lençol freático e os cursos de água. Acreditava-se que o oceano emergia da terra através de uma rede subterrânea e abastecia as fontes de água por meio da destilação causada pelo fogo interior ou pela ação capilar que removia os sais minerais da água do mar (Mansotte, 1999).

Em 1670 Perrault mediu a altura de uma precipitação numa área de captação de 200 km² a montante de Paris e descobriu que o volume da precipitação era seis vezes maior que aquele que escoava pelo rio. Durante este período os mistérios do ciclo da água, que asseguram a vida da terra, foram decifrados. Finalmente, Lavoisier esclareceu o mistério da água em 1873, ao demonstrar que era composta por dois elementos simples -hidrogênio e oxigênio- e que pode existir em estado líquido, sólido e gasoso (*op cit.*).

Nos tempos romanos os primeiros poços, chafarizes, barragens e aquedutos foram construídos no Egito, Mesopotâmia e Grécia. Os romanos desenvolveram estas técnicas desde o século V a.C., sendo que a construção do primeiro aqueduto na região -*Aqua Appia*- foi um marco na modernização de Roma. No início, eram construídos canais simples com gradiente natural e aquedutos para abastecer as fontes públicas por gravidade. Mais tarde passaram a ser construídos principalmente em arcos e abasteciam banhos públicos e residências,

freqüentemente utilizando encanamentos de chumbo. Uma série de decretos adotados no século XI a.C. regulamentaram a distribuição da água, confiando esta tarefa a um grêmio profissional, os *aquarii*, cuja responsabilidade era “assegurar que nas fontes públicas a água estivesse disponível para todos, tão regularmente quanto possível, dia e noite” (*op cit.*).

Na Grécia a mitologia conta à história e a origem das fontes, que jorram freqüentemente de cavidades rochosas, essas fontes são consideradas moradas do Deus Pã. Nos séculos VI e V a.C., a Grécia foi o berço de uma escola de pensamento, dita pré-socráticos, que aliava a observação à relação (Issar, 1993).

Túneis e poços construídos para captação de água na Pérsia e no Egito, por volta de 800 a.C., comprovam que as águas subterrâneas são aproveitadas pelo homem desde a idade antiga (Tolman, 1937). Portanto, muito antes da compreensão da sua origem.

Não obstante, a importância da evaporação, da precipitação e da infiltração para origem das águas subterrâneas, somente claramente explicada no início da era cristã pelo arquiteto romano Vitruvius, que sugeriu ser a infiltração da água da chuva o fenômeno responsável pela acumulação da água subterrânea. Ainda assim, até fins do século XVII, prevalecia a crença geral que somente a chuva não era suficiente para explicar a água que flui nos grandes rios (Manoel Filho, 1997).

No século XVII, começou a se impor à necessidade do estudo da natureza fundamentar-se na observação. Os partidários da doutrina da Igreja tentaram encontrar um meio-termo entre as sagradas escrituras e suas próprias observações. O jesuíta alemão Athanasius Kircher, por exemplo, sugeriu em sua obra *Mundus subterraneus* (1665-68) a

existência de passagens entre o leito e o mar e as cavidades das montanhas, através dessas passagens, a água percorreria um complicado caminho para retornar à superfície, cumprindo assim o périplo descrito na Bíblia. Muitas outras acrobacias intelectuais foram realizadas pelos homens que desejavam conciliar as doutrinas aristotélicas, as sagradas escrituras e os fenômenos hidrológicos passíveis de observação (Issar, 1993).

Os sábios antigos começaram a desvendar os dogmas antigos para confiar nas percepções de seus sentidos. Assim fizeram pensadores pouco conformistas como Leonardo da Vinci (1452-1519) e Bernard Palissy (1514-89) que levantaram a hipótese de que as fontes seriam alimentadas pela água da chuva que se infiltra no solo pelas fissuras e porosidades das rochas (*op cit.*).

Essa linha de pensamento foi confirmada com aplicação dos primeiros enfoques quantitativos, precursores da hidrogeologia moderna, da qual Pierre Perrault foi um dos pioneiros. Em “*Da origem das fontes*” (1674) ele fez um levantamento hidrológico da bacia do Sena e demonstrou que toda a água carregada por esse rio equivalia apenas a 1/6 das chuvas recebidas por sua bacia hidrográfica. Alguns anos mais tarde, o físico Edme Mariotte efetuou novas medidas e cálculos que reduziram essa fração à cerca de 1/8. No século XVIII, novos estudos quantitativos permitiram estabelecer a teoria do ciclo da água encontrada nos livros científicos modernos (*op cit.*).

Os cálculos foram se tornando cada vez mais precisos, e o engenheiro Henry Darcy pode medir a circulação da água num meio poroso e formular a lei que leva seu nome, segundo a qual o volume de água que atravessa uma determinada porção de rocha porosa é igual

à permeabilidade da rocha multiplicada pelo gradiente do nível hidrostático. Essa lei foi desenvolvida nos séculos XIX e XX para ser aplicada aos movimentos das águas em todas as condições. Na era da informática, alguns hidrólogos chegaram a pensar que, a partir de agora, bastaria um mínimo de investigações no terreno para alimentar seus cálculos eletrônicos. Não estariam agindo como os gregos da aurora do classicismo, que julgaram muita lógica, bastaria para desvendar os mistérios da natureza (Issar, 1993).

A água subterrânea é utilizada pela sociedade há milênios e a sua compreensão remonta os primórdios da civilização, embora o conhecimento de sua capacidade de renovação ser inferior a da vida no planeta, o descaso frente sua poluição é evidente, tanto que atualmente o mundo já sente sua escassez quantitativa e qualitativa.

2.2. Situação atual dos recursos hídricos

Os recursos hídricos da superfície do planeta e as águas subterrâneas são permanentemente influenciados por todas as atividades humanas. A água suporta e integra as interações dessas atividades como a indústria, energia, saúde humana, desenvolvimento urbano, agricultura, com a diversidade e funcionamento dos sistemas biológicos (Tundisi, 2000).

No início do século XXI a crise da água começa a se agravar em cerca de oitenta países e 40% da população estão experimentando a escassez de água que ameaça a sua agricultura, indústria e saúde. Dados recentes do Banco Mundial mostram que 1 bilhão de pessoas não têm acesso a água potável, nos países em desenvolvimento, 1,7

bilhão de pessoas não têm acesso ao saneamento básico, e 10 milhões de pessoas morrem todos os anos em consequência de doenças de veiculação hídrica (*op cit.*).

Os limitados volumes de água utilizáveis seriam, contudo, suficientes para satisfazer a procura sem problemas maior, se a ocupação demográfica do globo fosse também mais uniformemente distribuída e as disponibilidades de água fossem mais regularmente distribuídas, tanto no espaço quanto no tempo. Os sistemas naturais e sociais podem ser afetados, existem dificuldades associadas à utilização da água em certas regiões e por um conjunto de fatores condicionantes, designando-se por vulnerabilidade a medida do grau em que os sistemas são afetados. A vulnerabilidade envolve questões de desenvolvimento, equidade e sustentabilidade que ocupam atualmente o centro da arena política (Cunha, 2002).

As discussões sobre a problemática dos recursos hídricos tiveram início nos países industrializados no final da década de 60 devido à intensa poluição das águas. A percepção foi de que o desenvolvimento industrial e tecnológico traz, por um lado, a riqueza e comodidade, mas por outro, destrói os recursos ambientais e degrada também a qualidade de vida da população (Assunção e Bursztyn, 2002).

Para solucionar e minimizar os efeitos adversos do desenvolvimento, tais países buscaram implementar ferramentas legais e institucionais para dar suporte a gestão dos seus bens ambientais, como por exemplo, os recursos hídricos (*op cit.*).

No contexto internacional, coube a Organização das Nações Unidas na década de 70, assumir a coordenação dos debates sobre a problemática dos recursos hídricos, devido aos constantes alertas da comunidade científica internacional de que todas as espécies de vida

do planeta estariam ameaçadas num longo prazo, inclusive a do próprio homem (*op cit.*).

As questões ambientais, e em particular a água e o aumento da poluição, ganharam espaços significativos nas agendas políticas em nível mundial na década de 80. A ONU proclamou os anos 80 como a década internacional do abastecimento de água potável e do saneamento, escolhendo o dia 21 de março como o Dia Internacional das Águas (*op cit.*).

Nos anos 90 ocorreram várias discussões a nível local, nacional e internacional sobre o gerenciamento integrado e participativo dos recursos hídricos e a conservação da água como um bem de valor econômico e um recurso finito e vulnerável (*op cit.*).

2.3. Legislação dos recursos hídricos subterrâneos no Brasil

A Constituição Federal de 1988 reconheceu os municípios como entes da federação e contemplou a descentralização política e administrativa, além de definir algumas competências entre as instâncias do Governo, Estado e Municípios em relação à água, os Estados e a União receberam autonomia para a criação de uma política pública de regulamento para os usos dos recursos hídricos de sua propriedade. Além disso, sancionou-se a classificação da água como um bem público, finito e com valor econômico, bem como foram responsabilizadas as esferas públicas por estabelecer regras dentro de suas competências para garantir os múltiplos usos da água (Bustos, 2003).

Apesar de existirem vestígios da utilização da água subterrânea no Brasil desde o início da colonização, ela ganha a primeira atenção política a partir do Primeiro Reinado (1822-1831) indo até o fim do Segundo Reinado (1840-1889) quando a sua utilização necessitava de autorização central. No início da República foi perdido o controle sobre essas águas até promulgação do Código das Águas de 10 de julho de 1934 que entre relevantes aspectos relativos ao seu uso e conservação, vigentes até hoje, também determinava ser elas de domínio do dono do terreno (Rebouças, 2002).

Com a Constituição de 1988 é extinto o domínio privado das águas passando o domínio das águas subterrâneas para os Estados, alguns deles implementaram leis específicas para esses mananciais, como também foram publicadas resoluções de Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.

Em 8 de janeiro de 1997 a Lei Federal 9.433 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos que embora tenha implementado o Sistema Nacional de Recursos Hídricos, tinha como principal objetivo coordenar a gestão integrada das águas, mas esta Lei faz menção às águas subterrâneas apenas em dois de seus artigos, o Art. 12. que descreve os usos dos recursos hídricos que estão sujeitos à outorga, e o Art. 49 que trata sobre infrações e penalidades nas normas de utilização dos recursos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos deixou de lado as águas subterrâneas, no atributo de suas funções, que após a criação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos vem publicando algumas resoluções de forma a regulamentar os aspectos indispensáveis da água subterrânea no processo de gestão integrada das águas.

2.3.1. Após a criação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)

A primeira resolução do CNRH com vistas às águas subterrânea foi instituir a Câmara Técnica Permanente de Águas (CTPA) através da Resolução nº9 de 21 de junho de 2000. A CTPAS tem como atribuição discutir sobre assuntos pertinentes às águas subterrâneas e propor a gestão destas na Política Nacional de Recursos Hídricos.

Partindo desta premissa foram criados, através das propostas encaminhadas pela citada CTPAS, as Resoluções nº15 e nº22 que estabelecem respectivamente as diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas e sua inserção no Plano de Recursos Hídricos.

Na resolução nº15 de 11 de janeiro de 2001 foram expostos aspectos que vieram complementar a Lei 9.433/97 buscando evidenciar a indissociabilidade do ciclo hidrológico, tais como considerar a interdependência das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas nas diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e promover a gestão integrada das águas na implantação dos instrumentos da mesma.

2.4. A Política de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul

A Constituição do Estado do Rio Grande do Sul de 1989 instituiu, para as águas do seu domínio, o descrito no Art. 171, que o Sistema Estadual de Recursos Hídricos deve estar integrado ao Sistema Nacional de Gerenciamento, adotando as bacias hidrográficas

como unidade básica de planejamento e gestão, observados os aspectos de uso e ocupação do solo, com vista a promover a melhoria de qualidade dos recursos hídricos do Estado e regular o abastecimento de água às populações urbanas e rurais, às industriais e aos estabelecimentos agrícolas (Cánepa e Grassi, 2000).

A Lei Estadual nº10.350, instituída em 1994, no Rio Grande do Sul, segue as prescrições derivadas do conceito de desenvolvimento sustentável? A resposta a esta indagação depende de um exame detalhado dos fundamentos do Princípio Usuário Pagador (PUP), pilar da chamada Lei das Águas gaúcha, bem como consideração de seu potencial inovador na política ambiental brasileira ao introduzir instrumentos econômicos de indução, em complemento à velha política de mandato e controle (*op cit.*).

Na Lei 10.350/94 definiu-se as instituições orientadoras e suas atribuições, conforme detalhado abaixo:

Conselho de Recursos Hídricos (CRH-RS): elaborar ou opinar sobre propostas de alteração da Política Estadual de Recursos Hídricos, apreciar e acompanhar o plano estadual de recursos hídricos; aprovar os relatórios anuais sobre o estado dos recursos hídricos, critérios de outorga e os regimentos dos Comitês de Bacia; dirimir, em última instância, conflitos sobre os usos das águas e representar o Governo na área.

Departamento de Recursos Hídricos (DRH): elaborar o anteprojeto de Lei do Plano Estadual de Recursos Hídricos; coordenar e acompanhar a execução deste; exercer o poder de outorga quantitativo; propor alterações nos critérios de outorga; elaborar o Relatório Anual sobre o Estado dos Recursos Hídricos e assistir tecnicamente o Conselho de Recursos Hídricos.

Comitê de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica (CGBH): atuar na base é o verdadeiro “parlamento das águas”, nos quais se estabelece o ritmo das intervenções necessárias a conservação e desenvolvimento dos recursos hídricos, contabilizando as metas e possibilidades de crescimento de custos da preservação ambiental.

O comitê é formado por 40% dos usuários da água da bacia, representantes da população da bacia (40%) e representantes de órgãos públicos da administração direta estadual e federal ligados aos recursos hídricos (20%).

Agências de Região Hidrográfica (ARH): órgão técnico a serviço do sistema em geral e dos Comitês de Bacia em particular, a fim de que estes possam decidir sobre intervenções e os preços da água com base em alternativas tecnicamente factíveis e bem delineadas.

Esta Legislação ainda atribuiu funções ao órgão ambiental do Estado (Fundação Estadual de Proteção Ambiental - FEPAM), que deve integrar o Sistema na qualidade de responsável pela outorga qualitativa dos recursos hídricos; sendo responsável pelo monitoramento da qualidade dos corpos receptores; auxiliar na elaboração das propostas de planos de bacias hidrográficas, plano estadual de recursos hídricos e dos planos definitivos de bacias hidrográficas.

2.5. Gerenciamento dos aquíferos

O gerenciamento que equivale à gestão elaborada por entidade pública, dos aquíferos do mesmo modo que das águas superficiais, deve ser executado a partir de três componentes que se inter-

relacionam, ou seja, legislação específica, instituição adequada, e conhecimentos técnicos (Costa, 2001).

Da legislação específica já foi explicitada a sua importância, podendo, a título complementar, ser enfatizado que essa legislação deve ser elaborada para ser realmente cumprida, a exemplo do que ocorre em outros países, como na Argentina, que as leis provinciais das águas subterrâneas vem sendo obedecidas há três décadas (*op cit.*).

Quanto à instituição adequada, a gestão dos aquíferos deverá ser desempenhada por uma entidade estadual, visto serem esses recursos de titularidade do estado, conforme especifica o Art. 20 da Constituição Federal do Brasil de 1988.

A gestão deve ser desempenhada por uma entidade que se destine, preferencialmente, com exclusividade para esse fim, atuando em paralelo a outras entidades estaduais que se encarreguem da execução de obras e do uso da água (abastecimento humano, irrigação, etc), (Costa, 2001).

Existe atualmente uma grande polêmica em torno de que maneiras serão geridos os mananciais de águas subterrâneas. De acordo com a Lei das Águas, a unidade de gestão deve ser a bacia hidrográfica, de acordo com a Constituição Federal, deve ser efetuada a nível estadual quando o rio banha mais de um estado ou serve de limite com outros países conforme o Art. 20 da Constituição Federal.

Em princípio, as águas subterrâneas não banham nada, pois sua percolação é na subsuperfície, devendo, portanto, serem de domínio estadual, conforme o Art. 26 da Constituição Federal, independentemente se o aquífero passar de um estado para outro.

Por outro lado, os aquíferos não guardam, em geral, nenhuma relação com bacia hidrográfica, podendo incluir várias bacias

hidrográficas, ser cortado por uma ou mais bacias, servir de nascentes e divisor de várias bacias hidrográficas ou ainda construir parte do baixo curso de uma ou mais bacias (Costa, 2001).

A gestão dos aquíferos deveria ser sempre uma atribuição do órgão gestor estadual, compartilhada com os comitês de bacias hidrográficas dos rios estaduais no âmbito da “bacia Hidrogeológica” e respectivas agências de água.

No âmbito da Agência Nacional das Águas - ANA, todavia, há forte pressão para que os aquíferos que passem de um estado para outro sejam considerados de âmbito federal, como as águas superficiais e nesse caso, praticamente todos os aquíferos brasileiros seriam geridos a nível federal. Como a gestão federal, para controlar a captação de todos os poços ao longo dos 8,5 milhões de km².

Segundo Costa (2001) deveria caber a ANA, em relação às águas subterrâneas, as seguintes ações: incentivar a constituição de entidades gestoras nos estados que ainda não a possuem, incentivar a elaboração de legislação específicas nos estados que não a possuem, promover a realização de estudos hidrogeológicos, com a participação dos interessados, de grandes bacias sedimentares que incluam aquíferos regionais atravessando vários estados, como a Bacia do Paraná, a Bacia do Maranhão, as Bacias costeiras, etc. e estimular a realização de convênios interestaduais para gestão dos aquíferos fronteiriços.

O mesmo autor comenta que não se pode esquecer que sem domínio das condições hidrogeológicas de um aquífero, das suas reservas, potencialidades, e disponibilidades não se pode emitir a outorga do uso da água, que representa um dos principais componentes da gestão.

2.6. Sistemas de fluxos subterrâneos

Os estudos hidrogeológicos tradicionais limitam-se, regra geral, à análise estatística de dados relativos as profundidades dos poços, níveis de água, vazões, qualidade das águas extraídas e descrição generalizada das formas de ocorrência da água subterrânea, mesmo quando se ressalta, preliminarmente, pouca consistência técnica ou científica destas informações. Nesta forma de abordagem, importância fundamental tem sido dada ao conceito do “*Safe Yield*”, ou seja, extração de água subterrânea num volume equivalente as taxas de recarga natural dos aquíferos da área em apreço (Meinzer, 1923).

Por sua vez, muita energia é dedicada à clássica discussão sobre a falta de concordância entre os limites físicos das bacias hidrográficas e geológicas. Esquecem os praticantes dessa discussão que o sistema de fluxos subterrâneos delinea células de fluxo, as quais são determinadas pela compartimentação hidrográfica. Por outro lado, ressaltam-se os diagnósticos de “*overexploitation, overextraction, overuse*” ou de superexploração embasados no rebaixamento acentuado de nível d’água de poço. Entretanto, os conhecimentos atuais indicam que, na maioria dos casos, estes cenários resultam da falta de um gerenciamento adequado das grandes interferências entre poços mal distribuídos no manancial subterrâneo ou mal construídos (Rebouças, 2002).

Por sua vez, a extração da água dos aquíferos costuma induzir maiores taxas recarga e transferências de fluxos entre os sistemas aquíferos vizinhos, de tal forma que a gestão e as formas de uso e ocupação do meio em questão acabam alterando o quadro de fluxos que predominava na fase de pré-desenvolvimento. Entretanto,

constata-se que o usuário só toma conhecimento do nível do rebaixamento de nível ou do processo de esgotamento do aquífero quando os custos de energia de bombeamento ou de produção de água ameaçam a viabilidade econômica de determinada atividade (*op cit.*).

