

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

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DO
AQÜÍFERO GUARANI NO PERÍMETRO URBANO DA
CIDADE DE SANT'ANA DO LIVRAMENTO - RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Luis Carlos Frantz

Santa Maria, RS, Brasil

2005

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DO
AQÜÍFERO GUARANI NO PERÍMETRO URBANO DA
CIDADE DE SANT'ANA DO LIVRAMENTO - RS**

por

Luis Carlos Frantz

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

Orientador: Prof. José Luiz Silvério da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2005

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

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

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DO AQÜÍFERO
GUARANI NO PERÍMETRO URBANO DA CIDADE DE SANT'ANA DO
LIVRAMENTO - RS**

elaborada por
Luis Carlos Frantz

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Edson Cezar Wendland, Dr. (USP)

Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 01 de julho de 2005.

Agradecimentos

A meus pais Hardi Frantz e Odete Frantz pela compreensão, apoio e ajuda financeira.

A Universidade Federal de Santa Maria pela qualidade e gratuidade do ensino no aprimoramento profissional.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil que de uma ou de outra forma tenham contribuído para esta conquista.

A Eliomar Balduino Pappis secretário do Curso de Pós graduação em Engenharia Civil pela atenção e presteza na solução de problemas.

Em especial a amiga Isabel Camponogara pela ajuda na confecção dos mapas apresentados nesta pesquisa.

Ao meu orientador Dr. José Luiz Silvério da Silva pela oportunidade em participar do III Curso Hispanoamericano de Hidrologia Subterrânea, realizado no Uruguai e pela orientação e colaboração durante estes 28 meses de duração.

Aos Professores Dr. Rinaldo José Barbosa Pinheiro e ao Dr. Edson Cezar Wendland, pela participação da banca examinadora.

Aos amigos Tiago Zawacki de Moraes e a Joaquin Ignácio Bonnacarrere Garcia pela ajuda na utilização de *Softwares*.

A todos aqueles que esqueci, não deixarei de agradecer, pois de uma ou de outra forma contribuíram para esta conquista.

O Universo não é uma idéia minha

A minha idéia do Universo é que é uma idéia minha

A noite não anoitece pelos meus olhos

A minha idéia da noite é que anoitece por meus olhos.

Fora de eu pensar e de haver quaisquer pensamentos

A noite anoitece concretamente

E o fulgor das estrelas existe como se estivesse preso.

(Alberto Caeiro)

RESUMO

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

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NO PERÍMETRO URBANO DA CIDADE DE SANT'ANA DO LIVRAMENTO – RS

AUTOR: LUIS CARLOS FRANTZ

ORIENTADOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 01 de Julho de 2005.

A água subterrânea é um recurso natural de grande importância para a humanidade, cuja abundância varia conforme a geologia local. Apesar de ser tão importante para a humanidade, também é um meio vulnerável à contaminação provocada pelo próprio homem que tanto dela necessita. Assim, este estudo tem como objetivo principal avaliar o índice de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Guarani no perímetro urbano do município de Sant'Ana do Livramento - RS, utilizando para isso, dados de 145 poços e 3 nascentes daquela cidade, catalogados em sua maioria pela CPRM/1995, tendo como base a metodologia "GOD", desenvolvida por Foster e Hirata (1993) e Foster et al. (2003). Desses 145 poços e das três nascentes obteve-se 15 amostras com análises químicas completas, sendo 10 provenientes do estudo feito pela CPRM/1995, quatro realizados pelo Laboratório de Química Industrial e Ambiental da UFSM/LAQIA para o Projeto do Aquífero Guarani e uma proveniente de trabalhos hidrogeológicos de campo, mapeamento geológico de uma área de 49 km², medições de níveis estáticos, coletas de águas para análises e cadastramento dos principais pontos de contaminação. Esses resultados servirão de subsídios à gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos pelos órgãos gestores. Como produtos finais foram elaborados três mapas da área de estudo: um geológico, um clinográfico e um mapa da vulnerabilidade cujo grau de variabilidade classificado conforme as classes de vulnerabilidades descritas na metodologia citada. O mapa da área foi digitalizado a partir de cartas topográficas no programa *Spring 4.1* e este foi sobreposto pelo cartograma da vulnerabilidade obtido no programa *Surfer 8* com o uso do interpolador *krigagem* para simular: os níveis estáticos, as vazões, a condutividade elétrica, o índice de vulnerabilidade e a superfície potenciométrica. Depois deste processo, os cartogramas foram re-editados no software Corel Draw 11. Como resultados obteve-se a classificação da área quanto à vulnerabilidade espacializada em classes, cuja maior parte da área ficou inserida nas classes alta e extrema. Esses resultados são preocupantes devido à ocupação das referidas áreas por empreendimentos potencialmente contaminantes como três cemitérios e 22 postos de combustíveis.

Palavras chaves: Vulnerabilidade, hidrodinâmica, aquíferos, litologias.

ABSTRACT

Dissertation of Master's Degree
Program of Master's Degree in Civil Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

VULNERABILITY INDEX EVALUATION OF GUARANI AQUIFER SYSTEM AT THE URBAN BOUNDARY ON SANT'ANA DO LIVRAMENTO CITY- RS.

Author: Luis Carlos Frantz

Advisor: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva

Date and Local of defense: Santa Maria, July, 1st of 2005

Groundwater is a natural resource of great importance for humanity, which abundance varies according to the local geology. In spite of its importance, it is also vulnerable to the contamination provoked by man himself. This study has as main objective to evaluate the vulnerability index of the Guarani Aquifer system in the urban perimeter of the city of Sant'Ana do Livramento, South Brazil. It was used data from 145 wells and three springs of that city classified in its majority by CPRM/1995, based on the GOD methodology developed by Foster and Hirata (1993) and Foster et al. (2003). From the 145 wells and three springs were obtained 15 samples that were later submitted to complete chemical analysis: 10 of the samples were obtained from a study performed by CPRM/1995, four from a study by the Laboratory of Industrial and Environmental Chemistry at UFSM (LAQIA) for the Guarani Aquifer Project, and one from hydrogeological field work, geological mapping of an area around 49km², measurements of static levels, water samples collecting and data bank of the head points of contamination. The results obtained will work as subsidies for an integrated management of the underground hydric resources for public and private managers. As final products were elaborated three maps of the studied area: a geological one, a slope classes and a map of the vulnerability index, in which variability degree was classified as vulnerability classes obtained described in the mentioned methodology. The map of the area was digitalized from topographical letters in the Spring 4.1 software, and later put upon by the cartogram of vulnerability obtained with Surfer 8 software, through the use of kriging interpolator to spatialize the static levels, the wells' depth, the flows, the electric conductivity and the vulnerability index, as well as the potentiometric surface. After this process, the cartograms were then re-edited in Corel Draw 11 software. As results were obtained the classification of the area in classes according to its vulnerability levels, whose most part of the area was inserted in the high and extreme classes. Those results are worrying due to the occupation of the referred areas by enterprises that are potentially pollutants, such as three cemeteries and 22 gas stations.

Keywords: Vulnerability, hydrodynamics, aquifers, lithologies.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Regiões Hidrográficas do Rio Grande do Sul.	22
FIGURA 2 - Províncias hidrogeológicas do Brasil (figura ilustrativa).....	23
FIGURA 3 - Ilustra a localização do Sistema Aquífero Guarani.	28
FIGURA 4 - Poço perfurado em aquífero com boa permeabilidade	48
FIGURA 5 - Poço perfurado em aquífero de baixa permeabilidade	48
FIGURA 6 - Localização da área de estudo.....	71
FIGURA 7 - Metodologia “GOD” para avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos.....	78
FIGURA 8 - Mapa geológico da área de estudo.....	88
FIGURA 9 - Espacialização dos valores dos níveis estáticos dos poços apresentados no Anexo 1.	90
FIGURA 10 – Mapa das vazões dos poços da área de estudo.....	92
FIGURA 11 - Superfície potenciométrica do aquífero conforme o Anexo 1.	94
FIGURA 12 - Ilustra a espacialização da condutividade elétrica das águas dos poços e nascentes, conforme Anexo 2.	96
FIGURA 13 – Mapa de vulnerabilidade natural da área de estudo	98
FIGURA 14 - Queimada ocorrida no Cerro Tabatinga.	101
FIGURA 15 - Mapa clinográfico da área de estudo, conforme classificação de De Biasi (1970).	103

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Descrição das porosidades de algumas formações comuns.....	21
QUADRO 2 - Classificação das declividades do terreno em classes.....	36
QUADRO 3 - Descrição dos 27 itens no Banco de Dados sobre os poços existentes no perímetro urbano de Sant'Ana do Livramento/RS no ano de 2005.	75
QUADRO 4 - Parâmetros químicos para a área de estudo.....	76
QUADRO 5 - Faixa de variação da vazão dos poços segundo as formações pertencentes.....	86
QUADRO 6 - Litologia da região e suas extensões em porcentagens e em Km ²	89
QUADRO 7 - Classes de declividades do relevo, conforme De Biasi (1970) e suas respectivas áreas em km ²	104
QUADRO 8 - Representa alguns dos pontos potenciais de contaminação do Município de Sant'Ana do Livramento.	106

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 01 – Banco de dados sobre o cadastro de poços no perímetro urbano de Sant’Ana do Livramento - RS	118
ANEXO 02 – Banco de dados sobre os resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados em 13 poços e nascentes.....	122

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE QUADROS	9
LISTA DE ANEXOS	10
SUMÁRIO.....	11
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO II	
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. Importância dos recursos hídricos	17
2.1.1. Situação atual do uso das águas subterrâneas	24
2.2. O Sistema Aquífero Guarani (SAG).....	27
2.2.1 Como ocorre a recarga nos aquíferos.....	31
2.2.2 Vulnerabilidade dos Aquíferos	37
2.3. Tipos de poços	40
2.4. Funcionamento de um poço	44
2.4.1. Equipamentos para exploração de água de poços	50
2.5. Legislação sobre as águas subterrâneas	52
2.6. Fontes de contaminação de um aquífero.....	60
2.7. Aspectos qualitativos das águas subterrâneas.....	61
2.7.1. Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas.....	61
CAPÍTULO III	
ÁREA DE ESTUDO.....	70
3.1. Localização da cidade	70

3.2. Generalidades e clima	72
CAPÍTULO IV	
METODOLOGIA.....	74
4.1. Passos para a execução da pesquisa	74
4.1.1. Elaboração de um banco de dados.....	74
4.1.2. Confecção do mapa da área de estudo	77
4.1.3. Identificação e localização das fontes e pontos potenciais de contaminação.....	78
4.1.4. Metodologia G.O.D.....	78
4.1.5. Coleta de água para análise química.....	81
4.1.6. Confecção de cartas	81
CAPÍTULO V	
APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	85
5.1. Quantitativos.....	86
5.2. Qualitativos.....	99
5.3. Declividades	101
CAPÍTULO VI	
CONCLUSÕES	108
CAPÍTULO VII	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

INTRODUÇÃO

As reservas de água doce, subterrânea ou superficial, constituem um componente essencial para a manutenção da vida na Terra e, sem dúvida, indispensável para todos os ecossistemas nela inseridos. A manutenção da vida no Planeta está ligada ao ciclo hidrológico, fenômeno composto pelas enchentes e secas que trazem em sua maioria conseqüências desastrosas para muitos povos.

O homem, por sua vez, vem interferindo nesse ciclo com toda a poluição atmosférica e dos mananciais superficiais e subterrâneos. Esta interferência poderá resultar em problemas graves para a humanidade como uma mudança climática global provocada pelo efeito estufa, fruto da emissão descontrolada de gases na atmosfera, em sua maioria pelas indústrias. Com o aquecimento do Planeta, inúmeras ilhas poderão desaparecer do mapa terrestre devido ao derretimento do gelo nos Pólos que irá elevar o nível do mar, bem como ameaçar áreas costeiras de baixa altitude.

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

No que se refere especificamente às águas subterrâneas, entendidas pelo Conselho Nacional dos Recursos Hídricos CNRH (2001) como as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo, as atividades já listadas, associadas a uma maior ou menor vulnerabilidade¹ dos mananciais subterrâneos, é determinante do maior ou menor risco de contaminação dos mesmos.

A contaminação das águas subterrâneas ocorre muitas vezes por uma localização inadequada de empreendimentos tais como cemitérios, postos de combustíveis, lavagens de carros, oficinas mecânicas dentre outras que são chamadas fontes pontuais de contaminação. Em contrapartida pode-se dizer que a contaminação é difusa quando ela ocorre ao longo de toda uma superfície e neste caso cita-se como exemplo aquela provocada pelo uso em demasia de fertilizantes químicos nas lavouras. Através de uso indiscriminado de adubos, o lençol freático de um manancial poderá ser contaminado pelos nitratos provenientes da lixiviação e infiltração desse adubo, o que poderá causar alteração de sua qualidade natural.

É fato que os aquíferos contaminados, são de difícil recuperação, e por isso, tomar os devidos cuidados na implantação de atividades potencialmente contaminantes ainda é o meio mais barato do que tentar recuperar aquíferos contaminados. Assim para os recursos hídricos, a preservação consiste em estabelecer programas claros e eficientes de proteção dos aquíferos, controlando as atividades humanas, planejando e ordenando a ocupação e o uso do solo (Hirata *et al.*, 1997).

A utilização das águas subterrâneas, no Brasil, ainda é feita de forma empírica, improvisada e não controlada resultando em problemas como: interferência entre poços, redução dos fluxos de base dos rios, impacto em áreas encharcadas e redução das descargas de fontes ou nascentes. E ainda, os poços construídos e abandonados se transformam em focos de poluição das águas subterrâneas, principalmente daqueles localizados no meio urbano (Pacheco e Rebouças, 1982).

Segundo o IBGE (1991), 61% da população brasileira abastece-se do manancial subterrâneo, por meio de poços profundos (43%), de poços rasos (6%) e de nascentes (12%).

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

Como a água é vital para todos os meios de vida, sua escassez e sua destruição gradual aliada ao agravamento da poluição dos recursos hídricos exigem um planejamento e um manejo integrado desses recursos. Pensando nisso procurou-se desenvolver este trabalho tendo como área de estudo a região de Sant'Ana do Livramento e o intuito de estudar com um pouco mais de atenção os riscos reais das águas do subsolo daquela região. Assim foi feito um cadastro dos poços da área urbana utilizando-se como base o trabalho pré-existente de Eckert e Caye (1995) realizado para a CPRM, no qual haviam sido cadastrados 119 poços.

Com a elaboração de um mapa de vulnerabilidade para o sítio urbano e com a demarcação das áreas vulneráveis poder-se-á manter uma oferta adequada de água de boa qualidade para toda a população, ao mesmo tempo em que serão preservadas as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas daquela região, adaptando-se às atividades humanas aos limites da capacidade da natureza. Tecnologias inovadoras, como o desenvolvimento de métodos de avaliação de índices de vulnerabilidade natural dos aquíferos, aliados ao aperfeiçoamento das “nativas” (construção de poços) são necessárias para conseguir-se um melhor aproveitamento dos recursos hídricos e protegê-los da poluição.

1.1. Objetivo geral

Elaborar o mapa de vulnerabilidade do perímetro urbano de Sant'Ana do Livramento tendo como base de dados principal o cadastro de poços da CPRM realizado por Eckert e Caye (1995).

1.2. Objetivos específicos

Atualizar um banco de dados dos recursos hídricos subterrâneos da área urbana;

Realizar um cadastro dos principais pontos potenciais de contaminação;

Aplicar a metodologia “GOD” desenvolvida por Foster & Hirata (1993) para elaborar o mapa de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas;

Espacializar os poços no mapa do perímetro urbano, utilizando o programa *SPRING 4.1*;

Elaborar mapas temáticos da área urbana;

Espacializar informações hidrodinâmicas georreferenciadas em SIG, buscando-se subsidiar planos de ocupação e uso dos solos e gestão das águas subterrâneas;

Apresentar e discutir aspectos de usos das águas subterrâneas e sua proteção.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância dos recursos hídricos

Uma das maiores vantagens de obter-se água do subsolo é o fato de que esta não precisa passar por onerosos custos de purificação como é o caso da água superficial. Em se tratando de água subterrânea o processo de tratamento é muito simplificado, bastando na maioria das vezes somente a adição de cloro e flúor para que esta esteja apropriada para o consumo humano (Portaria nº528/2004).

A água subterrânea é toda via mais difícil de estar contaminada do que a água superficial. Porém a proteção da água subterrânea está diretamente relacionada à atividade antrópica sobre ela localizada, além de depender também do tipo de aquífero² e do tipo de solo sobre ela encontrado.

A quantidade de água armazenada e a quantidade de água que esta rocha pode transmitir a um poço nela perfurado dependem do tipo de rocha em que este poço se encontra locado. Em outras palavras podemos ter uma rocha que tem um elevado grau de armazenamento, porém com uma pequena transmissividade³, que resultará na inviabilidade econômica de explorar este aquífero.

² Segundo Cederstrom (1964) quando a quantidade de água armazenada numa rocha for significativa a ponto de permitir sua extração econômica dá-se o nome desta de aquífero.

³ Transmissividade (T) – Segundo Todd (1980) é capacidade de um aquífero em transmitir água com a viscosidade cinemática predominante é referida como transmissividade. A transmissividade de um aquífero é igual ao produto da condutividade hidráulica e da espessura do aquífero em questão. Sua unidade mais usual é o m²/d.

A quantidade de armazenamento da água depende da quantidade de poros, vesículas e fraturas que esta rocha possui. Por outro lado, a transmissividade dessa água retida depende da interconectividade existente entre esses poros, vesículas e/ou fraturas. Quanto maior o grau de interconectividade, maior a chance de contar-se com um poço de boa vazão.

Outro parâmetro importante na hidrogeologia é o coeficiente de armazenamento (S), que é definido como o volume de água que um aquífero libera ou toma em armazenamento por unidade de área superficial do aquífero por unidade de variação em carga (Heath, 1983, p.28).

O coeficiente de armazenamento S se define como o volume de água que um aquífero libera ou incorpora ao armazenamento por unidade de superfície do aquífero e por unidade de mudança de carga. É igual ao volume de água que sai do aquífero quando o nível piezométrico diminui 1 metro. É um número adimensional (Mook, 2002, p.317).

O termo vazão é definido como sendo o volume fluído que passa, na unidade de tempo, através de uma superfície, como exemplo, a seção transversal de um curso d'água (DNAEE, 1976). A unidade de vazão, utilizada no Sistema Internacional (SI) é o metro cúbico por hora (m³/h).

Para Mook (2002) o volume relativo de poros de uma rocha é a porosidade total. Para o mesmo autor porosidade total é o quociente entre o volume dos poros preenchidos por gás e por líquido e o volume total da rocha, como descrita a seguir:

$$\eta = \frac{V_v}{V_t} \dots\dots\dots (1)$$

onde:

V_v = Volume de vazios;

V_t = Volume total da amostra.

Segundo Todd (1959), aquíferos são rochas ou solos saturados de água e permeáveis, isto é, que permitem o fluxo de água. É uma estrutura que apresenta suficiente capacidade de armazenamento e circulação da água subterrânea para ser explorada em poços.

Rebouças (1999) comenta que os aquíferos são corpos rochosos com características relativamente favoráveis a circulação e armazenamento de água subterrânea, podem variar em extensões de alguns km² até milhões de km², ter espessuras variadas. Estes podem ocorrer na superfície ou encontrar-se em profundidade, podem estar encerrados em camadas relativamente pouco

permeáveis, ter porosidade, permeabilidade⁴, intergranular ou fraturas, podem fornecer água de excelente qualidade para o consumo ou ter águas relativamente salinizadas.

Silvério da Silva, Maziero e Santos (2004), classificaram os aquíferos de acordo com a geologia do material saturado em porosos, fissurais e cársticos.

1) Aquífero Poroso ou Granular: é aquele composto de rochas sedimentares clásticas ou terrígenas (arenito, siltito, argilito). Como exemplo cita-se a Formação Botucatu, composta por arenitos médios a finos, bem selecionados, com mais de 98% de areias, formadas num paleoambiente eólico.

A Formação Rosário do Sul, formada em Paleoambiente flúvio-eólico é constituída por arenitos com um grau de argilosidade variável, que lhe confere características de aquitardo, mas localmente pode apresentar aquíferos contínuos e vazões de poços tubulares variáveis.

