

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE DOS
AQÜÍFEROS SERRA GERAL E GUARANI NA ÁREA DE
INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E
MACHADINHO, SC-RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Autor: Cícero Augusto de Souza Almeida

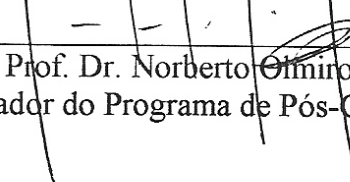
Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe

Florianópolis, 22 de janeiro de 2004.

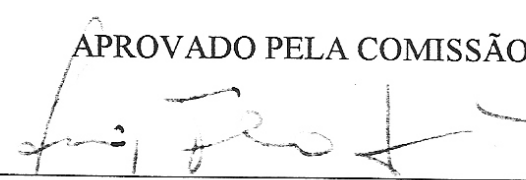
“Hidrogeoquímica e vulnerabilidade dos aquíferos Serra Geral e Guarani na área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho, SC-RS.”

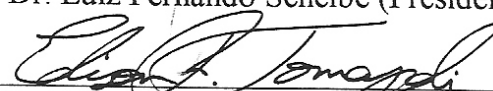
Cícero Augusto de Souza Almeida

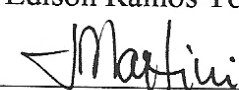
Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Geografia, área de concentração, Utilização e Conservação de Recursos Naturais, do Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de Mestre em Geografia.


Prof. Dr. Norberto Olimiro Horn Filho
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM: 30/01/2004


Dr. Luiz Fernando Scheibe (Presidente e Orientador-CFH/UFSC)


Dr. Edison Ramos Tomazzoli (Membro-CFH/UFSC)


Dr. Luiz Carlos Pittol Martini (Membro-CCA/UFSC)

Florianópolis - 2004

DEDICATÓRIA

Dedico a presente Dissertação de Mestrado à memória de meus pais, Cícero Almeida, que me ensinou o gosto pela leitura e o cuidado com os livros, e Augusta de Souza Almeida. A meu irmão, Thales de Souza Almeida.

À minha esposa Sun Ye Ling, meus filhos Sidarta Lu Ye Almeida, Dante Lu Almeida e Maria Augusta Gama Almeida.

A todas as pessoas que empregam a ciência da geologia para investigar a Terra e o Universo.

Aos colegas geólogos, geógrafos, e Professores dos Cursos de Graduação e Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Pará-UFPa, e do Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, cujo convívio foi profícuo e enriquecedor.

A todas populações nascidas e criadas nas fronteiras e barrancas do rio Uruguai nos estados do RS e SC, que por motivos avessos as suas vontades, foram impactadas pela construção das barragens e dos reservatórios das grandes usinas hidrelétricas lá construídas, tendo por conseguinte, de abandonar seus lares, perdendo para sempre o chão ao redor, as suas tradições, a sua identidade cultural; sendo remanejadas para reassentamentos longínquos e improvisados nos planaltos basálticos sulinos, longe da lembrança do que um dia foi rio.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Doutor Luiz Fernando Scheibe, incansável geólogo, pesquisador e ambientalista dedicado às questões inerentes no Estado de Santa Catarina, meu seletor orientador, com quem muito aprendi sobre pesquisa acadêmica.

Também à Comissão Examinadora desta Dissertação de Mestrado formada pelos professores Dr. Luiz Fernando Scheibe, Dr. Edson Ramos Tomazzoli e Dr. Luiz Carlos Pittol Martini pelas idéias e revisão final.

Aos amigos Jorge Fernandes, pela arte final nas cartas temáticas, a bióloga Ana Cimardi, a secretária Marli Terezinha Costa e a todos que contribuíram de certa forma para a elaboração desta Dissertação.

Retratos da vida na região do rio Uruguai (rio onde foram construídas as UHEs Itá e Machadinho, entre outras tantas usinas hidrelétricas), expressado na letra da música “Barranca e Fronteira”, de autoria de Luiz Telles e A. Fagundes:

*Quando chega domingo,
Eu encilho meu pingo que troteando sai
Rumo as velhas barrancas,
De histórias tantas do rio uruguai
Eu sou fronteiroço de rédea e caniço,
O perigo me atrai
Sou de uruguaiana,
De mãe castelhana igual a meu pai*

*Se a terra não é minha,
Se a vida é mesquinha o que se há de fazer?
Mas o sonho nasceu e
O rio se fez meu e nele vou descer
Pra encontrar quem me espera
Morena sincera que é meu bem-querer
Meu momento é aí no chão
Onde nasci e onde vou morrer*

*(Tenho o verde dos campos nos seus olhos
E um feitiço maleva que é
Puro veneno no caminhar
Uma noite serena adormece
Morena em teus cabelos
O seu corpo bronzeado é
Um laço atirado a me pealar)*

*Tristeza e alegria são meu dia-a-dia,
Já me acostumei
Sou do campo e do rio, faça sol,
Faça frio, lá no domingo estarei
Barranca e fronteira
Canha brasileira assim me criei
Com o carinho nos braços galopam
Meus passos e me torno um rei*

*Agora meu dia-a-dia
Só tem alegria, tristeza deixei
Encontrei na verdade a outra
Metade que tanto busquei
Barranca e fronteira
Canha brasileira feliz estarei
Com o carinho nos braços
Da prenda os abraços e me sinto um rei*

RESUMO

Esta dissertação trata do estudo hidrogeológico dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani, dando-se ênfase à composição geoquímica das águas subterrâneas e a vulnerabilidade à contaminação dos sistemas aquíferos, nas áreas de influência direta e indireta de dois empreendimentos hidrelétricos, as usinas de Itá e Machadinho, localizadas na calha do rio Uruguai, na divisa entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. São aquíferos distintos entre si, um é fissural e o outro é poroso. O Sistema Aquífero Guarani é mantido sob pressões extremas de confinamento pela Formação Serra Geral na Bacia do Paraná, desde a escarpa da Serra Geral a leste, mergulhando suavemente em direção ao oeste catarinense até a área em questão. O Aquífero Serra Geral por sua vez mantém características de um aquífero livre, freático, às vezes semiconfinado.

Para a realização deste estudo foram obtidos dados referentes a 233 poços profundos, dos quais foram selecionados 47 para amostragem e monitoramento, dos quais 42 limitam-se aos basaltos da Formação Serra Geral e 5 poços atingem a Formação Botucatu, fornecendo águas termais. Os dados analíticos utilizados são referentes a amostragens hidroquímicas distintas e consecutivas, realizadas entre 1999 e 2000.

A composição físico-química e microbiológica das águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral e do Sistema Guarani é investigada culminando em um diagnóstico ambiental e sanitário. Os seguintes dados construtivos e hidrodinâmicos e hidroquímicos dos poços tubulares e das águas foram analisados: profundidade, vazões, nível estático, nível dinâmico, profundidade das entradas de água, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, dureza, pH, resíduo total a 105° C, STD, cálcio, ferro, magnésio, potássio, sódio, bicarbonato, carbonato, cloreto, sulfato, sulfeto, cádmio, chumbo, cobre, fluoreto, fenol gás carbônico, nitrato, nitrito, amônia e ortofosfato. Através da aplicação do diagrama triangular de Piper, as águas do SASG podem ser classificadas principalmente como bicarbonatada magnésiana sódica, bicarbonatada magnésiana cálcica e bicarbonatada sódica magnésiana, e as do SAG como bicarbonatada sódica, cloretada sódica e cloretada sódica bicarbonatada. Misturas de águas desses dois aquíferos resultam em águas de composição bicarbonatada sódica, e secundariamente, cloretada magnésiana cálcica e cloretada magnésiana sódica. As características dos aquíferos foram representadas nos seguintes mapas temáticos: mapa potenciométrico, mapa de vazões, mapa de dureza, mapa de pH, mapa de STD, mapa de fluoretos, mapa de nitratos, mapa de ortofosfatos. A distribuição geoquímica de nutrientes como o ortofosfato e em menor extensão do nitrato configuram uma zona de contaminação regional na área de pesquisas. O zoneamento geoquímico para as águas do Aquífero Serra Geral sugere a presença de águas de natureza mista com o Sistema Aquífero Guarani e outros subjacentes do Grupo Passa Dois. Para a análise estrutural da área em apreço procedeu-se a interpretação de fotografias aéreas, nas escalas 1:45.000 (infravermelho) e 1:25.000, além de imagem de radar na escala 1:250.000 e imagens de satélite com aplicação das bandas multiespectrais (5,4,3) + pancromática do Landsat 7 ETM+. Os poços estão georreferenciados no Sistema de Informações Geográficas – GIS, com o datum de referência *South América* 69. A interpretação dos padrões dos lineamentos da Formação Serra Geral também visou o estabelecimento de correlações com a produtividade do aquífero fissural. Uma análise interpretativa sobre a vulnerabilidade dos sistemas aquíferos à contaminação foi viabilizada através da aplicação da metodologia **GOD**, com respectivo mapa de índices de vulnerabilidade e sistemas de fraturamentos regionais, com vulnerabilidade baixa a média do SASG, especialmente em função das zonas de descarga e recarga, e extremamente baixa, em geral, para o SAG. Apesar desses índices, a contaminação já detectada no SASG por ortofosfatos e, em menor escala, por nitratos, em grande parte atribuível à suinocultura, projeta um cenário preocupante para essa área, recomendando-se medidas permanentes de monitoramento. A possibilidade de interconexão, via fraturamentos, do SASG com o SAG projeta também um maior cuidado com este aquífero, especialmente tendo em conta sua importância estratégica em nível continental.