A experiência atual nos países mais desenvolvidos mostra que é preciso evoluir da análise do poço ou outro dado pontual, à caracterização do modelo hidrogeológico conceitual e compreensão dos sistemas de fluxos subterrâneos que ocorrem na área em apreço, natural ou induzido pelas formas de extração e uso da água subterrânea (IAHS, 1986). Desta forma, o uso racional da água subterrânea de uma bacia hidrográfica já não pode ser definido com base no simples balanço entre taxas de recarga dos aquíferos e demandas (*op cit.*).

Além disso, os sistemas de fluxos da água no subsolo da bacia hidrográfica em apreço poderão abranger dimensões locais, intermediárias ou regionais, nas quais os tempos de trânsito da água poderão compreender, respectivamente, dias, anos, séculos ou milênios (*op cit.*).

Vale salientar, ainda, que na abordagem de gestão integrada da gota de água disponível numa Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Integrado – UGRHI, os sistemas aquíferos poderão desempenhar variadas funções, tais como: produção, estocagem de água protegida dos agentes de produção e processos de evaporação intensa, principalmente, de autodepuração, fornecimento cada vez mais eficiente e mais barato da água necessária ao desenvolvimento sustentado de atividades socioeconômicas na área em apreço (Rebouças 1978, 1999).

Assim, a consideração dos sistemas de fluxos subterrâneos mostra que não é possível relacionar dados de níveis de água ou de qualidade, por exemplo, oriundos de uma rede de poços de diferentes profundidades e características construtivas e operacionais. Basta lembrar que, regra geral, os poços rasos captam água do sistema de fluxo local, enquanto os profundos extraem água dos sistemas de fluxos intermediários ou regionais.

2.6.1. Distribuição vertical da água

O solo é constituído de uma matriz porosa composta por grãos (as partículas sólidas do solo) e por vazios. Esses vazios podem ou não estar preenchidos com água. Sob o ponto de vista de ocorrência de água, o solo pode ser dividido em zona saturada e zona não saturada. A zona de aeração, ou zona não saturada do solo, é a ligação entre as águas subterrâneas, que caracterizam a zona saturada do solo, e a atmosfera. Nessa zona, os vazios entre as partículas do solo são preenchidos por água e ar (Cabral *et al.*, 2001).

O movimento da água na zona não saturada está relacionado com fenômenos como evaporação do solo, retirada da água do solo pelas raízes das plantas (transpiração) e, portanto, é de grande importância para estudos e projetos relacionados à irrigação e drenagem. O movimento da água nessa zona também influencia o transporte de substâncias, ou solutos (sais, fertilizantes, etc.) no subsolo, estando, portanto relacionado com o tempo de permanência dos mesmos no solo e seu potencial risco para o desenvolvimento das plantas e contaminação do solo e do lençol adjacente (Cabral *et al.*, 2001).

A zona saturada do solo, onde todos os vazios são preenchidos com água, caracteriza a existência do chamado lençol subterrâneo, ou aquífero. A importância da zona não saturada também está relacionada com avaliação potencial de recarga ou reabastecimento dos aquíferos a partir da água da precipitação que penetra no solo (*op cit.*).

A zona não saturada além de determinar as características de recarga dos aquíferos serve como filtro para as substâncias lançadas na superfície do solo, determinando se as mesmas vão ou não atingir o lençol e com que potencial poluidor. Os processos químicos e biológicos (ação de microorganismos) que ocorrem na zona não saturada são determinantes, juntamente com o fluxo de água nessa zona, para a composição e quantidade de água que atingem o lençol, a partir de um lançamento na superfície do solo (*op cit.*).

Segundo Manoel Filho (1997) de baixo para cima a zona não saturada divide-se em três partes:

Zona Capilar: estende-se da superfície freática até o limite de ascensão capilar da água. A sua espessura depende principalmente da distribuição de tamanho dos poros e homogeneidade do terreno. Como a umidade decresce de baixo para cima, na parte inferior, próximo da superfície freática, os poros encontram-se praticamente saturados. Já nas partes mais superiores, somente os poros menores estão preenchidos com água, de modo que o limite superior desta zona tem uma forma irregular adota-se, porém um conceito franja capilar como um limite abaixo do qual o solo é considerado praticamente saturado (cerca de 75%).

Zona Intermediária: compreendida entre o limite de ascensão capilar da água e o limite de alcance das raízes das plantas. A umidade

existente nesta zona origina-se de água capilar isolada, fora do alcance das raízes, e água de retenção por forças não capilares.

Zona de água do solo ou zona evapotranspiração: situada entre os extremos radiculares da vegetação e da superfície do terreno. A sua espessura, portanto pode variar de poucos centímetros até vários metros.

2.6.2. Tipos de aquíferos

Quando os materiais (formações geológicas) armazenam água e liberam em quantidade suficiente para determinado fim se condicionam aquíferos. Neste caso os corpos rochosos apresentam as melhores características de porosidade (estocagem) e de permeabilidade (fluxo). Aquíferos são, portanto rochas ou solos saturados de água e permeáveis que permitem o fluxo de água. No aspecto prático, é um material contendo suficiente capacidade de armazenamento e liberação de água subterrânea para ser retirada através de poços (Cabral *et al.*, 2001).

Baseado nas características dos maciços rochosos (Cabral *et al.*, 2001) pode-se caracterizar três tipos diferentes de aquíferos:

Granular quando a água ocupa espaços intergranulares (ou poros) de materiais considerados granulares como os solos e as rochas sedimentares;

Fraturnado quando a água ocupa fraturas e fendas abertas em rochas duras e compactas com baixíssima permeabilidade como rochas ígneas e metamórficas; e

Cársticos quando água ocupa espaços vazios decorrentes da dissolução de porções do material original principalmente rochas carbonáticas como calcáreos e mármore.

Os aquíferos ainda podem ser classificados (Manoel Filho, 1997) de acordo com a pressão das águas nas suas superfícies limítrofes em :

Aquífero Confinado: também chamado sobre pressão, é um aquífero no qual a pressão da água no topo é maior do que a pressão atmosférica compreende dois tipos: confinado não drenante e confinado drenante.

- *Aquífero Confinado não Drenante*: é aquele cujas camadas limítrofes são impermeáveis. Em um poço que penetra um aquífero deste tipo, o nível da água subterrânea fica acima da base da camada confinante superior. Esse nível pode ficar abaixo ou acima da superfície do solo, neste caso, o poço costuma ser chamado de artesiano surgente ou jorrante.

- *Aquífero Confinado Drenante*: é aquele que possui pelo menos uma das camadas limítrofes semipermeável, permitindo a entrada ou saída de fluxo pelo topo e/ou pela base, por drenança ascendente ou descendente.

Aquífero livre: também chamado de freático ou não confinado é aquele cujo limite superior é uma superfície freática, na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. As áreas de recarga dos aquíferos confinados são aquíferos livres através dos quais os excessos de água conseguem penetrar por infiltração. A exemplo dos aquíferos confinados, os aquíferos livres também se classificam em drenantes (ou de base semipermeável) e não drenantes (ou de base impermeável).

Aqüífero Suspenso: é um caso especial de aquífero livre formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada e situada entre a superfície freática e o nível do terreno.

Além do termo aquífero (Cabral *et al*, 2001) são designados outros termos que evidenciam a capacidade do meio na circulação da água:

Aqüicludes: são materiais também porosos que contém água nos seus interstícios muitas vezes atingido seu grau de saturação, mas não permitem a sua circulação. As rochas são essencialmente argilosas nas quais a água encontra-se fixada em poros de diminutas dimensões e onde a circulação é praticamente nula.

Aqüitardes: são os estratos semipermeáveis. Armazenam quantidade significativa de água no seu interior permitem a circulação de forma muito lenta. São incluídas as argilas siltosas ou arenosas.

Aqüífugos: são materiais impermeáveis com baixíssima porosidade que tanto não contém como não transmitem água. São incluídas neste grupo as rochas cristalinas, metamórficas ou vulcânicas, sem fraturamento ou alteração.

2.7. Perímetros de proteção (de poços e aquíferos)

Um aquífero possui duas funções, uma de armazenar água e outra de transmití-la. A função de armazenamento depende da porosidade e do volume da camada aquífera, enquanto a capacidade de transmitir água depende da transmissividade entre as áreas de recarga e descarga. Para o uso sustentável da água subterrânea é importante identificar as áreas de recarga dos aquíferos. Em regiões de muita chuva, toda área

de uma bacia hidrográfica é potencialmente uma área de recarga, sendo que os pontos principais são os locais de maior capacidade de infiltração e os afloramentos de camadas mais permeáveis (Cabral *et al.*, 2001).

A conservação das áreas de recarga é essencial para garantir a reposição da água e a recuperação dos níveis dos lençóis subterrâneos, como também para evitar percolação de contaminantes que venham a degradar a qualidade d'água, dos aquíferos. Por exemplo, na escolha do local para instalação do destino final do lixo de uma cidade ou do lixo industrial deve ser feita uma verificação se área é um local de recarga dos aquíferos (*op cit.*).

A proteção de aquíferos deve ser feita através de medidas legais e ações no sentido de prevenir os efeitos adversos para a saúde humana e ao meio ambiente provocados pela contaminação desse recurso natural. Os problemas potenciais envolvidos na contaminação dos aquíferos são de difícil controle devido ao tempo e a escala com que os problemas ocorrem. Assim, contaminações difusas como aquelas provocadas pelo uso contínuo de pesticidas dificilmente serão detectados antes que o problema atinja escalas de solução excessivamente onerosa. Da mesma forma, fontes pontuais de poluição, como atividades industriais, em locais de grande vulnerabilidade, muitas vezes foram ou são implantados sem levar em conta a necessidade de proteção dos recursos hídricos. Mesmo quando cuidados específicos de proteção são tomados, sabe-se que muitas vezes elas não são efetivas devido a acidentes, falhas humanas, e outras causas, como o abandono de material poluentes em locais sem proteção (Cabral *et al.*, 2001).

Segundo a Lei Federal 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, a água subterrânea é considerada um bem público e em situações de escassez deve ser utilizada prioritariamente para consumo humano e dessedentação de animais. É um dos objetivos desta política a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo (inciso V do Art. 3). Devem constar dos Planos de Recursos Hídricos, propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção de recursos hídricos (inciso X do Art. 7).

Ainda no âmbito Federal, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos publicou a Resolução nº15 (11.01.2001), cujo Art. 6 estabelece que os Estados devem orientar os municípios sobre as diretrizes de gestão integrada das águas subterrâneas, propondo mecanismos de estímulo para a proteção das áreas de recarga dos aquíferos. Publicou também a Resolução nº22 (24.05.2002) que estabelece em seu Art. 6 que os planos de bacia devem explicitar as medidas de prevenção, proteção, conservação e recuperação dos aquíferos, sendo que a criação de áreas de uso restritivo poderá ser adotada como medida para alcance dos objetivos propostos.

Segundo Dias *et al.* (2004) o controle do uso e ocupação do solo, por meio da restrição e fiscalização das atividades antrópicas, é uma das estratégias de proteção da água subterrânea, podendo ter dois enfoques. O primeiro é a proteção geral de um aquífero importante, identificando áreas mais suscetíveis de forma a promover um controle regional do uso do solo em toda a sua extensão. O segundo enfoque é a proteção pontual, voltada a uma captação de água subterrânea, em especial aquelas destinadas ao abastecimento público.

O conceito de perímetro de proteção das captações surgiu primeiramente em países da Europa como Espanha, Alemanha, França, Bélgica e Dinamarca, que dependem fortemente da água subterrânea para o abastecimento público. A eficiência desta estratégia levou outros países como EUA e Canadá a adotarem-na de forma a garantir a qualidade da água destinada ao abastecimento público. No Estado de São Paulo também existem mecanismos legais para a implementação de áreas de proteção (São Paulo, 2004), mas seu emprego ainda é restrito.

A delimitação das áreas de proteção das captações de água subterrânea pode ser efetuada utilizando diferentes métodos, que variam em complexidade de aplicação e, conseqüentemente em custos. Os métodos mais complexos, através da utilização da modelação matemática, fornecem maior confiabilidade no traçado da Zona de Contribuição por considerar as heterogeneidades encontradas no meio físico, necessitando-se, por outro lado, de uma quantidade maior de informações e um conhecimento técnico mais especializado sobre o assunto, além de implicar em maiores custos (Iritani, 1999).

Métodos analíticos também são simples, pois se baseiam na aplicação de equações passíveis de serem resolvidas com auxílio de uma calculadora. Entretanto, são menos precisos no traçado da área de proteção, pois não permitem considerar as heterogeneidades hidrogeológicas da área (*op cit*).

O mais simples dos critérios consiste em adotar um raio ao redor da captação para a delimitação da zona de proteção. Este tipo de critério é de fácil aplicação e costuma ser utilizado para definir o perímetro mais próximo da captação onde as restrições são mais rígidas. Outros critérios bastante utilizados para a delimitação de

zonas de proteção internas à Zona de Contribuição são o tempo de trânsito, que consiste no tempo que uma partícula de água leva para atingir a captação, definindo uma Zona de Transporte (ZT), e o cone de depressão ou rebaixamento do nível d'água causado pelo bombeamento de um poço, definindo uma Zona de Influência (ZI), (Dias *et al*, 2004).

Para a atividade de exploração das águas minerais, a Portaria n° 231 de 31/07/1998 do Departamento Nacional de Produção Mineral também estabelece a necessidade de delimitação de perímetros de proteção ao redor da captação. Esta portaria define três zonas de proteção, a saber:

- *Zona de Influência*, que está associada ao perímetro imediato da captação onde são permitidas apenas atividades inerentes ao poço ou fonte e, tem por finalidade, promover a sua proteção microbiológica;

- *Zona de Transporte*, definida entre a área de recarga e o ponto da captação, objetivando a proteção contra contaminantes mais persistentes; e

- *Zona de Contribuição*, que abrange a área de recarga de uma captação e também objetiva a proteção contra contaminantes mais persistentes.

Quanto a proteção de um aquífero, no Estado de São Paulo, o estabelecimento de áreas de proteção das águas subterrâneas é definido no Decreto n° 32.955 (de 07/02/1991), que regulamenta a Lei n° 6.134 (de 02/06/1988), a qual dispõe sobre a “preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo”.

Segundo o Art. 19 do Decreto citado “sempre que, no interesse da conservação, proteção e manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas, dos serviços de abastecimento de água, ou por

motivos geotécnicos ou geológicos, se fizer necessário restringir a captação e o uso dessas águas, o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB proporão ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos a delimitação de áreas destinadas ao seu controle”. Estas áreas de proteção devem ser estabelecidas com base em estudos hidrogeológicos e a extração de água subterrânea pode estar condicionada à recarga do aquífero.

O Art. 20 do Decreto 32.955/91 estabelece que as áreas de proteção classificam-se em:

- *Área de Proteção Máxima*: compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquíferos altamente vulneráveis à poluição e que se constituam em depósitos de águas essenciais para abastecimento público;

- *Área de Restrição e Controle*: caracterizada pela necessidade de disciplina das extrações, pelo controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e por restrições a novas atividades potencialmente poluidoras; e

- *Área de Proteção de Poços e outras Captações*: incluindo a distância mínima entre poços e outras captações e o respectivo perímetro de proteção.

O termo “área de proteção máxima” tem sido erroneamente interpretado como sendo uma área onde as restrições devem ser mais rígidas. Na verdade, esta área delimita a maior área no entorno de uma zona vulnerável à poluição onde deve haver restrições de uso e ocupação do solo para atividades de grande impacto ambiental.

De fato, o Art. 21, estabelece que nas Áreas de Proteção Máxima não serão permitidos: (1) a implantação de indústrias de alto risco

ambiental, pólos petroquímicos, carboquímicos e cloroquímicos, usinas nucleares e quaisquer outras fontes de grande impacto ambiental ou extrema periculosidade; (2) as atividades agrícolas que utilizem produtos tóxicos de grande mobilidade e que possam colocar em risco as águas subterrâneas, conforme relação divulgada pela CETESB e Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento - SAA, e (3) o parcelamento do solo urbano sem sistema adequado de tratamento de efluente ou de disposição de resíduos sólidos.

Nas Áreas de Proteção Máxima (Art. 22) e nas Áreas de Restrição e Controle (Art. 23) se houver escassez de água subterrânea ou prejuízo sensível aos aproveitamentos existentes, o DAEE e a CETESB de acordo com as respectivas atribuições poderão: (1) proibir novas captações até que o aquífero se recupere, ou seja, superado o fato que determinou a carência de água; (2) restringir e regular a captação de água subterrânea, estabelecendo o volume máximo a ser extraído e o regime de operação; (3) controlar as fontes de poluição existentes, mediante programa específico de monitoramento, e (4) restringir novas atividades potencialmente poluidoras.

2.8. Atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental

O conjunto das atividades humanas, cada vez mais diversificado, associado ao crescimento demográfico, vem exigindo atenção maior às necessidades de uso da água para as mais diversas finalidades. Em todas as situações uma questão chave aparece: Como enfrentar a

relação demanda/oferta de água? E a resposta passa invariavelmente pela necessidade de serem estabelecidas políticas adequadas e implementados sistemas de gestão efetivos (Philippi Jr, 2003).

Diversos são os instrumentos, os mecanismos e as tecnologias a serem empregados no trato dessa questão, porém vários deles carecem de estudos e investigações que auxiliem o seu melhor emprego e produzam resultados sanitários, ambientais e econômicos satisfatórios (*op cit.*).

Visando a proteção dos recursos ambientais a nível nacional e a necessidade de se incorporar ao sistema de licenciamento ambiental os instrumentos de gestão, em função do desenvolvimento sustentável, a Resolução n°237/97 do CONAMA expõem quais as atividades ou empreendimentos que estão sujeitos ao licenciamento ambiental.

Endente-se por licenciamento ambiental, conforme a mesma Resolução, o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais, regulamentais e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

A Resolução já citada detalha quais os empreendimentos e as atividades que estão sujeitas ao licenciamento, sendo que cabe ao órgão ambiental competente definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento e a complementação da lista de empreendimentos ou atividades, levando em consideração suas características, especificidades, riscos ambientais, o porte, etc. (Art.2, §1 e §2).

Dentre as atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental descritas no anexo 1 da Resolução nº237/97 do CONAMA, aqueles que apresentam legislação específica até o presente momento e que podem influenciar na qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos são:

Resolução nº258/1999 do CONAMA

Refere-se aos pneumáticos inservíveis abandonados ou dispostos inadequadamente no meio natural, que constituem passivo ambiental e resultam em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública, neste contexto, a Resolução nº258/1999 do CONAMA, define no Art.1, que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas.

Resolução nº 257/99 do CONAMA

Considerando os impactos negativos causados ao meio ambiente pelo descarte inadequado de pilhas e baterias usadas, esta Resolução, tende disciplinar o descarte e o gerenciamento ambientalmente adequado desses resíduos, no que tange à coleta, reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final. Conforme o Art. 1, as pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, necessárias ao funcionamento de quaisquer tipos de aparelhos, veículos ou sistemas, móveis ou fixos,

bem como os produtos eletro-eletrônicos que as contenham integradas em sua estrutura de forma não substituível, após seu esgotamento energético, serão entregues pelos usuários aos estabelecimentos que as comercializam ou à rede de assistência técnica autorizada pelas respectivas indústrias, para repasse aos fabricantes ou importadores, para que estes adotem, diretamente ou por meio de terceiros, os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada.

Resolução nº009/2000 do CONSEMA

Em termos Estaduais, conforme disposto na Lei Estadual nº 10.099/94, que estabelece a possibilidade de incineração de resíduos provenientes de serviços de saúde, classificados como infectantes (Grupo A) ou biológicos, a Resolução do CONSEMA nº009/2000 dispõe sobre normas para o licenciamento ambiental de sistemas de incineração desses resíduos e dá outras providências, pois esses resíduos dispostos de forma inadequada na superfície do solo podem gerar a contaminação dos recursos naturais, inclusive as águas superficiais e/ou subterrâneas.