Outro sedimento que resulta em aquíferos porosos são os Aluviões Cenozóicos. Informa-se que na região em estudo de acordo com o mapa geológico elaborado, somente aparecem poços perfurados em aquíferos porosos pertencentes às Formações Botucatu e Rosário do Sul.

Uma particularidade deste tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existentes. São os aquíferos mais explorados pelo grande volume de água que pode ser retirada de poços nele perfurados.

Como já mencionado esse aquífero pode ser classificado em função das condições de pressão a que se encontra submetida à água neles armazenados. Classificam-se em livres, semi-confinados e confinados.

2) Aquífero Cristalino ou Fissural: é aquele composto por rochas cristalinas ígneas, metamórficas ou sedimentares silicificadas, constituído por granitos e/ou rochas metamórficas (xistos e gnaisses). Também no Planalto da Serra Geral, compostos por seqüências de derrames vulcânicos (de composição ácida ou básica). Esse tipo de aquífero também aparece na região em estudo, porém em menor ocorrência.

⁴ Para Mook (2002, p.317) permeabilidade (K) é a capacidade da rocha ou do terreno em transmitir água ou outros fluidos.

Neste tipo de aquífero a permeabilidade é dita como secundária⁵, resultante de fraturamentos da rocha. A capacidade dessas rochas de acumular água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicações.

3) **Aquífero Cárstico:** estão associados à dissolução de calcários, formando cavernas e rios subterrâneos, ou a arenitos cimentados por carbonato de cálcio.

Do ponto de vista prático, permeabilidade é a capacidade de um solo ou rocha de permitir a circulação de um fluido qualquer pelos seus vazios e interstícios. A permeabilidade é tanto mais elevada quanto maiores forem os poros ou fendas comunicáveis entre si, como encontramos no cascalho, sendo praticamente nula em rochas de poros finos.

Assim, pode-se tomar como exemplo as argilas que de um modo geral possuem uma porosidade elevada, isto é, podem absorver muita água, mas em contrapartida apresenta uma permeabilidade muito diminuta, que não permite a circulação da água pelo fato de esta ficar retida nos interstícios microscópicos por forças capilares e por forças de adsorção. Este aquífero é um exemplo de aquíclode.

A condutividade Hidráulica, também chamada de coeficiente de permeabilidade (K) é a facilidade com que uma litologia permite a percolação de fluido sob um gradiente potencial. Fisicamente, é a vazão através de uma área unitária em função de um gradiente hidráulico unitário, na unidade de tempo, em meio saturado; depende do meio e do fluido que o percola. Sua unidade no SI é cm/s. (<http://www.abas.org.br>).

Formações com partículas bem classificadas apresentam uma porosidade maior do que aquela que apresenta partículas mal classificadas, pois nessas as partículas pequenas enchem os espaços entre as partículas maiores (Cederstrom, 1964, p.13).

O mesmo autor apresenta uma descrição das Formações comuns e suas respectivas porosidades, descritas no Quadro 1.

⁵ Entende-se por porosidade secundária quando a água acumulada encontra-se nas vesículas, fraturas e amígdalas do aquífero.

Materiais	Porosidades (%)
Cascalho e areia	> 15
Cascalho limpo	25 a 45
Areia limpa	25 a 45
Silte e argila, como depositado	40 a 90
Silte e argila, depois de compactação	20 a 40
Arenito	4 a 30
Folhelho	3 a 20
Calcário	1 a 15
Gnaisse intemperizado	5 a 55

Quadro 1 - Descrição das porosidades de algumas formações comuns.

Fonte: Cederstrom (1964)

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

O mesmo conselho salienta que, no Brasil, em função de seu complexo quadro geológico, litológico, tectônico e estrutural, pode-se identificar 10 províncias hidrogeológicas. Províncias hidrogeológicas são entendidas por Rebouças (1999) como domínios hidrogeológicos onde as condições de estocagem (porosidade), de fluxo (permeabilidade) e de recarga natural (infiltração das chuvas) são relativamente similares.

No Rio Grande do Sul, a SEMA (2005), propôs a divisão do Estado em três Regiões Hidrográficas (U = Uruguai, G = Guaíba e L = Litorânea), as quais foram subdivididas em bacias hidrográficas, totalizando, até o presente momento, 25 unidades.

A Figura 1, ilustrada a seguir, mostra as três regiões hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul além das 25 bacias hidrográficas. O município de Sant’Ana do Livramento pertence a três bacias hidrográficas a U-70, a U-60 e a U-50, porém a região em estudo, ou seja, o perímetro urbano daquela cidade pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (U-70), de acordo com a classificação da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA/2005).

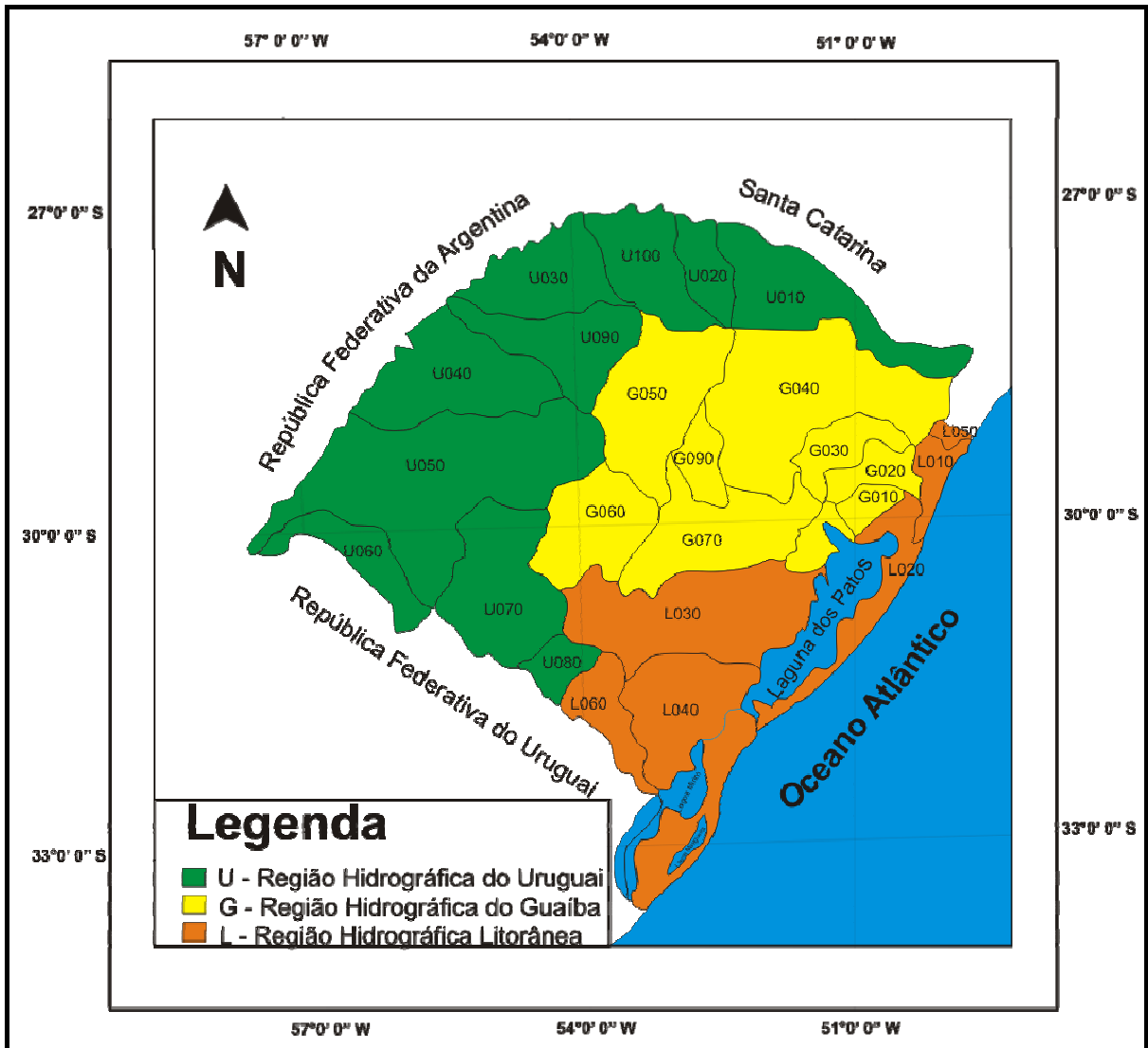


Figura 1 - Regiões Hidrográficas do Rio Grande do Sul.
 Fonte: SEMA/2005. Adaptado por FRANTZ, L.C.

A Figura 2 ilustra as 10 Províncias Hidrogeológicas do Brasil. O Município de Sant'Ana do Livramento situa-se na Província Hidrogeológica do Paraná.



Figura 2 - Províncias hidrogeológicas do Brasil (figura ilustrativa).
 Fonte: DNPM/CPRM (1983) citado por Rebouças (2002, p.41)

Comparando-se as Figuras 1 e 2 pode-se perceber que as Províncias Hidrogeológicas (águas subterrâneas) não são coincidentes com as Bacias Hidrográficas⁶ (águas superficiais).

Rebouças (2002) salienta que as águas subterrâneas têm, regra geral, três origens principais, quais sejam, meteórica, conata e juvenil.

Para o mesmo autor a água meteórica corresponde às águas subterrâneas que são naturalmente recarregadas pela infiltração da parcela das que caem da atmosfera – chuva, neblina e neve, principalmente nos continentes, em geral, e numa bacia hidrográfica, em particular. Para o mesmo autor esta perfaz um total de 10 milhões de Km³ e ocorre, regra geral, até a profundidade de 1000 metros, movimentando-se lentamente (cm/dia) através do solo/subsolo, podendo desaguar em corpos d'água em períodos de estiagem ou sem chuva.

As águas conatas, segundo Rebouças (op. cit.) são “aquelas retidas nos sedimentos, desde a formação dos referidos depósitos, ou foram recarregadas em

⁶ Definida por Tucci (1993, p. 40) como “uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no exutório”.

períodos climáticos favoráveis, a exemplo do que ocorre no *High Plains e Great Plains* (USA) cuja última fase de recarga mais abundante parece ter ocorrido durante o último período glacial”.

Para o mesmo autor (op. cit) águas de origem juvenil, por sua vez, são aquelas “geradas pelos processos de formação das rochas graníticas magmáticas, principalmente”. O mesmo autor citando Berner e Berner (1987) comenta que esta é estimada em 0,3 Km³ por ano. Salaria que desta forma, a mesma é quase insignificante se comparada aos volumes de água meteórica.

Ter clareza sobre os conceitos acima descritos implica e suas aplicações práticas em saber-se um pouco mais sobre a importância das águas subterrâneas e conhecer o porque de que alguns poços são mais produtivos do que outros. Estudar a vulnerabilidade das áreas donde retira-se a água que iremos ingerir é importante na medida em que podemos protegê-las e restringi-las quanto á ocupação e uso dos solos que poderão vir a afetar sua qualidade como nos casos citados; lixões, cemitérios, distritos industriais, bem como todos os empreendimentos que utilizem recursos ambientais⁷.

Outra medida importante a tomar a partir da construção de um mapa de vulnerabilidade é monitorar as áreas nas quais não se retira água, pois estas poderão ser áreas de recarga do aquífero. Ainda se ressalta a importância de tais áreas devido ao perigo da contaminação dos aquíferos através delas, uma vez que a contaminação das águas subterrâneas ocorre através de usos na superfície do terreno e que durante a infiltração em solos ou rochas pode afetar a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos.

2.1.1. Situação atual do uso das águas subterrâneas

A utilização das águas subterrâneas tem crescido de forma significativa nos últimos tempos em todo país. Em regiões semi-áridas como é o caso da maior parte do nordeste brasileiro estão sendo perfurados poços tubulares profundos que não

⁷ Segundo Batalha (1986), Recursos ambientais são recursos naturais constituídos pela atmosfera, águas interiores, superficiais e subterrâneas, estuários, mar territorial, solo, subsolo, elementos da biosfera, como fauna e flora, bem como os recursos contidos nos locais de lazer, de interesse paisagístico, histórico ou turístico.

somente fornecem água a população, mas também para a irrigação das lavouras quase que sempre cultivadas por frutas.

A exploração da água subterrânea está condicionada a três fatores: **quantidade** (depende da condutividade hidráulica e do coeficiente de armazenamento dos materiais); **qualidade** (depende da composição de rochas, das condições climáticas e da renovação das águas); **econômico** (depende da profundidade do aquífero e das condições de bombeamento). Fonte: <http://www.ambientebrasil.com.br>.

Santos (1999) cita algumas vantagens da utilização das águas subterrâneas, dentre as quais se destacam as seguintes:

- 1) A captação apresenta baixos custos se comparados com os das águas superficiais por exigir menos construções;
- 2) Maior facilidade de exploração, podendo-se ter sua prospecção mais popularizada;
- 3) Menor impacto ambiental, desde que os poços sejam feitos com a devida outorga da autoridade administrativa, seguindo-se corretamente todos os trâmites técnicos exigidos;
- 4) Apresentam bom nível de potabilidade, ou seja, é de boa qualidade para o consumo humano;
- 5) As águas subterrâneas por estarem em locais sem contato direto com as nossas atividades são mais protegidas dos agentes poluidores;

O uso da água subterrânea ao invés da água superficial implica numa economia no custo no tratamento da água consumida, além da menor probabilidade de contaminação dessa água subterrânea.

De um modo geral, há um acréscimo contínuo do número de empresas privadas e órgãos públicos com atuação na pesquisa e captação de recursos hídricos subterrâneos. Mais que uma reserva de água, as águas subterrâneas devem ser consideradas como um meio de acelerar o desenvolvimento econômico e social de regiões extremamente carentes, e de todo o Brasil.

No caso do Estado do Rio Grande do Sul a maioria dos pequenos municípios usa água subterrânea para o abastecimento de sua população, cita-se, por exemplo, em várias áreas de afloramentos do Sistema Aquífero Guarani (SAG); São Pedro do Sul, Mata, Cacequi e Quaraí. Sant'Ana do Livramento é um dos poucos municípios que têm mais de 90.000 habitantes e que usa exclusivamente este recurso. A

utilização dessa água ocorre devido aos baixos custos no tratamento além de depender também da litologia sobre qual a cidade se encontra edificada.

No caso de Sant'Ana do Livramento, diz-se que esta cidade está localizada de forma privilegiada sobre os afloramentos do SAG, cuja litologia composta basicamente de arenitos eólicos pertencentes à Formação Botucatu, além de arenitos de origem fluvial em menor ocorrência da Formação Rosário do Sul. A Formação Botucatu é composta por areias de tamanho médio (0,50 - 0,250 mm) a Fino (0,250 - 0,125 mm) bem homogêneo, e praticamente desprovida de material argiloso de enchimento de vazios, o que faz dessa rocha um bom aquífero com elevada porosidade e permeabilidade, resultando em poços com significativas vazões. De acordo com Araújo *et al.* (1999) apresenta uma porosidade entre 18 a 35%.

No Estado de São Paulo o município de Ribeirão Preto com uma população de 560.000 habitantes utiliza somente os recursos subterrâneos do SAG para seu abastecimento.

Silvério da Silva *et al.* (2005) comentam que as cidades de Rivera e Artigas, ambas pertencentes à República Federativa do Uruguai e respectivamente com cerca de 63.000 e 40.000 habitantes, utilizam 70% de água subterrânea para o abastecimento público proveniente do SAG e os demais 30 % de água superficial. No caso de Artigas esta água superficial é retirada do Rio Quaraí enquanto que no caso de Rivera esta água é retirada da Represa da *Obras Sanitarias del Estado* (OSE).

Os arenitos de origem fluvio-eólicos, pertencentes à Formação Rosário do Sul são compostos por areias de diversos tamanhos e os grãos são de forma irregular envolvidos por argilas (material de enchimento) ou com lentes argilosos. Como a água em comparação com o vento é um agente selecionador de pior qualidade, ocorre que no arenito por ela originado tenha uma porosidade diminuta, devido ao tipo de material de enchimento que neste caso é a argila. Por esta razão podem ser responsáveis por poços dotados de reduzidas vazões sobre ela perfurada.

Na região em estudo ainda ocorrem sedimentos inconsolidados pertencentes aos Aluviões Cenozóicos, formando depósitos aluviais ao longo dos cursos de água que seccionam afloramentos de rochas arenosas retrabalhando estes materiais, constituindo-se de materiais de tamanho areia, cascalho e silto-argiloso, com conteúdos variáveis de matéria orgânica, devido a ocorrência nestes depósitos de

nível freático elevado. Salienta-se que no Estado do Rio Grande do Sul estes depósitos de planície aluvial são utilizados no cultivo de arroz irrigado.

De acordo com Presotto et al. (1973), estes sedimentos apresentam espessuras em torno de 10 a 30m, atingindo excepcionalmente 50m. Em Sant'Ana do Livramento ocorrem no Arroio Carolina e na cidade vizinha Rivera no Arroio Cuñapiru.

Devido à distribuição desigual de águas superficiais agravada pelas secas que ocorrem no Brasil como no Polígono das secas no Nordeste, a exploração de águas subterrâneas tem aumentado de forma gradativa. Inúmeros são os núcleos urbanos abastecidos, além de propriedades rurais, escolas, hospitais entre outros estabelecimentos que utilizam a água subterrânea como economia e às vezes por necessidade.

No nordeste brasileiro a evapotranspiração é muito elevada. Assim, não é uma boa solução a construção de açudes para a irrigação e o abastecimento da população. Assim, não é por acaso que nos Estados de Piauí e Maranhão mais de 80% da água consumida é de origem subterrânea.

Estima-se que no Brasil existam mais de 200.000 poços tubulares em atividade cuja água destinada aos mais variados usos. Destes a maior parte do volume de água é utilizada para o abastecimento público. Os estados com maior número de poços são: São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul, Ceará e Piauí (fonte: <http://www.ambientebrasil.com.br>).

2.2. O Sistema Aqüífero Guarani (SAG)

Segundo Wrege (2003), Sistema Aqüífero é o domínio aqüífero contínuo; ou seja, as partes estão contidas por limites (finito) e estão ligadas hidraulicamente (dinâmico).

O SAG é um dos maiores mananciais de água doce subterrâneo transfronteiriço do mundo. Está localizado na região Centro-Leste da América do Sul, entre 12° e 35° de latitude Sul e entre 47° e 65° de longitude Oeste e ocupa uma área de 1,2 milhões de km², estendendo-se pelo Brasil (840.000 km²), Paraguai (71.700 km²), Uruguai (58.500 km²) e Argentina (255.000 km²). Em território brasileiro a ocorrência é de 2/3 da área total, ocorrendo em parte de oito Estados:

Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Araújo *et al.*, 1999).

A Figura 3 ilustra a localização do Sistema Aquífero Guarani e a localização da área de estudo.