ABSTRACT

The hydrogeological characteristics from the Serra Geral Aquifer System (SGAS) and the Guarani Aquifer System (GAS) were studied, emphasizing the geochemical composition of their groundwater and their vulnerability to contamination. Portions of both aquifers, that interact between themselves, constitute the direct and indirect influence areas of two large hydroelectric power stations known as Itá and Machadinho. The dams were built across the channel of the Uruguay River, in the border between Rio Grande do Sul and Santa Catarina States, in the Southern Region of Brazil. The GAS is usually considered a transboundary aquifer, because it embraces parts of four South American countries: Brazil (840.000 km²), Argentina (225.500 km²), Paraguai (71.700 km²) and Uruguay 58.500 km²). In the state of Santa Catarina, the main part of the GAS lies down the SGAS, which covers all the western half of the state. Therefore, GAS, which is constituted mainly by the Botucatu Sandstone, is porous and strongly confined, whence SGAS, constituted by the fractured mostly basaltic rocks of the Serra Geral Formation, is partly unconfined, and partly semiconfined.

Technical data about 233 deep wells were collected, and among these, 47 were selected for sampling and monitoring of the groundwater characteristics, during the construction and initial operation periods, in the years of 1999 and 2000. 42 wells were drilled in basalts of the Serra Geral Formation, and are used to water supply mainly to pigsties, aviaries, irrigation, farm residences, sometimes small villages. The SGAS also supplies water to several cities and towns in the states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina. Other 05 deeper wells reached the GAS (Botucatu Formation), being used mostly by big agro-industries and thermal water resorts, in the area of study.

Physical, chemical and microbiological analyses carried out on groundwater samples give a diagnostic about the environmental and sanitary quality of these aquifers. The following parameters were monitored: total depth; rate of flow; static and dynamic water level; depth of the groundwater entrances; temperature; turbidity; electrical conductivity; hardness; pH; total residue at 105 °C; TDS; calcium; iron; magnesium; potassium; sodium; bicarbonate; carbonate; chloride; sulphate; sulphite, cadmium; plumb; copper; fluoride; phenol; carbon dioxide; nitrate; nitrite; ammonia; and orthophosphate. Aspects about the engineering and hydrodynamics of the wells were also registered.

The hydrogeochemical characteristics of the groundwater are displayed in Piper Trilinear Diagrams. The SGAS groundwater was classified, by ionic predominance, as follows: magnesium sodic bicarbonated; magnesian calcic bicarbonated sodic magnesian bicarbonated. The GAS groundwater was classified as sodic bicarbonated; sodic chlorided; and chlorided sodic bicarbonated. Mixtures of groundwater from both aquifers and possibly others were classified as sodic bicarbonated, and secondarily, as magnesian calcic chlorided and magnesian sodic chlorided. The main characteristics of both aquifers are displayed on the following thematic maps: Potentiometric Curves Map, Rate of Flow Map, Hardness Map, pH Map, Total Dissolved Solids (TDS) Map, Fluorides Map, Nitrates Map and Orthophosphate Map.

The structural geology study of the area was done through the interpretation of 1:45.000 (infrared) and 1:25.000 air photographs, 1:250.000 radar image and multispectral Landsat 7 EMT⁺ images (bands 5, 4, 3 and panchromatic were used). The wells were georeferenced in the Geographic Information System – GIS, with the South America 69 datum of reference. A correlation between the Serra Geral Formation lineaments pattern and the rate of flow of this fissural aquifer was tentatively established.

The vulnerability of the both aquifer systems to contamination was investigated through the GOD methodology **GOD**. A local variable, i.e., the sets of lineaments, was employed in the GOD interpretation of the SGAS. The results indicate low to medium vulnerability of this fissural aquifer, especially due to its recharge and discharge sites. The confined SAG aquifer displays constant low vulnerability values.

Despite the optimistic indices of vulnerability for both aquifers, high orthophosphate and lesser amounts of nitrogen compounds have been detected in the SGAS groundwater, indicating anomalous levels of contamination by phosphorus, compared with the values normally found in drinking waters. The manure of pig farming (pig slurry), non treated urban sewers and other

unsustainable land uses are appointed among the main causes of the contamination, configuring a worrying environmental scenery to that geographic area.

The existence of hydraulic connection between the already contaminated SGAS and the underlying SAG, shown by the groundwater mixtures and also indicated by deep fracture zones in the Estreito from the Uruguay River zone, probably reaching the potentiometric surface of the confined aquifer, point to the possibility of future contamination of the Guarani Aquifer System.

Sanitary measures should be applied in the hydrographic basin of Uruguay River as soon as possible, as for example, the immediate installation of sewer systems in the cities along the basin. Also, a better control and inspection on all the potentially polluter industries, the paper industry in special, besides a clean-up program designed to tackle water pollution of the Uruguay River and its tributaries are required. Finally, a permanent monitoring of the environmental quality of both, surface and groundwater, is strongly recommended.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Mapa Esquemático do Sistema Aqüífero Guarani _____	02
Fig. 2. Mapa Geológico _____	04
Fig. 3. Bacia Hidrográfica do rio Uruguai, no lado brasileiro _____	13
Fig. 4. Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia do Rio Uruguai _____	17
Fig. 5. Mapa das Áreas de Detalhamento _____	41
Fig. 6. Mapa de Localização da Área de Pesquisa _____	43
Fig. 7. Isoietas – Médias anuais em mm _____	54
Fig. 8. Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná (segundo Mühlmann et al.) _____	56
Fig. 9. Distribuição dos poços de água do Botucatu (Brasil. DNPM/CPRM, 1981) _____	69
Fig. 10. Províncias Hidrogeológicas de Santa Catarina _____	70
Fig. 11. Distribuição das espessuras do manto de intemperismo em 41 poços do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	79
Fig. 12. Distribuição da profundidade em 224 poços tubulares profundos do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	80
Fig. 13. Distribuição da vazão em 217 poços tubulares do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	82
Fig. 14. Distribuição do nível estático em 98 poços tubulares do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	85
Fig. 15. Distribuição do nível dinâmico em 101 poços tubulares do SASG na Área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	89
Fig. 16. Freqüência das profundidades de entradas de água do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	91
Fig. 17. Seções esquemáticas de derrames basálticos _____	94

Fig. 18. Frequência da temperatura (°C) em classes nos poços tubulares do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	97
Fig. 19. Frequência da condutividade elétrica das águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	103
Fig. 20. Distribuição da dureza nas águas de 42 poços tubulares do SASG nas áreas de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	105
Fig. 21. Histograma de frequência dos valores de pH para águas de poços tubulares do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	108
Fig. 22. Distribuição dos teores de resíduo seco por intervalos de classes no Aquífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	110
Fig. 23. Distribuição do STD nas águas do Aquífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	113
Fig. 24. Frequência do cálcio nas águas do Aquífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	117
Fig. 25. Distribuição dos teores de magnésio em intervalos de classes (42 amostras de água) para as águas do SASG na área de influência Dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	122
Fig. 26. Frequência do potássio em intervalos de classes (42 amostras de água) nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	123
Fig. 27. Distribuição dos teores de sódio em intervalos de classes de 42 amostras de águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	125
Fig. 28. Distribuição dos teores de HCO_3^- nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	130
Fig. 29. Frequência do cloreto em classes nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	133
Fig. 30. Frequência dos sulfatos em classes nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	134

Fig. 31 Freqüência do fluoreto em classes nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	149
Fig. 32 Distribuição do nitrato nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	159
Fig. 33 As concentrações de nitratos nos poços de irrigação em áreas cultivadas do Sri Lanka. Yala refere-se à estação seca, Maha refere-se à estação chuvosa _____	161
Fig. 34 Comportamento da concentração de nitrato nas microbacias Monitoradas no período de julho/1998 a dezembro/1999 _____	166
Fig. 35 Valores médios de nitrito (mg/l), nitrato (mg/l) e amônia (mg/l) nos diferentes pontos de coletas no rio Uruguai _____	168
Fig. 36 Valores médios de nitrito (mg/l), nitrato (mg/l) e amônia (mg/l) nos pontos de coleta nos principais tributários a montante da UHE Itá _____	170
Fig. 37 Freqüência do ortofosfato em classes nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho _____	180
Fig. 38 Localização da Reserva Militar Massachusetts, extensão da pluma de contaminação, e a altura do lençol freático, a oeste de Cape Cod Massachusetts _____	181
Fig. 39 Relação entre as espécies de CO ₂ e o pH em águas naturais _____	183
Fig. 40 Classificação das águas subterrâneas do Poço P-66 do Aqüífero Serra Geral em 04 amostragens distintas, segundo o Diagrama de Piper _____	192
Fig. 41 Classificação das águas subterrâneas do Poço-94 em 02 amostragens distintas do Aqüífero Serra Geral, segundo o Diagrama de Piper _____	194
Fig. 42 Classificação das águas subterrâneas do poço P-90 do Aqüífero Serra Geral, durante 03 amostragens distintas, segundo o Diagrama de Piper _____	196
Fig. 43 Classificação das águas subterrâneas de 04 poços do Sistema Aqüífero Guarani em 3 amostragens distintas, segundo o Diagrama de Piper _____	198
Fig. 44 Classificação das águas subterrâneas de 05 poços do Sistema Aqüífero Guarani durante uma única amostragem (2000), segundo o Diagrama de Piper _____	200