Resolução nº284/2001 do CONAMA

Esta Resolução dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos de irrigação que podem causar modificações ambientais e, por isso, estão sujeitos ao licenciamento ambiental; Para efeito desta Resolução o Art. 1 determinar que os empreendimentos de irrigação devem ser classificados em categorias, de acordo com a

dimensão efetiva da área irrigada, por propriedade individual, e conforme o método de irrigação empregado.

Resolução nº289/2001 do CONAMA

Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de projetos de assentamentos ou de reforma agrária, considerando a importância de se estabelecer diretrizes e procedimentos de controle e gestão ambiental para orientar e disciplinar o uso e a exploração dos recursos naturais, assegurada a efetiva proteção do meio ambiente, de forma sustentável dessas atividades, ressalta em seu Art. 3 §3 que os projetos de assentamento ou de reforma agrária cuja implantação exija incremento de corte raso não poderão ser criados em áreas com florestas e demais formas de vegetação protegidas por regras jurídicas.

A caracterização da área de influência do imóvel deve ser feita a partir de dados secundários, mapas temáticos e outros recursos. No item 3.b., sobre os recursos hídricos expressa que no projeto de assentamentos ou de reforma agrária deve estar detalhado a distribuição dos cursos d'água existentes, além de explicitar características como perenidade, parâmetros físico-químicos básicos (quando for o caso) e potencial de irrigação. Verificar a existência de nascentes e olhos d'água na área do imóvel, especificar seu uso e estado de conservação. As restrições de uso quanto à necessidade de proteção de nascentes existentes na área do imóvel, as peculiaridades do uso de solos hidromórficos e a outorga de uso da água devem ser considerados neste tópico. Relatar as potencialidades de uso das águas subterrâneas (no caso da existência de poços informar o número, a vazão e a profundidade). Tipos de uso da água existentes a montante e

a jusante do imóvel e, quando possível, os previstos. Indicar as principais formas de abastecimento de água. Verificar a existência de matadouros, frigoríficos e/ou indústrias poluidoras nas proximidades do imóvel.

Resolução nº 307/2002 do CONAMA

Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, considerando a política urbana de pleno desenvolvimento da função social da cidade e da propriedade urbana, conforme disposto na Lei nº 10.257/2001, e que a disposição de resíduos da construção civil em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental, define conforme o Art. 4 §1º que os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei, obedecidos os prazos definidos no Art. 13 desta Resolução.

Resolução nº273/2000 e nº319/2002 do CONAMA

Considerando que toda a instalação e sistema de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis configuram-se como empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores geradores de acidentes ambientais, e que os possíveis vazamentos de derivados de petróleo e outros combustíveis podem causar a contaminação de corpos de águas subterrâneos ou superficiais, do solo e do ar, a presente legislação resolve que para emissão da licença prévia e de instalação deve constar entre outros a caracterização

hidrogeológica com definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas, identificação das áreas de recarga, localização de poços, caracterização geológica do terreno, contemplando a permeabilidade do solo e o potencial de corrosão.

Resolução nº 335/2003 do CONAMA

Os cemitérios horizontais ou verticais devem ser submetidos ao processo de licenciamento ambiental. Na fase de licença prévia deverão ser apresentados dentre outros, o seguinte documento (Art.3) estudo demonstrando o nível máximo do aquífero freático ao final da estação de maior precipitação. É proibida a instalação de cemitérios em área de manancial para abastecimento humano e áreas de preservação permanente. O Art. 5 define que a área de fundo das sepulturas deve manter uma distância mínima de um metro e meio do nível máximo do aquífero freático.

Existe uma série de empreendimentos e atividades que necessitam de licenciamento ambiental, conforme o disposto no Anexo I da Resolução nº 237/97 do CONAMA, para serem implementadas, contudo necessitam de resoluções específicas que regem sua instalação, mas até o presente momento nota-se que ainda inexistem outras tantas que regem a proteção dos recursos ambientais, especificamente os recursos hídricos subterrâneos

Dessa forma, o adequado manuseio de instrumentos e de técnicas voltadas para o controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos exige o desenvolvimento de mais políticas públicas, claras e consistentes, bem como a perfeita compreensão da legislação correspondente e o seu conseqüente entendimento (Philippi Jr, 2003).

2.9. Sistema de informações geográficas

No fim do século XX, sem sombra de dúvidas, está consagrado como a era do gerenciamento disciplinado de informações. As inter-relações entre as organizações sociais e a própria sociedade em si mesma estão se tornando cada dia mais complexas, e os mecanismos de coexistência harmoniosa com o planeta Terra são freqüentemente questionados, independentemente do grau de desenvolvimento da sociedade e do posicionamento geográfico do país (Silva, 2003).

Os Sistemas de Informações Geo-Referenciadas ou Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são usualmente aceitos como sendo uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece, ao ser implementada, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo da Geotecnologia, ao lado do Processamento Digital de Imagens (PDI) e da Geoestatística. A tecnologia SIG está para as análises geográficas, assim como o microscópio, o telescópio e os computadores estão para outras ciências (*op cit.*).

A coleta e o processamento de informações geográficas passaram a assumir papel importante, estratégico na administração, planejamento ou pesquisas do meio natural ou cidades. Neste sentido o componente mais importante do SIG é a base de dados que representam seu modelo do mundo real e possibilita extrair informações do sistema. Esta base, normalmente, é formada por dados que vêm de fontes diversas tais como levantamentos cadastrais, censos, imagens de sensoriamento remoto, mapas, levantamentos aerofotogramétricos entre outros.

Os sistemas de informações geográficas podem ser considerados como modelos de sistemas do “mundo real”. Estes novos modelos além de cumprir as funções dos modelos convencionais (mapas, maquetes, arquivos), acrescentam novos horizontes às atividades de análise, planejamento e gestão (Gerardi e Mendes, 2001).

A idéia de sistema de informações é um conceito básico no qual se apóia a aplicação e uso de tecnologia de informação. O termo Sistema de Informações se refere a um sistema (usualmente computacional, embora esta condição não seja indispensável para a existência do sistema) desenhado para entrada, armazenagem, manutenção, processamento e saída de dados já na forma de informação. O produto final do processo, a informação, normalmente será obtido pela combinação de mais de um item de dado (*op cit.*).

Os mesmos autores mencionam que uma das mais importantes funções de um SIG voltado para o planejamento, é que ele oferece possibilidades de integrar dados de diversas fontes e formatos e gerar informação adicional pelo cruzamento destes dados.

Do advento da informática na automação de processos surgiram várias ferramentas para a captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações espaciais georreferenciadas. A ligação técnica e conceitual destas ferramentas levaram ao desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos, denominada geoprocessamento (Rocha, 2000).

O Geoprocessamento consiste, numa disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia denotada por Geoprocessamento, tem influenciado de maneira incisiva as áreas da

cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional (Silva, 2003).

Também é considerado como um conjunto de técnicas de processamento de dados, destinado a extrair informação ambiental a partir de uma base de dados georreferenciada. Nesta definição, o Geoprocessamento é aplicado após a montagem da base de dados digital (Xavier da Silva, 2000).

Os SIGs aliados ao geoprocessamento permitem uma visão holística do ambiente e através de análise sinópticas ou particularizadas, propiciam a aplicação de procedimentos heurísticos à massa de dados ambientais sob investigação, por isso que o Sistema de Informação Geográfica tem capacidade de analisar relações taxonômicas e topológicas entre as variáveis e entre localidade constantes da sua base atualizável de dados geoprocessados (*op cit.*).

Os fenômenos relacionados ao mundo real podem ser descritos de três maneiras: espacial, temporal e temática. Espacial quando a variação muda de lugar para lugar (declividade, altitude, profundidade do solo ou água); temporal quando a variação muda com o tempo (densidade demográfica, ocupação do solo) e temática quando as variações são detectadas através de mudanças de características (geologia, cobertura vegetal). Essas três maneiras de se observar os fenômenos que ocorrem na superfície da terra são, coletivamente, denominadas dados espaciais (Sinton, 1978).

A descrição dos fenômenos relacionados com o mundo real pode ser arquivada ora como dados ora como informações. A diferença fundamental entre dados e informações é que o primeiro corresponde a um conjunto de valores numéricos ou que não correspondem à descrição de fatos do mundo real, enquanto a informação é um

conjunto de dados que possui um determinado significado para um uso ou aplicação em particular, ou seja, foi agregado ao dado um componente adicional, a interpretação (Silva, 2003).

Os SIGs são sistemas destinados ao tratamento de dados de diversas fontes como mapas, imagens de satélite, cadastros e outros, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análise sobre os dados (Paredes, 1994).

Dados descrevendo o meio ambiente e dados socioeconômicos podem ser analisados em um ambiente de SIG, assim como dados inter-relacionados aos recursos naturais, os SIGs podem ser utilizados como um repositório de um inventário para gerenciar, eficazmente, o potencial dos recursos, protegê-los contra atividade predatórias e modelar as complexas interações entre os fenômenos que possibilitam estabelecer previsões, que possam ser usadas como suporte de decisões (Gerardi e Mendes, 2001).

3. METODOLOGIA

3.1. Procedimento Metodológico

O referencial teórico-metodológico proposto que determina o Plano de Proteção dos Aquíferos na microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira, a partir da definição de diferentes zonas de proteção dos aquíferos, conforme simplificado na Figura 2, seguiu inicialmente o levantamento de dados cartográficos pré-existentes (carta topográfica, mapa geológico e imagem de satélite) que informaram as condições ambientais básicas da área estudada.

Posteriormente executou-se a integração e tratamento desses dados, convertendo-os para o formato digital através do emprego do sistema de informações geográficas e das técnicas de geoprocessamento. As condições de permeabilidade foram obtidas em função da composição litológica das formações aflorantes na microbacia, enquanto a profundidade do nível da água subterrânea foi estimado a partir do nível estático dos poços e emprego do programa *Surfer 6.0*.

Por fim executou-se o cruzamento das informações referentes às características do meio físico-natural com a situação de uso e ocupação do solo. Os mapas gerados foram posteriormente editados no programa *Corel Draw 10.0*.

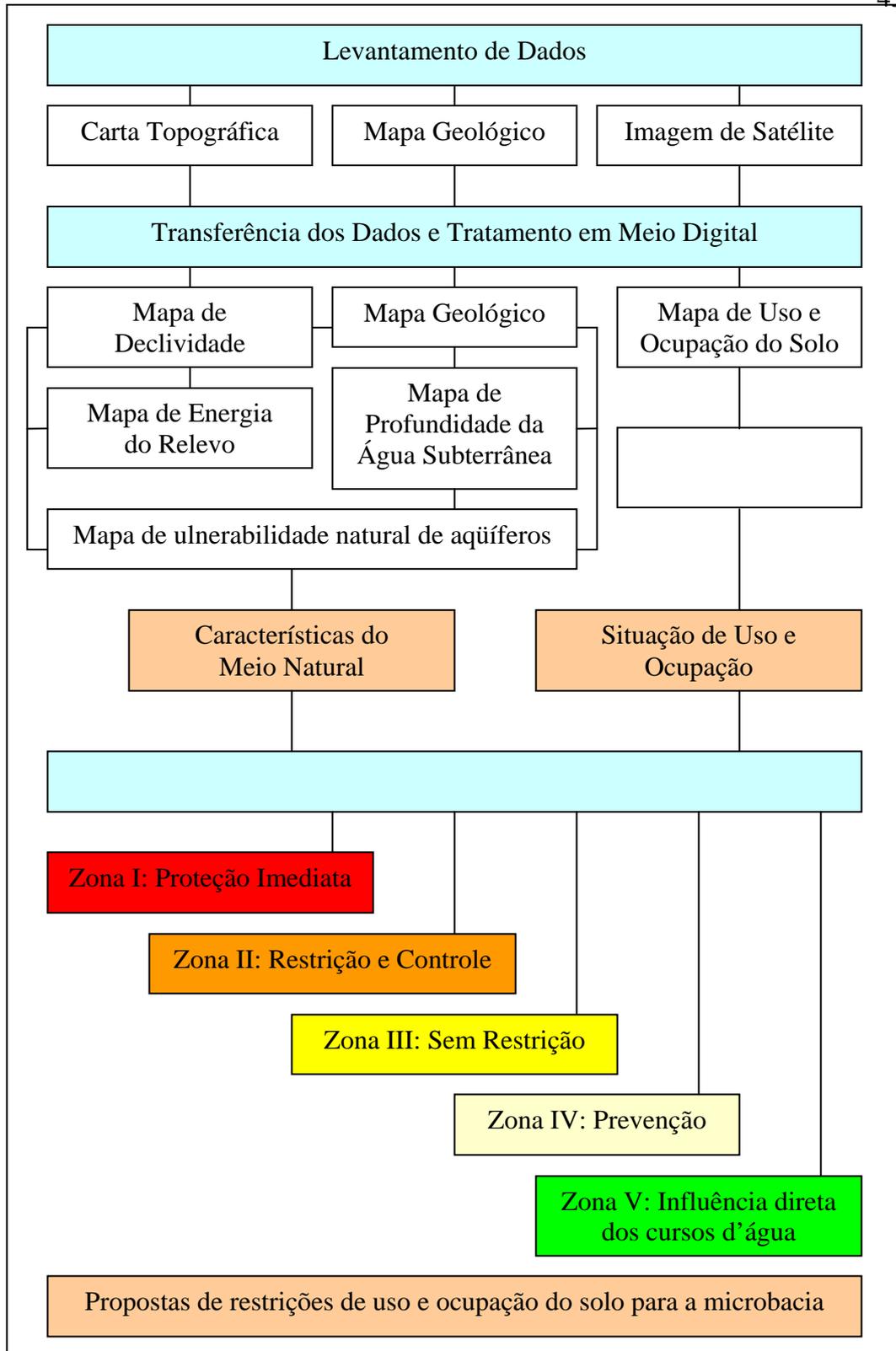


FIGURA 2 - Etapas do procedimento metodológico para determinar o plano de proteção dos aquíferos para a microbacia do Arroio Ferreira.

As definições adotadas para as zonas de proteção propostas neste trabalho foram adaptadas das normas estabelecidas para a proteção dos poços (captações de água) e das áreas de recarga aquífera, conforme descrito na Revisão de Literatura. Dessa forma, o Plano de Proteção dos Aquíferos na microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira deve obedecer ao zoneamento de proteção proposto e definido a seguir.

Zona I - Proteção imediata: compreende, no todo ou em parte, zonas de aquífero sedimentar poroso, declividades menores do que 5% e entre 5 e 12%, energia do relevo < 40 metros, nível freático raso (<10 metros) ou áreas de recarga aquífera de extrema e alta vulnerabilidade natural de poluição.

Zona II - Restrição e controle: envolve áreas de aquífero sedimentar poroso semipermeável, declividades entre 12 e 30%, energia do relevo entre 41 e 80 metros, profundidade do nível freático entre 11 e 20 metros ou áreas de média ou baixa vulnerabilidade natural dos aquíferos.

Zona III - Sem restrição: abrange estruturas rochosas praticamente impermeáveis como os aquíferos, declividades entre 30 e 47%, energia do relevo entre 81 e 120 metros, profundidade do nível freático de 21 a 30 metros ou áreas de baixa vulnerabilidade natural ou desprezível.

Zona IV - Prevenção: abarca áreas do sistema aquífero fissural, declividades maiores que 47%, energia de relevo maior que 121 metros, nível freático profundo (> 30 metros) e/ou que apresentam qualquer tipo de vulnerabilidade natural.

Zona V – Influência direta de cursos d'água: áreas que podem tornar-se fontes de contaminação das águas subterrâneas, sob certas condições hidrogeológicas e em função de serem utilizadas para a disposição final de águas residuais e resíduos sólidos de diversas origens, eventualmente podem até exceder a capacidade natural de depuração dos cursos d'água. Assim, além do próprio leito do rio adota-se uma área de 30m do leito que deve ser de preservação permanente, conforme previsto no Código Florestal (Lei nº 4771 de 15/09/1965).

Após determinar as cinco Zonas de Proteção dos Aquíferos elaborou-se uma proposta de restrição de atividades ou empreendimentos e estabeleceram-se condições de uso e ocupação do solo para a microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira, considerando as limitações de cada Zona, quanto sua capacidade de ser afetada por uma carga contaminante imposta, bem como as legislações que definem os procedimentos à execução do licenciamento ambiental de cada atividade.

Nesta proposta constam as atividades sujeitas ao licenciamento ambiental que já estão instalados na microbacia (devendo eventualmente adaptar-se aos critérios estabelecidos pelos órgãos ambientais) além daqueles empreendimentos que poderão a vir ser instalados na microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira.

3.2. Procedimentos Técnicos

3.2.1. Delimitação da microbacia

Para delimitação da área em estudo e construção de todos os mapas temáticos que seguem, utilizou-se a Carta Topográfica de Santa Maria, SH. 22-V-C-IV-1; MI - 2965/1, em escala 1:50.000, edição de 1971 e 1980, elaborada pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG).

Analisando o relevo e os afluentes, cujas águas convergem para o rio principal na microbacia, e as curvas de nível de maior altitude interna e externamente à microbacia, delimitou-se a área através do divisor de águas. A partir dessa delimitação elaborou-se os Mapas de Energia do Relevo, de Declividade, Geológico, de Profundidade da Água Subterrânea, Vulnerabilidade Natural, de Uso e Ocupação do Solo e das Zonas de Proteção dos Aquíferos.

3.2.2. Geração dos Mapas Temáticos

Todos os mapas gerados foram georreferenciados com o uso do programa Spring 6.0 no sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), no fuso 22 Sul, com origem da quilometragem no Equador e Meridiano Central de 51°WGr (acrescidas das constantes 10000 km e 500 km, respectivamente), *datum* horizontal SAD-69, Córrego Alegre/Minas Gerais e *datum* vertical Imbituba, Santa Catarina.

3.2.2.1. Mapa de Energia do Relevo

Quando utiliza-se a variável altitude, de certa maneira lida-se com energia do relevo, que se desenvolve a partir dos estudos ou da aplicação dos desvios existentes nas altitudes de uma área, relacionadas com a altitude padrão. No desenvolvimento da técnica de elaboração da carta de energia relativa do relevo, Cunha (1988), estabeleceu uma metodologia própria em diferentes escalas, concluindo que a melhor figura geométrica para elaborar a carta de energia do relevo é o hexágono.

Para a construção do mapa de energia do relevo sobrepôs-se à carta topográfica de Santa Maria a delimitação da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira e uma malha composta por células de formato hexagonal, com 1cm de diâmetro cada, contou-se o número de curvas de nível presentes em cada uma delas e calculou-se o valor da amplitude em cada célula; lembrando que, quanto menos curvas existirem dentro do hexágono mais suave é a energia do relevo e quanto maior o número de curvas de nível presentes no hexágono, maior a energia do relevo (De Biasi, 1970).

Posteriormente pela aplicação da regra de Sturges identificou-se quatro classes de energia do relevo (<40m, 41-80m, 81-120m, >121m), que deram origem ao mapa de energia do relevo da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira, este mapa constitui uma das variáveis para estabelecer as zonas de proteção dos aquíferos.

A energia do relevo está relacionada com a capacidade de transporte de massa devido à ação do escoamento superficial, em alguns casos, retira a camada não saturada do solo, expõem as áreas de

recarga aquífera, ou submete o solo à erosão. A relação entre a energia do relevo e os aquíferos, consta no Quadro 1.

QUADRO 1 - Relação da energia do relevo com a recarga aquífera

Classes de energia do relevo	Relação com os aquíferos
<40m	Áreas com baixa energia do relevo, menor capacidade de transporte de massa, favorecendo a infiltração.
41-80m	A energia do relevo provoca lixiviação dos solos e estruturas rochosas, expondo a camada não saturada.
81-120m	Dependendo da estrutura rochosa e da cobertura vegetal pode haver retirada da camada não saturada do solo e exposição das camadas saturadas, aumentando assim a vulnerabilidade dos aquíferos, menor infiltração.
> 121m	Áreas favoráveis a erosão, devido a alta capacidade de transporte de massa, baixa infiltração.