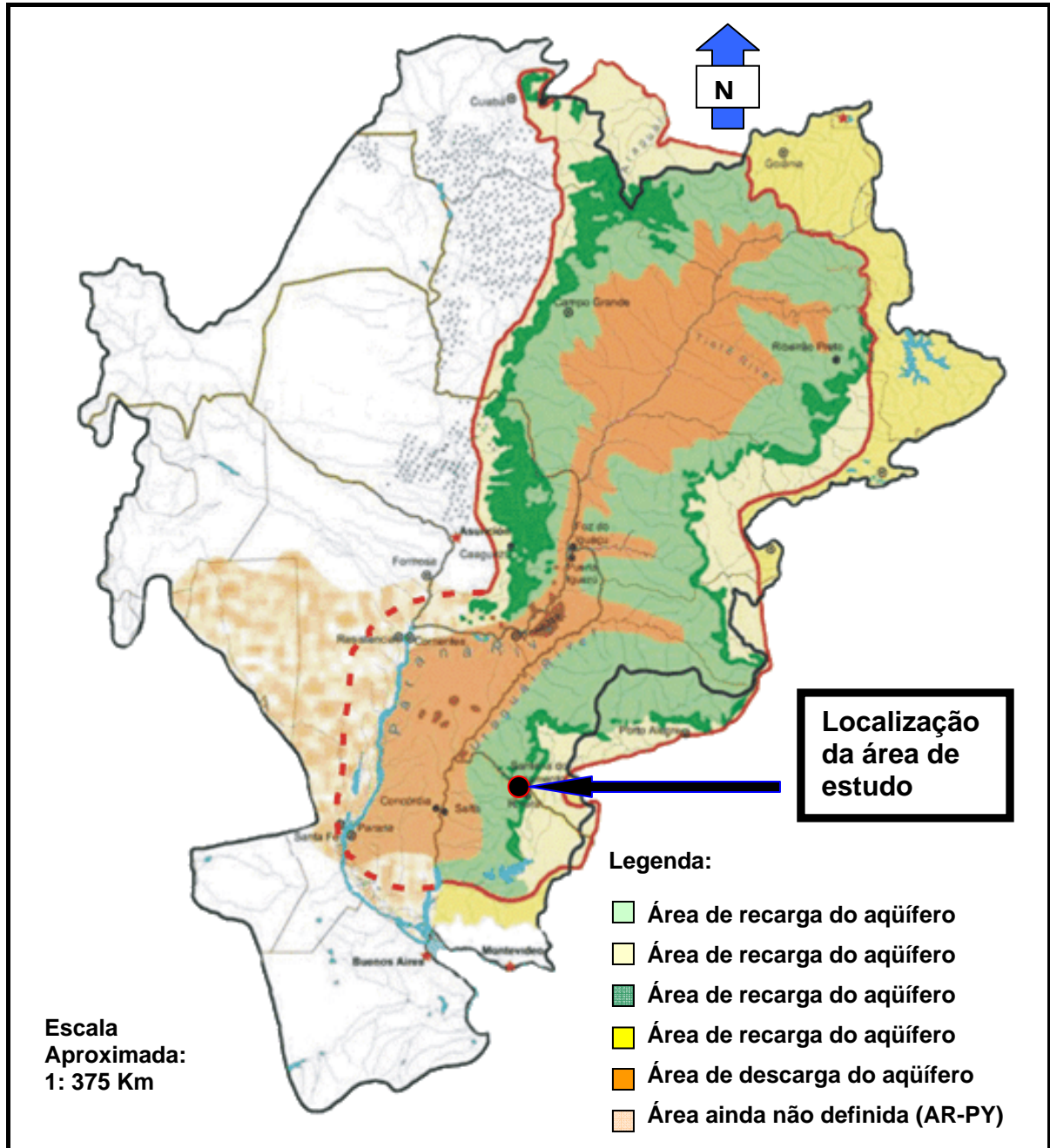


Figura 3 - Ilustra a localização do Sistema Aquífero Guarani.
Fonte: <http://www.sg-guarani.org>.

Salienta-se que na Figura 3, as linhas contínuas em vermelho e em preto representam, respectivamente, os limites da bacia sedimentar do rio Paraná e da bacia hidrográfica do Rio da Prata, enquanto que a linha em vermelho e tracejada,

representa os limites ainda indefinidos do aquífero em parte do território do Paraguai (PY) e da Argentina (AR).

Quanto a sua profundidade, através de perfurações em busca de petróleo, descobriu-se que em algumas regiões, este está a uma profundidade superior a 1000 metros onde a água pode atingir a essa profundidade temperaturas superiores a 50 graus Celsius, sendo muito útil em alguns processos industriais, hospitais, no combate à geada e para fins de recreação e lazer.

Salienta-se que no Brasil há poços no SAG, executados pela Petrobrás em busca de petróleo com profundidades de 4454,75m em Campo Mourão e 3955,5m em Presidente Epitácio, respectivamente nos Estados do Paraná e São Paulo.

Segundo Silvério da Silva et al., (2005) no Uruguai, a *Administracion Nacional de Combustibles Alcohol y Portland* (ANCAP) perfurou o Poço *Marañon* com 1878m de profundidade com o mesmo objetivo. Destaca-se que o poço uruguaio é jorrante, condição extinta no recente período de seca ocorrido na região, tendo servido até então para abastecimento público na cidade de Artigas em 2005.

Sua geologia é composta de várias rochas sedimentares, sendo que a mais importante é o arenito Botucatu, de idade triássico superior a jurássico inferior (190 milhões de anos atrás). Devido ao depósito deste arenito em ambiente desértico, faz dele um ótimo reservatório de água, constituído por grãos sedimentares de grande homogeneidade, havendo pouco material fino (matriz) entre os mesmos. Isto confere a este arenito alta porosidade e alta permeabilidade (<http://www.sg-guarani.gov>).

Segundo Chang (2001) o SAG apresenta gradientes geotérmicos, variando entre 10 e 40 °C/km, reportados para a Bacia do Paraná, permitem à primeira vista inferir que reservatórios do SAG, se localizados nas regiões de alto gradiente sejam fontes potenciais de energia geotérmica.

O mesmo autor comenta que temperaturas registradas em diversos poços profundos, na faixa de 1500 m, revelaram valores entre 50 e 70 °C.

Zimbres (2003) ressalta a importância do potencial geotérmico do aquífero, cuja água devido ao gradiente geotérmico pode atingir temperaturas de até 60 °C a uma profundidade superior aos 1000 metros, tendo uma considerável utilidade nos hospitais, nas indústrias, no lazer e na recreação.

Béltran (1998 *apud* RIBERA, 2004) comenta que na maioria das zonas da crosta terrestre é possível detectar tais gradientes geotérmicos. Sua magnitude está relacionada diretamente com a profundidade, com o aumento da ordem de 1 °C a cada 33 metros (gradiente médio de 0,03°C/m, com uma variação entre 0,02 e 0,05°C/m).

O mesmo autor comenta que existem também outras zonas da Terra com gradientes “anômalos” ou seja, distantes de tal valor.

Segundo Rebouças et al., (2002, *apud* BORGHETTI, BORGHETTI e ROSA FILHO, 2004, p.172) as águas quentes do SAG são usadas na fermentação da cevada para a produção de cerveja, pois segundo o autor águas com temperaturas de 40°C podem reduzir o custo na produção.

Rosa Filho et al. (2000, *apud* BORGHETTI, BORGHETTI e ROSA FILHO, 2004, p.172) afirmam que as águas quentes do Guarani podem ser usadas na secagem de madeira, uma vez que suas águas aquecidas servem para regular a temperatura do ar e a umidade relativa das estufas de madeiras, com o objetivo de aumentar a resistência contra a ação dos fungos e insetos.

Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2004) ainda destacam a utilização das águas do Guarani para a climatização de chocadeiras e aviários, uma vez que segundo os autores a temperatura requerida nestes processos oscila entre 37 a 65°C.

Outro exemplo de utilização das águas do SAG, citado por Rosa Filho et al. (2000, *apud* BORGHETTI, BORGHETTI e ROSA FILHO, 2004) é na secagem e desidratação de vegetais e frutas, pois tais processos requerem temperaturas elevadas. Diversos produtos, tais como vegetais e frutas, são factíveis de serem desidratados mediante o uso de cintas transportadoras e secadoras que geram temperaturas de ar de 40 a 100°C. A secagem geotermal de alfafa, cebolas, pêras, maçãs e algas são exemplos desse tipo de uso direto.

Quando o assunto é contaminação pode-se dizer que no caso do Sistema Aqüífero Guarani há uma preocupação por parte das autoridades e por entidades não governamentais, devido à coincidência de áreas de recarga com importantes áreas agrícolas brasileiras. Nestas regiões o uso intenso de herbicidas e inseticidas no combate a pragas e doenças das plantações aliado, ao uso de adubos químicos nas mesmas, cujo uso poderá acarretar um aumento da concentração de nitratos na água. Deste modo há uma urgência na tomada de medidas de controle de seu uso.

Outro ponto potencial de contaminação do SAG pode ser através dos poços abandonados, os quais são usados na maioria das vezes por seus proprietários para depósitos de entulhos. Não é um fato raro deparar-se com um poço abandonado preenchido por lixo de tudo que é tipo, pois ao passar a rede pública pela rua, muitos moradores abandonam o poço e fazem do mesmo um verdadeiro lixão “invisível”. Fato constatado em trabalho de campo em conversa com moradores.

Verifica-se que nas vizinhanças da região em estudo é comum o cultivo de arroz irrigado nas áreas de planícies aluviais, onde são utilizados diversos tipos de agroquímicos que poderão contaminar o aquífero. Nas proximidades dessas lavouras há diversas áreas cultivadas por eucaliptos, cuja madeira é utilizada como fonte de energia, no inverno, no aquecimento de caldeiras em hotéis e residências.

O uso da madeira no aquecimento da água utilizada em cozinhas e banheiros representa uma solução ecologicamente correta, por se tratar de um recurso renovável e de uma espécie de crescimento rápido. Porém, sabe-se que por se tratar de uma planta que requer elevado consumo de água, pode alterar as condições do lençol freático superficial. Observou-se ausência de vegetação ciliar e de queimadas em encostas de morros.

2.2.1 Como ocorre a recarga nos aquíferos

A recarga dos aquíferos é um processo natural ou artificial pelo qual se adiciona água à zona de saturação de um aquífero, seja diretamente na formação ou indiretamente, por intermédio de outra formação ou pela intervenção humana.

O processo natural ocorre graças a um fenômeno chamado de Ciclo Hidrológico. O Ciclo Hidrológico é definido como sendo o movimento das águas entre os continentes, oceanos e a atmosfera.

O ciclo hidrológico tem uma aplicação prática no estudo de recursos hídricos que visa avaliar e monitorar a quantidade de água disponível na superfície da Terra. A unidade geográfica para esses estudos, denomina-se bacia hidrográfica.

Segundo Naghettini (2005), bacia hidrográfica é uma unidade fisiográfica, limitada por divisores topográficos, que recolhe a precipitação, age como um reservatório de água e sedimentos, defluindo-os em uma seção fluvial única, denominada exutório. Os divisores topográficos ou divisores de água são as cristas das elevações do terreno que separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes.

Para Tucci (1993), a bacia hidrográfica pode ser considerada um meio físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e os transpirados e também os infiltrados profundamente.

A parcela da chuva que precipita sobre a área da bacia e que irá transformar-se em escoamento superficial, chamada precipitação efetiva, escoar a partir das maiores elevações do terreno da bacia, formando enxurradas em direção aos vales. Esses, por sua vez, concentram esse escoamento em córregos e riachos os quais confluem e formam o rio principal da bacia.

Segundo Naghettini (2005), o volume de água que passa pelo exutório na unidade de tempo é a vazão ou descarga da bacia.

O vapor da água proveniente da evaporação das águas dos oceanos, mares, rios e das águas das chuvas se transforma em nuvens na atmosfera e precipita na forma de chuva, neve ou granizo, dependendo das condições do clima. Essa transformação se chama de precipitação e ocorre sobre a superfície do planeta, tanto nos continentes como nos oceanos.

Nos continentes, uma parte das precipitações é devolvida para a atmosfera, graças à evaporação, outra parte acaba desaguando nos oceanos depois de escoar pelos rios. Portanto os oceanos recebem água de duas fontes: das precipitações e do desaguamento dos rios, e perdem pela evaporação. Na atmosfera, o excesso de vapor sobre os oceanos é transportado para os continentes, em sentido inverso ao desaguamento.

Os oceanos evaporam mais água que recebem pela precipitação, mas a água do mar não pode ser utilizada para consumo ou irrigação por ser salgada. A precipitação varia espacialmente na superfície terrestre e é alta nas zonas equatorial e temperada, e baixa, nas zonas subtropicais e polares.

Nos continentes, os locais onde a precipitação é abundante estão as florestas e onde há escassez de precipitação, estão os desertos. Na "contabilidade global", chove mais nos continentes do que nos oceanos, e os oceanos evaporam mais que os continentes.

Através da evaporação e da transpiração, o vapor d'água fica disponível na superfície. Uma parte deste vapor "sobe", indo para níveis mais altos da atmosfera, ficando concentrado em sua maioria nos primeiros 2 km da troposfera. Nos continentes, a precipitação é maior que a evaporação e, por isso são conhecidos como sumidouros de vapor da atmosfera. Os oceanos evaporam mais água do que recebem pela precipitação e por esse motivo são as fontes de vapor para a atmosfera.

Quando o vapor de água for submetido a baixas temperaturas ele passa para a forma líquida, assim é que nascem as nuvens. As gotículas de água formam-se quando o vapor condensa sobre a superfície de partículas muito pequenas. Após um certo tempo as gotículas tornam-se grandes. As gotículas maiores, tendo maior velocidade de queda em relação às outras, colidem com as menores que estão em seu caminho crescendo até atingir o tamanho de gotas. Este processo é o qual chama-se de coalescência. Ao deixar a base da nuvem, essas gotas são chamadas de gotas de chuva e iniciam sua queda em direção à superfície do terreno (INPE, 2004).

Os cristais de gelo formam-se, quando o vapor sublima diretamente na superfície de partículas muito pequenas. Os cristais de gelo crescem, inicialmente, por deposição do vapor à sua superfície, formando as partículas de gelo em baixas temperaturas.

As partículas de gelo podem colidir com as gotículas super-resfriadas, crescendo e formando granizo de diferentes tamanhos desde 1 mm até 10 cm, ou podem crescer colidindo e se agregando umas às outras, formando os flocos de neve.

Quando o granizo e os flocos de neve se tornam suficientemente grandes, eles saem da base da nuvem e iniciam sua queda rumo à superfície. Durante a queda, ocorre a fusão da neve e do granizo. Quando a fusão não consegue derreter toda neve e todo gelo, ocorre a precipitação sólida de neve ou granizo. Caso contrário à neve e o granizo se transformam em gotas de chuva.

Caindo sobre uma superfície coberta com vegetação, parte da chuva fica retida nas folhas. Esse fenômeno é chamado de interceptação. Quando as folhas não são mais capazes de armazenar água, continuando a chuva, ocorre o gotejamento.

Ao chegar no solo ocorrem dois processos: a infiltração onde a água penetra no solo e o escoamento superficial onde a água escorre pela superfície do solo. A este fenômeno chama-se de enxurrada, quando ocorrem precipitações contínuas.

A água retida pelas folhas das plantas evapora, voltando a forma de vapor. Já no solo uma parte da água também evapora, mas outra parte é absorvida pelas raízes das plantas.

O rio recebe água pelo escoamento superficial e pelo escoamento subterrâneo e perde pela evaporação. O escoamento subterrâneo é aquele cuja água que infiltra e não é absorvida pelas raízes da planta circula pelos poros e pelas fendas das

rochas e o solo. Assim pode-se deparar com dois casos: quando o rio alimenta o aquífero, ou seja, quando o fluxo subterrâneo ocorre do rio para o maciço. Quando isso acontece chama-se esse rio de rio influente. Também poderá ocorrer o contrário, ou seja, do fluxo subterrâneo partir do aquífero em direção do rio, nesse caso diz-se que o aquífero é responsável pela perenidade do rio conferindo-lhe o nome de rio efluente (Feitosa e Manoel Filho, 1997, p.70).

Segundo Mook (2002) a descarga subterrânea ocorre normalmente pela drenagem subterrânea até os rios. A água se armazena durante os períodos de grande recarga. Isto produz um aumento do nível freático e um incremento no gradiente hidráulico, de modo que aumenta a descarga.

O mesmo autor comenta ainda que nos períodos secos ocorre o processo inverso: como a descarga excede a recarga ocorre liberação de água subterrânea que estava armazenada. Conseqüentemente o nível freático desce, a descarga diminui e pára quando a superfície freática no divisor de águas tiver alcançado o nível do canal mais profundo e o gradiente hidráulico for zero.

A porosidade de um solo é diretamente proporcional ao volume de água nele armazenado, ou seja, quanto maior sua porosidade, maior o volume de água nele armazenado. Contudo vale a pena lembrar que um solo de elevada porosidade nem sempre é rico em água, pois essa condição depende de um outro fator: da quantidade de chuvas neste local ou de recarga subterrânea.

Existem diversas fórmulas para avaliar-se a quantidade de água que infiltra diretamente nos aquíferos a partir da chuva. De acordo com Gregoraushuk (2001) existe um certo consenso entre pesquisadores em relação à estimativa de que 1 a 3% do total de chuvas anuais infiltram nos aquíferos profundos.

Exemplificando-se para a área de Sant'Ana do Livramento estima-se que devem infiltrar de 14 a 42 mm anuais, devido a sua precipitação média anual ser da ordem de 1400 mm, conforme já citado. Já Hausman (1995), sugere que a infiltração anual para a área estudada varia entre 50 e 100 mm, de acordo com as chuvas da região.

Em se tratando da extração dessa água depende-se de outra grandeza importante: a permeabilidade, propriedade que nos indica o volume de água que o aquífero nos poderá fornecer. Quanto maior a permeabilidade de um maciço, maior o volume de água que ele cede.

Conforme as condições de ocorrência da água subterrânea, têm-se dois tipos principais de aquíferos: os confinados e os não-confinados.

Nos aquíferos confinados, a água está sob pressão. Ou seja, se perfurando um poço neste tipo de aquífero, o nível d'água fica acima do topo do aquífero. Eventualmente, o nível de água desses poços poderá estar acima da cota topográfica do terreno e, nesse caso o poço é chamado de artesiano jorrante ou nascente.

Segundo HEATH (1983), aquífero confinado é aquele em que a água completamente preenche o aquífero que está sobreposto por uma camada confinante, a água no aquífero é dita estar confinada. Esta camada impermeável pode ser uma camada argilosa.

O mesmo autor define o termo camada confinante como sendo uma unidade de rocha que tenha condutividade hidráulica muito baixa que restrinja o movimento da água subterrânea tanto para como de aquíferos adjacentes.

Poços perfurados em aquíferos confinados são chamados de artesianos e às vezes podem ser surgentes ou jorrantes dependendo do grau de confinamento.

Nos aquíferos não-confinados também chamados de livres ou freáticos a água neles contida encontra-se sob pressão atmosférica e seu nível estático coincide, indica a posição da superfície freática no aquífero que os cerca, pois estes estão em contato direto com a atmosfera. Assim sendo, são os mais explorados pela população, porém são os mais vulneráveis a todo e qualquer tipo de contaminação. Como exemplo de aquíferos livres citam-se os sedimentos arenosos e as rochas sedimentares porosas (fonte: <http://www.meioambiente.pro.br>).

Vale a pena ressaltar que os aquíferos livres são constantes áreas de recarga, razão pela qual necessitam de um manejo adequado bem como a elaboração de um código de obras urbano com restrições para sua ocupação. A constante expansão urbana implica na substituição da vegetação nativa por casas, edifícios, indústrias e ruas.

De acordo com Bunting (1971, apud ROCHA, 2000, p.251), a intensidade das precipitações constitui o principal fator da água no solo, sendo a taxa de penetração inversamente proporcional a essa intensidade. Quanto maior a intensidade das chuvas, maior a chance de haver escoamento superficial.

Outro fator que influencia a infiltração e o escoamento superficial é a cobertura vegetal. Em terrenos desnudos a taxa de infiltração é reduzida e o escoamento

superficial aumenta, podendo ocorrer erosão. Tal fato foi verificado em Sant'Ana do Livramento no Cerro da Tabatinga, o qual teve sua vegetação parcialmente destruída pelo fogo, ficando restrita a uma dessas encostas.

O desmatamento e as queimadas favorecem a erosão e modificam o ciclo hidrológico, pois aumentam o escoamento superficial e podem reduzir a recarga subterrânea.

De acordo com Rocha (2000), áreas com cobertura florestal podem infiltrar até 150 mm/hora de chuvas pesadas, enquanto que numa área cultivada este valor é seis vezes menor, ou seja, de 25 mm/hora.

Quando florestas tropicais são substituídas por pastagens, ocorre a compactação da camada do solo mais próximo à superfície. O rebanho, ao caminhar sobre o pasto, deixa a superfície do solo mais "dura", menos permeável à água. Isso diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial, o que favorece a ocorrência de enchentes durante chuvas intensas.

A topografia e a precipitação pluviométrica também interferem na recarga dos aquíferos. De uma forma geral os declives acentuados favorecem o escoamento superficial direto, diminuindo a infiltração; já as superfícies suavemente onduladas permitem o escoamento superficial menos veloz, aumentando a possibilidade de infiltração. Este processo será discutido com o uso do mapa clinográfico.

De Biasi (1970) classificou as declividades do terreno em classes, de acordo com sua inclinação como baixa, moderada, média e elevada. No Quadro 2, pode-se observar essa classificação.

Classes	Declividade (%)
1	<5
2	5 - 12
3	12 - 30
4	30 - 47
5	>47

Quadro 2 - Classificação das declividades do terreno em classes.

Fonte: De Biasi (1970).