Fig. 45 Mapa Potenciométrico _____	203
Fig. 46 Mapa Frequência de Vazões _____	205
Fig. 47 Mapa de Dureza _____	207
Fig. 48 Mapa de pH _____	210
Fig. 49 Mapa de Sólidos Totais Dissolvidos _____	211
Fig. 50. Mapa de Fluoretos _____	213
Fig. 51. Mapa de Nitratos _____	215
Fig. 52. Mapa de Ortofosfatos _____	222
Fig. 53. Diagrama de Setores com Traços de Fraturas _____	225
Fig. 54. Mapa do Arcabouço Estrutural da Bacia do Paraná _____	229
Fig. 55. Metodologia GOD para Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero _____	236
Fig. 56. Mapa de Vulnerabilidade _____	240

LISTA DE TABELAS

Tabela (1) – Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos _____	22
Tabela (02) – Quantidade de dejetos líquidos de suínos produzidos por uma criação de 44 matrizes em ciclo completo, de acordo com a composição do rebanho _____	23
Tabela (3) – Estratigrafia do poço tubular profundo da Cia. Hidrotermal de Piratuba. _____	58
Tabela (04) – Percentual dos intervalos de vazões nos poços construídos no Aquífero Geral _____	83
Tabela (05) – Poços termais do Sistema Aquífero Guarani, profundidades da Formação Botucatu e temperatura média _____	98
Tabela (06) - Classificação das águas segundo a dureza - mg/l CaCO ₃ _____	106
Tabela (7) – Classificação das águas para consumo animal _____	111
Tabela (8) – Classificação das águas para consumo animal _____	114
Tabela (9) - Principais minerais de rochas cristalinas e os íons por eles Liberados _____	116
Tabela (10) – Critério de qualidade da água para indústrias _____	117
Tabela (11) – Concentração (mg/kg peso seco) do total de chumbo contido nos sedimentos das bacias deposicionais da região dos Grandes Lagos _____	142
Tabela (12) – Composição química de algumas amostras de dejetos suínos, em teores totais _____	162
Tabela (13) – Composição média do lodo obtido no decantador de fluxo ascendente e valor equivalente dos nutrientes em fertilizante mineral _____	164
Tabela (14) – Classificação geoquímica das águas do Aquífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho _____	189
Tabela (15) – Classificação geoquímica das águas do Aquífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho _____	195
Tabela (16) – Classificação das águas segundo a dureza expressa em mg/L	

de CaCO ₃ _____	208
Tabela (17) – Faixas de Valores de Permeabilidade Intrínseca e Condutividade Hidráulica para Sedimentos Inconsolidados _____	243
Tabela (18) – Valores de amônia, nitrato, nitrito e pH nas águas subterrâneas _____	253

SUMÁRIO

Aprovado da Comissão Examinadora	i
Dedicatória	ii
Agradecimentos	iii
Epígrafe	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Caracterização do Problema	12
1.2. Justificativa	27
1.3. Objetivo Geral	29
1.4. Objetivos Específicos	29
1.5. Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH’s – Aproveitamentos Energéticos Alternativos	29
2. METODOLOGIA	32
2.1. Hidrogeoquímica e Geoprocessamento	32
2.2. Análise Estrutural e Vulnerabilidade	40
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	42
3.1. Localização da Área e Acessos	42
3.2. Aspectos Socioeconômicos	44
3.3. Aspectos Fisiográficos	45
3.3.1. Geomorfologia	45
3.3.2. Solos	48
3.3.3. Vegetação	49
3.3.4. Hidrografia	50
3.3.5. Clima	52
4. GEOLOGIA REGIONAL	54
4.1. Grupo Passa Dois	57
4.1.1. Formação Irati	58
4.1.1.1. Membro Taquaral	59
4.1.1.2. Membro Assistência	59
4.1.2. Formação Serra Alta	59
4.1.3. Formação Teresina	61
4.1.4. Formação Rio do Rasto	62
4.1.4.1. Membro Serrinha	62
4.1.4.2. Membro Morro Pelado	62
4.2. Grupo São Bento	63
4.2.1. Formação Pirambóia/Botucatu	63
4.2.2. Formação Serra Geral	65

4.3. Depósitos Cenozóicos _____	66
5. HIDROGEOLOGIA _____	67
5.1. Províncias Hidrogeológicas do Brasil _____	67
5.2. Províncias Hidrogeológicas de Santa Catarina _____	69
5.2.1. Província Cristalina _____	71
5.2.2. Província Paleozóica _____	72
5.2.3. Província Mesozóica _____	73
5.2.4. Província Cenozóica _____	74
5.3. SISTEMAS AQUÍFEROS DA REGIÃO DO RIO URUGUAI _____	75
5.3.1. Sistema Aquífero Guarani (Botucatu) _____	75
5.3.2. Sistema Aquífero Serra Geral _____	76
5.4. ASPECTOS FÍSICOS, CONSTRUTIVOS E HIDRODINÂMICOS DOS POÇOS TUBULARES _____	77
5.4.1. Profundidade do Regolito _____	79
5.4.2. Profundidade dos Poços _____	80
5.4.3. Vazões _____	82
5.4.4. Nível Estático _____	84
5.4.5. Nível Dinâmico _____	87
5.4.6. Profundidade das Entradas de Água _____	90
5.5. A HIDROGEOQUÍMICA DAS FORMAÇÕES SERRA GERAL E BOTUCATU (GUARANI) NA REGIÃO DO RIO URUGUAI _____	96
5.5.1. PROPRIEDADES FÍSICAS _____	96
5.5.1.1. Temperatura _____	96
5.5.1.2. Turbidez _____	100
5.5.2. PROPRIEDADES IÔNICAS _____	102
5.5.2.1. Condutividade Elétrica (CE) _____	102
5.5.2.2. Dureza _____	105
5.5.2.3. pH _____	107
5.5.2.4. Resíduo Total à 105°C (Resíduo Seco-RS) _____	109
5.5.2.5. Sólidos Totais Dissolvidos (STD) _____	112
5.5.3. CONSTITUINTES IÔNICOS PRINCIPAIS _____	115
5.5.3.1. CÁTIONS _____	115
5.5.3.1.1. Cálcio _____	115
5.5.3.1.2. Ferro _____	119
5.5.3.1.3. Magnésio _____	121
5.5.3.1.4. Potássio _____	122
5.5.3.1.5. Sódio _____	124
5.5.3.2. ÂNIONS _____	128
5.5.3.2.1. Bicarbonato _____	128
5.5.3.2.2. Carbonato _____	130

5.5.3.2.3. Cloreto	132
5.5.3.2.4. Sulfato	133
5.5.3.2.5. Sulfeto	136
5.5.4. CONSTITUINTES IÔNICOS SECUNDÁRIOS	138
5.5.4.1. Cádmio	138
5.5.4.2. Chumbo	140
5.5.4.3. Cobre	145
5.5.4.4. Fluoreto	147
5.5.4.5. Fenol	151
5.5.4.6. Gás Carbônico (CO ²)	154
5.5.5. NUTRIENTES	156
5.5.5.1. Nitrato	156
5.5.5.2. Nitrito	173
5.5.5.3. Amônia	175
5.5.5.4. Ortofosfato	176
6. DIÓXIDO DE CARBONO, CARBONATO, BICARBONATO E AS RELAÇÕES COM O SASG E SAG	183
7. CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS DO SISTEMA AQÜÍFERO SERRA GERAL (SASG) E SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI (SAG)	184
7.1. Sistema Aqüífero Serra Geral (SASG)	185
7.2. Sistema Aqüífero Guarani (SAG)	187
8. CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS DO SISTEMA AQÜÍFERO SERRA GERAL (SASG) E SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI (SAG)	187
8.1. Classificação Geoquímica das Águas Subterrâneas do Sistema Aqüífero Serra Geral	188
8.2. Classificação Geoquímica das Águas Subterrâneas do Sistema Aqüífero Guarani	196
9. INTERPRETAÇÃO DOS MAPAS HIDROQUÍMICOS	201
9.1. Mapa Potenciométrico	202
9.2. Mapa de Frequência de Vazões	204
9.3. Mapa de Dureza	206
9.4. Mapa de pH	209
9.5. Mapa dos Teores de Sólidos Totais Dissolvidos	209
9.6. Mapa dos Teores de Fluoretos	212
9.7. Mapa dos Teores de Nitratos	214
9.8. Mapa dos Teores de Ortofosfatos	220

10. ASPECTOS TECTÔNICOS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS DAS UHE'S ITÁ E MACHADINHO	221
10.1. Generalidades	221
10.2. Análise Estrutural	223
10.3. A Relação entre os Lineamentos e a Produtividade dos Poços Tubulares	231
11. VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS AQÜÍFEROS SERRA GERAL E GUARANI	234
11.1. Generalidades	234
11.2. Aqüífero Fissural Serra Geral	238
11.3. Sistema Aqüífero Guarani	245
12. RESULTADOS E DISCUSSÃO	245
12.1. Diagnóstico Ambiental das Águas Subterrâneas e a Contaminação por Nutrientes	245
12.2. Diagnóstico Ambiental das Águas Subterrâneas do Sistema Aqüífero Serra Geral e a Contaminação por Nutrientes	246
12.3. Diagnóstico Ambiental das Águas Subterrâneas do Sistema Aqüífero Guarani	256
12.4. Classificação e Zoneamento Geoquímico das Águas Subterrâneas na Área Pesquisada	261
12.4.1. Classificação e Zoneamento Geoquímico das Águas Subterrâneas do Aqüífero Serra Geral	262
12.4.2. Classificação e Zoneamento Geoquímico das Águas Subterrâneas dos Sistema Aqüífero Guarani	263
12.5. Análise Estrutural dos Lineamentos versus Produtividade dos Poços Tubulares	264
12.6. Vulnerabilidade dos Aqüíferos Serra Geral e Guarani	266
13. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	267
14.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	281