3.2.2.2. Mapa de Declividade

A partir da carta topográfica de Santa Maria em escala 1:50.000 e aplicação do método De Biasi (1970), Equação 1, obteve-se as classes de declividade (<5%, 5-12%, 12-30%, 30-47% e >47%) para elaboração do Mapa de Declividade da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira.

Equação 1:
$$D = n \times 100/E$$

Onde: D: declividade em porcentagem

n: diferença de nível entre dois pontos

E: espaço entre duas curvas consecutivas

Vilella e Mattos (1975) cometam que a declividade tem importância fundamental na velocidade de escoamento superficial.

Sendo a declividade entendida como a inclinação do relevo em relação à linha do horizonte, ou, mais tecnicamente, como sendo a tangente trigonométrica da inclinação de uma linha no relevo relacionada com a linha do horizonte (Duarte, 1988), ela exerce significativa influência nas formas de uso da terra.

Marques *et al.* (1971) referindo-se à classificação e o mapeamento da declividade do terreno, afirmam que estes são indispensáveis nos levantamentos de uso da terra e constitui elemento de maior importância no condicionamento de sua potencialidade de utilização.

Entre as características do relevo, a declividade é de suma importância e de influência direta na formação e desenvolvimento dos solos, determinando desde o escoamento superficial até a infiltração da água no terreno. Dessa forma, Audi (1970) e Herz e De Biasi (1989) estabeleceram classificações (Quadro 2) de acordo com os intervalos de declividades, facilitando o estudo e propiciando melhor adequação de uso e ocupação do espaço.

QUADRO 2 - Classificação do terreno conforme as declividades

Declividades	Classificação Audi (1970)	Classificação Herz e De Biasi (1989)	Influência na recarga aquífera
<5%	Áreas praticamente planas, com declives suaves, fácil para práticas agrícolas, mas requer práticas simples de conservação.	Limite urbano industrial, utilizados internacionalmente, bem como em trabalhos de planejamento urbano efetuados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e da Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo.	Lento escoamento superficial, fato que proporciona maior infiltração das águas das chuvas e águas residuais. As taxas de infiltração dependem das condições hidrogeológicas da área.
5-12%	Áreas com declives	Este limite possui algumas variações quanto ao máximo a ser estabelecido (12%), pois alguns autores adotam	A taxa de infiltração é mais lenta que o escoamento superficial,

	moderados, são necessários alguns cuidados como terraceamento.	cifras de 10% e ou 13%. A diferença é muito pequena, pois esta faixa define o limite máximo do emprego de mecanização da agricultura.	porém em locais onde há terraceamento ocorre um equilíbrio entre ambos.
12-30%	Áreas com fortes declives, e são inadequadas a práticas agrícolas.	O limite de 30% é definido por Legislação Federal – Lei 6766/ 79 - também chamada de Lei Lehman, que define o limite máximo para a urbanização sem restrições, a partir do qual toda e qualquer forma de parcelamento far-se-á através de exigências específicas.	Nestas áreas o escoamento superficial é maior do que a taxa de infiltração, todavia esta ainda ocorre, porém em escala menor do que nas classes de declividade anteriores.
30-47%	Áreas destinadas a pastagens e florestas, exigindo práticas de conservação.	O Código Florestal fixa o limite de 25° (47%) como limite máximo de corte raso de florestas, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por planos de manejo das coberturas florestais, Lei n.º. 4771/65 de 15/09/65.	Em áreas de pastagens predomina o escoamento superficial e nos locais de cobertura vegetal o escoamento superficial é menor e se dá infiltração indireta, ou seja, por meio das raízes das plantas.
>47%	Terras aproveitáveis como florestas, aconselhável a prática do reflorestamento.	O Art. 10 do Código Florestal prevê que uma faixa situada entre 25° (47%) e 45° (100%), “não é permitido a derrubada de florestas, (...) só sendo tolerada a extração de toras, quando em regime de utilização racional, que vise rendimentos permanentes”.	Áreas com intenso escoamento superficial, por isso há necessidade de exercer práticas de reflorestamento visando a proteção das encostas.

3.2.2.3. Mapa Geológico

O mapa geológico da microbacia do Arroio Ferreira foi obtido a partir da digitalização do Mapa Geológico da Folha de Santa Maria, escala 1:50.000 elaborada por Gaspareto *et al.* (1990) - Departamento de Geociências/UFSM.

Foram identificadas as formações geológicas oriundas do Quaternário (Sedimentos Atuais e Terraços Fluviais), Formação Serra Geral (Seqüência Superior e Inferior), Formação Botucatu, Formação Caturrita, Formação Santa Maria (Membro Alemoa e Membro Passo das Tropas) e Formação Rosário do Sul. As características geológicas

estão diretamente relacionadas com as condições hidrodinâmicas dos aquíferos, conforme demonstra o Quadro 3.

QUADRO 3 - Descrição geológica e comportamento hidroestratigráfico

Formação Geológica		Litologias	Comportamento hidroestratigráfico
Sedimentos Atuais		Cascalhos, areias, siltes e argilas fluviais	Corresponde a um aquífero livre.
Terraços Fluviais		Conglomerados, arenitos médios argilosos, com estratificação cruzada e planar, siltitos arenosos de cores cinza-clara, rosa e amarela, de ambiente fluvial.	É um aquífero de pouca importância, a alimentação desse aquífero se processa por infiltração da água da chuva e indiretamente, por drenância profunda a partir dos aquíferos com os quais estão em contatos.
Serra Geral	Seqüência Superior	Rochas vulcânicas ácidas: riolitos granofíricos de cor cinza-clara a média e vitrófiros de cor preta ou castanha subordinados, com disjunção tabular dominante.	Aquíferos com permeabilidades de fissuras e com baixa produção, pois elas são mais espaçadas, diminuindo assim a capacidade de armazenamento e a permeabilidade do maciço como um todo. A infiltração se processa através do solo residual.
	Seqüência Inferior	Rochas vulcânicas básicas: basaltos e andesitos toleíticos de cor cinza-escuro com intercalações de arenito eólico.	O basalto se comporta como aquífero fraturado, a circulação da água se dá através das superfícies de descontinuidades, quando não preenchidas por mineralizações secundárias com diâmetro efetivo suficiente a possibilitar o fluxo da água.
Botucatu		Arenitos médios a finos, de cor rosa com estratificação cruzada cuneiforme de grande porte de ambiente eólico.	É um excelente aquífero, apresenta permeabilidade alta, bem como seus solos residuais. Sua alimentação se processa por infiltração através do solo na área de afloramento, enquanto a recarga indireta ocorre por drenância descendente a partir dos derrames de basalto.
Caturrita		Arenitos médios e finos róseos, com estratificação cruzada, acanalada e planar, intercalados com	É formada por aquíferos, camada semipermeável e impermeável. A alimentação do aquífero se processa na área de afloramento, por

		siltitos vermelhos de ambiente fluvial, com troncos vegetais fósseis silicificados.	infiltração do solo ou por drenância descendente a partir do Botucatu
Santa Maria	Membro Alemoa	Siltitos argilosos maciços, de cor vermelha com níveis esbranquiçados de concreções calcárias, ambiente de sedimentação controvvertido (lacustre, <i>loess</i>).	É praticamente impermeável, a parte superior funciona como capa impermeável enquanto os siltitos e arenitos argilosos da base são semipermeáveis. A importância desta camada é funcionar como selo isolante entre o que está acima e abaixo dela, aquícluíde .
	Membro Passo das Tropas	Arenitos feldspáticos grosseiros, com estratificação cruzada, acanalada na base, seguidos de siltitos arenosos rocho-avermelhados de ambiente fluvial, além de arenitos finos e siltitos laminados de cor rosa a lilás, de ambiente flúvio-lacustre. Impressões de restos da flora <i>Dicroidium</i> .	Essa camada é permeável e possui aquífero livre e/ou confinado. O nível freático do aquífero livre mantém-se por larga extensão abaixo da camada impermeável sem haver confinamento. À medida que se aprofunda torna-se confinado, possuem produtividade muita elevadas.
	Rosário do Sul	Arenitos finos micáceos bem consolidados de cor rosa a vermelha na base, passando a amarelo-acinzentada e lilás em direção ao topo, com estratificação cruzada acanalada e planar de origem fluvial.	Possui permeabilidade moderada a baixa com aquíferos de baixa produção exploráveis por poços escavados ou tubular por recarga indireta pode receber água de outras formações. Nas áreas de topografia baixa, o nível freático está muito próximo à superfície.

Fonte: Adaptado de Gaspareto *et al.* (1990), Maciel Filho (1990) e CPRM (1994).

3.2.2.4. Mapa de profundidade da água subterrânea

Nesta representação cartográfica, foram utilizados todos os tipos de poços (tubular ou cacimba) presentes na microbacia hidrográfica do

Arroio Ferreira (Anexo 1), mas durante a edição deste e dos demais mapas representou-se apenas os poços que estão inseridos na microbacia. Os dados foram obtidos a partir de consultas ao banco de dados do SIAGAS/CPRM, independente do tipo de aquífero o qual captam água ou de sua profundidade. Utilizou-se o programa Surfer 6.0 e o modelo geoestatístico *krigagem*, na elaboração deste plano de informação, obedecendo as seguintes etapas:

1^a) tabular as coordenadas dos poços (UTM-E, UTM-N) e as demais informações que se queira representar, em uma planilha “*Worksheet*” fornecida pelo próprio aplicativo (Figura 3);

2^a) salvar as informações (planilha) com a extensão “.*dat*”;

3^a) abrir novo “*plot*”, ir ao menu *Grid* escolher a opção *Data*, selecionar o arquivo *.dat* com os dados. Abre-se uma janela onde seleciona-se a coluna em que estão dispostos os valores de nível estático dos poços e as colunas onde estão suas coordenadas. Depois basta indicar o método de interpolação e “*ok*”;

4^a) no menu *Map*, escolher a opção *Contour*, selecionar o arquivo “.*grd*” gerado, escolher o intervalo de classes proposto, cores, legenda e “*ok*”, automaticamente o programa gera um plano contendo as isolinhas de profundidade do nível estático dos poços que também permite a interação do usuário.

Posteriormente, o mapa dos poços foi sobreposto a este, obedecendo o mesmo procedimento até a terceira etapa, depois segue-se da seguinte forma:

- no menu *Map*, escolher a opção *Post*, selecionar o arquivo “.*txt*” e automaticamente o programa gera um plano com os poços.

- agrupa-se os planos gerados selecionando-os e a partir do *Menu Map* ir à opção *Overlay Maps*.

Após concluída esta etapa exportou-se os planos como arquivo “.cgm” (Computer Graphics Metafile), que recebeu edição final no programa Corel Draw 10, sobrepondo-se ao limite da microbacia hidrográfica e excluindo os poços que extrapolaram os limites da microbacia.

*	A	B	C	D	E	F	G	H
1	UTM - E	UTM - N	Altitude (m)	Prof. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Tipo de Poço	Número
2	223007	6712001	105	90	38.4	38.4	T	1
3	226502	6714306	110	114	25.6	25.6	T	2
4	228799	6713930	120	90	12.9	12.9	T	3
5	224819	6712724	100	80	15.2	15.2	T	4
6	225105	6712022	78	81	3.33	40	T	5
7	221517	6711317	105	90		43.9	T	6
8	216414	6717322	174	124	34	40	T	7
9	217603	6715009	135	88	13	35	T	8
10	218203	6714716	130	162	8	100	T	9
11	217015	6715919	130	81	20	20	T	10
12	220205	6705706	123	100	7	7	T	11
13	219717	6711210	90	180	0.4		T	12
14	217116	6706614	140	60	23.8	23.8	T	13
15	224215	6708826	95	84	54	54	T	14
16	224213	6708918	90	140	39	39	T	15
17	222303	6714326	105	158	27	79	T	16
18	221609	6713014	125	105			T	17
19	216100	6715927	130	52	26.9	26.9	T	18
20	216010	6709915	130	90	18.7	18.7	T	19
21	224210	6715605	135	88	17	17	T	20
22	224021	6714522	105	120	5	5	T	21
23	225920	6713922	95	80	8	8	T	22
24	220913	6716109	105	130	3.5	3.5	T	23
25	225002	6717320	180	71	4	4	T	24
26	223124	6722513	195	60	20.5	20.5	T	25
27	222911	6724603	200	0	0	0	N	26
28	222611	6725828	190	55	6	6	T	27
29	216407	6705918	148	85	15	15	T	28
30	224525	6716332	160	60			T	30
31	226103	6718570	220	89			T	31

FIGURA 3 - Banco de dados sobre os poços presentes na microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira.

3.2.2.5. Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos

Para o desenvolvimento do mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos, aplicou-se o método “GOD” (Foster *et al.*, 2003) a partir da verificação dos parâmetros **G**rau de confinamento hidráulico, ou seja, condição do aquífero ou ocorrência da água subterrânea; **O**corrência do substrato subjacente, ou características litológicas, ou grau de consolidação da zona não saturada ou capas confinantes; e, **D**istância do nível da água subterrânea (em aquíferos não confinados) ou teto do aquífero (em aquíferos confinados).

O índice final de vulnerabilidade é o produto entre os valores (Figura 4) atribuídos para cada um destes parâmetros, ou seja, multiplicam-se os valores do **G**rau de confinamento hidráulico, com a **O**corrência do substrato litológico e a **D**istância do nível da água subterrânea. Os resultados obtidos correspondem às classes de vulnerabilidade natural (Desprezível ou Insignificante, Baixa, Média, Alta e Extrema) que o meio aquífero apresenta a ser adversamente afetado por uma carga contaminante.

Os valores atribuídos aos parâmetros considerados no método estão dispostos no Quadro 4, e seguiram a caracterização litológica e hidroestratigráfica das formações geológicas dispostas no Quadro 2, e a profundidade do nível da água obtido a partir do mapa de profundidade média do nível da água subterrânea.

Salienta-se que dos 45 poços identificados na área apenas vinte seis continham as informações necessárias para aplicação do método “GOD”.

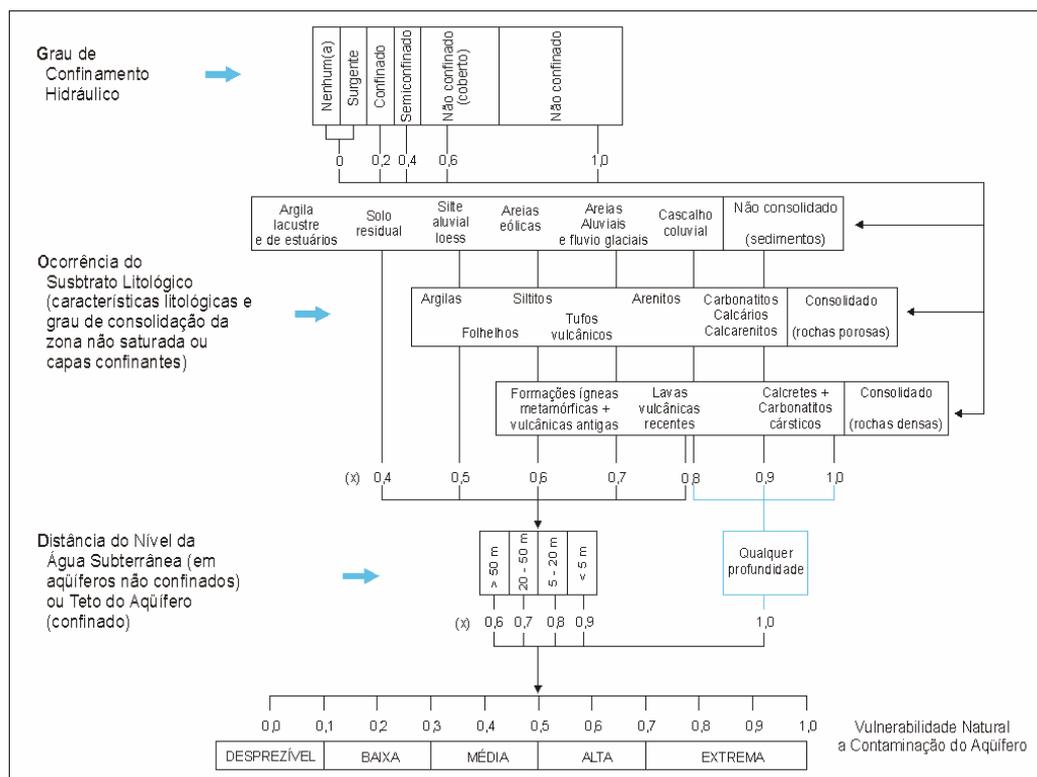


FIGURA 4 - Sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural dos aquíferos.

QUADRO 4 - Valores indicativos da vulnerabilidade dos aquíferos

Grau de Confinamento Hidráulico	<i>G</i>	Substrato Litológico	<i>O</i>	Distância do nível da água (GOD)	<i>D</i>	Índice de Vulnerabilidade	Classe de Vulnerabilidade
Livre	1,00	Sedimentos Atuais	0,80	5-20m	0,80	0,64	Alta
Livre	1,00	Terraços Fluviais	0,55	5-20m	0,80	0,44	Média
Fissural	0,70	Serra Geral (seq. Superior)	0,65	5-20m	0,80	0,36	Média
Fissural	0,70	Serra Geral (seq. Inferior)	0,65	5-20m	0,80	0,36	Média
Livre	1,00	Botucatu	0,80	5-20m	0,80	0,64	Alta
Semi-Confinado	0,40	Caturrita	0,75	5-20m	0,80	0,24	Baixa
Aqüicluda	0,10	Santa Maria (Membro Alemoa)	0,50	5-20m 20-50m	0,75	0,04	Desprezível
Livre	1,00	Santa Maria (Membro Passo das Tropas)	0,75	5-20m 20-50m	0,75	0,56	Alta
Semi-Livre Aqüitarde	0,80	Rosário do Sul	0,75	5-20m 20-50m	0,75	0,45	Média

3.2.2.6. Mapa de Uso e Ocupação do Solo

O mapa de uso e ocupação do solo da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira teve como base a imagem de satélite LANDSAT 7 TM, Bandas 3,4 e 5, falsa cor, WRS=223/081BA, do dia 23/07/1994 na escala 1:50.000. As diferentes formas ocupação desse espaço foram obtidas digitalizando-se as áreas equivalentes a áreas urbanas, solo exposto ou lavouras, campos, matas e superfícies cobertas por água. Para confirmação desta interpretação realizaram-se trabalhos de campo entre 20/11/1999 e 17/11/2000 (Dutra, 2001).

3.2.2.7. Mapa das Zonas de Proteção dos Aquíferos

Este mapa foi gerado após a definição das cinco zonas de proteção que se basearam nas informações contidas nos mapas geológico, de vulnerabilidade natural, profundidade do nível da água, declividade e energia do relevo, os quais demonstram a realidade físico natural da microbacia hidrográfica e foram detalhados nos resultados. O mapa das zonas de proteção resultou do cruzamento entre os mapas gerados anteriormente, sendo editado posteriormente no programa Corel Draw 10.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Aspectos físico-naturais da microbacia hidrográfica

A microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira insere-se numa zona de transição entre o Planalto Vulcânico e a Depressão Central Sul - Riograndense, onde são característicos os declives do Rebordo do Planalto, e ainda áreas dissecadas de relevo, com mais rugosidade topográfica nas bordas do Planalto, limítrofes com a Depressão Central.