No caso da precipitação, a recarga depende de como o total de precipitação é distribuído ao longo do ano. Chuvas regularmente distribuídas ao longo do ano promovem uma infiltração maior, pois, desta maneira, a velocidade de infiltração acompanha o volume de precipitação. Ao contrário, chuvas torrenciais favorecem o

escoamento superficial direto, pois a taxa de infiltração é inferior ao grande volume de água precipitada em curto intervalo de tempo.

A velocidade com que a água subterrânea migra varia de alguns centímetros a alguns metros por dia. Esta velocidade é relativamente pequena devido ao atrito nas paredes dos capilares e dos poros. Numa areia a água movimenta-se com a velocidade de cerca de 1m por dia; no arenito da Formação Botucatu, em volta de 10cm por dia e nas argilas o movimento é praticamente nulo. Nas rochas muito fraturadas como os basaltos, a velocidade pode ser muito grande.

2.2.2 Vulnerabilidade dos Aquíferos

Diniz (2001) define aquífero como sendo uma unidade geológica permeável e saturada que pode transmitir quantidades significativas de água sob gradientes hidráulicos ordinários, de forma a suprir diversos poços.

Ribera (2004) comenta que em hidrologia subterrânea a vulnerabilidade pode consistir na subdivisão em dois termos: vulnerabilidade natural e vulnerabilidade específica.

Vrba e Zaparozec (1994 apud RIBERA, 2004) definem a vulnerabilidade natural ou intrínseca dos aquíferos como a soma de uma série de atributos ou características dos mesmos que são: o solo, a zona não saturada, os parâmetros hidráulicos do aquífero e a recarga que controlam a aptidão do aquífero para tomar frente a um impacto indeterminado e sua capacidade de auto-recuperação.

Os mesmos autores definem a vulnerabilidade específica como a aptidão do aquífero para fazer frente a um tipo de contaminante/ impacto concretamente, dentro de um contexto conjuntural (sócio econômico) específico. A diferença que no caso anterior, os parâmetros que medem esta vulnerabilidade estão também definidos pelo impacto.

De um modo geral, o termo vulnerabilidade é compreendido como sendo a suscetibilidade do aquífero a contaminação.

A vulnerabilidade natural se costuma calcular e expressar em termos hidrogeológicos, como por exemplo, a profundidade do nível freático, a permeabilidade, etc. Pelo contrário, a vulnerabilidade específica da água subterrânea costuma-se expressar em termos de riscos frente a um determinado impacto (Ribera, 2004, p.20).

O mesmo autor afirma que aquíferos livres granulares e os aquíferos carbonatados cársticos como os grupos mais vulneráveis diante de um contaminante potencial. Os primeiros devido a sua relativa e pequena capacidade de autodepuração do terreno. É importante que a posição local do nível freático nesse tipo de aquífero condiciona seu grau de vulnerabilidade.

No caso do aquífero Cárstico o mesmo autor comenta que a sua alta vulnerabilidade natural se atribui à velocidade de circulação da água subterrânea relativamente alta e sua escassa interação contaminante-rocha, que provoca uma elevada capacidade de propagação neste meio.

Uma caracterização mais aproximada da idéia de risco de poluição das águas subterrâneas consiste na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com a carga poluidora aplicada no solo ou em subsuperfície. Isso significa que se pode ter uma situação de alta vulnerabilidade, porém, sem risco de contaminação se não existir carga poluidora significativa, ou vice-versa. A carga poluidora pode ser controlada ou modificada; mas o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural, que é uma propriedade intrínseca do aquífero.

A vulnerabilidade significa a maior suscetibilidade de um aquífero de ser adversamente afetado por uma carga contaminante imposta (Foster & Hirata, 1993, p.19). Os autores complementam: “É um conceito inverso da capacidade de assimilação de contaminantes de um corpo receptor de água superficial, com a diferença de que os aquíferos possuem uma cobertura de substratos que proporciona uma maior proteção” (Foster & Hirata, 1993, p.19).

3.5.3.1. Fatores que influenciam a Vulnerabilidade

Ribera (2004) comenta que a vulnerabilidade natural de um aquífero aumenta quanto menor for sua capacidade de atenuação ao impacto e quanto maior for sua acessibilidade. Aprofundando mais, podemos discriminar os seguintes grupos de parâmetros que influenciam na determinação da vulnerabilidade:

- 1) As características geológicas do aquífero: porosidade primária, tipo e grau de fraturação;
- 2) Os parâmetros hidráulicos do aquífero: sua condutividade hidráulica e sua transmissividade;

- 3) O regime de recarga do aquífero: tanto em seus aspectos quantitativos como a localização espacial; extensão e magnitude;
- 4) A existência, continuidade e a espessura da zona saturada e no caso de existir as características hidrológicas e de composição dos níveis suprajacentes do solo.

A atividade humana em superfície pode alterar e induzir novos mecanismos de recarga do aquífero, modificando a taxa, a frequência e a qualidade na recarga de águas subterrâneas. O entendimento desses mecanismos e a correta avaliação de tais modificações são fundamentais para a determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas (OSÓRIO, 2004, p.75).

É importante lembrar que se existir um aquífero com elevada vulnerabilidade, não significa que este já esteja contaminado, mas sim que esta área é de risco. Sua contaminação ou não vai depender das atividades antrópicas que estão sobre ele localizadas, ou seja, ele pode ser altamente vulnerável, mas não correr nenhum risco de ser contaminado por estar localizado numa área distante de fontes contaminantes, principalmente da presença humana, tais como lixões, cemitérios, distritos industriais entre outros.

Os componentes da vulnerabilidade de um aquífero não são diretamente mensuráveis, mas sim, determinados por meio de combinações de outros fatores. Além disso, dados referentes a vários fatores não podem ser facilmente estimados ou não estão disponíveis, o que obrigam na prática, uma simplificação no número de parâmetros requeridos.

Nesse sentido, a metodologia “GOD” reduz o número desses fatores para apenas três que são:

- 1) Tipo de ocorrência de água subterrânea ou condição do aquífero(**G**);
- 2) Características dos estratos acima da zona saturada, em termos de grau de consolidação e tipo litológico (**O**);
- 3) A profundidade do nível da água (**D**).

3.5.3.2. Métodos de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos

De acordo com Hirata (2005), existem vários métodos de avaliação de vulnerabilidade natural de aquíferos, dentre eles o “GOD”, o DRASTIC, o da Poluição dos Lençóis Aquíferos, o do Índice de Pesticidas, entre outros.

O método “GOD” foi desenvolvido por Foster (1987) e aprimorado para as condições brasileiras por Foster e Hirata (1993) e Foster et al. (2003). Baseia-se em informações pré-existentes e necessita-se de apenas três níveis de parâmetros; os relativos ao grau de confinamento hidráulico do aquífero, do tipo ou tipos litológicos penetrados pelo poço e da profundidade da água subterrânea. Portanto é um método que apresenta relativa facilidade de execução, bastando apenas que se tenha informações pré-existentes, que se faça uma avaliação da consistência das informações, ou que estes dados sejam buscados em cada poço.

A metodologia DRASTIC (Aller et al., 1987) foi desenvolvida pela *National Ground Water Association*, e é empregada pela Agência de Proteção Ambiental norte-americana (US-EPA), constituindo-se num modelo qualitativo para avaliar o potencial poluição das águas subterrâneas. O cenário hidrogeológico inclui os principais fatores geológicos e do meio aquífero que conferem o nome à metodologia, sendo que para cada um dos fatores são atribuídos pesos, os quais estão relacionados, a maior ou a menor importância do fator na avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos.

Devido à complexidade desta metodologia e pelos inúmeros parâmetros a ela associada, optou-se pelo uso da metodologia “GOD” na área de Sant’Ana do Livramento, uma vez que havia um cadastro prévio de Eckert e Caye (1995).

O método da Poluição dos Lençóis Aquíferos, desenvolvido por Taltasse (1972) é um método de avaliação da vulnerabilidade geral de aquíferos que leva em consideração a geologia do local de estudo, ou seja, a litologia do aquífero e a estrutura das rochas.

O método que avalia o Índice de Pesticidas, desenvolvido por Rao et al. (1985), avalia os pesticidas de uso normal e para isso os fatores e as características físico-químicas do pesticida, o clima, o perfil do solo e as colheitas. Este método seria melhor aplicado em áreas rurais.

2.3. Tipos de poços

Poço é definido como qualquer obra de captação de água subterrânea executada com sonda, mediante perfuração vertical (NBR, 12244/92).

Zimbres (2003) classificou os poços pelo seu método construtivo em dois tipos: os rasos e profundos.

A – POÇOS RASOS

A.1 – POÇO ESCAVADO

É um poço cilíndrico, de diâmetro entre 1 a 2 metros, aberto manualmente, com o uso de picareta e pá. Apresentam um diâmetro considerável devido ao espaço físico para permitir o trabalho do operário. À medida que o buraco se aprofunda são necessários pelo menos dois operários. Um fica no fundo do poço escavando enquanto o outro fica na superfície, retirando o material através de balde preso à ponta de uma corda, a qual vai sendo enrolada num sarilho. O sarilho nada mais é do que um eixo que gira sobre duas forquilhas, acionado por uma manivela. Após atingir o nível d'água, a escavação continua, até que não se consiga mais esvaziar a água que está afluindo ao poço.

O poço escavado é o tipo mais utilizado pela população rural brasileira e, recebe nomes distintos, dependendo da região: cisterna, cacimba, poço Amazonas, poço caipira, ou simplesmente poço. É a mais antiga forma de exploração da água subterrânea, estando presente em civilizações muito antigas. No Rio Grande do Sul também pode ser uma fonte drenada.

A.2 - PONTEIRAS CRAVADAS

Ponteira é uma haste perfurada, revestida por tela, com terminação cônica e que é cravada no terreno, através da qual pode-se retirar água com bomba de sucção. Estas ponteiras são uma boa opção para um poço de baixo custo e funcionam bem em aquíferos rasos. São muito usadas em obras de engenharia civil para o rebaixamento do lençol freático. Caso a necessidade de água aumente pode-se cravar mais ponteiras, mantendo uma distância segura para evitar as interferências dos cones de depressão.

Este tipo de poço é bastante utilizado em aluviões no nordeste brasileiro, no abastecimento de pequenas comunidades rurais.

A.3 - POÇO A TRADO

Trado é uma ferramenta composta de uma caçamba cilíndrica, com aberturas laterais cortantes, rosqueada a uma haste de ferro terminada em T e que penetra no solo através de movimentos giratórios, realizados por um operário (trado manual) ou por um motor (trado mecânico). O diâmetro do trado varia de 5 a 24 centímetros, sendo que quanto maior for seu diâmetro, mais pesado ficará o serviço.

O poço é perfurado lentamente, pois após algumas voltas o operador tem que levantar a ferramenta para retirar o solo preso na caçamba. À medida que a profundidade aumenta são acrescentados novos segmentos de cano galvanizado na haste, que se tornará, portanto mais pesada.

Ao atingir o nível freático é necessário descer um ou mais tubos que protejam a parede do poço, evitando-se seu desmoronamento. Para continuar a perfuração na zona saturada é necessário diminuir o diâmetro da caçamba para poder perfurar por dentro do tubo de revestimento.

Informa-se que hoje existem trados movidos a motores de motosserras utilizando gasolina, úteis em perfurações geotécnicas e hidrogeológicas para conhecimento do subsolo arenoso até uma profundidade inferior a 20 metros.

A.4 - POÇO RADIAL

Poço escavado com diâmetro maior do que o normal, o qual possui em sua parte inferior um conjunto de drenos cravados nas paredes, e que, penetram radialmente o aquífero, aumentando a área de captação de água e, portanto, a produção do mesmo.

Este tipo também é largamente utilizado nos aluviões do nordeste brasileiro, em pequenas profundidades.

A.5 - GALERIAS

Estas não são poços, mas tem significativa importância na captação de água em algumas regiões montanhosas. São túneis cavados horizontalmente nas encostas até se encontrar o substrato rochoso, por onde, circula a água de infiltração. Encontrada uma região onde esteja havendo suficiente infiltração, cava-se uma pequena bacia de captação a partir da qual a água é levada para fora, através de tubos e por gravidade. Como a saída de água passa a ser constante, é necessária a construção de reservatório para armazená-la.

Sua principal vantagem é fornecer água por gravidade, o que implica numa grande economia de energia. Sua limitação é que necessita a ocorrência de um maciço rochoso, da existência de desníveis no terreno além de recarga direta das chuvas.

B - POÇOS PROFUNDOS

São poços perfurados com máquinas, com profundidades que variam de 40 a mais de 1000 metros. Em alguns casos profundidades maiores são atingidas quando se procura a produção de água aquecida pelo geotermalismo, exemplo: Salto no Uruguai.

A perfuração de um poço demanda conhecimento técnico especializado, conforme as normas NBR-12212/1992 e NBR-12244/1992, ambas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e citadas no item 5 deste capítulo. Existem dois métodos mais utilizados na sua perfuração: percussão e rotativa.

Na perfuração por percussão, a rocha é perfurada através da batida constante de uma ferramenta chamada de trépano, presa a um cabo de aço, que é movimentado para cima e para baixo, através de um balancim acionado por motor. As pancadas do trépano esmigalham a rocha e os fragmentos resultantes, misturados com água do próprio poço ou colocada, se este ainda estiver seco, dá origem a uma lama. Estes são retirados do poço através de uma ferramenta chamada caçamba. Esta lama que se forma além de facilitar a retirada do material triturado serve como meio de refrigeração do trépano. A perfuração por percussão é

indicada para formações bem consolidadas ou rochas duras⁸, e profundidades não superiores a 250 metros.

Em contrapartida na perfuração rotativa a perfuração se dá através do movimento rotatório de uma broca, ao mesmo tempo em que se faz circular lama no poço. Esta lama além de servir para trazer o material triturado para cima serve para refrigerar a ferramenta de corte e também para manter uma pressão contínua dentro do poço, de forma a conter suas paredes, evitando assim seu colapso. Usa-se roto-pneumáticas.

De acordo com Trionic (2002) ainda existem poços chamados de poção e os tubulares que são aqueles protegidos por uma camisa constituída de aço galvanizado ou geomecânicos (PVC) liso ou ranhurados para aumentar a captação da coluna de água, junto às entradas d'água descrita nos perfis geológicos. Nestes são colocados pré-filtros de areia graduada.

2.4. Funcionamento de um poço

Vale a pena lembrar que um poço é uma obra de engenharia e que por essa razão deverá ser executado por um profissional habilitado, obedecendo as seguintes normas: NBR 12212/92 e a NBR 12244/92.

Segundo a NBR 12212/92 o projeto de captação através de poço ou sistema de poços pressupõe o conhecimento de: a) estudo de concepção elaborado conforme a NBR 12211/92; b) vazão pretendida para o sistema; c) estudo hidrogeológico contendo informações básicas geofísicas e geológicas dos aquíferos, características hidráulicas e qualidade das águas; d) avaliação do risco do sistema; e) estimativa do número de poços a constituir o sistema; f) planta topográfica em escala adequada, com a localização e o cadastro das obras e dos poços existentes, e registro dos níveis de drenagem atual e piezométrico; g) planta da bacia hidrográfica, em escala reduzida, com localização e cadastro dos poços existentes; e, h) registro do nível máximo de cheias na área do sistema.

Conforme a norma 12244/92, no desenvolvimento da construção são considerados elementos necessários: projeto executivo do poço; equipamento de perfuração; ferramentas de perfuração; ferramentas auxiliares; equipamentos

⁸ Neste caso, refere-se a rochas duras como os granitos, os basaltos e os gnaisses.

auxiliares; responsável técnico habilitado perante o Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA); fiscalização e condições de recebimento do poço.

Deve-se ter cuidados com o equipamento hidráulico e elétrico como: a bomba submersa (deve ser feita manutenção preventiva a cada dois anos); quadro de comando (revisão periódica nos componentes elétricos com atenção especial à chave contactora e o pára-raio).

O monitoramento, ou seja, a observação periódica e o acompanhamento das condições de funcionamento do poço, são um procedimento adequado para manter a boa operação do mesmo. Permitindo a avaliação do comportamento do poço a qualquer instante, assim como a situação do equipamento de bombeamento.

Em um poço tubular poderão ocorrer basicamente três tipos de problemas: com a bomba, perda de vazão e turbidez da água.

A vazão de qualquer poço de abastecimento depende de três elementos: o aquífero, o poço e a bomba. A queda de vazão é devida a uma mudança destes elementos. A vazão de um poço depende do rebaixamento e da capacidade específica. A capacidade específica é a vazão por unidade de rebaixamento, sua unidade é o $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ e é obtida pelo quociente entre a vazão (m^3/h) e o rebaixamento⁹ do poço (Heath, 1983).

O mesmo autor cita cinco fatores que afetam a capacidade específica, que são:

- 1) O coeficiente de armazenamento do aquífero;
- 2) A duração do período de bombeamento;
- 3) O raio efetivo do poço que pode ser significativamente maior que o raio “nominal”;
- 4) A vazão de bombeamento;
- 5) a transmissividade da zona supridora de água ao poço que, dependendo do comprimento do filtro ou do furo não revestido, pode ser consideravelmente menor do que a transmissividade do aquífero.

De acordo com o DNPM (1983) a capacidade específica dos poços pode ser enquadrada nas seguintes classes:

- **Muito elevada:** é aquela maior que $4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e, vazão superior a $100 \text{ m}^3/\text{h}$ para um rebaixamento do nível d'água de 25m;

⁹ Rebaixamento de um poço é a variação entre o N.E. (sem bombeamento) e o nível dinâmico; ou seja o nível máximo de rebaixamento quando se executam o ensaio de bombeamento. A unidade de rebaixamento é o metro(m).

- Elevada a média: é aquela entre 4 e $1\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e, vazão entre 100 e $25\text{ m}^3/\text{h}$ para um rebaixamento do nível d'água de 25m;
- Média a fraca: é aquela entre 1 e $0,13\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e, vazão entre 25 e $3,25\text{ m}^3/\text{h}$ para um rebaixamento do nível d'água de 25m;
- Muito fraca: é aquela menor que $0,13\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e, vazão menor que $3,25\text{ m}^3/\text{h}$ para um rebaixamento do nível d'água de 25m;

Zimbres (2003) comenta que ao submeter-se um poço a um bombeamento, ocorre neste o rebaixamento do nível da água, criando um gradiente hidráulico entre esse local e suas vizinhanças. Assim, a velocidade com que a água subterrânea se movimenta depende do gradiente hidráulico e do local em função do tipo rochoso.

Heath (1983) afirma que o gradiente hidráulico é a variação em carga por unidade de distância em uma dada direção.

Na prática o termo gradiente hidráulico é compreendido como sendo a rampa de um plano inclinado que faz uma bola sobre ela colocada rolar para baixo. Assim este gradiente provoca a migração da água através dos poros e fissuras das rochas na direção do poço, enquanto estiver sendo processado o bombeamento, e logicamente, na rampa de maior declividade passará (circulará) maior vazão. Sua unidade é expressa em m/m, ou seja, o quociente entre a diferença entre as cotas altimétricas de um local e o comprimento da rampa analisada.

Cessando o bombeamento, o nível d'água do poço retorna ao nível original (N. E.) sendo esse fenômeno chamado de recuperação. Chamando-se de nível dinâmico (N. D.) o nível em que se encontra a água dentro do poço quando este está sendo bombeado. O nível estático por sua vez é aquele nível em que a água do poço se encontra quando este não está submetido ao bombeamento.

O mesmo autor descreve que o rebaixamento ou abaixamento do nível d'água do poço em bombeamento possui forma cônica, cujo eixo: é o próprio poço. A formação deste cone ocorre devido à necessidade de a água fluir em direção a tubulação do poço para repor a água que está sendo extraída por bombeamento na superfície do terreno. A forma deste cone pode variar segundo a isotropia¹⁰ dos aquíferos.

¹⁰ Segundo Heath (1983) um aquífero isotrópico ou homogêneo é aquele em que sua condutividade hidráulica é essencialmente a mesma em todas direções. Tal condição é muito rara. O normal é deparar-se com aquíferos anisotrópicos, de condutividade hidráulica superior na direção horizontal que na vertical.

Berezuk, (2000) define aquíferos isotrópicos como sendo aqueles cuja condutividade hidráulica é a mesma em todas as direções. Na prática nesses aquíferos a água chegará de todos os lados do poço com a mesma velocidade, dando origem a uma superfície cônica relativamente simétrica.