ANEXOS

- Mapa Esquemático do Sistema Aqüífero Guarani
- Mapa de Lineamentos e Poços Tubulares Frios e Termominerais
- Fotografias 1 e 2 – Eutrofização das águas dos reservatórios de Itá e Machadinho no rio Uruguai

1. INTRODUÇÃO

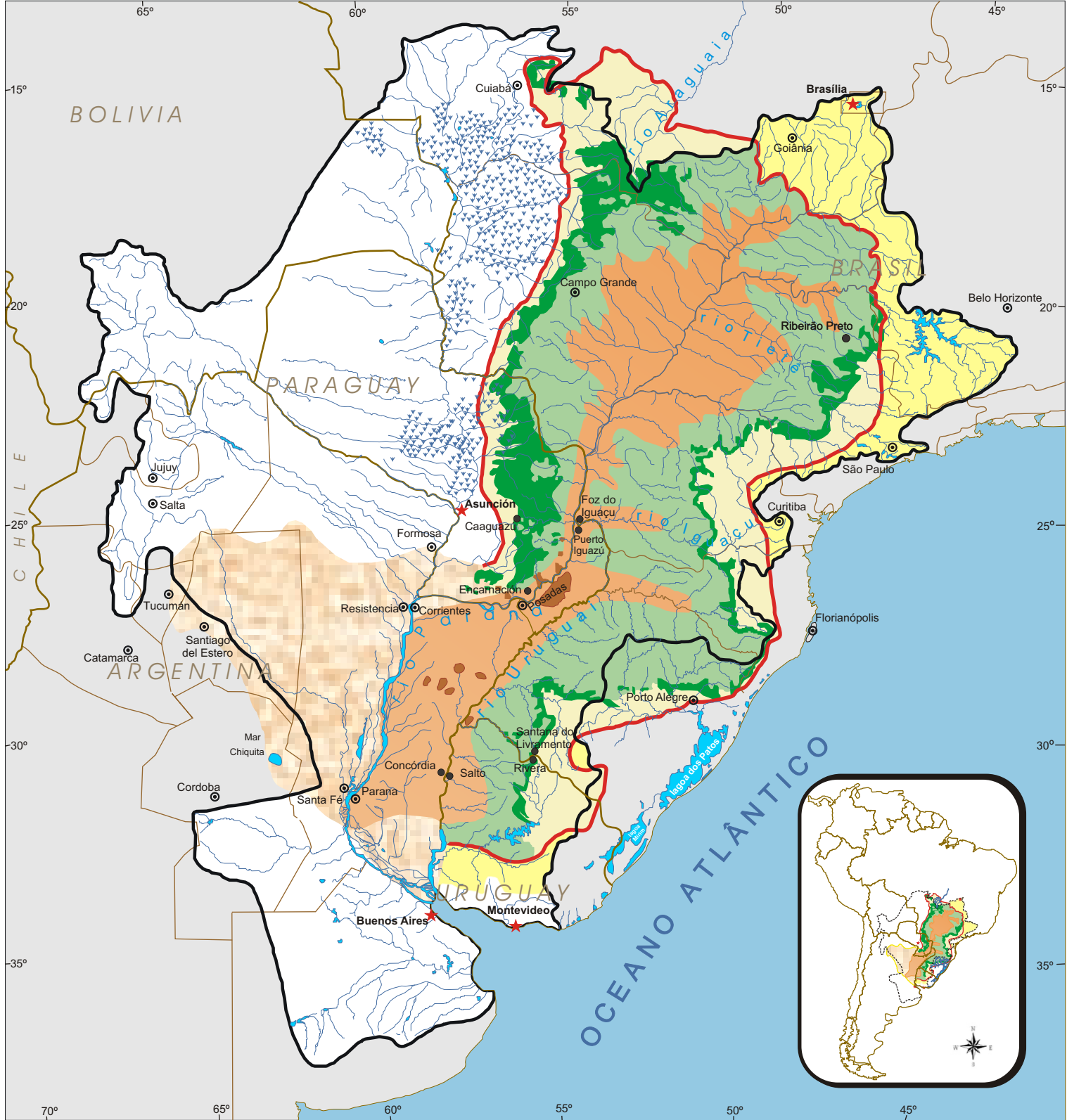
O tema abordado nesta dissertação de mestrado foi escolhido tendo em vista a importância cada vez maior que assumem as águas subterrâneas, e em especial o Aquífero Guarani, no contexto nacional e internacional. Inicialmente, tido apenas como uma preocupação em se preservar águas subterrâneas que ultrapassam as fronteiras internacionais do Brasil, estendendo-se para alguns países (Argentina, Uruguai, Paraguai) limítrofes do Mercosul, o assunto tem sido debatido, discutido e pesquisado nas universidades, entre as agências governamentais, Organizações não Governamentais (ONG'S), escolas e imprensa.

A Agência Nacional de Águas – ANA tornou-se a agência responsável pelo Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani no Brasil, a partir de fevereiro de 2002, que até então era de responsabilidade do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos subordinado ao Ministério do Meio Ambiente - SRH/MMA. Atualmente a Organização dos Estados Americanos - OEA é a agência executora internacional do projeto e há uma Secretaria Geral do Projeto Sistema Aquífero Guarani representada pelo Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai, cuja sede está localizada em Montevideu. O Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani representado pelos quatro países acima tem disponível uma versão do Mapa Esquemático do Sistema Aquífero Guarani¹, visualizado na Figura (1).

O Aquífero Guarani é a maior reserva hídrica de água doce da Terra, com uma área de ocorrência de 1.195.200 km², e com reservas nacionais de 48.000 km³, e que têm um volume estimado de 160 km³/ano de recarga (Rebouças, 1999).

¹ www.sg-guarani.org

MAPA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI



LEGENDA

- | | |
|---|---------------------------------------|
| Drenagens não relacionadas ao Aquífero Guarani (não integram o Sistema) | Limite bacia hidrográfica do Prata |
| Área potencial de recarga indireta | Limite bacia sedimentar do Paraná |
| a partir da drenagem superficial | Rios |
| a partir do fluxo subterrâneo | Áreas alagadas |
| Área potencial de recarga direta | Limite político de País |
| regime poroso: afloramento do Guarani | Limite político de Estados/Províncias |
| regime fissural/poroso: basaltos e arenitos | Cidade |
| Área potencial de descarga | Capitais Estados/Províncias |
| regime fissural /poroso: basaltos e arenitos (indivisos) | Capital dos Países |
| regime poroso: afloramentos do Guarani | |
| regime fissural /poroso (relação com o Guarani a definir) | |

Escala Aproximada 1: 13.600.000
0 100 200 300 km

Notas:

- Figura ilustrativa elaborada pela CAS/SRH/MMA (UNPP/Brasil) aprovada pelo Conselho Superior de Preparação do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai - GEF/Banco Mundial - OEA).
- As porções coloridas representam as áreas que, em potencial, compõe o Sistema Aquífero Guarani. As áreas em branco e cinza não integram o Guarani. Os limites do Aquífero Guarani não estão totalmente definidos na Argentina e no Paraguai, tampouco se as áreas de descarga assinaladas estão a ele relacionadas.

Fontes:

- Mapa Hidrogeológico de America del Sur, 1996, DNP/CPRM/Unesco.
- Mapa Hidrogeológico do Aquífero Guarani, 1999, Campos H.C.
- Mapa de Integração Geológica da Bacia do Prata, 1998, MERCOSUL/SGT2.
- Mapa de Integração Hidrogeológica da Bacia do Prata, em elaboração, MERCOSUL/SGT2.
- Mapa Geológico do Brasil, 2ª Ed., 1995, MME/DNPM.
- Mapa Geológico de la Cuenca del Rio de la Plata, 1970, OEA.