O Rebordo do Planalto é considerado uma faixa transicional, constituído geologicamente, em menor escala pelos depósitos de tálus e principalmente pelas rochas efusivas básicas e ácidas, além de diques e corpos tabulares de diabásio. A ocorrência de escarpas abruptas reflete o forte comando estrutural representado por falhamentos e diaclasamentos resultantes dos esforços de soerguimentos do Planalto iniciados no Terciário (Müller Filho e Sartori, 1999). O tipo de relevo menos expressivo na área são os topos planos do Planalto Vulcânico, destacando-se os topos arredondados, esporões com enseladuras e depósitos de tálus.

Aparecem, também, no setor Norte da microbacia, extensões de rupturas bruscas caracterizando o Rebordo do Planalto, pela predominância das escarpas, vales encaixados e o processo de ravinamento, à medida que aproxima-se da Depressão Central Sul-Riograndense. Esta por sua vez, surge de forma expressiva na porção Centro-Sul da área em estudo, caracterizando-se geomorfologicamente por um relevo de coxilhas suaves, onde o principal processo está vinculado aos transportes de massa nas planícies aluviais existentes.

De acordo com o Mapa de Energia do Relevo (Figura 5) identifica-se a capacidade de transporte de massa no relevo identificando áreas de fragilidade do mesmo, devido a ação do escoamento superficial, que está diretamente associada com a altitude do terreno, bem como áreas favoráveis a recarga do aquífero, tornando-se fundamental às práticas de planejamento, identificando áreas impróprias a determinadas práticas agrícolas, a urbanização e a industrialização entre outras.

É predominante a classe entre 0 e 40 m que abrange 4.506,80ha, representando 71,43% da área, abrange diferentes formações geológicas de caráter sedimentares; nestas áreas destaca-se presença de vegetação secundária, matas ciliares, áreas com plantações e porções de solo exposto.

A classe de energia do relevo entre 41 e 80 m abrange um total de 664,16ha, equivalente a 10,52% da microbacia, corresponde basicamente às declividades de 12 a 30%, e é ocupada pelas áreas de matas ou florestas.

O intervalo equivalente a 81-120 m totaliza-se em 830,2ha, ou seja, 13,16% da microbacia, abrangendo áreas das Formações Botucatu e Serra Geral, intercalando-se com solo exposto, vegetação secundária e florestas.

A classe de energia do relevo entre 121 e 160 m abrange 308,36ha, totalizando 4,89% da área, compreende mais de 30% de declividade e predominam extensas áreas florestais.

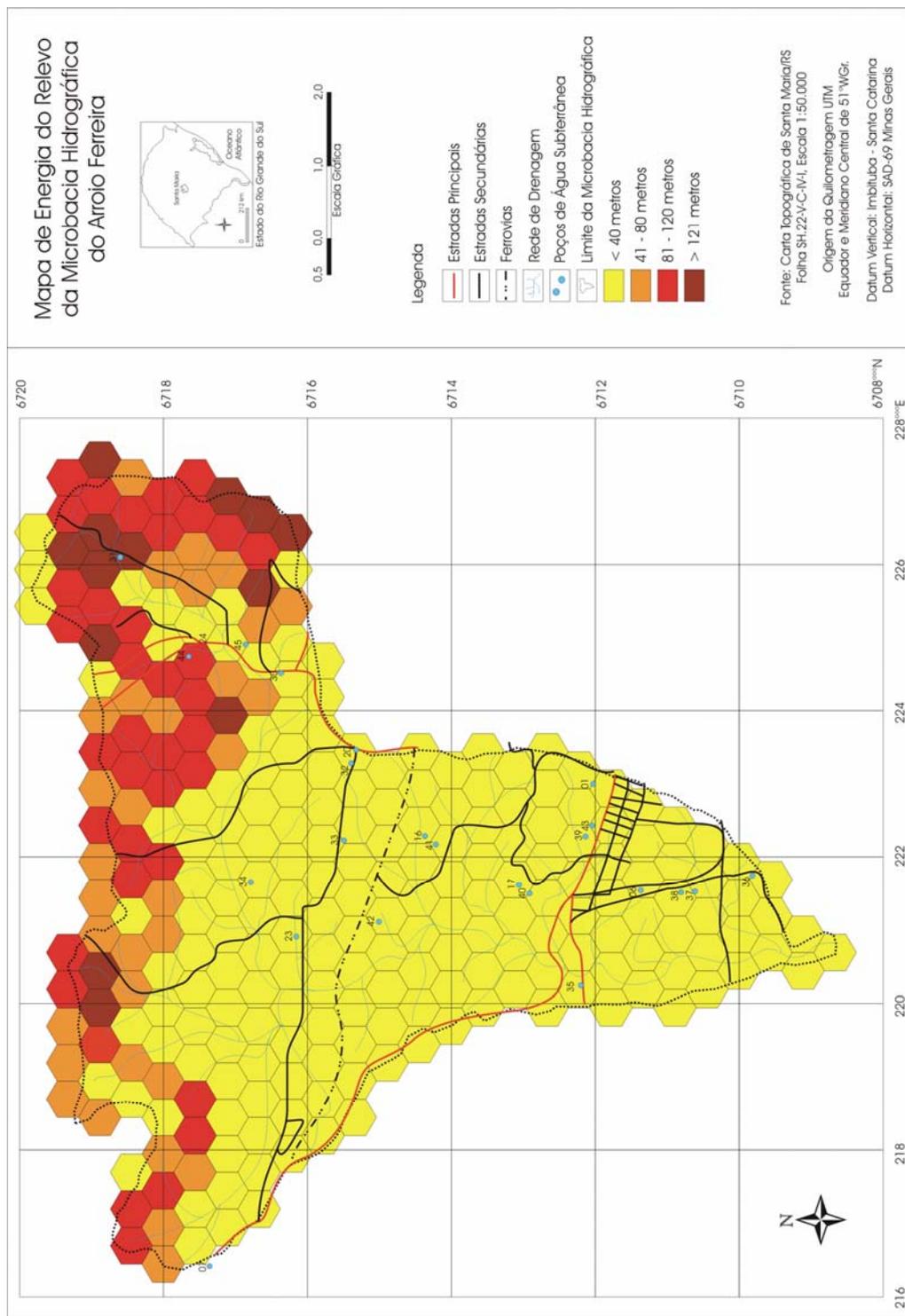


FIGURA 5 - Mapa de energia do relevo da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira

A partir da elaboração do Mapa de Declividade (Figura 6) foi possível identificar cinco classes de declividade sendo que 2.979,56ha correspondem a áreas com até 5% de declividade, ou seja, 57,14% da microbacia. São locais praticamente planos, com declives suaves e de fácil utilização para as práticas agrícolas, predomina no Centro-Sul da área e basicamente ocupa-se com áreas urbanas, campos ou culturas com irrigação (arroz e horticultura), visto que são áreas de drenagens sujeitas a inundações e início do limite da ação dos processos erosivos e requerem práticas simples de conservação.

As declividades entre 5 e 12%, ocupam 1.278,35ha cerca de 24,54%; são caracterizados por declives moderados, dependendo da atividade exercida se faz necessário o terraceamento, pois estabelece o limite máximo no emprego da mecanização agrícola.

As áreas com fortes declives, significativas na microbacia, são encontradas entre 12-30% de declividade predominantemente junto ao curso médio do rio principal. Equivale a 10,99% da área, são consideradas inadequadas às práticas agrícolas, visto que a ação dos processos erosivos é acelerada e exige cuidados especiais para este uso, ocupa-se por vegetação secundária e parte do estrato florestal.

Menor expressão da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira é ocupada pelas classes de declividades entre 30 e 47% e superiores a 47%, ocupando respectivamente 3,85% e 3,48% da área. Essas classes aparecem próximas as nascentes do Arroio Ferreira.

Associados aos fatores geomorfológicos, apresentam-se os fatores geológicos representados no Mapa Geológico da Microbacia Hidrográfica do Arroio Ferreira (Figura 7).

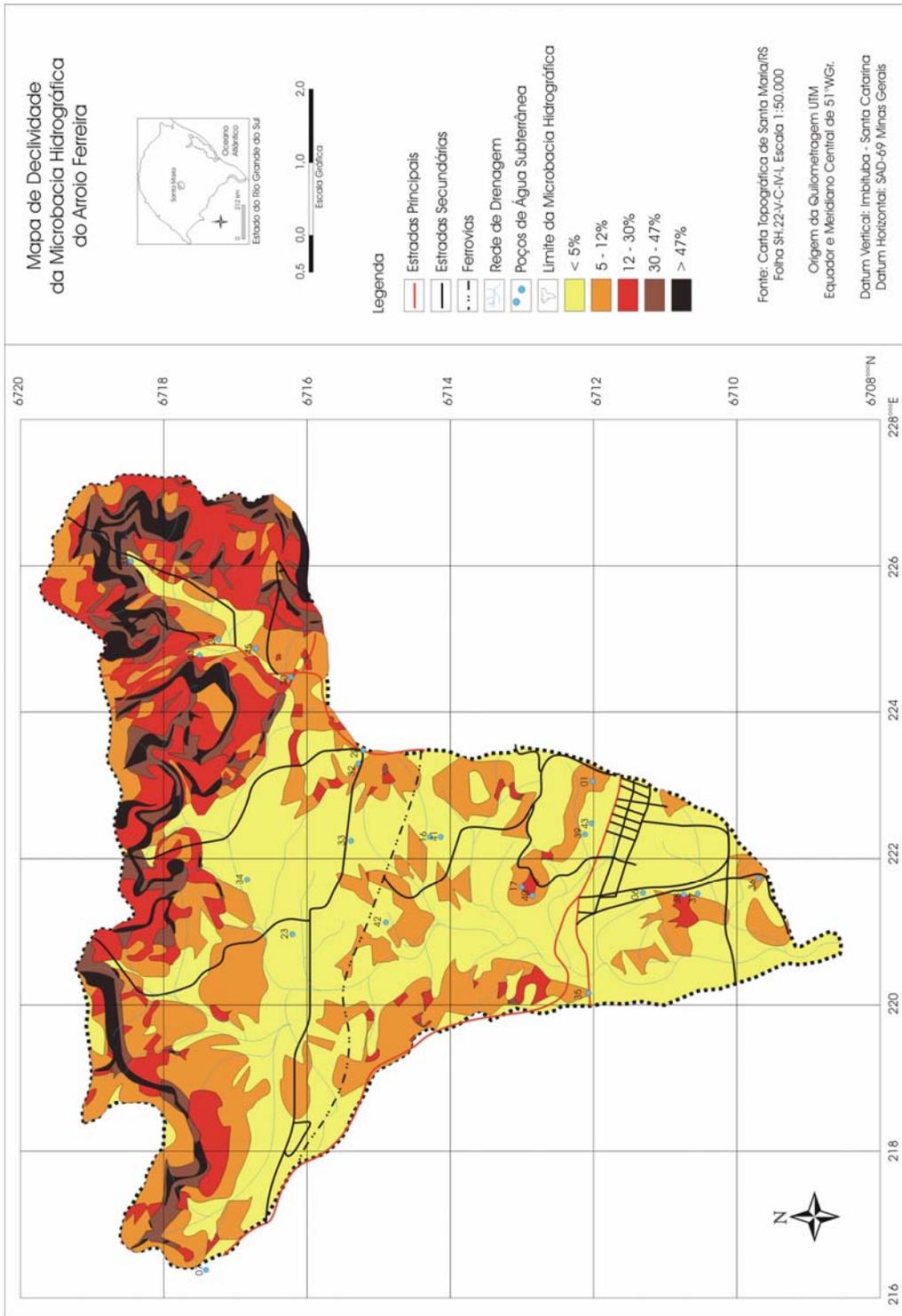


FIGURA 6 - Mapa de declividade da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira

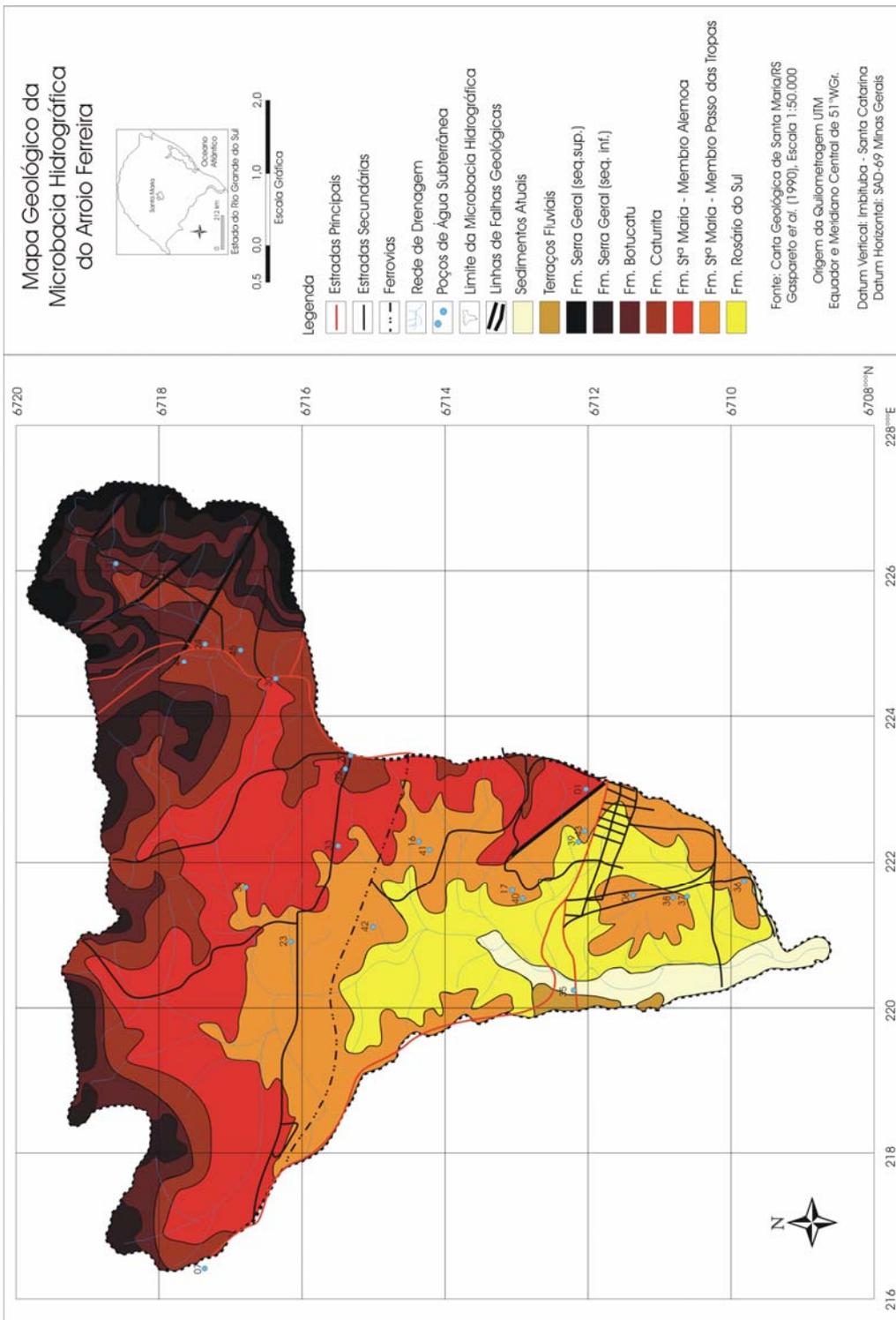


FIGURA 7 - Mapa geológico da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira

Observando-se o mapa geológico da microbacia identifica-se quatro grupos de falhamentos geológicos com direção NW-SE que obedece a um alinhamento principal variando de 30° a 60° NE eventualmente, tendo grande importância na infiltração das águas.

Em termos hidrogeológicos pode-se diferenciar dois sistemas aquíferos, Sistema Aquífero Fissural e Sistema Aquífero Poroso. Ao primeiro caso destaca-se a Formação Serra Geral composta por duas seqüências vulcânicas: uma básica (seqüência inferior) e outra ácida (seqüência superior) onde o armazenamento da água se dá apenas nas falhas e fraturas da formação. A circulação restringe-se apenas entre os contatos entre as falhas ou através da ligação com as intercalações de sedimentação eólica, característicos registros dos períodos de recesso da atividade vulcânica, conhecidos como arenitos “*intertrapps*”.

O Sistema Aquífero Poroso está associado às rochas sedimentares identificadas na microbacia, que possuem granulações diferentes dependendo da natureza do sedimento, ou seja, argilitos, siltitos e arenitos. Destaca-se neste caso a Formação Botucatu que abrange 10,84% da microbacia, a Formação Caturrita que constitui 13,90% da área, a Formação Santa Maria - Membro Alemoa (22,39% da área) e Membro Passo das Tropas (abrange 23,08% da microbacia), a Formação Rosário do Sul (compreende 15,06% da área), e também os Sedimentos Quaternários e os Terraços Fluviais que abrangem 3,33% e 0,48% da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira.

A geologia possui estreita relação com os solos, uma vez que eles originam-se diretamente do intemperismo das rochas. Na microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira os solos desenvolvidos sobre rochas vulcânicas ácidas apresentam textura silto-arenosas ou silto-argilosa e

espessuras de 1 a 3 metros, sendo classificado como Podzólicos vermelho-escuro ou Litólicos distróficos. Sobre as rochas básicas a variação de espessura é maior, sendo estes classificados como solos Litólicos eutróficos e Cambissolos eutróficos.

Nas formações sedimentares as espessuras de solos variam de 1 a 2 metros alcançando até 5 metros na área de ocorrência do Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria e aparecem os solos Podzólicos vermelho-escuro, Podzólicos vermelho-amarelo e Podzólicos acinzentados. Nas várzeas ocorrem Planossolos hidromórficos cinzentos e Cambissolos eutróficos (CPRM, 1994).

Quanto à profundidade do nível da água subterrânea na microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira (Figura 8), identificada a partir do nível estático dos poços, obteve-se quatro classes de variação (<10m, 11-20m, 21-30m e > 30m).

Observando-se a Figura 8, nota-se que o nível da água subterrânea predominante na microbacia é raso, ou seja, mais próximo da superfície, apresentando maior risco de contaminação, e segue uma direção SO-NE. O Nível da água <10 metros extrapola o limite da microbacia no setor Oeste em função da proximidade do Arroio Ferreira com o Arroio Taquara que convergem paralelamente para a mesma direção até unirem-se e formarem o Arroio Picadinho.

O nível da água subterrânea seguinte aparece entre 11 e 20 metros tanto ao Norte quanto ao Sul da classe anterior. As águas com profundidades entre 21-30 metros aparecem no setor Sudeste e atinge pequena extensão ao Noroeste da microbacia. O ao nível da água mais profundo presente na microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira é a mais de 31 metros, e abrange menor porcentagem da área, encontrada nos extremos Noroeste e Sudeste da microbacia.