Por outro lado quando se tratar de um aquífero anisotrópico, este contorno será alongado segundo a direção da velocidade menor do fluxo de água.

Berezuk (2000) ainda comenta que, a maioria das formações geológicas tende a ter mais de uma direção para o movimento de fluxo de água, dada a natureza de seu material e sua orientação. Algumas vezes, a formação do solo pode contribuir com uma condutividade hidráulica (permeabilidade) na direção horizontal radicalmente diferente da direção vertical. Esse fenômeno é chamado de anisotropia. “Depende também da estrutura sedimentar primária e da estrutura das camadas sedimentares. Nota do orientador”.

De acordo com Zimbres (2003) a forma do cone de depressão dependerá de dois fatores: do volume de água que está sendo bombeado e da permeabilidade do aquífero. No caso do primeiro fator o autor lembra que para um mesmo poço os cones de depressão serão de tamanhos diferentes em função do volume de água extraída. Um volume maior implica num maior rebaixamento do nível da água dentro do poço. No caso do segundo fator, a permeabilidade do aquífero cujo poço se encontra executado determina a velocidade com que a água se movimenta para o poço. Assim, quando a permeabilidade é grande, maiores volumes de água chegarão ao poço em menos tempo, provocando um cone menos profundo de rebaixamento menos acentuado. Por outro lado se a permeabilidade do aquífero for pequena, o cone terá um rebaixamento muito pronunciado.

A respeito da expansão do cone de depressão, diz-se que este se expandirá até que seja capturada uma quantidade de água igual ao volume que está sendo extraído pelo bombeamento. Quando a quantidade de água capturada pelo cone de depressão se iguala ao volume que está sendo extraído, o poço está sendo operado em condições de equilíbrio.

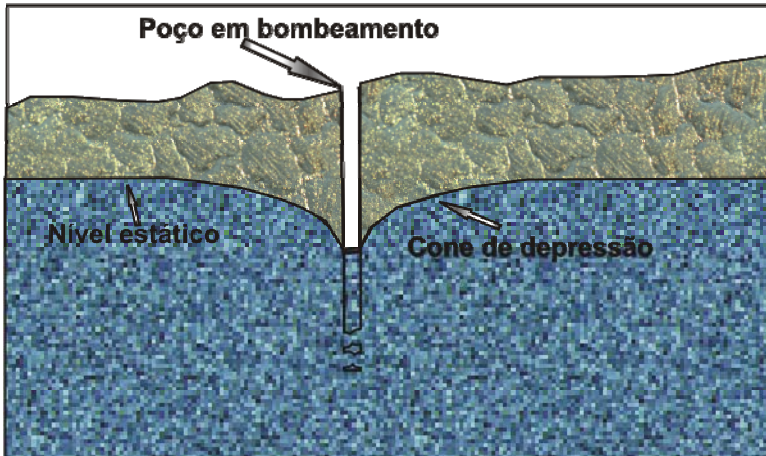


Figura 4 - Poço perfurado em aquífero com boa permeabilidade
Fonte: Zimbres, (2003).

Na Figura 4 observa-se um cone de depressão com abaixamento pouco pronunciado o qual poderá ocorrer quando se tiver um poço equipado com uma bomba de baixa potência, ou, com um elevado coeficiente de armazenamento, ou ainda, inserido num aquífero de elevada permeabilidade.

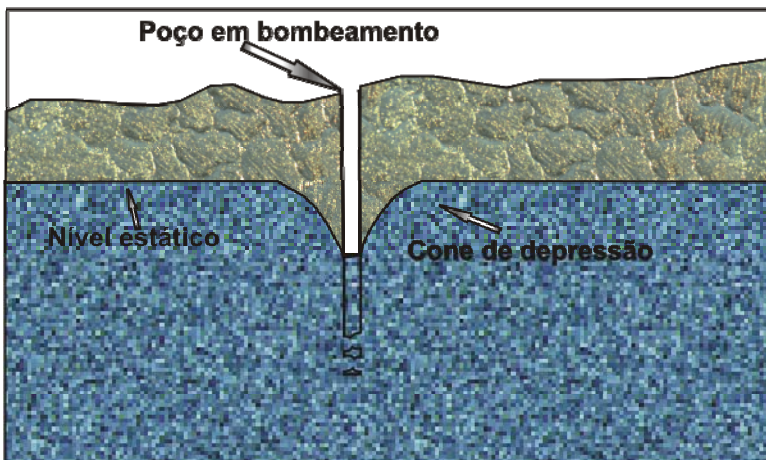


Figura 5 - Poço perfurado em aquífero de baixa permeabilidade
Fonte: Zimbres (2003).

Na Figura 5 nota-se que o cone de depressão está bem pronunciado (profundo) fato que nos faz identificar o aquífero em que este poço se encontra locado, como sendo um aquífero de baixa permeabilidade, ou, de baixo coeficiente de armazenamento, ou ainda, que a bomba instalada no poço está superdimensionada para a capacidade do aquífero.

Entende-se que o perigo da contaminação de um poço ou de um aquífero ocorre quando o cone de depressão de um poço atinge uma massa de água superficial, se esta não estiver hidráulicamente isolada, haverá o início ou o aumento

da infiltração destas águas em direção ao poço. Poços próximos a fontes de águas poluídas estão seriamente sujeitos a produzir água contaminada. Um caso muito comum é a interceptação de água de fossas e sumidouros sanitários ou de vazamentos de redes de esgoto. Mesmo uma fossa situada à jusante do poço poderá contaminá-lo, pois com o bombeamento ocorre uma inversão do fluxo subterrâneo.

De acordo com Perez e Rocha (2002) muitos poços tubulares executados na cidade de Rivera foram lacrados pela “*Obras Sanitárias del Estado/OSE*” devido a ocorrência de elevadas concentrações em nitratos em suas águas, superiores a 10 mg/L.

Um dos fatores que podem levar à contaminação dos Sistemas Aqüíferos é a quantidade de poços abandonados não somente na região de estudo, mas também nos mais variados lugares do país. Tais poços, se mal vedados, podem se constituir em verdadeiras “feridas” abertas nos aqüíferos, pois os colocam em contato com a superfície do terreno e infiltrações (<http://www.perfuradores.com.br>).

Devido ao abastecimento público de água, a população urbana na maioria dos casos abandona os poços que tem no seu quintal e por falta de informação, aterra os mesmos com lixo e não com terra limpa¹¹.

A legislação federal de nº 13.771, de 11 de dezembro de 2000 estabelece no artigo nº 30 que os poços abandonados devem ser adequadamente tamponados de forma a evitar acidentes, contaminação ou poluição dos aqüíferos.

Outro aspecto construtivo que não deve ser esquecido é a necessidade da existência de um selo sanitário, executado em concreto, e que, tenha no mínimo dimensões de 1,0 x 1,0x 0,1m (lado x lado x altura), junto à “boca do poço” para evitar a ocorrência de infiltrações oriunda de precipitações em superfície.

Destaca-se a importância do poço em estar devidamente lacrado, bem como a existência, no interior deste de um cano de PVC ou similar de diâmetro 1 ”para que se possa nele introduzir o cabo do medidor Jaciri” (Freatímetro) e assim medir os níveis estáticos do referido poço. Este cano deverá estar a profundidade da bomba. Cita-se como exemplo o poço tubular que abastece o Supermercado BIG (SONAE S/A) em Sant’Ana do Livramento, IN 098 montado com hidrômetro.

¹¹ Entende-se por terra limpa os solos livres de contaminação e de poluentes tais como: esgoto, óleos, graxas, etc.

2.4.1. Equipamentos para exploração de água de poços

As águas subterrâneas podem ser exploradas através de diferentes equipamentos de custos e volumes explorados bem distintos. Os equipamentos utilizados na exploração desta vão desde equipamentos rudimentares como a balde com a manivela, a bomba de sucção manual até a equipamentos mais modernos como as bombas.

Segundo Cederstrom (1964), existem duas classes de bombas comuns: as bombas de sucção e as bombas de recalque. As primeiras segundo o autor são classificadas em bombas de sucção manual, de sucção centrífuga e de sucção de pistões. E, as últimas em bombas: cilindro, turbina, helicoidal e submersa.

As bombas de sucção manual têm seu uso justificado pelo baixo custo e pela significativa eficiência. Seu limite prático de sucção é de 4,5m a 3.200m acima do nível do mar, operando assim somente em poços rasos, satisfazendo a usos domésticos. Em contrapartida as bombas de sucção centrífuga são propulsionadas por um motor elétrico ou diesel, o que é responsável pelo recalque de água a uma altura máxima de 30 metros acima da bomba. Sua eficiência é máxima enquanto o recalque for mínimo, para recalques superiores a 20m sua eficiência decresce rapidamente. Ressalta-se que o limite de levantamento de água dessas duas bombas é de 6,5 m quando operam ao nível do mar.

A bomba de sucção de pistões é aquela operada por motor elétrico ou diesel, utilizado onde é requerida uma vazão de 4l/s. Também se pode explorar¹² água subterrânea através de: compressor a ar (*Air-Lift*), bombas injetoras e bombas centrífugas.

O compressor de ar (*Air-lift*) tem um funcionamento prático e simples, pois trabalha na superfície, com motor elétrico ou diesel, tendo em sua instalação dois tubos até o fundo do poço, sendo um tubo para recalque da água e o outro de menor diâmetro para injeção de ar. É ideal para poços onde exista grande volume de areia misturada a água ou com tendência a acumular sedimentos, e também, para locais com indisponibilidade de energia elétrica, devido à possibilidade do uso de motores diesel. Apresenta alto nível de ruído e o baixo rendimento, requerendo motores de maior potência que as bombas do tipo submersas.

¹² Tirar proveito econômico de (determinada área), principalmente quanto aos recursos naturais. Aurélio (1975).

A bomba injetora é uma bomba centrífuga horizontal convencional com um dispositivo (ejetor ou injetor) instalado nas tubulações de sucção e de retorno, submerso no poço. A bomba centrífuga tem grande limitação devido ao fato de que sua utilização somente é possível em poços onde o nível dinâmico (inferior) não ultrapasse a profundidade de 8 metros.

Ressalta-se que as bombas submersas são o tipo ideal e de maior rendimento para poços de qualquer profundidade. O conjunto moto-bomba é instalado dentro do poço, submerso em alguns metros abaixo do nível dinâmico, funciona silenciosamente e requer pouquíssima manutenção quando bem especificado e corretamente instalado.

A escolha do melhor sistema de bombeamento de um poço tubular profundo depende da análise de diversos fatores, dentre eles: do diâmetro e da profundidade do poço, da profundidade do nível de água e de seu rebaixamento, da vazão e duração do bombeamento, da qualidade e da temperatura da água, dos custos iniciais e de manutenção, e da potência requerida (Diniz e Michaluate, 2001).

Os mesmos autores citam ainda a importância na determinação da altura manométrica e das potências hidráulica e consumida pela bomba na determinação do dimensionamento/especificação do conjunto motor/bomba. Também se necessita conhecer o rendimento do conjunto motor/bomba, além das características de toda tubulação de recalque.

Deve-se levar em consideração que em áreas desprovidas de energia elétrica pode-se utilizar a energia eólica como fonte alternativa de energia na exploração de água. Para isso faz-se uso desta através da edificação de cata-ventos que ao girar pela ação dos ventos, seu movimento rotativo do rotor é transformado em movimento alternado, através de um virabrequim acoplado a uma redução no eixo do rotor. A transmissão deste movimento até a bomba é feita por intermédio de uma haste rígida, disposta verticalmente no centro da torre. Destaca-se que um cata-vento pode além de ser utilizado para explorar água de poços rasos ser também utilizado para retirar água de riachos, de lagos e de açudes. Ainda é bastante utilizado na fronteira sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul nas cidades de Sant'Ana do Livramento e Quaraí e também no Uruguai (Silvério da Silva *et al.*, 2005).

Informa-se que distância e a altura na qual água pode ser conduzida supera em alguns casos os 700 e 100m, respectivamente ficando o volume diário médio

obtido numa faixa de 300 a 4.500 litros. Quanto à durabilidade dos cata-ventos, têm-se registros de exemplares que duraram mais de 35 anos, requerendo com manutenção preventiva a pintura da torre e lubrificação das partes móveis. Destaca-se que o fator mais relevante de desgaste para a bomba no uso de cata-ventos é o nível de impurezas sólidas contidas na água.

Enfatiza-se que recentemente o uso da energia solar na exploração da água subterrânea vem crescendo no mercado brasileiro. Tal energia é utilizada por bombas especiais¹³ que conseguem em média, dependendo da intensidade da radiação solar conduzi-la a uma altura de 70m, obtendo-se uma vazão horária de 60 litros (www.solarbrasil.com.br).

2.5. Legislação sobre as águas subterrâneas

A água é um recurso vulnerável, cujo desfrute gera conflitos devido à sua disponibilidade escassa. Por tudo isso ela é alvo de instrumentos legais e essenciais que regem sua restrição quanto ao uso para fins de garantir ao usuário o equilíbrio da oferta e da demanda.

Em virtude disso, se encontram descritos a seguir alguns aspectos legais, que regulamentam o uso dos recursos hídricos subterrâneos:

Resolução n° 15 (de 11 de janeiro 2001)

Esta resolução considera que compete ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH coordenar a gestão integrada das águas e que diversos órgãos da Administração Pública Federal e dos Estados possuem competências no gerenciamento da mesma.

Considera ainda que o Município tem competências específicas para o disciplinamento do uso e ocupação do solo e que as águas meteóricas, superficiais e subterrâneas são partes integrantes e indissociáveis do ciclo hidrológico;

Código de Águas Minerais (Lei n° 7.841 de 08 de agosto de 1945):

¹³ Bombas especiais – neste caso referem-se a bombas submersas de elevada eficiência e baixo ruído que operam em corrente contínua de baixa voltagem.

Este código estabelece normas para o aproveitamento das águas minerais, foi criado com o propósito de regular toda e qualquer exploração de águas subterrâneas que eram objeto de grande interesse comercial na época.

Informa-se que as águas minerais são de competência federal de acordo com o Código de Mineração e seu licenciamento cabe ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Estas águas necessitam ter uma composição química rica algum ou alguns elementos minerais de valor terapêutico comprovado. De acordo com essa lei, as águas subterrâneas explotadas em Sant'Ana do Livramento são classificadas como potáveis de mesa, não existindo, portanto, nenhuma empresa de águas minerais operando naquele município até esta data.

Constituição Federal (05 de outubro de 1988)

A Constituição trouxe definições em relação às águas subterrâneas. Incluindo entre os bens da União, no Art. 20 – IX, os recursos minerais inclusive os do subsolo; e entre os bens do Estado, conforme Art. 26 – I, as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas neste caso, na forma da Lei, como decorrentes de obras da União.

A Constituição do Brasil, também chamada de “Constituição Cidadã”, traça a política nacional das águas em três artigos:

Art. 20 – São bens da União:

III – os lagos, os rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais.

Art. 26 - Incluem-se entre os bens dos Estados:

I – as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União.”

Art. 21 - Compete à União:

XIX - instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso”.

Lei Federal nº 9.433 (08 de janeiro de 1997)

Seu objetivo principal é o de assegurar que as águas superficiais e subterrâneas possam ser controladas e utilizadas de forma racional e dentro de parâmetros de qualidade desejáveis.

Segundo o Art. 12 – II, estão sujeitas às outorgas pelo poder Público os direitos de extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo.

Quanto às infrações e penalidades, o Art. 49 ressalta no item II, que constitui infração iniciar a implantação ou implantar empreendimentos relacionado com a derivação ou a utilização de recursos hídricos, superficiais e/ou subterrâneos, que implique alterações no regime, quantidade ou qualidade dos mesmos, sem autorização dos órgãos ou entidades competentes.

Perfurar poços para a extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização corresponde a infrações e penalidades conforme o item V dessa lei.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR-12212 de 04/1992). Projeto de poço para captação de água subterrânea.

Esta norma fixa as condições exigíveis para a elaboração de projeto de poço para a captação de água subterrânea para abastecimento público.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR-12244 de 04/1992). Construção de poço para captação de água subterrânea.

Esta norma tem como objetivo fixar as condições exigíveis na construção de poço para captação de águas subterrâneas, destinadas ao abastecimento público.

Lei Estadual do Rio Grande do Sul (nº10.350 de 30 de dezembro de 1994)

Esta lei instituiu o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, destinado a realizar a gestão das águas em nosso Estado, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.

Constituição do Estado do Rio Grande do Sul (1989)

Art. 171 - Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, integrado ao sistema nacional de gerenciamento desses recursos, adotando as Bacias Hidrográficas como unidades de planejamento e gestão, observados os aspectos de uso e ocupação do solo, com vistas a promover:

I – a melhoria da qualidade dos recursos hídricos do Estado;

II – regular o abastecimento de água às populações urbanas e rurais, às indústrias e aos estabelecimentos agrícolas.

Parágrafo 1º - O sistema de que trata este artigo compreende critérios de outorga de uso, o respectivo acompanhamento, fiscalização e tarifação, de modo a proteger e controlar as águas superficiais e subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, assim como racionalizar e compatibilizar os usos, inclusive quanto à construção de reservatórios, barragens e usinas hidrelétricas.

Parágrafo 2º - No aproveitamento das águas superficiais e subterrâneas será considerado de absoluta prioridade o abastecimento das populações.

Parágrafo 3º - Os recursos arrecadados pela utilização da água deverão ser destinados a obras e à gestão dos recursos hídricos na própria bacia, garantindo sua conservação e a dos recursos ambientais, com prioridade para as ações preventivas.

Resolução CONAMA 335 (03 de abril de 2003)

Esta resolução regulamenta o licenciamento ambiental de cemitérios.

O conselho nacional do meio ambiente (CONAMA), no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, Anexo à Portaria nº 499, de 18 de dezembro de 2002, e

Considerando a necessidade de regulamentação dos aspectos essenciais relativos ao processo de licenciamento ambiental de cemitérios;

Considerando o respeito às práticas e valores religiosos e culturais da população; e

Considerando que as Resoluções CONAMA números 001, de 23 de janeiro de 1986 e 237, de 19 de dezembro de 1997, indicam as atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental e remete ao órgão ambiental competente a incumbência de definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento, observadas as especificidades, os riscos ambientais e outras características da atividade ou empreendimento, visando a obtenção de licença ambiental;

Considerando que o art. 12, da Resolução CONAMA número 237, de 1997, permite a criação de critérios para agilizar e simplificar os procedimentos de

licenciamento ambiental das atividades e empreendimentos similares, visando a melhoria contínua e o aprimoramento da gestão ambiental, resolve:

Art. 1º. Os cemitérios horizontais e os cemitérios verticais, doravante denominados cemitérios, deverão ser submetidos ao processo de licenciamento ambiental, nos termos desta Resolução, sem prejuízo de outras normas aplicáveis à espécie.

Art. 2º. Para efeito desta Resolução serão adotadas as seguintes definições:

I - cemitério: área destinada a sepultamentos;

- a) cemitério horizontal: é aquele localizado em área descoberta compreendendo os tradicionais e o do tipo parque ou jardim;
- b) cemitério parque ou jardim: é aquele predominantemente recoberto por jardins, isento de construções tumulares, e no qual as sepulturas são identificadas por uma lápide, ao nível do chão, e de pequenas dimensões;
- c) cemitério vertical: é um edifício de um ou mais pavimentos dotados de compartimentos destinados a sepultamentos; e
- d) cemitérios de animais: cemitérios destinados a sepultamentos de animais.

II - sepultar ou inumar: é o ato de colocar pessoa falecida, membros amputados e restos mortais em local adequado;

III - sepultura: espaço unitário, destinado a sepultamentos;

IV - construção tumular: é uma construção erigida em uma sepultura, dotada ou não de compartimentos para sepultamento, compreendendo-se:

- a) jazigo: é o compartimento destinado a sepultamento contido;
- b) carneiro ou gaveta: é a unidade de cada um dos compartimentos para sepultamentos existentes em uma construção tumular; e
- c) cripta: compartimento destinado a sepultamento no interior de edificações;

IX - urna, caixão, ataúde ou esquife: é a caixa com formato adequado para conter uma pessoa falecida ou partes;

Art. 3º. Na fase de Licença Prévia do licenciamento ambiental, deverão ser apresentados, dentre outros, os seguintes documentos:

I - Caracterização da área na qual será implantado o empreendimento, compreendendo:

- a) localização tecnicamente identificada no município, com indicação de acessos, sistema viário, ocupação e benfeitorias no seu entorno;

- b) levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral, compreendendo o mapeamento de restrições contidas na legislação ambiental, incluindo o mapeamento e a caracterização da cobertura vegetal;
- c) estudo demonstrando o nível máximo do aquífero freático (lençol freático), ao final da estação de maior precipitação pluviométrica;
- d) sondagem mecânica para caracterização do subsolo em número adequado à área e características do terreno considerado; e

II - Plano de implantação e operação do empreendimento.