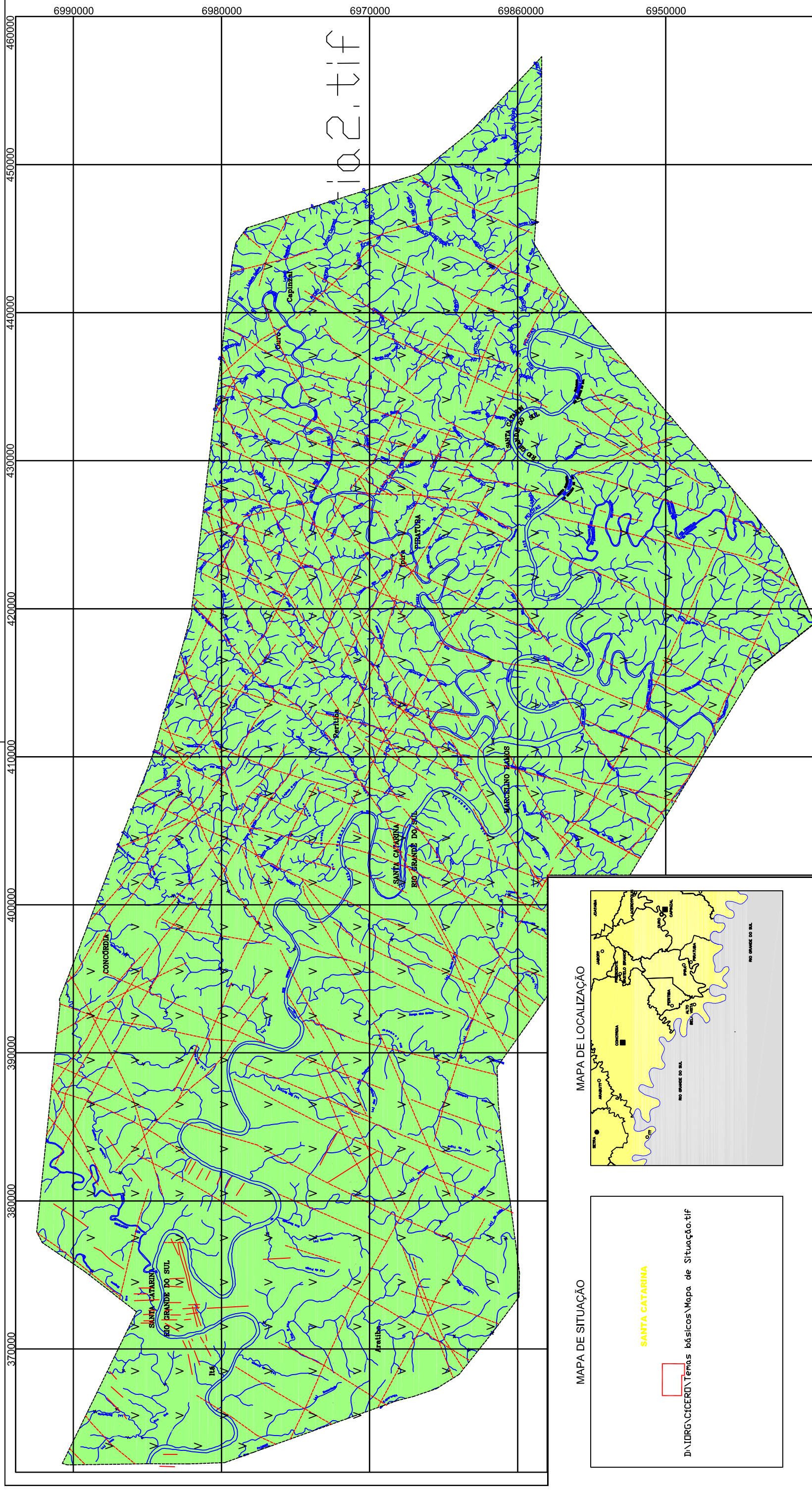
Não menos importante para nós catarinenses, está o Sistema Aquífero Serra Geral, sobreposto como formação confinante aos arenitos “porosos” da Formação Botucatu (Aquífero Guarani), e que somente no Estado de Santa Catarina cobre cerca de 52 % (Bortoluzzi et al., 1987) de seu território. Desses, este estudo abrange um total de 2.810,47 km², aos quais se somam as porções atribuídas às coberturas aluvionares, depósitos de encostas do manto de intemperismo, sejam eluvionares ou coluvionares, como pode ser visualizado no Mapa Geológico, na escala 1:350.000 da área de estudo (Figura 2).

A mesma importância socioeconômica do Sistema Aquífero Serra Geral deve também ser destacada no estado vizinho, na outra margem (esquerda) do rio Uruguai, no Rio Grande do Sul, geralmente com usos da água subterrânea destinados ao abastecimento público e às atividades agropastoris.

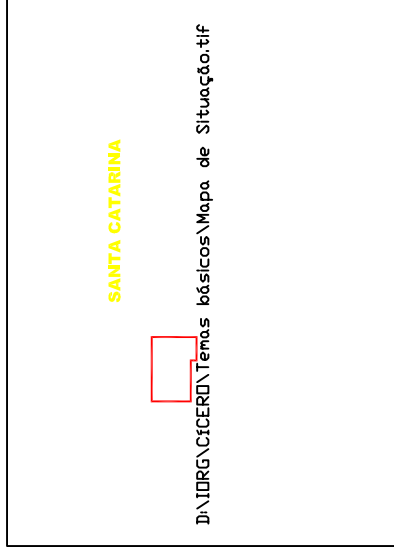
O Projeto Oeste de Santa Catarina – PROESC, Captações de Água Subterrânea no Oeste do Estado de Santa Catarina, executado pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil - em parceria com a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – SDM, até o ano 2002 tinha cadastrado o equivalente a 2.723 poços tubulares abastecidos por este aquífero, todos localizados na região oeste e extremo-oeste catarinense.

A diferença entre os dois sistemas aquíferos é realçada quando se compara as suas vazões nas regiões geográficas discriminadas: a vazão média dominante no aquífero fraturado (Serra Geral) é normalmente $\leq 1 \text{ m}^3/\text{h}$, enquanto que no aquífero poroso (Guarani), geralmente, $\geq 100 \text{ m}^3/\text{h}$.

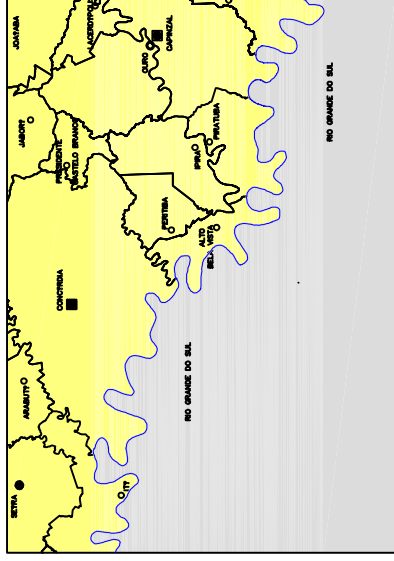
A Organização das Nações Unidas (ONU) apontava através de relatório (2001) que em 2025 um terço do mundo deve parar de se desenvolver por causa da escassez de água. O consumo de água multiplicou por sete no século XX, mais do que o dobro da taxa de crescimento da população (ABAS, março/2002).



MAPA DE SITUAÇÃO

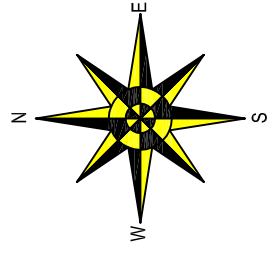


MAPA DE LOCALIZAÇÃO



INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente



Escala
 1:350.000

CONVENÇÕES

- Lineamentos Estruturais
- Rochas Basálticas da Formação Serra Geral

LEGENDA

- Divisas Oficiais Municipais
- Área de Interesse
- Estradas Principais
- Estradas secundárias
- Hidrografia
- Referência de Nível

HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE
 DOS AQUIFEROS SERRA GERAL
 E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA
 DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO,
 SC - RS

Cícero A. S. Almeida

FIGURA 2

MAPA GEOLÓGICO

OUTUBRO DE 2003

Rebouças (ABAS, maio/2003) lembra que em 2003, o Ano Mundial da Água, em outro relatório coordenado pela UNESCO e pelo Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, *Water for People, Water for Life* (Água para as Pessoas, Água para a Vida), que avaliava a crise da água, sobretudo, relacionada aos recursos hídricos que fluem nos rios, ou *Blue Water Flow*, declarava-se que os mesmos poderão ser utilizados mediante a realização de grandes investimentos ou empréstimos obtidos de agentes financeiros nacionais ou internacionais com taxas privilegiadas de juros.

A previsão um tanto obscura não deverá atingir o Brasil, que possui uma das maiores reservas hídricas do mundo; há pelo menos em tese, 34 milhões de litros d'água para cada brasileiro (ABAS, março/2002). Entretanto, há necessidade urgente em preservarmos nossos mananciais hídricos, sejam superficiais, sejam subterrâneos.

Pela classificação das Nações Unidas para países com base no consumo² de água doce, o Brasil possui potenciais da ordem de 35.000 m³/hab/ano, posicionando-se entre o grupo dos 26 países ricos de água doce do mundo. Contudo, está no grupo de países de consumo baixo. Reitera-se o fato ainda, que 79% desses potenciais encontram-se nas Regiões Hidrográficas do Amazonas (73% e Tocantins 6%), regiões onde as densidades de população são as mais baixas, respectivamente de 4% e de 2% (Rebouças et. al, 2002a in Rebouças 2004).

Neste estudo, a temática dos dois sistemas aquíferos é tratada para a região do rio Uruguai, onde foram construídas as usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho, dando-se ênfase as inter-relações de caráter ambiental dos empreendimentos com os mesmos.

² países com consumo de água muito baixo quando é inferior a 100 m³/hab/ano; baixo entre 100 e 500; moderado entre 500 e 1.000; alto entre 1.000 e 2.000 e muito alto quando o consumo é superior a 2.000 m³/hab/ano.

Müller (1995) considera que entre os projetos estão os reservatórios, que nada mais são do que lagos, embora existentes por vontade e obra humana. *Constituem-se ambientes criados a partir dos recursos naturais preexistentes, onde alteramos as condições das águas, clima, solo, paisagem e sua flora e fauna. Ao instalar um reservatório, determinamos a origem de um novo ecossistema, constituído pelo meio onde está inserido e com mecanismos resultantes do regime operacional adotado. Os efeitos não se restringem unicamente ao contorno do lago artificial, mas normalmente se refletem em regiões de considerável extensão.*

Macedo in Sâmia (1995) considera área de influência como o conjunto das áreas que sofrerão impactos diretos e indiretos decorrentes da manifestação de atividades transformadoras existentes ou previstas, sobre as quais serão desenvolvidos os estudos.