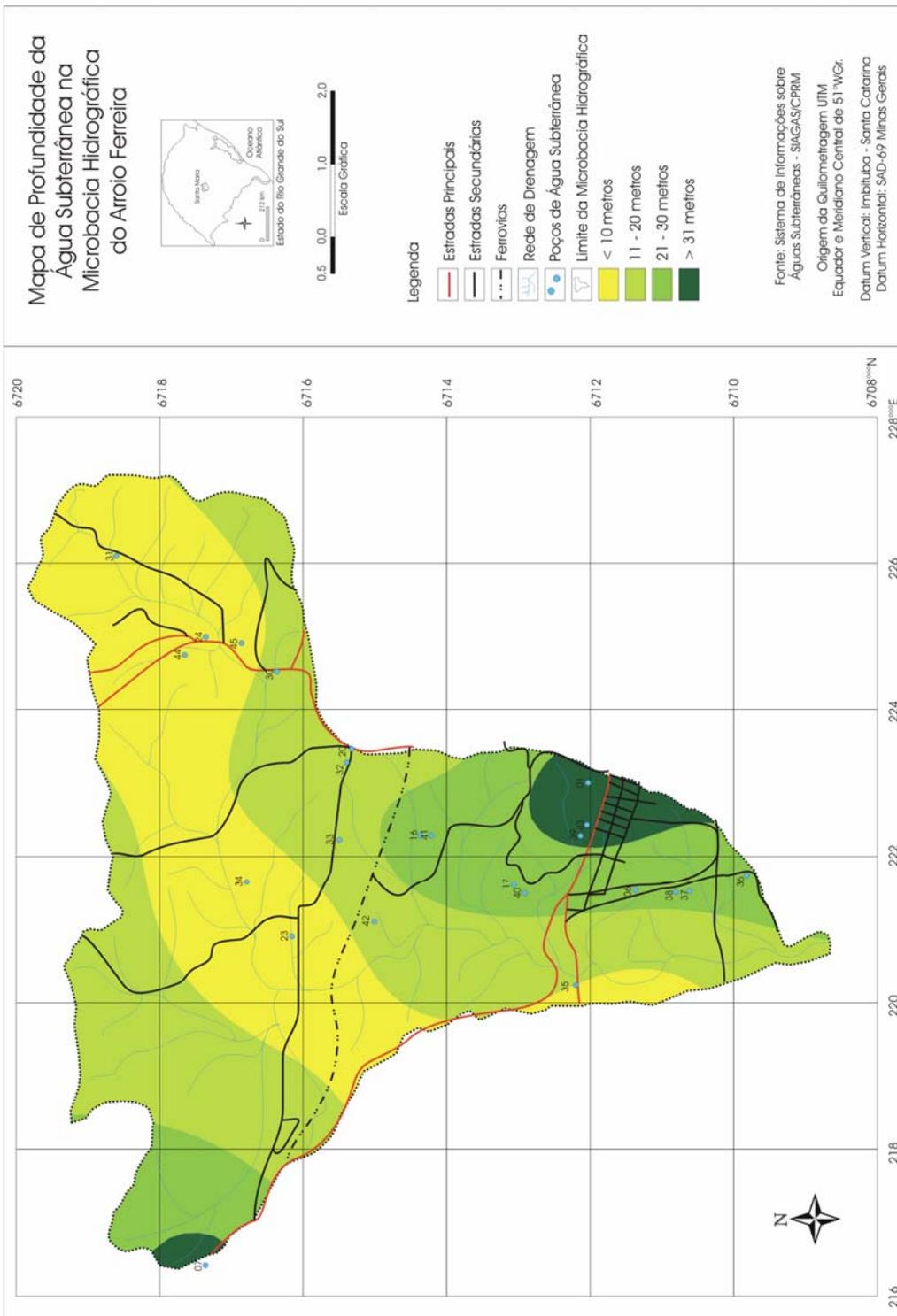


FIGURA 8 - Mapa de profundidade da água subterrânea da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira

A distância entre o nível da água subterrânea e a superfície do terreno é uma variável que associada com a litologia e ao tipo de aquífero dá origem à condição de vulnerabilidade natural dos aquíferos, ou seja, indica a fragilidade natural que o meio apresente ao ser adversamente afetado por uma carga contaminante imposta.

A determinação da vulnerabilidade natural dos aquíferos é importante na definição das áreas de proteção das águas subterrâneas. Assim elaborou-se o mapa de vulnerabilidade (Figura 9) para a microbacia do Arroio Ferreira, baseado no método “GOD” (Foster *et al.*, 2003).

Dentre as classes de vulnerabilidade natural, a única que não está presente na microbacia é a classe Extrema, sendo que as demais compreendem diferentes porcentagens de área.

A classe de vulnerabilidade Alta atinge maior extensão da área (37,25%) seguida da classe Média (26,46%) que aparece no Centro Sul, Norte e Nordeste da microbacia. A classe Desprezível atinge 22,39% da área obedecendo um sentido Sudeste - Noroeste. Ainda aparece a classe de vulnerabilidade Baixa, que compreende 13,90% e aparece ao Norte da Classe Desprezível e em pequenas extensões no setor Leste.

Após analisar os aspectos físico-naturais da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira, indispensáveis para determinação das Zonas de proteção dos aquíferos, se fez necessário identificar as formas de uso e ocupação da área, a fim de propor sugestões de uso ou manejo das atividades que possam interferir na dinâmica quali-quantitativa das águas subterrâneas na microbacia.

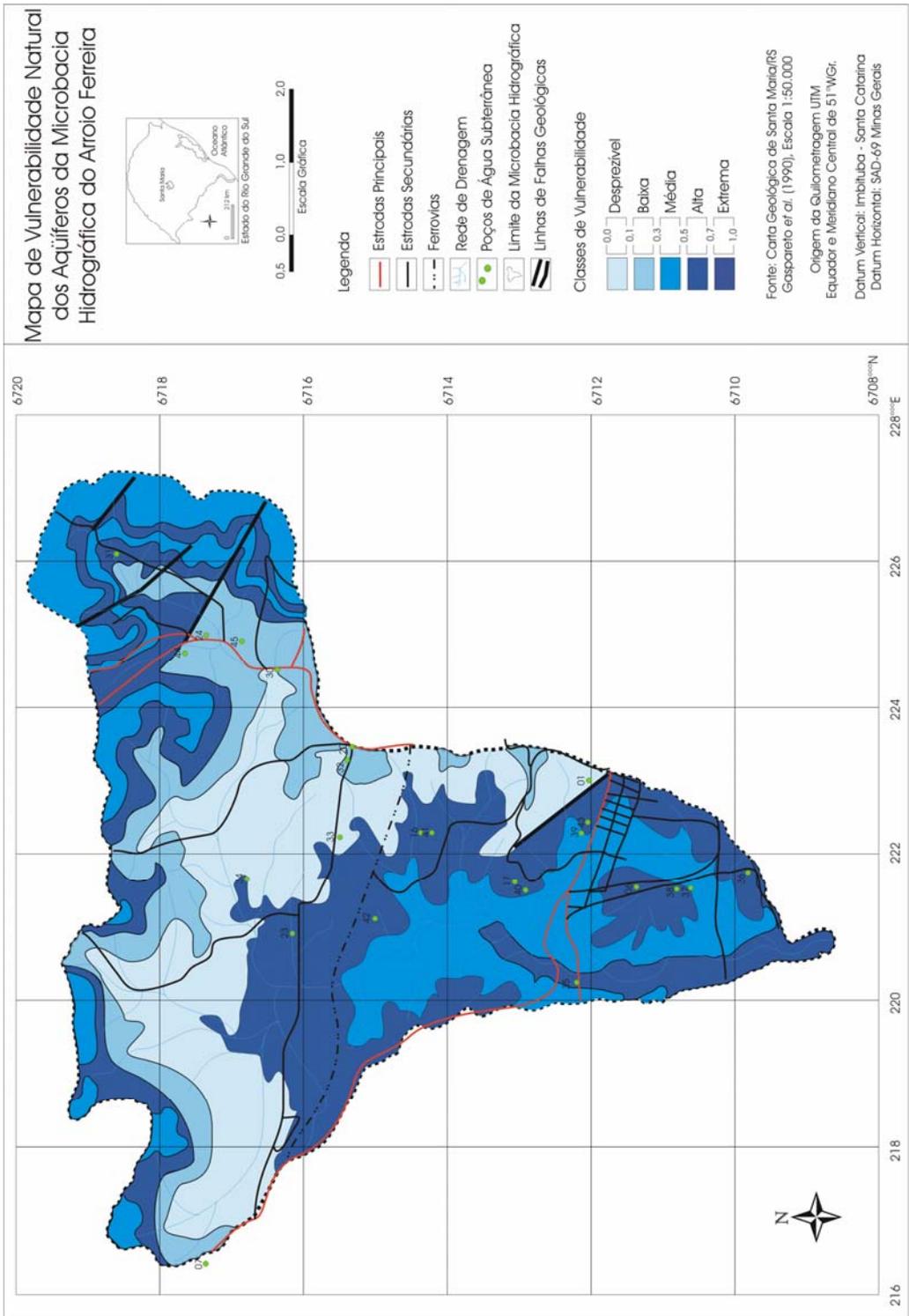


FIGURA 9 - Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira

4.2. Aspectos sócio-econômicos da microbacia hidrográfica

A microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira possui um diversificado uso do solo, destacando-se áreas urbano residenciais, rurais, industrial, etc., conforme podem ser verificadas na Figura 10.

No Centro-Sul da microbacia destacam-se áreas agrícolas, ocupadas por culturas temporárias de arroz irrigado, cuja água utilizada para sua irrigação é extraída diretamente do Arroio Ferreira, por meio de canalizações clandestinas e obstruções do curso principal do Arroio. A horticultura predomina no Distrito de Boca do Monte, Noroeste da microbacia, onde encontram-se estufas de legumes e verduras, também verifica-se a produção leiteira nesta área.

Os campos ocupam cerca de 3.119,42ha totalizando 59,90%. As matas compreendem 28,76 da área total equivalente a 1.497,73ha. Os solos expostos abrangem 185,90ha, correspondente a 3,57% da microbacia e 14,06ha completa-se com as superfícies de água.

As áreas urbanas abrangem 7,50% da área, ou seja, 390,57ha envolvendo uma população superior a 30.000 pessoas. O processo de urbanização vem causando alterações no natural da microbacia, pois a cobertura vegetal está sendo substituída por superfícies (asfaltos ou calçamentos) que diminuem a infiltração de água no solo e aumenta escoamento superficial.

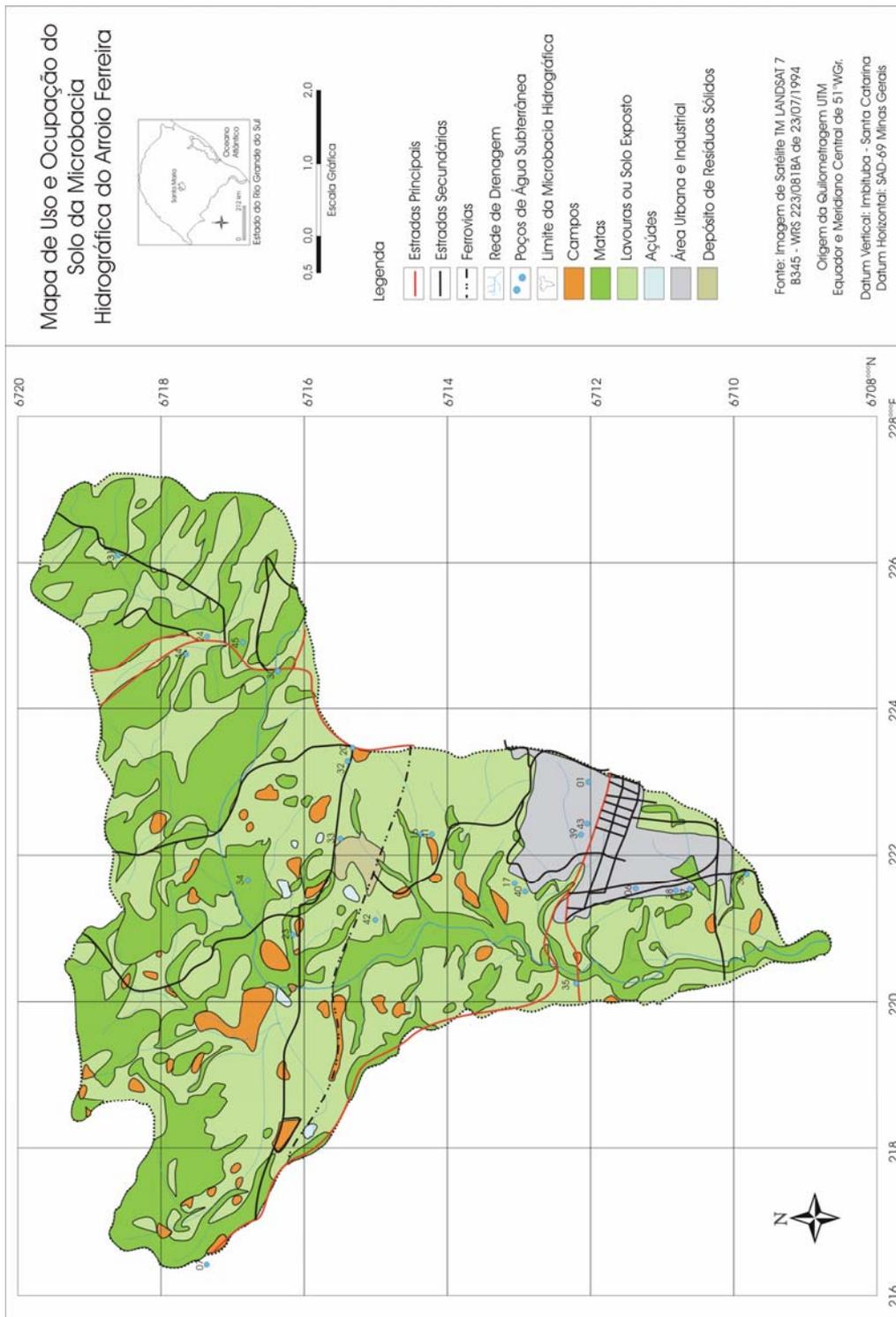


FIGURA 10 - Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira

Tucci (1999) expõem que, o processo de urbanização provoca impactos como aumento das vazões máximas (em até seis vezes), devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos, canais e impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (lixo); e por fim, deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

O principal problema urbano é a inexistência de sistemas de tratamento de esgotos na maioria dos bairros da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira, sendo que as residenciais utilizam, em sua maioria, fossas sépticas como sistema de saneamento básico.

Verificou-se que a utilização de fossas sépticas ocorre no Bairro Parque Pinheiro Machado, na Nova Santa Marta, na área urbana do Distrito de Boca do Monte (região Noroeste da microbacia) e nas recentes áreas de invasão, onde também é comum o uso de valas como destino final dos esgotos domésticos. O Bairro Tancredo Neves e a COHAB Santa Marta possuem sistema de coleta e tratamento simplificado de esgoto.

A população urbana em geral é abastecida por água canalizada e distribuída pela Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN, algumas residências são abastecidas por poços tubulares profundos ou poços tipo cacimba. Na área urbana do Distrito de Boca do Monte os moradores são servidos por águas subterrâneas que é extraída por dois poços tubulares profundos comunitários e destinada para duas caixas de água centrais (são reservatórios metálicos de capacidade para 20.000 litros), posteriormente são distribuídas à

comunidade como um sistema de condomínio, ou seja, cada família possui uma cota.

Nas proximidades do núcleo urbano da microbacia hidrográfica, identificou-se dois postos de combustíveis, que podem ser considerados fontes pontuais de contaminação das águas subterrâneas e são relevantes para definição das zonas de proteção dos aquíferos. Assim como a localização geográfica dos cemitérios em função da condição hidrogeológica do local em que estão dispostos e do tempo de funcionamento.

Outras fontes pontuais de contaminação das águas subterrâneas, associadas às atividades urbanas, foram identificadas na microbacia, como a deposição de resíduos sólidos (lixo) junto às margens do Arroio Ferreira e seus afluentes. Apesar de grave, este não é o único e nem o principal problema na microbacia, pois existem outros que não são tão simples de resolver, como a presença do Lixão de Santa Maria, localizado na porção central desta microbacia e a presença do Distrito Industrial.

A contaminação dos aquíferos urbanos pode decorrer também, de situações como os “lixões”, que contaminam as águas por processos naturais de precipitação e infiltração. O município de Santa Maria produz cerca de 150 toneladas diárias de resíduos sólidos (estimativas da Secretaria Municipal de Gestão Ambiental) depositados a céu aberto no “Lixão da Caturrita” (Figura 11) e situado sobre uma das nascentes do Arroio Ferreira.



Figura 11 - Depósito de resíduos sólidos (“Lixão da Caturrita”)

Fonte: Trabalhos de campo realizados em 11/2000.

O Lixão da Caturrita abrange em sua maioria rochas altamente porosas e permeáveis, oriundas dos arenitos grossos da Formação Santa Maria - Membro Passo das Tropas e parte do Membro Alemoa (aquicluda). Além disso, encontra-se sobre um tributário de primeira ordem, do Arroio Ferreira, demonstrando que o lençol freático está com o nível localmente aflorando, alimentando o curso de água sazonalmente (Dutra, 2001).

Segundo Skinner *et al.* (1995) os depósitos de lixo urbanos podem encontrar-se depositados sob diferentes formas na superfície do terreno, acarretando contaminações nos lençóis freáticos em tempos diferentes.

A Figura 12, caracterizada por Skinner *et al.* (1995) como um depósito de resíduos sólidos impróprios, é um caso semelhante ao Lixão da Caturrita pois situa-se sobre uma zona desfavorável para este tipo de uso, considerando que o nível da água subterrânea aflora em alguns trechos e contribui para cursos d'água superficiais, além disso as rochas são porosas e de fácil processo de infiltração.

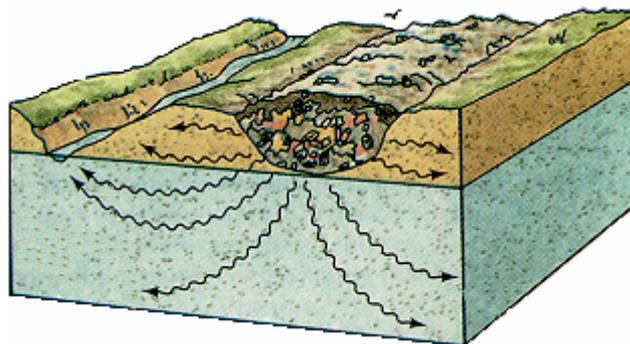


FIGURA 12 - Zona desfavorável à deposição de resíduos sólidos.

Fonte: Skinner *et al.* (1995).

Segundo Machado (1990) “se não forem tomadas medidas preventivas, com a relocação deste depósito (Lixão da Caturrita) os efeitos negativos da contaminação das águas (superficiais ou subterrâneas) poderão levar alguns anos para serem percebidos, mas serão inexoráveis.”

Para minimizar esta problemática foram construídas 3 lagoas de estabilização (Figura 13) para corrigir as taxas de resíduos líquidos (chorume), colocando-se uma manta emborrachada que evita o contato direto com o meio físico. Porém notou-se no trabalho de campo que estas lagoas são insuficientes para controlar todo o chorume produzido, e decorrem da ausência de um projeto técnico definido e controle operacional específico, além de um monitoramento da qualidade das águas superficiais e/ou subterrâneas, podendo tornar-se fontes pontuais de contaminação das águas subterrâneas.



FIGURA 13 - Lagoas de estabilização do Lixão da Caturrita.

Fonte: Trabalhos de campo realizados em 11/2000.

Em termos gerais, a indústria é o segundo maior consumidor de águas, e no Centro-Sul da microbacia localiza-se o Distrito Industrial de Santa Maria, abrigando indústrias de alimentos, bebidas, móveis, metal mecânica, construção civil, baterias, detergentes, etc (Dutra, 2001).

Todas as empresas situadas no Distrito Industrial utilizam água subterrânea para realização de suas atividades. Algumas utilizam métodos para o tratamento de seus despejos de água. Contudo, para definir o melhor e mais adequado método para tratamento dos efluentes utilizados nas indústrias, cabe identificar e conhecer os efluentes que estão disponíveis nas águas utilizadas.

As indústrias de bebidas e as cervejarias consomem grande quantidade de água que faz parte de sua matéria-prima e da constituição do próprio produto, além de ser utilizada para lavagem dos equipamentos e recipientes. Nas indústrias de ferro e aço (metal

mecânica) a água é utilizada nas fases de sinterização, coqueira, autos-fornos e fornos, lanças, laminação e outras. Sendo um dos principais usos, o de refrigeração de equipamentos, o que em geral se faz por circuito fechado (Silva e Simões, 1999).

A indústria de bebidas situada no distrito Industrial utiliza em grande parte água subterrânea para o desenvolvimento de seus processos industriais e antes de despejar seus efluentes líquidos, no Arroio Ferreira, as águas passam por tanques de aeração.