§ 1º. É proibida a instalação de cemitérios em Áreas de Preservação Permanente ou em outras que exijam desmatamento de Mata Atlântica primária ou secundária, em estágio médio ou avançado de regeneração, em terrenos predominantemente cársticos, que apresentam cavernas, sumidouros ou rios subterrâneos, em áreas de manancial para abastecimento humano, bem como naquelas que tenham seu uso restrito pela legislação vigente, ressalvadas as exceções legais previstas.

De acordo com a **Lei Estadual 10.350, de 30 de dezembro de 1994** compete ao Departamento de Recursos Hídricos/DRH/SEMA a gestão das águas no Estado do Rio Grande do Sul. São instrumentos de gestão: a outorga, o licenciamento ambiental e a cobrança.

A **outorga** de direito de uso da água representa um instrumento, através do qual o Poder Público autoriza, concede ou ainda permite ao usuário fazer o uso deste bem público. É através deste que o Estado exerce, efetivamente, o domínio das águas preconizado pela Constituição Federal, regulando o compartilhamento entre os diversos usuários.

No caso da água subterrânea, há duas modalidades nas quais é concedida ao usuário a outorga quantitativa: a autorização prévia e a regularização e outorga. No caso da autorização prévia se enquadram os usuários que desejam perfurar novos poços, devendo estes se enquadrar em uma das classes descritas.

- 1) *Consumo inferior a 25 m³ ao dia;*
- 2) *Consumo entre 25 a 250 m³ por dia;*
- 3) *Consumo maior que 250 m³ ao dia.*

Na regularização e outorga, se enquadram àqueles usuários que já possuem poços perfurados e que queiram regularizá-los, enquadrando-se nas seguintes classes:

Regularização e outorga para consumo menor que 25 m³ ao dia;

Regularização e outorga para consumo entre 25 e 250 m³ ao dia;

Regularização e outorga pra consumo superior a 250 m³ ao dia.

Toda a documentação deve ser encaminhada ao Diretor do DRH, Geólogo Rogério Dewes o que deve contar no mínimo com informações do usuário, usos da água, vazões mensais necessárias, exames de qualidade da água e uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) “fornecida” por um profissional devidamente habilitado e com registro no Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura (CREA). Informa-se que a outorga qualitativa é competência da FEPAM/SEMA (2005).

Segundo o mesmo órgão, o **licenciamento ambiental** é o instrumento pelo qual o órgão ambiental do Estado concede licença com o objetivo de compatibilizar o desenvolvimento das atividades econômicas com o uso racional dos recursos hídricos.

A **cobrança** pela água, justificada por sua disponibilidade limitada, tanto na natureza quanto em decorrência de seu uso abusivo. Em face disto, a **Lei 10.350, de 30 de dezembro de 1994**, em seu artigo 1º, estabeleceu que este bem é dotado de valor econômico, passível, pois, de ser cobrado. A mesma Lei, em seus artigos 32 e 33, determina as regras gerais para a adoção deste instrumento.

Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH), decreto Nº 5.440 (4 de maio de 2005).

Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano.

Resolução CONAMA nº 303 (20 de março de 2002).

Esta Resolução dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

Art. 1º Constitui objeto da presente Resolução o estabelecimento de parâmetros, definições e limites referentes às Áreas de Preservação Permanente.

IV - morro: elevação do terreno com cota do topo em relação à base entre cinquenta e trezentos metros e encostas com declividade superior a trinta por cento na linha de maior declividade;

Informa-se que a declividade de trinta por cento, citada no texto corresponde a aproximadamente a uma declividade 17 graus.

Resolução CONAMA nº 273 (29 de novembro de 2000)

Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços.

De acordo com o Art. 4º O órgão ambiental competente exigirá as seguintes licenças ambientais:

I - Licença Prévia (LP): concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;

II - Licença de Instalação (LI): autoriza a instalação do empreendimento com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo medidas de controle ambiental e demais condicionantes da qual constituem motivo determinante;

III - Licença de Operação (LO): autoriza a operação da atividade, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Ao referir-se ao órgão ambiental competente, o autor do texto refere-se a FEPAM, no caso do Estado do Rio Grande do Sul.

Resolução CONAMA nº 319 (de 4 de dezembro de 2002)

Objetiva dar uma nova redação a dispositivos da Resolução CONAMA Nº 273, de 29 de novembro de 2000, que dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços.

Lei Nº 4.771 (de 15 de Setembro de 1965)

Esta Lei instituiu o Código Florestal Brasileiro, que no seu artigo 2º cita como áreas de preservação permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas nas encostas ou partes destas com declividade superior a 45º, equivalente a 100% na linha de maior declive;

Art. 10º - Não é permitida a derrubada de florestas situadas em áreas de inclinação entre 25 a 45 graus, só sendo nelas toleradas a extração de toros quando em regime de utilização racional, que vise a rendimentos permanentes.

2.6. Fontes de contaminação de um aquífero

Inúmeras são as fontes de contaminação da água subterrânea, classificadas conforme sua forma de ocorrência em pontuais e difusas. As fontes pontuais se caracterizam pela localização “pontual” na área em estudo e pela facilidade de identificação. No caso das fontes difusas são de difícil avaliação justamente pela sua distribuição espacial irregular nas áreas em estudo.

São exemplos de fontes pontuais de contaminação: cemitérios, fossas sépticas, oficinas mecânicas, lava-rápidos, postos de combustíveis, poços negros, matadouros, lixões, poços abandonados dentre outros.

Mook (2002) cita que as fontes mais comuns de contaminação das águas subterrâneas são:

- 1) Áreas urbanas;
- 2) Atividades agrícolas e industriais;
- 3) Águas residuais que são despejadas nos rios e nos drenos (dolinas);
- 4) Depósitos de resíduos e,
- 5) Água salgada contaminada, atraída pela exploração intensiva dos recursos de água subterrânea na região litorânea.

As áreas agrícolas são um exemplo típico de fonte de contaminação difusa, devido às práticas inadequadas de manejo do solo que podem causar uma séria poluição nas águas subterrâneas, com taxas elevadas de nitratos no uso do cultivo da soja, milho, arroz, fumo, etc. A aplicação demasiada de pesticidas, inseticidas, fungicidas são contaminantes nocivos na alteração da qualidade da água subterrânea e normalmente não avaliados em monitoramento.

Em áreas urbanas, a principal preocupação é a carga poluidora em zonas residenciais sem esgotamento sanitário, com tanques sépticos e fossas negras; tal carga inclui nutrientes (nitrogênio e enxofre) e sais (cloreto), bactérias, vírus e compostos orgânicos sintéticos (Foster *et al.*, 1998).

Os mesmos autores comentam que nas áreas de concentração industrial, devido à extrema diversidade de atividades, de processos de fabricação e de práticas de disposição de efluentes, há maior dificuldade em estimar-se a carga poluidora. Geralmente é possível estimar o volume efluente a partir da quantidade de água utilizada, mas é difícil estabelecer-se a fração infiltrada no subsolo.

Resíduos sólidos, depositados em lixões ou dispostos em aterros sanitários, podem ter seus volumes de lixiviados estimados com certa segurança; em muitos casos, porém, não há informação confiável sobre a sua composição. Em todos eles, torna-se necessário identificar cada fonte e analisá-las individualmente (monitoramento).

A obtenção de informações sobre os parâmetros hidráulicos e/ou uso das águas dos poços proveio de informações do SIAGAS/CPRM e da empresa concessionária proprietária (DAE) dos poços em estudo, bem como informações obtidas em trabalhos de campo com os proprietários.

2.7. Aspectos qualitativos das águas subterrâneas

2.7.1. Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas

Do ponto de vista hidrogeológico, a qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo. A disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente da qualidade físico-química, biológica e radiológica (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

No entanto neste trabalho serão abordados apenas alguns parâmetros físico-químicos em virtude da indisponibilidade de recursos para analisar as águas quanto às qualidades biológica e radiológica.

Segundo Heath (1983) o estudo hidrogeoquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico. Os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero.

O mesmo autor ainda comenta que a água subterrânea tende a aumentar a concentração de substâncias dissolvidas à medida que percola os diferentes aquíferos, mas muitos outros fatores interferem, tais como: clima, composição da água da recarga, o tempo de contato água/meio físico etc., além da contaminação provocada pelo homem.

Para Zimbres (2003) a água subterrânea, ao lixiviar os solos e as rochas se enriquece em sais minerais em solução, provenientes da dissolução dos seus

minerais. Estas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões e temperaturas a que estão submetidas e facilidades de dissolver CO_2 ao percolar o solo não saturado. Por isso as águas subterrâneas têm concentrações de sais superiores às das águas superficiais em geral.

Feitosa e Manoel Filho (1997) comentam que as águas subterrâneas raramente são portadoras de características estéticas perceptíveis, a não ser o sabor decorrente de sais dissolvidos em quantidade excessiva. Enquadra-se nas características de propriedades físicas os seguintes aspectos: temperatura, cor, odor, sabor, turbidez e sólidos em suspensão.

Alcalinidade

Para Zimbres (2003) a alcalinidade é a medida total das substâncias presentes numa água, capazes de neutralizarem ácidos. Se numa água quimicamente pura for adicionada pequena quantidade de um ácido fraco seu pH mudará instantaneamente. Numa água com certa alcalinidade a adição de uma pequena quantidade de ácido fraco não provocará a elevação de seu pH, porque os íons presentes irão neutralizar o ácido.

O mesmo autor comenta que no caso das águas subterrâneas a alcalinidade é devida principalmente aos carbonatos e bicarbonatos e, secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia. A alcalinidade total é a soma da alcalinidade produzida por todos estes íons presentes numa água. A alcalinidade total de uma água é expressa em mg/L de CaCO_3 .

Condutividade Elétrica

É a capacidade da água transmitir a corrente elétrica. A condutividade da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais totais dissolvidos (STD) e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água.

Segundo Oliveira, Morais e Serzedelo (2000) a condutividade elétrica é um indicador da presença de material orgânico recente introduzido no corpo de água. Sob o Sistema Internacional de Unidades, deve-se utilizar o microsiemens/cm,

numericamente equivalente ao micromhos/cm (Porto *et al.* 1991). Neste trabalho será adotado o microsiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$).

Na água pura, a condutividade elétrica é baixa, variando de centésimos de $\mu\text{S/cm}$ a 25°C . Quanto maior a concentração iônica, maior a condutividade (boa correlação entre condutividade e concentração iônica para um soluto), (Porto *et al.* 1991).

Para Chapman e Kimstach (1998) a condutividade elétrica em águas doces varia de 10 a $1000 \mu\text{S/cm}$ e para a água do mar é naturalmente da ordem de $50.000 \mu\text{S/cm}$. Os mesmos autores afirmam que no momento em que a condutividade for igual ou maior que $1000 \mu\text{S/cm}$, as águas estão salobras e/ou podem estar poluídas.

Na maioria das águas subterrâneas naturais, a condutividade elétrica da água multiplicada por um fator, que varia entre 0,55 a 0,75, gera uma boa estimativa dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água (Feitosa e Manoel Filho, 1997). Nesta pesquisa será adotado o valor de 0,65 para a obtenção da concentração em mg/L.

Cor

É o resultado das substâncias dissolvidas na água, provenientes principalmente da lixiviação da matéria orgânica. A água em geral, apresenta uma coloração azulada quando pura e com grandes espessuras, arroxeadada quando rica em ferro, negra quando rica em manganês e amarelada quando rica em ácidos húmicos. Comumente as águas subterrâneas apresentam valores de coloração inferiores a 5 ppm de Pt (Platina), mas de forma anômala podem atingir até 100 ppm de Pt. Geralmente para ser potável, uma água não deve apresentar nenhuma cor de considerável intensidade (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

A Portaria 518/2004 estipulou para STD um máximo de 1000 mg/L para águas de consumo humano. A Portaria 357/2005 classificou três classes de águas; doces até 500 mg/L; salobras entre 500 e 3000 mg/L e salinas maior que 3000 mg/L.

Dureza Total

É definida como a dificuldade de uma água dissolver (fazer espuma) sabão pelo efeito do cálcio, magnésio e outros elementos como ferro, manganês, cobre, bário, etc. Alguns sólidos dissolvem-se rapidamente, enquanto outros se ionizam vagarosamente. O carbonato de cálcio se dissocia em íons de cálcio e carbonatos em grau dependente do pH da água, causando incrustações nas tubulações. Em

condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados. A água mole (baixa concentração de íons de cálcio) tende a dissolver a incrustação formada pelo carbonato de cálcio, enquanto que a água dura tende a precipitar carbonato de cálcio no interior das tubulações (Hammer, 1979).

Segundo Custódio e Llamas (1983 *apud* Feitosa e Manoel Filho, 1997) as águas com dureza total entre 0 e 50 mg/L de CaCO₃, são consideradas *brandas*. As águas com dureza total entre 50 e 100 mg/L de CaCO₃, são consideradas *pouco duras*. Aquelas com dureza total entre 100 e 200 mg/L de CaCO₃ são consideradas *duras*, e águas com mais de 200 mg/L de CaCO₃ até a saturação, *muito duras*.

OD

Feitosa e Manoel Filho (1997), citam valores entre 1 e 5 mg/L para este parâmetro no caso das águas subterrâneas.

pH

É a medida de concentração de íons H⁺ na água (potencial hidrogeniônico). O balanço dos íons hidrogênio e hidróxido (OH⁻) determinam quão ácida ou básica ela é. A faixa de pH varia de 0 a 14. Se predominar o hidrogênio, a água é ácida (pH abaixo de 7), se predominarem as oxidrilas, ela é básica ou alcalina (pH acima de 7), um estado de neutralidade ou de equilíbrio da água ocorre se o pH for igual a 7 (Porto et al, 1991).

Na água quimicamente pura os íons H⁺ estão em equilíbrio com os íons OH⁻ e seu pH é neutro. Os principais fatores que determinam o pH da água são a concentração do gás carbônico dissolvido e a alcalinidade. O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5 (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

De acordo com a Portaria 528 (2004) que estabeleceu os padrões de qualidade de água para o consumo humano, o pH deve variar entre 6,5 e 9,5.

Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Corresponde à carga sólida em suspensão e que pode ser separada por simples filtração ou mesmo decantação. O termo “sólidos” é amplamente utilizado para a maioria dos compostos presentes em água e que permanecem em estado sólido após evaporação. Sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais

correspondem aos resíduos não filtráveis e filtráveis respectivamente (Gastaldini e Mendonça, 2001).

Segundo Ribera (2004) o termo sólidos totais dissolvidos (STD) é o resíduo de uma amostra filtrada depois da evaporação. Valores altos de STD podem ocasionar problemas de gosto, corrosão e efeitos fisiológicos.

A maioria das águas subterrâneas não apresenta sólidos em suspensão e quando um poço está produzindo água com significativo teor de sólidos em suspensão é geralmente como consequência de mau dimensionamento do filtro ou do pré-filtro. As características químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam, guardando uma relação com os tipos de rochas drenados e com os produtos das atividades humanas adquiridos ao longo de seu trajeto. (Zimbres, 2003).

Temperatura

A amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa (de 1 a 2° C) e independe da temperatura atmosférica, a não ser nos aquíferos freáticos pouco profundos, onde a temperatura é um pouco superior à da superfície (Feitosa e Manoel Filho, 1997)

A temperatura influencia os processos biológicos, as reações químicas e as bioquímicas, que ocorrem na água e também outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos. A solubilidade dos gases decresce e a dos sais minerais cresce com o aumento da temperatura da água (Porto *et al.*, 1991).

Segundo Chang (2001) foram registradas temperaturas entre 50 e 70 °C em diversos poços profundos localizados sobre o SAG. Segundo o meso autor a temperatura mais elevada foi registrada no município de Cianorte (PR), à profundidade de 1565 m. De acordo com Araújo *et al.* (1999) as águas do SAG na região de afloramentos é menor que 25°C.

Turbidez

É a medida através do turbidímetro, comparando-se o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra com o espalhamento de um feixe de igual intensidade ao passar por uma suspensão padrão. Quanto maior o espalhamento maior será a turbidez. No Brasil a unidade mais utilizada é a Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT). A cor da água interfere negativamente na medida de turbidez

devido a sua propriedade de absorver a luz, em alguns casos, águas ricas em íons Fe, podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez.

3.7.1.1. Principais constituintes iônicos

A maioria das substâncias dissolvidas, nas águas subterrâneas, encontra-se no estado iônico. Segundo Custódio e Llamas (1983) as principais características desses íons são:

1) Cátions:

Cálcio (Ca^{+2})

Nas águas subterrâneas, os teores, em geral, variam entre 10 e 100 mg/L, sua fonte principal são os feldspatos plagioclásios (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

Segundo Drewer (1997) o cálcio e o magnésio entram no cálculo para obtenção da dureza total. Neste caso para os poços que não tenham valores de dureza total, mas possuem valores de concentração Ca^{2+} e Mg^{2+} , pode-se estimar o valor de dureza total em mg/L de $CaCO_3$ a partir Equação 2.

$$\boxed{\text{Dureza total (CaCO}_3\text{)} = 2,5(\text{mg/L Ca}) + 4,1(\text{mg/L Mg})} \dots\dots\dots (2)$$

Ferro (Fe)

Um alto teor de ferro nas águas pode estar ligado à presença de ferrobactérias ou mesmo à corrosão do revestimento ou filtro do poço. Ocorre principalmente sob a forma de Fe^{+3} (hidróxido férrico) podendo também ocorrer como Fe^{+2} (hidróxido ferroso). O ferro no estado ferroso é instável na presença do oxigênio do ar mudando para o estado férrico. No Brasil, seu valor máximo permissível é 0,1mg/L (Portaria nº 518/2004).

Magnésio (Mg^{+2})

O magnésio tem propriedades parecidas com as do cálcio; mas é mais solúvel e difícil de precipitar. Juntamente com o cálcio é responsável pela dureza total e produz gosto salobro nas águas. Devido aos minerais fornecedores de magnésio serem mais estáveis diante do intemperismo químico do que os minerais fornecedores de cálcio, o seu teor nas águas subterrâneas é geralmente menor do que o cálcio. Ocorre nas águas subterrâneas entre 1 e 40 mg/L (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

Manganês (Mn)

O manganês se assemelha ao ferro quimicamente em sua ocorrência nas águas subterrâneas. Sua presença nas águas naturais é menos comum e sua concentração é muito menor do que a do ferro. O manganês está presente com baixos teores ($< 0,2$ mg/L) em quase todas as águas naturais. Ferro e manganês, mesmo a concentrações muito baixas, são altamente objetáveis nas águas de abastecimento, para uso doméstico ou industrial (Hammer, 1979), pois traços de ferro e manganês podem afetar o gosto da água, além de causar manchas em aparelhos sanitários e roupas, após lavagem (Souza, 2001).

Potássio (K^+)

Ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e, ainda, de seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais. Os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg/L, sendo mais freqüentes valores entre 1 e 5 mg/L (Feitosa e Manoel Filho, 1997)

Sódio (Na^+)

É um dos metais alcalinos mais abundantes e importantes nas águas subterrâneas. Seus principais minerais fontes são os (feldspatos plagioclásios) sendo pouco resistentes aos processos intempéricos. Os sais formados nestes processos são muito solúveis.

Nas águas subterrâneas o teor de sódio varia entre 0,1 e 100 mg/L, sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga. Segundo

a OMS, o valor máximo recomendável de sódio na água potável é 200 mg/L, no Brasil o valor máximo permitido é 250mg/L conforme a Portaria nº 518/2004.

2) Ânions:

Bicarbonato (HCO_3^-)

Este íon não se oxida nem se reduz em águas naturais, porém pode se precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio (CaCO_3). Sua concentração varia entre 50 a 350 mg/L em águas doces. É o ânion mais importante nas águas subterrâneas.