Como Área de Influência Direta (AID) neste contexto, entende-se as zonas saturadas e não saturadas do aquífero fissural³ que mantém maior proximidade com os reservatórios de Itá e Machadinho, e por isso, apresentam maior susceptibilidade aos impactos de conotação hidrogeológica, seja por elevação induzida sobre o lençol freático, seja pela ação de contaminantes. Esta área de influência direta pode ser melhor definida por um perímetro de proteção (Cetesb, 1997), que delimita zonas por tempo de trânsito específico (variando de meses a alguns anos) do poluente em relação às fontes de contaminação. Deduz-se que, a área de influência direta têm um tempo de trânsito (de poluentes) mais curto comparativamente com a área de influência indireta.

A Área de Influência Indireta (AII) refere-se às zonas especificadas acima para o aquífero fissural, as quais se encontram mais afastadas da superfície de contato com os reservatórios de Itá e Machadinho. São consideradas zonas menos susceptíveis aos impactos hidrogeológicos. Mas, que, eventualmente,

³ Referência ao Aquífero Serra Geral

poderiam a médio e longo prazo sentir os efeitos dos impactos hidrogeológicos. Têm caráter regional. O aquífero poroso⁴ está inserido na área de influência indireta. Pode ser delimitada por um perímetro de proteção determinado, via de regra, com períodos de tráfego de poluentes mais prolongados do que a área de influência direta.

O título desta Dissertação faz menção somente para uma área de influência (AID e AII), porém, com abrangência aos dois aproveitamentos hidrelétricos, Itá e Machadinho, pois considera a ação (simultânea) do efeito sinérgico de ambos reservatórios atuando notadamente sobre os aquíferos fissural e poroso na região pesquisada.

Dentre todos os impactos provocados com a implantação e operação das usinas/centrais hidrelétricas nos meios físico, biótico, socioeconômico e cultural, o de maior interesse neste trabalho são os efeitos hidrogeológicos acumulativos, e da alteração na qualidade da água que já se fazem sentir – o primeiro com a elevação progressiva das cotas piezométricas do Sistema Aquífero Serra Geral, iniciada desde o enchimento do primeiro reservatório da UHE Itá, e, somando depois com o reservatório da UHE Machadinho, na bacia hidrográfica do rio Uruguai, depois com o da UHE Campos Novos, depois UHE Quebra – Queixo, daqui a pouco UHE Barra Grande, UHE Pai – Querê, e outras por vir.

A vocação agroindustrial daquela região também tem gerado um passivo ambiental de grandes proporções (sem solução definitiva até o momento), e anterior à implantação da maioria das usinas/centrais hidrelétricas, pois cargas elevadas de nutrientes orgânicos (principalmente fosfatos e nitratos) e inorgânicos percolando através de um sistema tectônico favorável de fraturamentos de extensão horizontal e continuidade vertical, de forma acumulativa e quase imperceptível no lençol freático.

⁴ Referência ao Sistema Aquífero Guarani

O prognóstico para a bacia do rio Uruguai certamente será aquele confirmado para outras áreas do mundo que, em ambiente semelhantes, tiveram as suas águas subterrâneas contaminadas por nutrientes, como as de *Ashumet Pond, Cape Cod* (Mccobb et. al, 2003), no estado de Massachusetts, *Moses Lake* (Charles Pitz, 2003) no estado de Washington, o aquífero basáltico fraturado localizado na *Central Columbia Platea* (Nolan, 1995), a leste de Washington, e regiões típicas de agroindústrias notavelmente desenvolvidas da Alemanha e da Bélgica, na Comunidade Européia.

A bacia hidrográfica do rio Uruguai ocupa a sétima posição em disponibilidade hídrica no Brasil, com uma área de 178.000 km² e uma vazão média de 4.150 m³/s (IBAMA, 2002).

Em função desta disponibilidade hídrica (dentre outros atributos fundamentais como desníveis hidráulicos, vales encaixados, etc.), estudos sistemáticos de aproveitamento do potencial hidrelétrico da bacia do rio Uruguai tiveram início em 1966, pelo Comitê de Estudos Energéticos da região Sul-ENERSUL, numa iniciativa da ELETROBRÁS e dos governos estaduais do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (ELETROBRÁS, 1994). Do estudo de inventário da bacia do rio Uruguai foram priorizados 09 (nove) empreendimentos para implantação, os quais poderiam cobrir 90 % do potencial estudado. O Relatório original narra que foram iniciados, quase simultaneamente à divulgação do inventário, 05 (cinco) estudos de viabilidade: Machadinho, Itá, Itapiranga, Barra Grande e Campos Novos, no território catarinense.

De lá para cá, além da UHE Itá, da UHE Machadinho, e da UHE Campos Novos, foram iniciadas diversas outras usinas hidrelétricas nesta bacia hidrográfica, as quais têm sido motivo de preocupação constante para os órgãos ambientais responsáveis pelo seu licenciamento ambiental, universidades, e determinados setores organizados da sociedade.

Recentemente, ainda no segundo semestre de 2002, o próprio Ministério Público Estadual do estado de Santa Catarina tem acompanhado com preocupação os inúmeros projetos de implantação de usinas/centrais hidrelétricas, principalmente destinados à bacia hidrográfica do rio Uruguai, e procurado reunir a FATMA, o IBAMA, a ANEEL, entre outros, na busca de soluções adequadas à capacidade de assimilação ambiental daquela bacia para todos esses empreendimentos hidrelétricos.

A iniciativa para que houvesse a participação conjunta do Ministério Público Estadual do estado de Santa Catarina no encaminhamento das análises de viabilidade das usinas/centrais hidrelétricas, no sentido de se determinar através de EIA/RIMA único e conclusivo a capacidade de suporte ambiental da bacia hidrográfica do rio Uruguai partiu deste técnico, via relatório interno da FATMA, quando estudava juntamente com equipe multidisciplinar a viabilidade da implantação do AHE Foz de Chapecó (nível de água máximo normal que inundará cerca de 7.993 ha e potência de 840 MW), localizado no rio Uruguai, próximo da foz com o rio Chapecó.

O conhecimento limitado na área ambiental, dos impactos sinérgicos gerados com o somatório de empreendimentos hidrelétricos (em cascata), da falta de, no mínimo, levantamentos, monitoramentos hidrológicos e hidrogeológicos realizados nessas bacias hidrográficas tem nos levado a um impasse:

- Como licenciar ambientalmente a implantação e operação de mais de 22 aproveitamentos hidráulicos na bacia hidrográfica do rio Uruguai, se sequer temos ou conhecemos os requisitos assinalados? Parece-nos contraditório e algo difícil de ser realizado, enquanto não houver tais estudos ou monitoramentos. Devemos alcançar um desenvolvimento socioeconômico, científico e tecnológico simultâneo nas suas várias frentes, senão o processo não é legítimo, o avanço tecnológico com retrocesso ambiental nos parece, minimamente, irresponsabilidade!

No ínterim este técnico também participou de uma equipe multidisciplinar para avaliação de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto

Ambiental - EIA-RIMA da FATMA, juntamente com o IBAMA, do projeto de viabilidade da UHE Pai-Querê (288 MW), na bacia do rio Pelotas, região de nascentes do rio Uruguai. O impedimento estava apoiado na legislação ambiental vigente, estadual e federal, e chamava a atenção para a fragilidade da área remanescente do rio Uruguai, onde ainda estão preservados alguns dos ecossistemas naturais e típicos desse rio, os quais em outras partes da bacia foram alterados por efeitos antrópicos.

A iniciativa, válida para a época, contudo, já não encontra mais eco, pois sabe-se hoje que a implantação da UHE Pai-Querê (288 MW) praticamente é uma realidade, e, além do que, conta com total apoio do governo do estado catarinense, conforme noticiou um influente jornal do estado de São Paulo, no corrente ano de 2003.

A preocupação da implantação de aproveitamentos em cascata no rio Uruguai, rio Chapecó, rio Chapecozinho, rio Pelotas, e outros é com relação aos impactos gerados não individualmente, pois a Resolução CONAMA N° 001/86 prevê a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental EIA-RIMA para empreendimentos com potencial hidrelétrico acima de 10 MW, mas com o impacto sinérgico que o conjunto dos aproveitamentos poderá gerar naquela bacia hidrográfica. O que caberia, pois, seria uma Avaliação Ambiental Estratégica – AAE do conjunto de aproveitamentos.

Alguns avanços tímidos no sentido de se reverter o quadro, ou seja, autorizar a implantação das hidrelétricas nas bacias hidrográficas de acordo com potencial hidrelétrico estabelecido com base em estudos ambientais e capacidade de suporte dessas têm sido dado por órgãos responsáveis pelo licenciamento ambiental estadual, como a FEPAM no estado do Rio Grande do Sul, o IAP no Paraná, FATMA, e o próprio IBAMA que tem sido comunicado da difícil tarefa desses órgãos, embora mais no sentido de se coibir do que pesquisar e/ou

monitorar. Pois, sabe-se que levantamentos e monitoramentos hidrológicos e hidrogeológicos das bacias hidrográficas em grande parte dos estados brasileiros não são realizados, e quando o são cobrem parcelas significativas do território que lhes é destinado.