A biodegradabilidade dos produtos gerados e manipulados na indústria de detergentes é a característica mais importante na sua relação com a água e o meio ambiente. Não foi identificado a forma de tratamento de água e resíduos sólidos nesta indústria e nem o local para onde são destinados os efluentes do processo industrial, acredita-se que a água seja reciclada.

O Distrito Industrial situa-se sobre a Formação Rosário do Sul e Formação Santa Maria - Membro Passo das Tropas, apresentando as litologias predominantemente arenosas e muito permeáveis, constituindo aquíferos contínuos de grande extensão, livre e/ou semiconfinado, formando o melhor aquífero da região, com excelentes vazões, e águas em geral de boa qualidade. Muito vulneráveis a poluição e também integrantes do Sistema Aquífero Guarani (CPRM, 1994)

4.3. Zonas de Proteção dos Aquíferos

Visando a gestão integrada dos recursos hídricos no âmbito da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira propôs-se a realização de um plano de proteção dos aquíferos, em função dos aspectos físico-naturais e das atividades desenvolvidas na superfície do solo e definiu-se cinco Zonas de Proteção (Figura 14).

Observando-se a Figura 14, nota-se que a Zona de Proteção Imediata ocupa maior extensão da microbacia do Arroio Ferreira e compreende geologicamente os Sedimentos Atuais, os Terraços Fluviais, a Formação Botucatu e a Formação Santa Maria - Membro Passo das Tropas, áreas de alta vulnerabilidade natural, baixas declividades e energia do relevo, além de diferentes profundidades do nível freático. Nesta zona encontram-se áreas urbanas, um cemitério, parte do Distrito industrial e do Lixão da Caturrita além de campos, lavouras e matas.

Os principais problemas de contaminação dos aquíferos associados às áreas urbano-residenciais, que a caracterizam como fonte de contaminação dispersa, são os sistemas de saneamento sem rede de esgoto, a carga contaminante poderá diminuir muito se a área possuir um bom sistema de rede de esgoto bem desenhado e cuidadosamente operado. Pode ocorrer alguma contaminação como resultado de rupturas e vazamentos de tanques de inspeção, o que é sempre difícil de determinar.

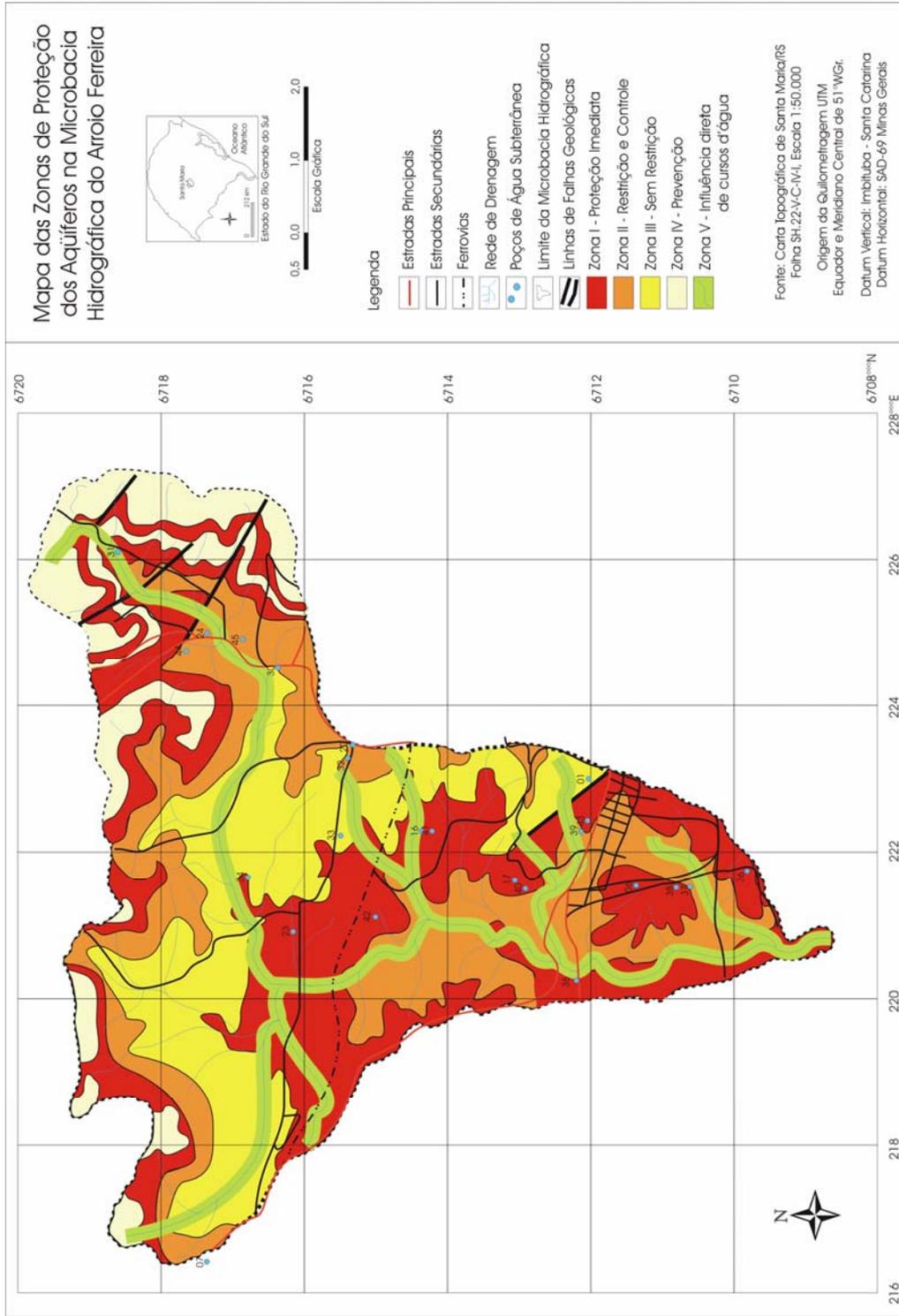


FIGURA 14 - Mapa das zonas de proteção dos aquíferos da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira

Os poços podem constituir focos potenciais de contaminações, se no momento de sua construção, operação e/ou manutenção, não forem tomadas as devidas precauções. Em áreas urbanas existem inúmeros poços de abastecimento de água que estão abandonados, assim como nas áreas rurais. Caso estes poços não forem selados adequadamente, podem gerar altos riscos de contaminação das águas subterrâneas se forem utilizados ilegalmente como local de deposição de resíduos ou desrespeitado seu perímetro de proteção (Foster e Hirata, 1993).

A inadequada disposição dos resíduos sólidos é responsável por um grande número de casos de contaminação das águas subterrâneas, pois, a composição do lixiviado (responsável pela contaminação) dependerá do tipo de material do resíduo, ou da sua associação, em casos onde ocorram reações químicas dentro do mesmo. Se a origem do material do resíduo é conhecida, é possível fazer uma estimativa aproximada da composição do lixiviado e determinar quais os possíveis contaminantes (Foster *et al.*, 2003).

No caso dos cemitérios a fonte pontual de contaminação é mais comum quando a sepultura de restos humanos (e em alguns casos de animais) gera cargas contaminantes microbiológicas em uma restrita área atingindo muitas vezes uma pequena parcela do solo, sendo mais reduzida ainda, caso sejam utilizados nas tumbas impermeabilizantes especiais e/ou cofres resistentes à corrosão. O mesmo não pode ser dito quando um grande número de animais é, sem qualquer precaução ou avaliação a respeito das condições hidrodinâmicas do local, dispostos em valas, rapidamente escavadas, para evitar a expansão de uma epidemia (Foster e Hirata, 1993).

A Zona de Restrição e Controle compreende os aquíferos semi permeáveis como as Formações Caturrita e Rosário do Sul cuja

vulnerabilidade natural à contaminação restringe-se as classes Média e Baixa. Esta zona também abrange uma significativa extensão da microbacia do Arroio Ferreira e envolve maior porcentagem das áreas urbanas do Bairro Tancredo Neves e Parque Pinheiro Machado.

Nessas áreas residenciais estão instalados dois postos de combustíveis com possível presença de compostos tóxicos sintéticos, provenientes do armazenamento de combustíveis em tanques subterrâneos, o que tem sido uma das causas pontuais mais frequentes de contaminação dos aquíferos em áreas urbanas. Há uma alta probabilidade de que tanques instalados há mais de vinte anos estejam seriamente corroídos e sujeitos a fugas de substâncias, a menos que venham sendo monitorados periodicamente. Além disso, as tubulações entre os tanques e os sistemas de distribuição podem se romper devido ao tráfego de veículos pesados e em função da má qualidade de instalação inicial das estruturas (Foster *et al.*, 2003).

Também se encontram algumas indústrias nessa zona, cujas concentrações de contaminantes e algumas práticas de disposição de resíduos e efluentes fazem com que essas atividades industriais sejam de grande preocupação ambiental na avaliação da carga contaminante. É difícil estabelecer qual a proporção total do efluente que está se infiltrando no subsolo, pois as lagoas, poços de infiltração ou rios são também o destino final para os despejos industriais que muitas vezes são lançados sem nenhum tipo de tratamento prévio, o qual poderia diminuir seus efeitos nocivos (Silva, 2003).

Na Zona Sem Restrição encontram-se as estruturas rochosas praticamente impermeáveis como os aquícludes e aquítardes, como por exemplo, a Formação Santa Maria Membro Alemoa que constitui-se basicamente por rochas sedimentares de cor avermelhada, sem

textura, de caráter argiloso a síltico (lamito) com pequena ocorrência de depósitos de caliche e calcrete (concreções calcárias). As estruturas sedimentares primárias são predominantemente maciças, sem estratificações, localmente com estratificação plano-paralela. Em diversas fácies ocorre a interdigitação de lentes esbranquiçadas de siltitos com lentes de siltitos-vermelhos, o que lhe dá o caráter de aquícluído (Maciel Filho, 1990).

Nesta Zona a vulnerabilidade natural é Desprezível, mas eventualmente pode apresentar valores de vulnerabilidade natural Baixa. Porém cabe destacar que cientificamente, é mais coerente avaliar a vulnerabilidade para cada contaminante ou cada classe de contaminante individualmente (nutriente, patógenos, microorganismos, metais pesados, etc.) ou cada grupo de atividades contaminantes separadamente (saneamento “in situ”, cultivo agrícola, disposição de efluentes industriais, etc.); pois uma vulnerabilidade geral para um contaminante universal em um cenário típico de contaminação é um conceito cientificamente inválido, ao final, todos os aquíferos são vulneráveis a contaminantes móveis e persistentes, os aquíferos menos vulneráveis não são facilmente contaminados, mas, uma vez contaminados são mais difíceis de ser restaurados, neste sentido, ao menos eles poderiam ser considerados como de alta vulnerabilidade a contaminação (Foster e Hirata, 1993).

Quanto ao uso e ocupação, verifica-se a presença da parte Norte do Lixão da Caturrita nesta zona, áreas de solo exposto, matas e algumas práticas agrícolas apresentam-se como potencialmente poluidoras devido às formas mecanizadas de manejo do solo, há aplicação intensiva e prolongada de fertilizantes inorgânicos, assim como ao uso de agrotóxicos. Soma-se a isto a irrigação excessiva do

solo, que pode contribuir com o transporte e infiltração de nutrientes sais e traços de compostos orgânicos.

Salienta-se que algumas práticas agrícolas são capazes de causar uma séria contaminação difusa nas águas subterrâneas, especialmente em áreas com solos de pouca espessura, muito porosos ou com textura arenosa (Silva, 2003).

A área ocupada pela Zona de Prevenção é recoberta predominantemente por matas em função das diferenças altimétricas do relevo, que permanecem em torno de 30 - 47%. Também aparecem em alguns locais as declividades entre 5-12% e <5%, relativos aos relevos mais planos do planalto onde ocorre intercalação de lavouras e solos expostos.

Nas áreas de maior diferença altimétrica a energia do relevo é maior que 121m, atingindo as classes de 81-120m e 41-80m nos locais de menos declividade. Esta área engloba as rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral, onde o armazenamento de água se dá através das fissuras, onde localiza-se as classes de vulnerabilidade Média.

Embora seja uma área ocupada por atividades que não causam grandes impactos ao meio ambiente local e está associada às características morfoestruturais que dificultam a formação de um bom aquífero, foi classificada como Zona de Prevenção porque os aquíferos subjacentes podem receber contribuição das águas de superfície, através da percolação, deve-se assim prevenir a instalação de determinadas atividades na superfície desta Zona que venham prejudicar os aquíferos subjacentes.

Por fim, a Zona de Influência Direta de Cursos D'água que são freqüentemente usadas para a disposição final de águas residuais e

resíduos sólidos de diversas origens, inclusive esgotos domésticos. Em muitos casos recebem altas cargas de efluentes não-tratados que excedem a capacidade de depuração natural por muitos quilômetros a jusante. Segundo Foster e Hirata (1993) tais drenagens são convertidas em fontes de contaminação das águas subterrâneas, sob certas condições hidrogeológicas.

Conforme os mesmos autores os cursos de água superficiais podem ser classificados em função de sua relação com as águas subterrâneas em efluentes e influentes. Esta relação pode variar naturalmente como resultado da sazonalidade do rio, ou do bombeamento das águas subterrâneas, para avaliar o risco de contaminação das águas subterrâneas por cursos superficiais é necessário estimar a qualidade e quantidade da água infiltrada através dos leitos dos rios.

Para efetivar a proteção das águas subterrâneas sugere-se algumas restrições e condições à implantação ou desenvolvimento de determinadas atividades antrópicas, bem como medidas de controle das fontes potenciais de poluição em cada área ou zona de proteção, conforme demonstra o Quadro 5.

QUADRO 5 - Proposta de restrições e condições de uso e ocupação do solo conforme as limitações das zonas de proteção dos aquíferos.

<i>Atividades</i>	<i>Zona I: Proteção imediate</i>	<i>Zona II: Restrição e controle</i>	<i>Zona III: Sem restrição</i>	<i>Zona IV: Prevenção</i>	<i>Zona V: Influência direta de cursos d'água</i>
Acesso às áreas de proteção	Restrições				
Passagem de	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido

peças					
Agricultura	Condições				
Armazenamento e aplicação de fertilizantes (orgânicos ou inorgânicos)	Não permitido	Não permitido	Somente permitido de acordo com os critérios estabelecidos pelos órgãos ambientais.		Não permitido
Armazenamento e aplicação de agrotóxicos	Não permitido	Não permitido	Somente permitido quando estiver de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão federal ambiental, Decreto nº98.816/90 - Cap. VII art. 59. Esta restrição abrange os agrotóxicos classificados como altamente ou muito perigosos (classe I e II).		Não permitido
Armazenamento e aplicação de efluentes da agroindústria	Não permitido	Não permitido	Permitido de acordo com os critérios estabelecidos pela FEPAM.		Não permitido
Irrigação	Não permitido	Não permitido	Somente permitido se não houver aplicação de agrotóxicos.		Não permitido
Pecuária	Condições				
Criação extensiva	Não permitido	Permitido, desde que seja com poucos animais por hectare.	Permitido	Permitido	Não permitido
Criação intensiva	Não permitido	Não permitido	Permitido	Permitido, somente se o pastoreio não danificar a cobertura vegetal.	Não permitido
Armazenamento de dejetos animais em estado líquido	Não permitido	Não permitido	Somente permitido de acordo com os critérios estabelecidos pela FEPAM		Não permitido
Instalações para criação de animais confinados	Não permitido	Não permitido	Permitido	Permitido somente se o piso for impermeabilizado.	Não permitido
Desmatamentos	Condições				
Eliminação de diversas formas de cobertura	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Não permitido

vegetal					
Resíduos Sólidos	Condições				
Aterro de resíduo domiciliar	Não permitido	Não permitido	Permitido, obedecendo aos critérios estabelecidos por legislação Federal e Estadual.	Somente permitido se o nível da água estiver a mais de 15m de profundidade e se não for aterro em vala.	Não permitido
Instalações para compostagem de resíduos orgânicos	Não permitido	Não permitido	Permitido somente se o piso for impermeabilizado.		Não permitido
Aterro de resíduos da saúde	Não permitido	Não permitido	Permitido desde que siga os procedimentos necessários a impermeabilização da superfície do terreno.		Não permitido
Aterro de resíduo industrial (Classe I e II)	Não permitido	Não permitido	Permitido desde que obedçam aos procedimentos exigidos pela FEPAM.		Não permitido
Aterro de resíduo inerte e da construção civil	Não permitido	Não permitido	Permitido desde que siga os procedimentos de proteção do terreno, incluindo a cobertura do resíduo.		Não permitido
Efluentes e matérias-primas líquidas	Condições				
Estação de tratamento de esgoto	Não permitido	Não permitido	Permitido	Permitido	Não permitido
Fossa séptica	Não permitido	Não permitido	Permitido desde que os lotes atendam às restrições definidas no item “loteamento” e as fossas sejam construídas conforme as normas NBR7229/93 e NBR13969/97.		Não permitido
Rede de coleta esgoto	Não permitido	Não permitido	Permitido somente com manutenção contra vazamentos.		Não permitido
Sistema de tratamento de água residuárias	Não permitido	Não permitido	Permitido somente com manutenção contra vazamentos.		Não permitido

Armazenamento e aplicação de efluentes da agroindústria e indústria alimentícia.	Não permitido	Não permitido	Permitido de acordo com os critérios estabelecidos por órgãos ambientais. As lagoas de armazenamentos devem ser impermeabilizadas e possuir dreno testemunho.	Não permitido
Tratamento de madeira com substâncias perigosas	Não permitido	Não permitido	Somente permitido se o nível da água estiver a mais de 20m de profundidade.	Não permitido
Matérias primas e combustíveis	Condições			
Tanques enterrados	Não permitido	Não permitido	Permitido se atender as exigências das Resoluções nº273/2000 e nº319/2002 do CONAMA .	Não permitido
Bases de distribuição de combustíveis	Não permitido	Não permitido	Permitido se atender as exigências das Resoluções nº273/2000 e nº319/2002 do CONAMA	Não permitido
Construção civil	Condições			
Loteamento	Não permitido	Não permitido	Permitido em conformidade com as exigências da FEPAM e Plano Diretor Municipal.	Não permitido
Indústrias	Não permitido	Não permitido	Permitido seguindo os critérios estabelecidos em legislação Federal e Estadual.	Não permitido
Outras atividades	Condições			
Cemitérios	Não permitido	Não permitido	Permitido somente os já existentes sem ampliação ou se obedecer as disposições da Resolução nº335/2003 do CONAMA.	Não permitido

Fonte: Adaptado de DIAS *et al.* (2004).

Com base na avaliação da legislação vigente e avaliando-se também estudos preliminares sobre zonas de proteção de poços, frente ao gerenciamento e proteção das águas subterrâneas, foi elaborada a

proposta apresentada no Quadro 5, sobre as restrições de atividades e uso do solo a serem aplicadas nas zonas de proteção aquífera.

Estas restrições enfocam o controle ou mesmo a proibição de novas instalações das principais atividades consideradas potencialmente contaminadoras de águas subterrâneas, sendo que as medidas são mais rígidas nas Zonas I, II e V, considerando sua condição natural de fragilidade.

Esta proposta de restrições de uso e ocupação tem por finalidade servir de base para a implantação de estratégias de proteção de aquíferos. Sua efetivação depende da ação das prefeituras municipais e órgãos ambientais de todas as esferas (Federal, Estadual e Municipal), que têm atribuições sobre o parcelamento do solo e podem resguardar as áreas de proteção em seus planos diretores e ambientais, respectivamente.

Considera-se também importante a população conhecer os benefícios e riscos a que podem estar submetidos como usuários dos recursos hídricos subterrâneos.