Carbonato (CO_3^{2-})

A quantidade relativa de íons de carbonato é função do pH e do conteúdo de gás carbônico. Segundo Logan (1965), o carbonato somente excederá o bicarbonato quando o pH for igual ou superior a 10. O carbonato normalmente pode ser encontrado em águas com pH > ou igual a 8,2.

Cloreto (Cl^-)

Sua alta solubilidade e o movimento lento das águas no aquífero vão provocando aumento gradativos e constantes dos seus teores nas águas subterrâneas na direção do fluxo, seu valor máximo permissível é de 250mg/L segundo a OMS e a Portaria nº518/2004.

Nitratos (NO_3^-)

Ocorre em geral com pequeno teor e pode ser removido das camadas superiores do solo para a água (Bower, 1978). O nitrato representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica e teores acima de 5mg/L podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade humana (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, etc.). A presença de nitrito na água subterrânea é um indicativo de poluição recente.

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de nitrato no intervalo de 0,1 a 10 mg/L, porém, em águas poluídas, os teores podem chegar a 1.000mg/L (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

Segundo Cederstrom (1964) beber água com muito nitrato é perigoso para senhoras grávidas porque elas dão a luz a crianças azuis, crianças onde falta à circulação do sangue. A doença das crianças azuis ou crianças normais que ficam doentes devido a ter bebido água com nitrato chama-se "cianose".

Sulfato (SO_4^{-2})

Origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita). As águas subterrâneas apresentam geralmente teores inferiores a 100 mg/L.

Flúor (F)

O F^- possui solubilidade limitada e pouco contribui para a alcalinidade da água, pois se hidrolisa rapidamente. Suas concentrações estão entre 0,1 e 1,5 mg/L nas águas naturais, podendo chegar até 10 mg/L e, raramente a 50 mg/L em águas muito sódicas com pouco cálcio. A presença de cálcio limita a concentração de flúor (Feitosa e Manoel Filho, 1997).

O limite ótimo de fluoreto para uma dada comunidade depende das condições climáticas, principalmente a temperatura do ar, que influenciará na quantidade de água ingerida pelas crianças ou adultos, além dos hábitos alimentares, pois alguns alimentos contêm fluoretos (Souza, 2001).

Silvério da Silva *et al.* (2000) estudaram as concentrações de flúor em 28 poços tubulares do município de Santa Maria, encontrando apenas três valores acima do VMP (valor máximo permissível) estipulado pela Portaria Nº 518/2004, fixado em 1,5mg/L. Em 2002 citaram-se valores de até 11 mg/L em águas subterrâneas do SAG nos municípios de Venâncio Aires e Santa Cruz do Sul, sugerindo que nem todas as águas do SAG são doces, nem potáveis.

ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização da cidade

Sant'Ana do Livramento encontra-se localizada na área da fronteira sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, fazendo limites com os municípios de Rosário do Sul ao Norte, Quaraí a Oeste, Dom Pedrito a Leste e Rivera ao Sul (República Oriental do Uruguai). Na Figura 6 é apresentada a área de estudo, compreendida pelas coordenadas UTM¹⁴ 637259 e 646209 de Longitude Oeste e 6579012 e 6586022 de Latitude Norte. Esta área urbana apresenta cerca de 48,60 km².

¹⁴ UTM, Significa Universal Transversa de Mercator.

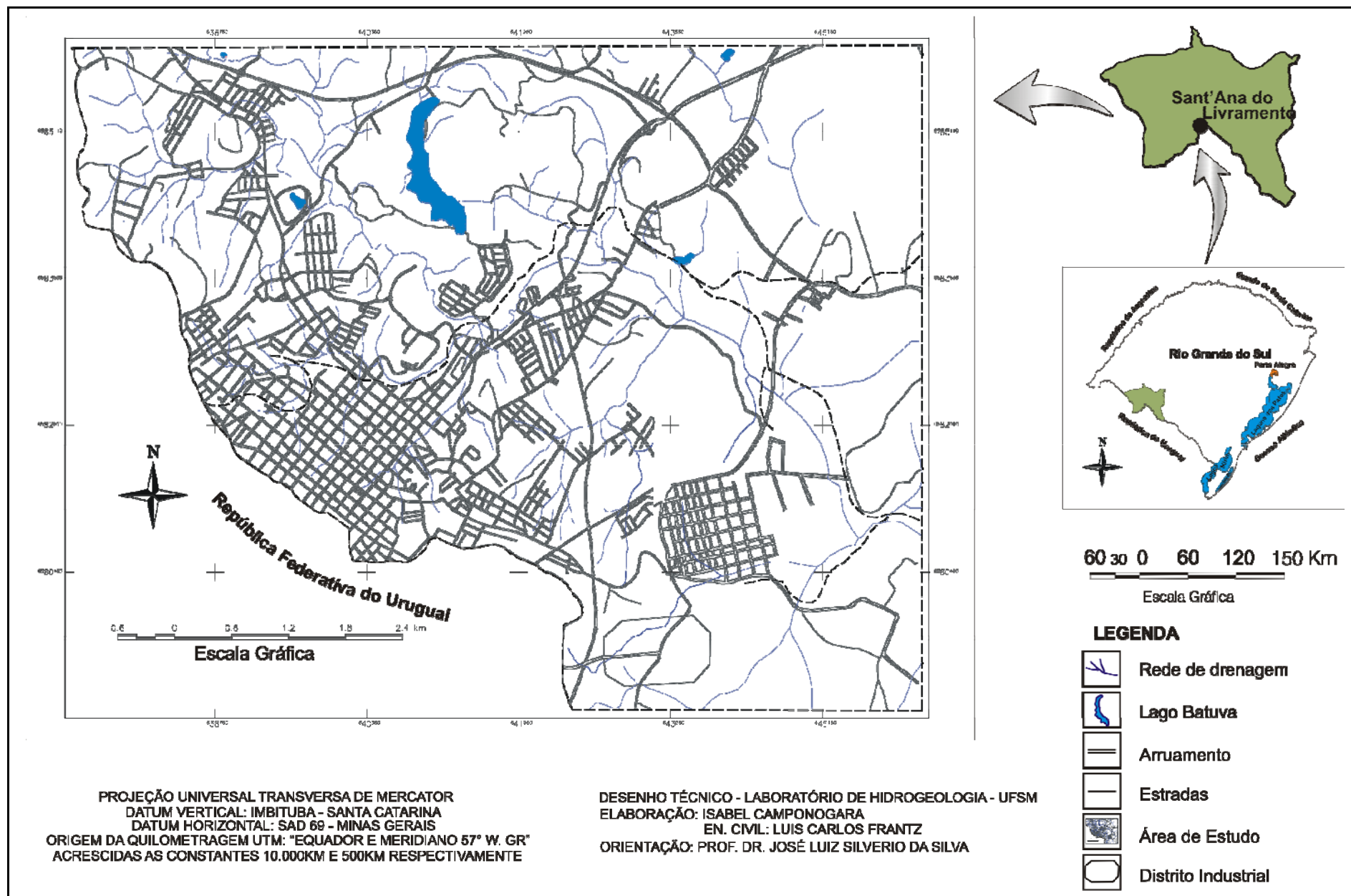


Figura 6 - Localização da área de estudo
 Elaboração: FRANTZ, L. C.; CAMPONOGARA, I. (2005)

3.2. Generalidades e clima

Sant'Ana do Livramento é conhecida por formar com Rivera, a Fronteira da Paz, devido ao convívio harmonioso entre os habitantes daquelas duas cidades. De acordo com a classificação de Köppen (1948) seu clima é do tipo **Cfa** (**C**: temperado quente ou mesotermal, temperatura média do mês mais frio entre 18° e 3°C; **f**: indica ano sem estação seca, com precipitação média do mês mais frio, uma a três vezes superior à do mês mais quente; **a**: equivale a verões quentes, sendo a média do mês mais quente superior a 22°C).

De acordo com Hausman (1995), o volume de precipitação média anual de Livramento fica abaixo dos 1400mm, com médias mensais de 100 a 150mm, ocorrendo um déficit hídrico nos meses de dezembro a fevereiro.

O mesmo autor estima que a região apresenta uma evapotranspiração real variando entre 800 a 900 mm anuais, resultando numa disponibilidade hídrica anual de 500 a 600mm. A infiltração média anual varia de 50 a 100mm o que representa uma variação de 3,5 a 7% do total anual precipitado.

Quanto ao relevo, Livramento apresenta sua paisagem salpicada de cerros, sendo os de maior elevação o do Itaquiatiá (395m), da Cruz (392m) e da Vigia (338m). Há também cerros de menor tamanho como o Cerro de Palomas (310m, localizado fora da área de estudo), o Registro, Tabatinga (259m) e o do Marco (localizado na linha divisória com Rivera-UY (<http://www.aplateia.com.br>)).

Baseado nas informações do Segundo Relatório do Aquífero Guaraní elaborado por Silvério da Silva *et al.* (2005), a cidade de Sant'Ana do Livramento conta com 93 poços tubulares ativos para usos múltiplos de água, que ressalta a importância e o potencial subterrâneo daquela região.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2001) Santana do Livramento conta com uma população de 90.849 habitantes, sendo que destes 84.455 vivem na zona urbana e os demais 6.394 na zona rural.

Na agricultura destacam-se nesta ordem de magnitude a produção de arroz, milho, sorgo e soja. Na pecuária merecem destaque as criações de bovinos, ovinos, eqüinos e suínos. A criação de ovinos está voltada principalmente para a produção de lã e de carne em segundo plano.

De acordo com o Relatório Técnico (2003), o Frigorífico ARMOUR/CICADE, localizado no setor leste da área urbana, conta com cinco poços tubulares os quais atualmente encontra-se desativados com o fechamento do frigorífico. Por outro lado o Lanifício Albornoz, situado a oeste do centro urbano conta com três poços ativos.

O Departamento de Águas e Esgotos (DAE) de Sant'Ana do Livramento é uma autarquia municipal responsável pela captação de água subterrânea via poços tubulares, tratando-a e distribuindo-a para a população urbana e parte da população rural.

Contando até o momento com um total de 48 poços em seu cadastro, o DAE possui em franca atividade 46 deles, sendo que 41 estão localizados dentro da área de estudo deste trabalho; apenas o poço novo IN097, localizado no Distrito Industrial está desativado.

A Comissão Transfronteiriça para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento sustentável do SAG/COTRAGUA tem como objetivos ordenar, vigiar, fiscalizar e fazer uma implementação efetiva de gestão proposta pelo projeto SAG, para o projeto piloto Rivera – Livramento.

De acordo com Eckert e Caye (1995) existem cerca de 5 empreendimentos hoteleiros na região em estudo. No setor de serviços, a cidade conta com cinco agências bancárias. No setor de ensino, o mesmo órgão identificou no mesmo ano 56 escolas de ensino fundamental, sendo que destas 26 são públicas da rede municipal e 27 da rede estadual além de 3 particulares (IBGE, 2003). Segundo o mesmo órgão, o ensino médio conta com 11 escolas sendo que 8 destas são da rede estadual de ensino e 3 da rede privada. No âmbito de ensino pré-escolar há um conjunto de 58 escolas, das quais 26 pertencem à rede pública municipal, 19 à rede pública estadual e 13 à rede privada de ensino.

No ensino superior, a cidade conta com duas instituições sendo uma delas privada, a Universidade da Região da Campanha (URCAMP), e a outra pública, a Universidade do Estado do Rio Grande do Sul (UERGS), que no momento devido à fase inicial de sua criação está oferecendo somente dois cursos¹⁵.

¹⁵ Os cursos oferecidos pela instituição são: (1) Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia e (2) Tecnologia em Agropecuária: Agroindústria.

METODOLOGIA

4.1. Passos para a execução da pesquisa

4.1.1. Elaboração de um banco de dados

A elaboração do banco de dados foi feita com a utilização do programa *Excel* e teve como fonte principal à pesquisa realizada por Eckert e Caye (1995), a qual continha com um cadastro de 119 poços. A atualização dos dados desta pesquisa foi feita com base nas informações do Sistema de Informações sobre a campanha de campo e visita á sede do DAE que totalizou 145 poços e três nascentes pertencentes à área de estudo catalogadas conforme o Anexo 1.

O Anexo 1 apresenta uma série de informações sobre 27 parâmetros descritos no Quadro 3, com informações de cada poço para 2005:

Com relação às siglas dos poços, adotaram-se as iniciais do nome dos proprietários, já utilizada por Eckert e Caye (1995). As siglas IN foram adotadas pela CPRM no SIAGAS, projeto recadastramento dos poços e Mapa Hidrogeológico do Estado do RS em 2005.

Coluna ¹⁶	Descrição
A	Código do poço no SIAGAS/CPRM, utilizando 10 dígitos (43 indica o Estado do RS)
B	Sigla do Poço
C	Tipo do Poço
D	Situação do Poço
E	Diâmetro do Poço (polegadas)
F	Localidade/Nome Geográfico
G	Nome do Proprietário
H	Coordenadas UTM E (m)
I	Coordenadas UTM N (m)
J	Altitude da Boca do Poço (m)
K	Uso da Água
L	Profundidade do Poço (m)
M	Nível Estático (N.E.) do Poço (m)
N	Nível Dinâmico (N.D.) do Poço (m)
O	Abaixamento do Nível da Água após o Teste de Bombeamento (m)
P	Vazão do Poço (m ³ /h)
Q	Vazão Específica do Poço (m ³ /h/m)
R	Ano da Construção
S	Nome da Empresa Construtora
T	Litologia
U	Tipo de Aquífero
V	Superfície Potenciométrica (m), diferença entre as colunas J e M .
W	G (Grau de Confinamento) : Valor atribuído conforme o método de Foster et al. (2003) da água subterrânea conforme o tipo de aquífero.
X	O (Ocorrência Litológica) : Valor atribuído conforme o método de Foster et al. (2003) para a litologia.
Y	D (Distância da Água) : Valor atribuído conforme o método de Foster et al. (2003) para a litologia.
Z	Índice de Vulnerabilidade obtido pelo produto entre as colunas W, X e Y.
AA	Classes de Vulnerabilidade conforme seu índice (desprezível, baixo, médio, alto e extremo).

Quadro 3 - Descrição dos 27 itens no Banco de Dados sobre os poços existentes no perímetro urbano de Sant'Ana do Livramento/RS no ano de 2005.

Elaboração: Frantz, L. C.

A superfície potenciométrica é obtida pela relação entre a cota altimétrica na “boca do poço” tomada com “GPS” ou de dados pré-existentes com o nível estático. Indica o peso da coluna d’água sobre o *datum* horizontal e indica a tendência de movimentação do fluxo subterrâneo.

Do montante de poços e nascentes, apenas 15 apresentam análises físico-químicas completas conforme (Anexo 2), das quais 10 provêm do trabalho pré-existente realizado por Eckert e Caye (1995), quatro foram realizadas por Silvério *et al.* (2005) e uma realizada pelo Laboratório de Química Industrial e Ambiental/LAQIA/UFMS referente ao poço escavado no Cemitério Tabatinga.

¹⁶ As letras contidas neste quadro se referem àquelas contidas em toda planilha *Excel* dos anexos.

O Quadro 4 ilustra os 32 parâmetros físico-químicos avaliados em 13 poços e de duas nascentes, de um total de 145 poços e três nascentes catalogadas neste projeto. Os resultados destas análises se encontram no Anexo 2 desta pesquisa e fazem parte do Segundo Relatório Técnico de Avanço (Silvério et al., 2005).

Coluna ¹⁷	Descrição
A	Código do poço no SIAGAS/CPRM, utilizando 10 dígitos (43 indica o Estado do RS)
B	Sigla do Poço
C	Localidade
D	Profundidade do Poço (m)
E	Proprietário
F	Coordenadas UTM (Longitude E)
G	Coordenadas UTM (Latitude N)
H	Litologia
I	Tipo de Aquífero
J	Temperatura do Ar (°C)
K	Temperatura da Água (°C)
L	pH de Campo
M	Condutividade Elétrica (µS/cm)
N	Contagem de Bactéria
O	pH de Laboratório
P	Alcalinidade Total (mg/L)
Q	Sólidos Totais (mg/L)
R	Dureza Total (mg/L) de CaCO ₃
S	Ca ⁺² (mg/L)
T	Mg ⁺² (mg/L)
U	Na ⁺ (mg/L)
V	Fe Total
W	Mn (mg/L)
X	Cl ⁻ (mg/L)
Y	SO ₄ ⁻² (mg/L)
Z	HCO ₃ ⁻ (mg/L)
AA	NO ₃ ⁻ (mg/L)
AB	F ⁻ (mg/L)
AC	Oxig. Dissolv. (mg/L)
AD	CO ₂ Total (mg/L)
AE	Turbidez (UNT) ¹⁸
AF	STD (mg/L)
AG	Classificação Quanto à Dureza

Quadro 4 - Parâmetros químicos para a área de estudo.
Elaboração: FRANTZ, L. C.

¹⁷ As letras contidas neste quadro se referem àquelas contidas em toda planilha *Excel* dos anexos.

¹⁸ UNT. Unidade Nefelométrica de Turbidez.

Destaca-se ainda que além dessas informações, o Anexo 2 apresenta um cadastro de 8 poços, contendo apenas informações sobre a turbidez, a condutividade elétrica, a temperatura da água, obtidos do SIAGAS (2005). A classificação da água destes poços quanto à dureza foi feita baseada na classificação de Custódio e Llamas (1983, apud Feitosa e Manoel Filho, 1997) em brandas, pouco dura, dura e muito dura, expressa em mg/L de CaCO₃.

Para o cálculo da dureza utilizou-se as concentrações em cálcio e em magnésio de acordo com a equação (2).

Os STD são obtidos a partir da multiplicação dos valores da condutividade elétrica expressa em $\mu\text{S/cm}$ por 0,65, obtendo-se o resultado em mg/L. Este parâmetro pode indicar se as águas são doces ($\leq 500\text{mg/L}$); salobras (500 – 3000 mg/L) ou salinas ($> 3000\text{ mg/L}$), segundo a Resolução do CONAMA N° 357/2005.

4.1.2. Confeção do mapa da área de estudo

A confeção do mapa da área de estudo foi feita a partir da digitalização no programa *SPRING 4.1* de parte das cartas topográficas de número SH.21-Z-A-VI-4-SE (MI-2991/4) e SH.21-Z-A-VI-4-ME (MI-2991/4), ambas na escala 1:25000 editadas em 1984 pelo exército brasileiro. Também foi utilizada a carta Palomas na escala 1:50.000 igualmente editada pelo exército brasileiro em 1980 cujo número é SH.21-Z-B-IV-3 (MI-2992/3). A origem da quilometragem em UTM é o Equador e o meridiano 57° W.GR., (acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente). A projeção é a Universal Transversa de Mercator e o *Datum* vertical é o Porto de Imbituba – Santa Catarina e o *Datum* Horizontal é o SAD¹⁹ 69 - Minas Gerais.

Durante os trabalhos de campo utilizou-se o *Global Position System* (GPS) *Garmin eTrex Legend* manual para obtenção de coordenadas de poços, nascentes, pontos potenciais de contaminação e para localizar a geologia do terreno no mapa geológico. A precisão do GPS de mão quanto à altitude é menor do que 15m (*Owner's manual and reference guide*, 2002).

¹⁹ SAD – Significa *South América Datum* 69

4.1.3. Identificação e localização das fontes e pontos potenciais de contaminação

Por uma questão de limitação de recursos, identificaram-se somente dois tipos de empreendimentos potencialmente contaminantes: postos de combustíveis e cemitérios.

4.1.4. Metodologia G.O.D

Devido à dificuldade de obtenção de dados referentes aos parâmetros avaliados pelos métodos de avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos, optou-se pela metodologia “G.O.D.” que utiliza apenas de três elementos para a avaliação deste índice. Informa-se que esta metodologia é assim chamada devido suas iniciais provirem do inglês, significando respectivamente **G**roundwater hydraulic **c**onfinement (grau de confinamento hidráulico), **O**verlying **s**trata (Ocorrência de substrato litológico), **D**epth to groundwater table (Distância da água, ou seja, profundidade do lençol freático ou teto do aquífero confinado) (Foster et al., 2003, p.23).

A avaliação da vulnerabilidade envolve três etapas detalhadas na Figura 7.