Com a crise energética gerada no setor elétrico brasileiro no primeiro semestre de 2001, considerando-se ainda a demanda nacional por energia, o Ministério das Minas e Energia - MME, tem criado mecanismos para garantir que a iniciativa privada implemente novas unidades geradoras, e possa assim, expandir a oferta de energia de modo rápido e eficiente (ELETROBRÁS, 2002). É também notório que com esta crise energética iniciada o potencial regulador de 10 MW para usinas hidrelétricas foi de certa forma abrandado por ação do governo federal através de suas agências nacionais reguladoras, seja para energia elétrica, seja para água, dentre elas, ANEEL, ANA, e setores localizados dentro do próprio IBAMA (Curso CEFET, Florianópolis, 2002). Deve-se atentar para o problema energético brasileiro criado, ou seja, o compromisso do país atender indústrias com fortes demandas energéticas (produção de eletro-intensivos) internas e externas.

Tais medidas têm surtido o efeito desejado, pois a cada dia nos órgãos ambientais licenciadores estaduais como a Fundação do Meio Ambiente - FATMA e a Fundação Estadual de Preservação Ambiental - FEPAM, nos dois estados afetados por esses empreendimentos na região enfocada, e, no nível federal, no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis - IBAMA, multiplicam-se o número de solicitações com vistas à emissão de licenças ambientais para novos empreendimentos hidrelétricos, seja para as usinas hidrelétricas - UHE's consideradas de grande porte, seja para aquelas menos impactantes, conhecidas por pequenas centrais hidrelétricas - PCH's.

Outros tópicos desta Dissertação tratam da análise interpretativa da geomorfologia dos terrenos, dos principais sistemas de fraturas, da geologia

regional empregando como base imagens de satélite Landsat 7 ETM + e Radar, do Projeto RADAMBRASIL. É apresentado um cadastramento e a locação dos poços tubulares (Aqüífero Serra Geral e Guarani) da região nos quais houve estudos. Esses poços tubulares foram geo-referenciados em cartas plani-altimétricas na escala 1:50.000, bem como escalas maiores. Uma foteointerpretação na escala 1:25.000 da região abrangida pelo rio Uruguai, situada entre os eixos dos barramentos das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho, numa faixa de aproximadamente 10 km em ambas as margens nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina foi também realizada e parcialmente transposta para imagens atualizadas de satélite Landsat 7, buscando estabelecer correlações entre a produtividade aquífera com os padrões de lineamentos regionais.

A expressão Hidrogeoquímica aplicada nesta dissertação justifica-se pois possui a mesma conotação indicada pelo Instituto Geológico Americano, que a define como a química das águas subterrâneas e superficiais, particularmente, as relações entre as características químicas e de qualidade das águas e a geologia local e regional (Bates et al., 1984).

1.1. Caracterização do Problema

A implantação e a operação de usinas hidrelétricas como as de Itá e Machadinho, nos rios Uruguai e Pelotas na bacia hidrográfica do rio Uruguai e

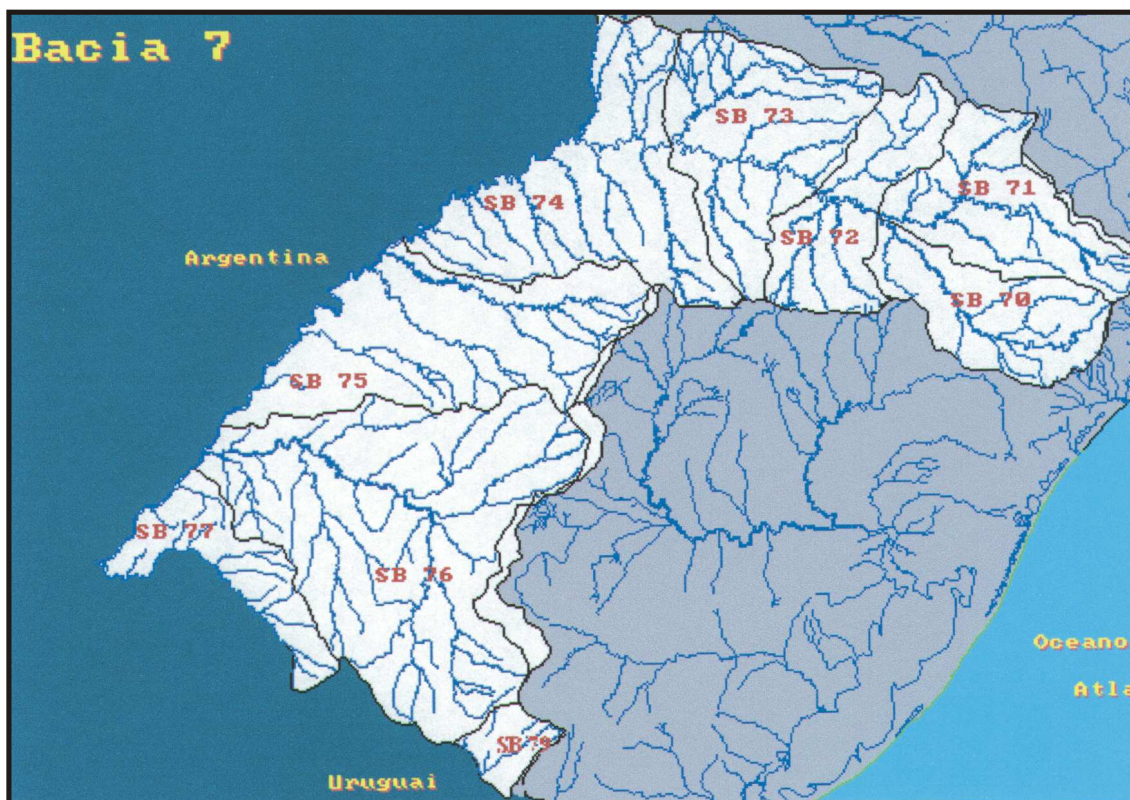


Figura (3) – Bacia Hidrográfica do rio Uruguai, no lado brasileiro. Fonte: ANEEL, 2000.

respectivas sub-bacias, provocou mudanças significativas no meio sócio-ambiental em todos os municípios inseridos nas áreas de influência direta ou indireta de ambos empreendimentos, que estão distribuídos pelos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e que eram fronteiros ao leito original do rio Uruguai. Esta bacia (figura 3) está configurada em um trecho nacional que compreende uma área com 75.300 km², dos quais 46.300 km² situam-se em território catarinense e o restante no Rio Grande do Sul. A etapa do inventário identificou 22 barramentos para aproveitamento energético (ELETROBRÁS, 1994).

Outros aproveitamentos com potencial energético tão significativos quanto atraentes aos planos do governo de incrementar energia elétrica no país, e que foram revelados através dos estudos de inventário e viabilidade executado há trinta e seis anos na bacia do Uruguai (ELETROBRÁS, 1994), já possuem

cronogramas de implantação atualizado para esta bacia e na sua rede de drenagem. Fazem parte deste inventário o aproveitamento potencial de Pai-Querê (288 MW), a ser implantado no rio Pelotas, e que já está na fase de viabilidade; outros em fase de projeto executivo, como é o caso da UHE Quebra Queixo (167 MW), localizada no rio Chapecó, com as obras civis bastante adiantadas, a UHE Barra Grande (690 MW), em construção no rio Pelotas, etc. Os aproveitamentos hidrelétricos projetados para a bacia do rio Uruguai, muitos deles, senão a maioria, já concluída e em plena operação podem ser visualizados na figura (4). As metas para se alcançar a autosuficiência energética devem levar em consideração a integridade do meio ambiente, de sistemas aquíferos regionais importantes, como o Aquífero Fraturado Serra Geral, intensamente explorado para o abastecimento de municípios e áreas rurais localizadas no oeste catarinense e nordeste gaúcho; devendo manter a preservação de ecossistemas, que aos poucos vão desaparecendo e dando espaço a novos reservatórios implantados nessas bacias, formando as divisões de quedas escalonadas.

A posição do usuário de águas diante da crise que afeta determinadas regiões do país é aflitiva, pois se vê ameaçado de pagar pelo uso "abusivo" da água, entendida como as seqüelas deixadas por uma crise que sequer conhecia, e que diariamente passa a ser estampada na mídia. Esta situação de ameaça ao bolso do consumidor em geral, faz com que o governo conte com o seu aval, criando-lhe a idéia falsa da necessidade imperiosa por usinas hidrelétricas, que possam lhe amenizar a situação crítica e as despesas extras que teria de pagar pelo "uso excessivo" da mesma, assumindo que os problemas ambientais são "meros entraves ao desenvolvimento nacional".

Sinergia é definida por Macedo como "a capacidade de dois ou mais fenômenos ambientais, em interação, gerarem eventos ambientais resultantes, com impacto ambiental vinculado potencializado em intensidade e/ou diverso em termos de sua natureza" (Tauk, 1995).

A ameaça de contaminações do lençol freático elevado a partir do enchimento de todos esses reservatórios e a própria sobrevivência de populações localizadas nas áreas de influências e que são abastecidas pelos mananciais em apreço deve ser avaliada através de estudos de impacto hidrogeológico, geofísicos, modelagem numérica, entre outros.

Estudos para a previsão de impactos hidrogeológicos provocados pelo enchimento de reservatórios como os de Itá e Machadinho conduzidos em uma fase antecedente à implantação desses empreendimentos devem servir como indicadores para futuros comportamentos das águas subterrâneas, e o seu monitoramento é fundamental para outros projetos hidrelétricos e às áreas de entorno, como medida de prevenção e para se delimitar porções dos terrenos com tendências propiciadas pela topografia baixa do terreno e características próprias do subsolo a se tornarem alagadiços a partir do enchimento do reservatório.