5. CONCLUSÃO

As mudanças da qualidade das águas subterrâneas podem ser causadas direta ou indiretamente por diversas atividades antrópicas, e como resultado do conjunto de medidas destinadas à preservação da qualidade dessas águas em relação aos aspectos químicos, físicos e bacteriológicos foram instituídos por várias portarias e resoluções regulamentadoras. Isto levou a idealizar uma proposta metodológica para delimitação de perímetros de proteção dos aquíferos, baseado nas variáveis sócio-ambientais da microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira.

Como pode-se observar a microbacia do Arroio Ferreira apresenta condições naturais propícias à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, além fazer parte hidrogeologicamente de áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani, quanto os problemas associados à degradação dos corpos de água verificados compreendem a falta de saneamento básico, em alguns casos lançados “*in natura*” nos corpos de água receptores, causados muitas vezes pelos assentamentos urbanos viabilizados sem infra-estrutura de saneamento básico.

O lançamento de efluentes industriais não devidamente tratados e atividades agrícolas que além de provocar a poluição com agrotóxicos usados incorretamente, captam água para irrigação de forma errônea contribuindo com a diminuição da disponibilidade hídrica, podendo impedir a utilização para a própria agricultura ou para outros fins, como o abastecimento doméstico. Os desmatamentos também provocam a degradação dos solos e o aparecimento de voçorocas

deixando as águas subterrâneas mais susceptíveis a contaminações difusas ou pontuais.

Neste sentido, os planos de informação gerados com o uso das técnicas de geoprocessamento, permitiram estabelecer cruzamentos que deram origem as definições das zonas de proteção dos aquíferos.

A proposta de critérios de restrição do uso e ocupação do solo em áreas de proteção para a microbacia hidrográfica do Arroio Ferreira e a definição das Zonas de proteção dos Aquíferos, apresentadas neste trabalho serve de base para uma discussão mais ampla sobre estratégias que podem ser adaptadas para qualquer município, ou bacia hidrográfica, pelos órgãos de gestão ambiental licenciadores.

Conclui-se, portanto que, a preservação da quantidade e da qualidade da água subterrânea, tanto para esta como para as futuras gerações, depende não somente das ações dos profissionais da área, mas também de cada indivíduo da sociedade, através da aquisição de conhecimento básico. Este, por sua vez, permite uma transferência da conscientização sobre o tema para a população que pode resultar na preservação do recurso hídrico subterrâneo através de ações individuais que, somadas podem gerar resultados expressivos.

6. BIBLIOGRAFIA

- ASSUNÇÃO, F. N. A. e BURSZTYN, M. A. A. **Conflito pelo uso dos recursos hídricos**. In. Conflito e uso dos recursos naturais. Theodoro, S. H. (org.). Rio de Janeiro: Garamond. 2002. p. 53 - 69
- AUDI, R. Classificação dos solos em “classes de capacidade de uso”, com o emprego de fotografias aéreas verticais. **Caderno de ciência da Terra**. N.º 3. São Paulo: IGEO/USP.1970.
- BATALHA, B.H. L. **Glossário de Engenharia Ambiental**. República Federativa do Brasil, Ministério da Minas e Energia, DNPM, 1986.
- BRASIL. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. Levantamento de Recursos Naturais. **Mapa Geomorfológico do RS**. Fundação IBGE, 1986. Escala 1:1.000.000. Vol.33.
- BUSTOS, M. R. L. **A educação ambiental sob a ótica da gestão de recursos hídricos**. Tese de doutorado apresentada a Escola Politécnica de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. 2003.
- CABRAL, J.; KOIDE, S. SIMÕES, J. C.; MONTENEGRO, S. **Recursos hídricos subterrâneos**. In.: PAIVA J. B. D. de PAIVA, M. C. D. de. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 237-277.
- CAMPOS, H. & CHASSOT, A. (org.) **Ciências da Terra e Meio Ambiente - Diálogos para (inter)ações no Planeta**. São Leopoldo: UNISINOS, 1999.
- CÁNEPA, E. M. e GRASSI, L. A. T. Os comitês de bacia hidrográfica no Rio grande do Sul: uma experiência histórica. **Ciência e Ambiente**. Santa Maria: Editora da UFSM. V. 21. Junho/Dezembro 2000.

- CARVALHO, T. L. C.; AMORIM, E. L. C.; FREIRE, C. C.; LINS, R. C.; MORAES, J. F.; OLIVEIRA NETO, A. P.; PIMENTEL, I. M. C. Quadro atual da legislação da água subterrânea no Brasil. **Anais** do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2º ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.
- _____. Definição e objeto da Geografia. **Geografia**, 8 (15-16): 1-28, 1983.
- _____. A potencialidade das abordagens sobre sistemas dinâmicos para os estudos geográficos: alerta para uma nova fase. **Geografia**, 13 (26): 149-151, 1988.
- COELHO, E. F. Qualidade da água subterrânea do município de Porto Alegre. **Ecos**. (4) nº 10, junho de 1997. Porto Alegre: SE.
- COELHO, V. M. T. e DUARTE, U. Perímetros de Proteção para fontes naturais de águas minerais. **Revista Águas Subterrâneas** nº17 de 05/2003. Curitiba: ABAS. 2003.
- CONAMA. **Resolução nº 237** de 19 de dezembro de 1997. Expõem quais as atividades ou empreendimentos estão sujeitos ao licenciamento ambiental. Brasília 1997.
- CONAMA. **Resolução nº 258** de 26 de agosto de 1999. Dispõem sobre a destinação final, de forma ambientalmente adequada e segura aos pneumáticos inservíveis. Brasília, 1999.
- CONAMA. **Resolução nº 257** 30 de junho de 1999. Dispõe sobre o descarte inadequado de pilhas e baterias usadas. Brasília, 1999.
- CONAMA. **Resolução nº 284** de 30 de agosto de 2001. Dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos de irrigação que podem causar modificações ambientais. Brasília, 2001.

- CONAMA. **Resolução nº 289** de 25 de outubro de 2001. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de projetos de assentamentos ou de reforma agrária. Brasília, 2001.
- CONAMA. **Resolução nº 307** de 05 de julho 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002
- CONAMA. **Resolução nº 273** de 29 de novembro de 2000. Dispõem sobre o licenciamento ambiental de postos de combustíveis. Brasília, 2000.
- CONAMA. **Resolução nº 319** de 04 de dezembro de 2002. Dá nova redação e dispositivos da Resolução do CONAMA nº 273 de 29 de novembro de 2000. Brasília, 2002
- CONAMA. **Resolução nº 335** de 03 de abril de 2003. Dispõem sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Brasília, 2003.
- CONSEMA. **Resolução nº 009** de 27 de dezembro de 2000. Dispõe de norma para o licenciamento ambiental de sistemas de incineração de resíduos provenientes de serviços de saúde, classificados como infectantes (Grupo A) e dá outras providências. Porto Alegre, 2000.
- CORREIO DA UNESCO**. Abril-junho/1999. (27), nº4. Rio de Janeiro: Brasileira. p. 18-21.
- COSTA, W. D. Legislação de Águas Subterrâneas e gerenciamento de aquíferos. **Anais** do XII Encontro Nacional de Perfuradores de poços e IV Simpósio de hidrogeologia do Nordeste. Olinda: ABAS. 14-17 de 2001. p. 77-82.
- CPRM - Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais. **Mapa Hidrogeológico** da Folha SH.22-V-C-IV (Mi 2965), Escala 1:100.000. 1994.

- CUNHA, L. V. da. **Perspectivas da Gestão da água para o século XXI desafios e oportunidades**. Porto Alegre: ABRH. n°4(7) 10-12/2002. p. 65-73.
- DE BIASI, M. A. **Carta Clinográfica: Os Métodos de Representação e sua Confecção**. Revista do Departamento de Geografia. USP, 1970.
- DIAS, C. L.; IRITANI, M. A.; GUILLAUMON, J. R.; CASARINI, D. C. P.; OKANO, O.; FERREIRA, L. M. R.; FRISCH, H.; TROEGER, U.; SCHULER, G. Restrições de uso e ocupação do solo em áreas de proteção de aquíferos: conceitos, legislação e proposta de aplicação no estado de São Paulo. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. Cuiabá MT, 19 a 22 de outubro de 2004
- DUARTE, P. A. **Cartografia Básica** 2º ed. Florianópolis: UFSC, 1988. 182 p. (Série Didática).
- DUTRA, A. D. **Uso dos Recursos Hídricos na Microbacia do Arroio Ferreira**. Trabalho de Graduação A (Curso de Graduação em Geografia) Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria, 2001.
- DUTRA, A. D. **Ações de Educação Ambiental na Microbacia Hidrográfica do Arroio Ferreira**. Monografia (Curso de Especialização da Pós Graduação em Educação Ambiental) Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria, 2004.
- EMBRAPA, **Água subterrânea: A preocupação com a contaminação já começou**. Informativo da Embrapa - meio ambiente – Ano VII, n° 25, Jan/Fev/Mar, 1999.
- FEITOSA, F. A. C. e MANOEL FILHO, J. **Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM/LABHID- UFPE, 1997, p. 338.

- FOSTER, S. S. D. e HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes.** São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 92 p.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Protección de la Calidad del Agua Subterránea.** Washington: Banco Mundial, 2003. 116 p.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia do Brasil: Região Sul.** Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 420 p.
- GASPARETO, N. V. L. et all. **Mapa geológico** de Santa Maria, Departamento de Geociências /UFSC. 1990
- GERARDI, L. H. de O. e MENDES, I. A. **Teoria, técnica, espaços e atividades:** temas de Geografia Contemporânea. Rio Claro: programa de Pós-Graduação em Geografia – UNESP; Associação de Geografia Teórica – AGETEO, 2001. 97-137p.
- GONSALVES, C. W. P. - Possibilidades e Limites da Ciência e da Técnica Diante da Questão Ambiental, In: **GEOSUL**, Revista do Departamento de Geociências - CCH da Universidade Federal de Santa Catarina nº5 - Ano3, Florianópolis, Editora da UFSC, 1988, p 7:40.
- _____ **Os Descaminhos do Meio Ambiente.** São Paulo, Contexto, 1989. 148p.
- _____ **Formação Sócio-Espacial e Questão Ambiental no Brasil.** In.: BECKER, B.K. (org) Geografia e Meio Ambiente no Brasil; Hucitec, São Paulo, 1995.
- HASSUDA, S. **Água subterrânea: um recurso a proteger, In. Ciências da Terra e Meio Ambiente - Diálogos para (inter)ações no Planeta.** São Leopoldo: UNISINOS, 1999.

- HEATH, R. C. **Hidrologia básica de águas subterrâneas**. Denver: 1983.
- HERNANDÉZ, M. & GONZÁLES, N. **El conocimiento del acuífero Botucatu. Un objetivo para el Mercosur en el manejo sustentable del agua subterránea para usos múltiples**. In. *Água: uso y manejo sustentable*. Buenos Aires: edit. Universitária de Buenos Aires. 1997. 81-100
- HERZ, F. & DE BIASE, M. **Critérios e Legendas para Macrozoneamento costeiro**. Brasília: Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, 1989.
- HESPANHOL, I. **Água e saneamento básico, uma visão realista**. Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados da USP. 1999. Pg 249-303
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrological approach to quantitative morphology. **Bull. Geol. Soc. Am.** 1945. 56, 275-370.
- IMAGEM TM LANDSAT 7, bandas 3, 4 e 5, falsa cor, WRS=223/081BA, 23/07/94, escala 1:50.000.
- IRITANI, M. A. **Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea**. Tese de doutorado em hidrogeologia. Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo. 1999.
- ISSAR, A. S. Era uma vez na Suméria. **Correio da Unesco**, abril-junho/1993. (21), nº7. Rio de Janeiro: FGV. p. 4-7.
- MACHADO, J. L. F. Resposta aquífera das litologias Gondwânicas na Região de Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, 1990.
- MACIEL FILHO, C. L. Uma proposta para evitar a poluição por lixo e esgoto doméstico. **Ciência e Natura**. Vol. 10 (49-58). Santa Maria. UFSM/CCNE, 1988.

- _____. **Carta Geotécnica de Santa Maria**, Santa Maria: Imprensa Univesitária, 1990. p. 11-13.
- MANOEL FILHO, J. **Água subterrâneas: histórico e importância**. In FEITOSA, F. A. C. e MANOEL FILHO, J. **Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM/LABHID- UFPE, 1997, p. 03-12.
- MANSOTTE, F. **Homem e água: uma história longa**. In.: Autoridades locais, saúde e Ambiente. **Água e Saúde**. Organização Pan-Americana da Saúde: OPAS/OMS 1999. p. 1-3.
- MARTINÉZ, D. E. & MASSONE, H.E. **Problemática de aquíferos com recarga en áreas suburbanas: aspectos de la contaminación en el acuífero de mar del plata**. In. **Água: uso y manejo sustentable**. Buenos Aires: edit. Universitária de Buenos Aires. 1997. 229-272
- MEINZER, O. E. **The occurrence of groundwater in United States**. U.S. Geologic Service. 1923
- Ministério do Exército. Diretoria do Serviço Geográfico. **Carta Topográfica de Santa Maria-RS**. Porto Alegre: DSG. 1976. Escala:1:50.000.Folha SH-22-V-C-IV-1, MI-2965/1.
- MOREIRA, I. **O espaço Rio-Grandense**. São Paulo: Ática, 1995, 96pg.
- MÜLLER FILHO, I. L. M. & SARTORI, M. da. G. B. **Elementos para Interpretação Geomorfológica de Cartas Topográficas: Contribuição à Análise Ambiental**. Santa Maria: Imprensa Universitária - UFSM, 1999. 94 p.
- PAREDES, E. A. **Sistema de Informação Geográfica**. São Paulo: Érica, 1994.
- PHILIPPI Jr., A. **Reúso de água: uma tendência que se firma**. In .: MANCUSO, P. C. S. e SANTOS, H. F. dos (ed.). **Reúso de água**. São Paulo: Manole, 2003.

- PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blüncher, 1976. 278 p.
- PORRÉCA, L. M. **ABC do meio ambiente – água**. Brasília: IBAMA. 1998. 30 p.
- PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. v. 33. Folha SH.22 Porto Alegre: Geologia. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. RJ: FIBGE, 1986.
- REBOUÇAS, A da C. **Ação programada de recursos hídricos águas subterrâneas**. Brasília: púb. esp. SEPLAN/CNPq. 1978 p. 105-129.
- _____. **Águas Doces no Mundo e no Brasil**. Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados da USP. 1999.
- _____. **Águas Subterrâneas**. In.: **Águas Doces no Mundo e no Brasil**. Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados da USP. 1999, pg. 117 150.
- _____. **A inserção da água subterrânea no sistema nacional de gerenciamento**. Porto Alegre: ABRH. n°4(7) 10-12/2002. p. 39-50.
- ROCHA, J. S. M. **Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1991.
- ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 2000. 220p.
- ROTH, B. W. et all **Destinação final dos resíduos sólidos urbanos**. Santa Maria: editora da UFSM. 1999. p. 25
- SADEQ, H. T. A demanda aumenta e a oferta diminui. **Correio da Unesco**, abril-junho/1999. (27), n°4. Rio de Janeiro: Brasileira.
- SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. **Relatório final do Projeto “Sistema de Informação para o Gerenciamento Ambiental dos Recursos Hídricos subterrâneos na Área de Afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo”**. Cooperação entre a

- Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo e a Secretaria de Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera (Alemanha). CD ROM. Abril de 2004.
- SÃO PAULO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de recursos hídricos**. São Paulo: CRH/CORHI-GTO, 1990. 137p
- SHIKLOMANOV, I. A. **World water resources – a new appraisal and assessment for the 21 st century**. IHP/UNESCO,1998.37p.
- SILVA, A. de B. **Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2003. 240 p.
- SILVA, G. A. e SIMÕES, R. A. G. **Água na indústria**. Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados da USP. 1999. 339 - 368
- SILVÉRIO DA SILVA, J. L. **Estudo dos processos de silicificação e calcificação em rochas sedimentares Mesozóicas do Rio Grande do Sul**. Tese de doutorado em Geociências, UFRGS, PORTO ALEGRE, p. 156. XLVI pranchas e 107 figuras.
- SINELLI, O. Vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos na região Nordeste do Estado de São Paulo. **Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**,Porto Alegre, RS, v.7. 1994. p.89-98.
- SINTON, D. **The inherent structure of information as a constraint to analysis: mapped thematic data as a case study**. Harvard Papers on Geographic Information Systems, vol.7, G. Dutton (ed.), Addison Wesley, Reading, MA. 1978.
- SKINNER, B. J. et all. **Environmental geology**. Canadá: Cover photo. 1995.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geol. Soc. America Bulletin**. 1952.
- TOLMAN, C. F. **Ground Water**. New York: McGraw Hill. 503p. 1937

- TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH/Edusp. 1993 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).
- _____. **Água no meio urbano**. Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados da USP. 1999, pg. 475-507.
- TUNDISI, J. G. Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos: avanços conceituais e metodológicos. **Ciência e Ambiente**. Santa Maria: Editora da UFSM. V. 21. Junho/Dezembro 2000. p 9-20
- UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses – MDT/UFSM**. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. 5. ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, PRPGP, 2000.
- VILLELA, S. M. & MATOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Difel, 1978
- _____. **A Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**, Ed. do Autor, Rio de Janeiro, RJ. 2000.
- ZUQUETTE, L. V. PEJON Carta das taxas de escoamento superficial e de infiltração da região de Ribeirão Preto, SP. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Recursos Hidricos**,v.1, 1991, p.277-282.

ANEXO 1: Banco de dados sobre os poços
Fonte: SIAGAS/CPRM (2004) e saídas de campo.

Nº do poço	UTM - E	UTM - N	Altitude (m)	Profundidade (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Tipo de poço	Em relação à área
1	223007	6712001	105	90	38.4	38.4	T	S
2	226502	6714306	110	114	25.6	25.6	T	F
3	228799	6713930	120	90	12.9	12.9	T	F
4	224819	6712724	100	80	15.2	15.2	T	F
5	225105	6712022	78	81	3.33	40	T	F
6	221517	6711317	105	90		43.9	T	S
7	216414	6717322	174	124	34	40	T	S
8	217603	6715009	135	88	13	35	T	F
9	218203	6714716	130	162	8	100	T	F
10	217015	6715919	130	81	20	20	T	F
11	220205	6705706	123	100	7	7	T	F
12	219717	6711210	90	180	0.4		T	F
13	217116	6706614	140	60	23.8	23.8	T	F
14	224215	6708826	95	84	54	54	T	F
15	224213	6708918	90	140	39	39	T	F
16	222303	6714326	105	158	27	79	T	S
17	221609	6713014	125	105			T	S
18	216100	6715927	130	52	26.9	26.9	T	F
19	216010	6709915	130	90	18.7	18.7	T	F
20	224210	6715605	135	88	17	17	T	S
21	224021	6714522	105	120	5	5	T	F
22	225920	6713922	95	80	8	8	T	F
23	220913	6716109	105	130	3.5	3.5	T	S
24	225002	6717320	180	71	4	4	T	S
25	223124	6722513	195	60	20.5	20.5	T	F
26	222911	6724603	200	0	0	0	N	F
27	222611	6725828	190	55	6	6	T	F
28	216407	6705918	148	85	15	15	T	F
29	224525	6716332	160	60			T	S
30	226103	6718570	220	89			T	S
31	223051	6715560	145	88			T	S
32	222233	6715445	130	70			T	S
33	221658	6716736	120	95			T	S
34	220000	6712200	80	198			T	F
35	221587	6709878	60	100			T	S
36	221339	6710686	120	109			T	S
37	221363	6710927	120	104			T	S
38	222018	6712373	100	70			T	S
39	221544	6712868	95	90			T	S
40	222174	6714185	120	170			T	S
41	221117	6714960	120	100			T	S
42	222077	6712344	105	96			T	S
43	224847	6717183	190				C	S
44	224640	6717663	160				C	S

Legenda: T= Poço tubular, C = Poço cacimba, N = Poço nascente, S= Poços dentro da área, F= Poços fora da área