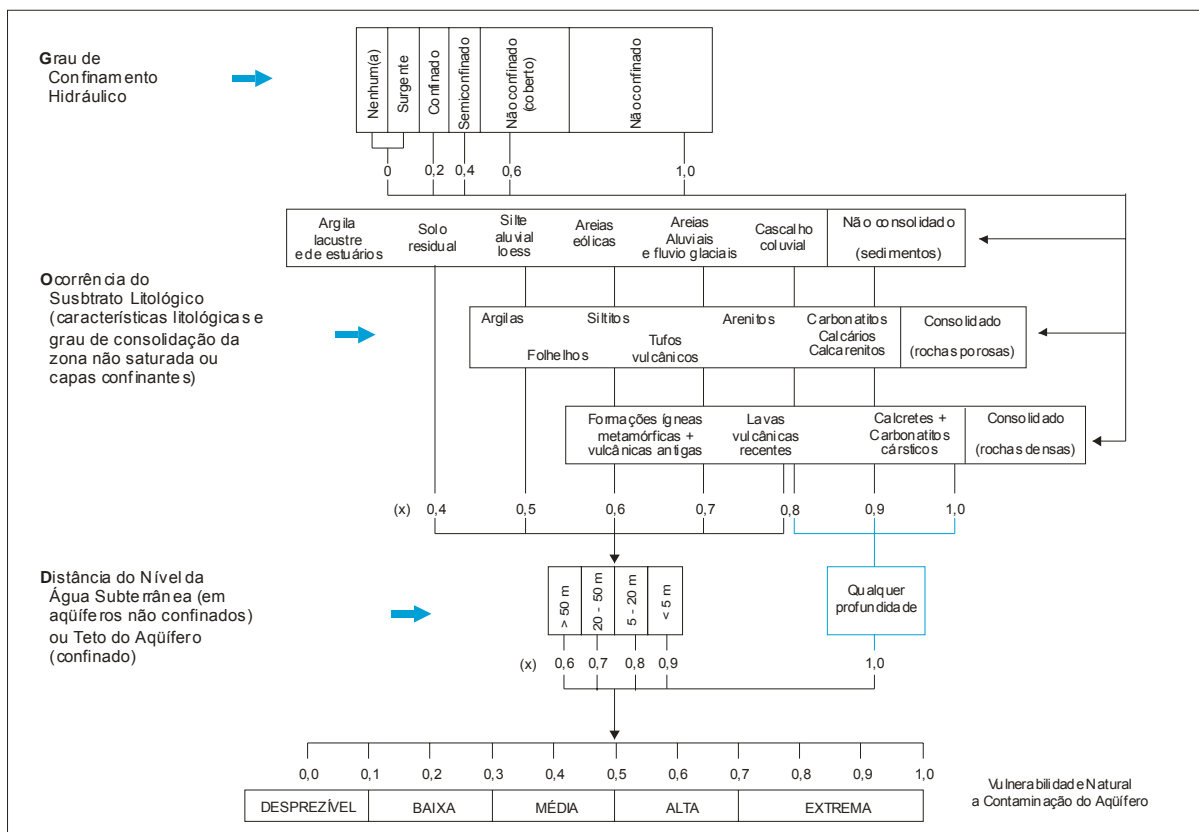


Figura 7 - Metodologia “GOD” para avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos. Fonte: Foster et al.. (2003).

Esta Figura representa o esquema de combinação de valores atribuídos conforme a situação de cada um dos parâmetros descritos no método. O grau de confinamento hidráulico (**G**) é o primeiro parâmetro avaliado pela metodologia e o valor atribuído ao aquífero ou à nascente varia entre zero (para surgente) e 1,0 (para não-confinado). O valor 1 indica a condição de maior risco potencial.

O segundo parâmetro a ser analisado é o da ocorrência do substrato litológico (**O**), que classifica as amostras quanto às características litológicas e grau de consolidação da zona não saturada ou capas confinantes. As notas atribuídas a este parâmetro variam de 0,4 a 1,0, sendo que a primeira representa a situação de menor risco e última para a situação de maior risco potencial.

O último parâmetro é a distância do nível da água subterrânea (**D**) cuja nota é indicada pela profundidade do nível estático e confere valores entre 0,6 e 1,0, conferindo o menor valor ao menor risco e o maior valor a situação de maior risco potencial. Quanto mais profundo maior a espessura de rochas para o contaminante atravessar, logo melhor condição.

O índice de vulnerabilidade é obtido pelo produto entre os três valores obtidos e classificado em classes conforme os valores deste produto: desprezível (0,0 a 0,1), baixa (0,1 a 0,3), média (0,3 a 0,5), alta (0,5 a 0,7) e extrema (0,7 a 1,0).

De posse dos dados dos poços distribuídos no banco de dados, foram preenchidas as lacunas da coluna **W** do Anexo 1. Estas reservadas para o primeiro parâmetro **G** - *Groundwater occurrence*, que classifica o aquífero quanto à pressão atuante sobre partículas, poros e fraturas em:

- 1) Não confinado (livre ou freático) nota: **1,0**;
- 2) Não confinado coberto (livre ou freático coberto), nota: **0,6**;
- 3) Semiconfinado (confinado drenante), nota: **0,4**;
- 4) Confinado artesianos (confinado não drenante surgente), nota: **0,2**;
- 5) Surgente (nascente), nota: **0,0**.

A seguir foram preenchidas as lacunas da coluna **X**, com os valores atribuídos pelo segundo parâmetro **O** - *Overall Aquifer Class*, que classifica o aquífero em função do grau de confinamento e das características litológicas das camadas aquíferas penetradas no poço. Nesta classificação obtiveram-se somente três tipos de litologias que são as Formações: Botucatu (nota: **0,8**), Rosário do Sul (nota: **0,7**) e Serra Geral (nota: **0,6**).

A Fm. Serra Geral é constituída de derrames vulcânicos de constituição basáltica, apresenta uma porosidade primária inferior a 1%, compondo um aquífero do tipo cristalino/fraturado ou fissural. Portanto, a água subterrânea encontra-se em fraturas de lavas antigas, maciças ou vesiculares (SILVERIO DA SILVA, MAZIERO e DOS SANTOS, 2004, p.146).

Os arenitos médios a finos, de estratificação cruzada e estruturas tabulares, pertencentes à Fm. Rosário do Sul apresentam intercalações de níveis argilosos ou com intraclastos. Os argilitos apresentam uma porosidade elevada de até 50%, segundo Cederstrom (1965), mas uma baixíssima permeabilidade, cujas camadas confinantes servem de atenuantes à circulação de carga contaminante imposta, como parte das águas subterrâneas, portanto recebeu nota menor.

Já os arenitos médios a finos, com estratificação de alto ângulo, típicos de paleoambientes eólicos, contendo cerca de 99% de grãos de quartzo arredondado, apresentam uma porosidade de 18 a 30%, segundo Araújo et al. (1999). Dessa forma, estes arenitos apresentam um baixo grau de confinamento hidráulico, podendo difundir a carga contaminante. Portanto apresentou maior risco, logo nota maior.

E, por final completou-se a coluna **Y** com os valores obtidos pela aplicação do terceiro e último parâmetro **D** - *Depth to Groundwater Table or strike*, que classifica o aquífero em relação à profundidade do nível freático (aquífero livre ou freático) ou profundidade do topo do aquífero (aquífero confinado drenante e não drenante).

Conforme ilustrado na Figura 7, atribuíram-se as notas para os níveis estáticos correspondentes a valores:

- 1) superiores a 50m. Nota: **0,6**;
- 2) compreendidos entre 20 e 50m. Nota: **0,7**;
- 3) compreendidos entre 5 a 20m. Nota: **0,8**;
- 4) inferiores a 5m. Nota: **0,9**;
- 5) para qualquer profundidade. Nota: **1,0**.

Salienta-se que aqueles aquíferos que apresentam níveis estáticos mais superficiais poderão ser atingidos mais facilmente por uma carga contaminante imposta na superfície do terreno, portanto recebem notas maiores. Poços com níveis estáticos profundos também podem ser contaminados devido à presença da fonte contaminante na superfície, porém este contaminante levará muito tempo para atingir o lençol freático, desta forma estes poços recebem a menor nota pra este

parâmetro (0,6). O nível estático do poço do cemitério Tabatinga foi medido com o freatímetro, medidor do tipo Jaciri de apito, dotado de cabo de 100 metros.

Para a obtenção do índice de vulnerabilidade do aquífero é necessário efetuar a multiplicação do valor de cada parâmetro de cada um dos poços e nas nascentes do cadastro (Anexo 1), o resultado dessa multiplicação pode variar de 0,6 a 1,0; indicando dessa forma a classe de vulnerabilidade natural a que cada poço ou nascente pertence.

Foster e Hirata (1993) mencionam que a vulnerabilidade é um conjunto de valores que tornam ou não um setor mais susceptível a contaminação; tudo depende da presença do contaminante sobre essa área.

Dessa forma lembra-se que um sítio cuja vulnerabilidade é classificada como extrema, pode não representar risco de contaminação caso não exista uma fonte contaminante sobre este. Por exemplo, no Distrito Industrial do município de Sant'Ana do Livramento existe um poço tubular e não há cargas contaminantes impostas uma vez que no ano de 2005 apenas estavam instaladas uma engarrafadora de bebidas e um galpão de máquinas da Prefeitura Municipal, pois ainda não estão ocorrendo despejos industriais. Em outras palavras dizer que uma determinada região tem uma vulnerabilidade alta não quer dizer necessariamente que esteja sobre esta, um agente poluidor.

4.1.5. Coleta de água para análise química

Durante a coleta de amostras de água para análises químicas em laboratório foram avaliados alguns parâmetros de campo tais como: pH, CE, OD, alcalinidade total e as temperaturas do ar e da água. No caso da avaliação da condutividade elétrica utilizou-se o condutímetro HANNA HI 93.000. Na avaliação dos dados de PH, oxigênio dissolvido, e temperatura da água, utilizou-se uma Multisonda D55 HORIBA e a Alcalinidade Total foi obtida por titulação com fenoltaleína alcoólica + alaranjado de metila e titulação com solução de H_2SO_4 a 0,02N, no mesmo dia da coleta, obtendo-se concentração em mg/L.

4.1.6. Confeção de cartas

A confecção das cartas temáticas teve como base as três cartas topográficas citadas anteriormente.

Para isso elaborou-se uma carta clinográfica para o qual adotaram-se as classes de declividades definidas por De Biasi (1970) com o intuito de definir as áreas de preservação permanente conforme o Código Florestal Brasileiro (Decreto Lei N° 4771 de 15 de Setembro de 1965) devido à ocorrência de devastação de vegetação e retirada de basalto alterado no Cerro Tabatinga. Para a execução deste mapa foi utilizado o mapa da localização da área de estudo digitalizado no programa *SPRING 4.1* e, na geração das declividades definiu-se uma malha de 30X30m. As curvas de nível digitalizadas foram de 10 em 10 metros.

Para a elaboração do mapa geológico da área utilizou-se o mapa de Eckert e Caye (1995) com apoio de duas saídas de campo com acompanhamento do orientador e nestas demarcadas as localizações dos afloramentos com o uso de *GPS*. A seguir foi confeccionado o mapa cuja área mapeada foi de 48,60 km². Os poços e as nascentes cadastradas no Anexo 1 foram lançados com suas respectivas siglas sobre este mapa geológico, espacializando estas informações em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Utilizando-se os resultados desse cadastro, após ter sido executado a sua consistência, efetuou-se a espacialização dessas informações no programa *Surfer 8*, elaborando-se cartogramas com os dados sobre o nível estático, de vazão, da superfície potenciométrica, bem como do índice de vulnerabilidade do sistema aquífero. Também espacializou-se a condutividade elétrica da água analisada de 21 poços e de uma nascente, conforme Anexo 2 .

Para a representação espacial das classes de vulnerabilidade obtidas com a aplicação do método desenvolvido por Foster *et al.*, (2003) utilizou-se o programa *Surfer 8*. Como interpolador utilizado neste programa, optou-se pela *Krigagem* em virtude da disposição espacial dos poços analisados mas também testou-se outros interpoladores.

A *krigagem* é um método geoestatístico de malhas muito flexível que provou ser útil e popular em muitos campos. Este método produz mapas visualmente interessantes a partir de dados irregularmente espacializados.

A *krigagem* para Deutsch (1998) é um estimador de média ponderada local que utiliza o critério de minimização da variância de estimação para definir os pesos associados a cada amostra considerada. Além disso, esse critério permite a criação

de um mapa de incertezas de estimação associado ao mapa de atributos espacializados. Estas são as principais vantagens do interpolador de krigagem em relação a outros interpoladores de média ponderada, cujos ponderadores são, em geral, definidos por paradigmas subjetivos.

Dentro do programa SURFER, a *krigagem* pode ser um interpolador exato ou um interpolador suavizador dependendo dos parâmetros especificados pelo usuário. Incorpora anisotropia e tendências subjacentes de uma maneira eficiente e natural (*Surfer 8.0 User's Guide*, 2004).

Com os dados do nível estático, da vazão, da condutividade elétrica e da superfície potenciométrica dos poços foram elaborados quatro planos de informação (cartogramas) que demonstram sua variação espacial. Nesta representação foram usados respectivamente: 121, 129, 22 e 126 dados, pois os demais não foi possível avaliar devido à falta de informações. Ressalta-se que devido à falta de dados sobre a vazão não foi possível utilizar as três nascentes cadastradas na avaliação de tal parâmetro.

Informa-se ainda que os cartogramas gerados no programa *Surfer 8* para o caso da Vazão, da condutividade elétrica, da superfície potenciométrica (potenciometria dos poços) e finalmente da vulnerabilidade natural do aquífero na região, foram sobrepostos ao mapa de localização editado no Programa Spring 4.1, com o intuito de facilitar ao leitor a localização dentro da área.

Nesta pesquisa, a escolha da *krigagem* como interpolador para a elaboração da maioria dos cartogramas ocorreu por este ser, o que parece melhor representar a variabilidade dos dados espacializados, a anisotropia, as variações em diferentes direções, tais como: variação da altitude, variação do nível estático, variação da vazão de exploração e da superfície potenciométrica, bem como a anisotropia dos materiais rochosos aquíferos, (camadas permeáveis lateral e verticalmente justapostas com camadas impermeáveis).

Também foram testados outros interpoladores como o da curvatura mínima (*Minimum Curvature*), o do inverso do quadrado da distância (*Inverse Distance to a Power*) e do vizinho mais próximo (*Nearest Neighbour*). A interpolação por *krigagem* utilizada no *Surfer* foi a *krigagem* ordinária pontual. Antes de aplicar essa técnica de interpolação, realizou-se um estudo de continuidade espacial sobre os dados. Esse estudo é imprescindível para correta utilização do método, por ser base da

geoestatística e o diferencial sobre os outros métodos de interpolação (Camargo *et al.*, 2004).

No caso do interpolador do vizinho mais próximo, é nomeado o valor do ponto mais próximo de cada nó da malha. É um método útil quando se têm dados uniformemente espacializados, que não é o caso dos dados de poços obtidos nesta pesquisa. Posteriormente esses planos de informações foram exportados do *Surfer 8* e importados para o programa *CoreDRAW 11* onde receberam a edição final.

Em complementação ao cartograma da superfície potenciométrica, elaborou-se um segundo cartograma representando os poços com a profundidade do seu nível estático. No cartograma da superfície potenciométrica traçou-se as tendências de sentido da direção dos fluxos subterrâneos da água com uso de setas (vetores). Buscando-se facilitar a visualização dos diversos mapas temáticos e cartogramas inseriu-se nestes alguns pontos de controle, para fazer-se à visualização simultânea, uma vez que existe uma fronteira seca entre Sant'Ana do Livramento (BR) e Rivera (UY). Ressalta-se que o Cerro do Marco indica a divisa entre os dois países e no centro urbano.

Numa etapa posterior do trabalho identificaram-se em campo alguns dos possíveis pontos potenciais de contaminação do SAG, como postos de combustíveis e cemitérios. Utilizou-se o GPS para coletar as coordenadas UTM com o intuito de elaborar um cadastro destes pontos e atualizar os dados em SIG.

Buscando-se identificar a situação atual das fontes potenciais de contaminação, utilizou-se uma câmera digital AIPTEK para registrar imagens. Posteriormente, obteve-se um banco de imagens e inserindo-se as mais relevantes e /ou ilustrativas como figuras neste texto a partir do Aplicativo Word XP.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A água do subsolo, extraída deste por meio de poços, visa em nosso país o abastecimento humano e industrial, além da irrigação e de atividades de recreação. O abastecimento humano se destina tanto para o meio rural quanto ao meio urbano, sendo que este com maior significância. Incluindo no abastecimento humano pode-se citar várias instituições que fazem uso desta água, principalmente no meio urbano como é o caso de universidades, escolas, hospitais, condomínios residenciais, creches, sanatórios, farmácias, lojas, hotéis, igrejas, clubes de futebol e piscinas, dentre outros.

No Brasil, o uso da água subterrânea na indústria é expressivo no setor de bebidas: na fabricação de cerveja, refrigerantes, sucos e chá, águas minerais e/ou potáveis de mesa. Também são exemplos de uso industrial da água subterrânea os postos de combustíveis, lava a jatos, madeireiras, indústrias de conservas e enlatados, etc. Quanto à irrigação, diz-se que a água provinda de poços pode ser muito útil no suprimento de umidade em lavouras cultivadas por frutíferas, como em lavouras cultivadas por cereais e grãos, um exemplo é o cultivo do arroz e do milho. Nas atividades recreacionais destaca-se o uso da água termal, utilizada em piscinas de clubes recreativos e em centros esportivos.

Na região de estudo são exemplos de uso industrial da água subterrânea a utilização desta pelos postos de combustíveis na lavagem de automóveis, o lanifício Albornoz e o Supermercado BIG pertencente a SONAE SA. Como exemplos no uso humano tem-se o DAE que é o órgão municipal responsável pelo abastecimento público urbano de água, bem como responsável pelo destino das águas servidas.

5.1. Quantitativos

Salienta-se que no banco de dados desta pesquisa (Anexo1), encontram-se descritas as informações quanto ao uso dos poços cadastrados, assim obteve-se 11 poços de uso industrial (I), 117 de uso humano (H), 16 sem uso (SU), duas nascentes não estão sendo usadas (S), a nascente Santo Inácio que está sendo usada para a recreação (R) e a água do poço do cemitério da Tabatinga é usado para molhar flores (MF).

Ainda a respeito do Anexo 1 destaca-se que neste há um cadastro de informações catalogadas sobre 143 poços tubulares, dos quais 85 perfurados de forma mecânica e os 58 restantes escavados manualmente, além de três nascentes e de dois poços sem informação quanto à natureza construtiva.

Do total de poços cadastrados na área de estudo 50 estão penetrantes na Formação Serra Geral, 23 na Formação Rosário do Sul e 80 na Formação Botucatu, conforme o mapa geológico representado na Figura 8. Salienta-se que alguns poços foram penetrantes nos basaltos da Formação Serra Geral e também em arenitos interderrames. Por outro lado à variação das vazões relativas a cada uma das formações estão apresentadas no Quadro 5.

Tipo Formação	Vazão (m ³ /h)	
	Mínima	Máxima
Serra Geral	1,5	60
Botucatu	0,20	93
Rosário do Sul	46,6	99

Quadro 5 - Faixa de variação da vazão dos poços segundo as formações pertencentes. Elaboração. FRANTZ, L. C. (2005).

A partir deste quadro observou-se a grande variabilidade na produção efetiva de água nos aquíferos porosos, pois mesmo os arenitos da Formação Botucatu podem reservar muita pouca água em alguns locais. O mesmo ocorre na Formação Rosário do Sul, o que deve estar relacionado às propriedades intrínsecas naturais, como a variação das granulometrias laterais (fáceis sedimentares) quanto nas verticais. Para os aquíferos cristalinos fissurais, Formação Serra Geral, a variação das vazões entre 1,5 e 60 m³/h mostra que nem todas as fraturas, ou zonas amigdalóides, estão conectadas. Em vários locais os derrames aparecem maciços, sem conexão hidráulica.

Salienta-se que o Cerro do Registro, localizado no setor NW da área urbana está bem protegido pela sua vegetação natural e que nas proximidades deste encontram-se várias fontes naturais (NVR, NSI e NTC) as quais recêm fluxos atuais o ano todo. Não foi o caso da fonte entubada na cidade vizinha, Rivera (UY), no Bairro Grã-Betanha que durante a seca 2004/2005 secou (Silvério da Silva *et al.*, 2005).