O banco internacional "The World Bank" (1991), responsável por financiamentos e assessorias técnicas ambientais a empreendimentos que visem o desenvolvimento sustentável de governos estrangeiros, descreve os impactos ambientais potenciais de projetos hidrelétricos da seguinte forma:

"Grandes projetos de barragens causam mudanças ambientais irreversíveis ao meio ambiente sobre amplas áreas geográficas, possuindo assim potencial para impactos significativos. Críticas a tais projetos têm crescido na última década. Críticos mais severos alegam que os custos ambientais e econômicos das barragens excedem os seus benefícios e que a construção de grandes barragens, portanto, é injustificável. Outros afirmam que em alguns casos, os custos ambientais e sociais podem ser evitados ou reduzidos para níveis aceitáveis por uma avaliação cuidadosa dos problemas potenciais e a implementação efetiva de medidas mitigadoras" (tradução).

A literatura geológica cita estudos de impactos hidrogeológicos que foram efetuados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, como requisitos à instalação de reservatórios hidrelétricos, onde são conhecidos casos em que houve um processo de elevação acentuado do lençol freático em áreas limítrofes dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Porto Primavera, Três Irmão, Nova Avanhandava, Rosana, Taquaruçu, Canoas 1 e 2, Itaipu, entre outras (Albuquerque, 1990).

No ano de 2000 houve a inundação do reservatório da UHE Itá e, recentemente, no decorrer de 2002, o enchimento do reservatório da UHE Machadinho. Outras usinas hidrelétricas de grande porte são aguardadas, como a UHE Campos Novos, UHE Quebra-Queixo, UHE Foz de Chapecó, UHE Pai-Querê, etc.

Para Muller (1995) não são somente razões técnicas que definem o porte das barragens. *A decisão por uma grande, média ou pequena barragem depende do volume do corpo d' água, suas características topo-altimétricas e de uma gama de considerações, como as necessidades do mercado e oportunidades econômicas, aspectos políticos, avaliações de ordem social e das fragilidades ambientais das localidades indicadas nas alternativas, todo isso considerado sob um princípio de otimização de custo/benefício. Para que uma represa seja uma grande barragem, o Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (CBGB), vinculado ao *The International Commission on Large Dams*, exige que tenha:*

- a) Mais de 15 m de altura entre o ponto mais baixo da fundação até a cristas;
- b) Entre 10 m e 15 m, mas que possua uma ou mais das seguintes características:
 - Mínimo de 500 m de comprimento de crista;
 - Mínimo de 100 mil metros cúbicos de água acumulada;
 - Acima de 2.00 metros cúbicos de vazão por segundo;
 - Barragem com difíceis condições de fundação;
 - Barragem com projeto não convencional.

A Usina Hidrelétrica de Itá –UHE Itá localiza-se na calha do rio Uruguai, na divisa dos municípios de Itá - SC e Aratiba RS. Conforme relatos das Centrais Geradoras do Sul do Brasil S. A. - Gerasul, a área de inundação do reservatório da UHE ITÁ é de 141,18 km², sendo que desses, 103 km² de terras, representavam, na sua maioria, minifúndios com área média de 17 ha, abrangendo um total de onze municípios, sete em Santa Catarina: Itá, Arabutã, Concórdia, Alto Bela Vista, Ipira, Peritiba e Piratuba; e quatro no Rio Grande do Sul: Aratiba, Mariano Moro, Severiano de Almeida e Marcelino Ramos.

A capacidade instalada da UHE Itá é de 1.450 MW e irá proporcionar uma energia garantida de 668 MW médios quando estiver operando plenamente. O reservatório da Usina armazena um volume de água equivalente a $5,1 \times 10^9 \text{m}^3$ e o seu nível máximo normal que é de 370 m. (ELETROSUL, 1990). A UHE Itá encontra-se atualmente em operação.

A localização geográfica aproximada do centro do reservatório de Itá está a uma latitude de 27°25'11"S e longitude de 52°00'00" WGr.

A Usina Hidrelétrica de Machadinho – UHE Machadinho está situada a montante da UHE Itá, no leito do rio Pelotas a cerca de 1,2 km a jusante da foz do rio Inhandava ou Forquilha, na divisa entre os municípios de Piratuba – SC e Maximiliano de Almeida – RS.

Segundo relatórios do Consórcio Machadinho Energética S/A-MAESA e a Gerasul, o reservatório possui uma área de inundação de 56,70km² que junto com a calha do rio totalizam 79,0km², abrangendo um volume de $3,339 \times 10^9 \text{m}^3$.

A potência instalada da UHE Machadinho é de 1.140 MW e pode atender 50% da demanda de Santa Catarina ou então 30% do Rio Grande do Sul.

O reservatório da UHE Machadinho deverá afetar 0,8% da área total de seis municípios catarinenses: Piratuba, Capinzal, Zortéa, Campos Novos, Celso Ramos e Anita

Garibaldi, enquanto que na fronteira gaúcha apenas quatro municípios: Maximiliano de Almeida, Machadinho, Barracão e Esmeralda (ELETROSUL, 1987).

A cota máxima normal alcançada pela lâmina d'água será de 480 m no reservatório. A distância entre os eixos das duas barragens é de aproximadamente 75 km em linha reta.

Outros aproveitamentos hidrelétricos estarão operando nos próximos anos na bacia hidrográfica do rio Uruguai, alguns dos quais, nos estágios finais de construção, como a UHE Quebra Queixo, localizada no rio Chapecó (sub-bacia do rio Uruguai); que estará operando quando concluída com uma potência instalada de 167 MW.

Em fase inicial de projeto está a UHE Foz do Chapecó (1.228 MW), situada na calha do rio Uruguai a jusante da confluência do rio Chapecó. Também na sub-bacia do rio Chapecó estão projetadas a UHE São Domingos (28 MW) e a UHE Verde Vale (28 MW), ambas no município de Abelardo Luz, e mais a montante a UHE Aparecida (64 MW).

Cabe aqui salientar, a existência de antigos aproveitamentos, com menores potenciais hidráulicos, encontrados na sub-bacia do rio Chapecó, como a PCH Dall Asta (4 MW). Esta PCH está sendo ampliada para uma potência equivalente a 28 MW, então passando a denominar-se UHE São Domingos.

Na sub-bacia do rio Chapecozinho está projetada para implantar-se a PCH Santa Laura (15 MW), que recentemente foi alvo de uma audiência pública promovida entre o empreendedor e o órgão licenciador para informar e discutir

junto com a população de Faxinal dos Guedes e Ouro Verde sobre a viabilidade do empreendimento. A fase posterior de liberação do projeto depende de análise e parecer técnico favorável do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA da FATMA.

Nesta sub-bacia são também encontrados, aproveitamentos hidrelétricos antigos como a PCH Salto do Passo Velho (3,7 MW) e Salto Voltão (2 MW), ambos de propriedade da empresa Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG e, ainda, a PCH Celso Ramos (5,8 MW) pertencente às Centrais Elétricas de Santa Catarina - CELESC.

A UHE Campos Novos (880 MW) já está em atividade operacional na sub-bacia do rio Canoas e, no estágio intermediário de construção encontra-se a UHE Barra Grande (690 MW), na sub-bacia do rio Pelotas, cuja localização pode ser visualizada na Figura (4).

Uma área de interferência exclusiva para toda a bacia e sub-bacias do rio Uruguai, certamente deverá ser considerada com a implantação e operação de todos esses empreendimentos e o somatório dos impactos resultantes atuando sobre o meio, cujas conseqüências são ainda desconhecidos e/ou imprevisíveis.

Segundo (Branco, 1977), uma faixa sanitária estabelecida nas bordas dos lagos constitui “uma barreira efetiva à passagem de poluentes – especialmente compostos orgânicos e patogênicos – por infiltração”.

O Decreto N^o 14.250, de 5 de junho de 1981, da Legislação Ambiental do estado de Santa Catarina determina como Área de Proteção Especial (Seção I), Art. 49 – Nas áreas de formação vegetal defensivas à erosão, onde fica proibido o corte de árvores e demais formas de vegetação natural, obedecidos os seguintes critérios:

II – ao redor das lagoas, lagos e reservatórios de água numa faixa de 100 (cem) metros.

Embora a faixa sanitária e a Área de Proteção Especial possam prevenir a infiltração de poluentes a partir da superfície em direção ao lago, a presença de fraturamentos regionais contínuos, estendendo-se em subsuperfície à lâmina d'água do reservatório, alerta-nos para a possibilidade exequível de uma contaminação provinda de contaminantes misturados à água e, mesmo, provenientes das áreas internas circundantes ao corpo d'água.

Outra fonte geradora de impactos que pela importância e dimensionamento mereceu atenção neste trabalho é o sistema confinado de rebanhos suínos em pequenas áreas de granjas das regiões centro-oeste de Santa Catarina e nordeste do Rio Grande do Sul que produz diariamente grandes quantidades de dejetos suínos sólidos e líquidos que são transferidos para esterqueiras ou lançados clandestinamente no leito de drenagens locais.

Da mesma forma preocupam os aviários também com enormes construções que normalmente abrigam mais de 5.000 aves, (observados em estereoscopia nas fotografias aéreas, nas escalas, 1:25.000 e menores, 1:45.000, com infravermelho, as quais, os identificam com maior nitidez). Muitos desses aviários funcionam totalmente auto-monitorados com computadores e estações para o monitoramento de clima portáteis, os quais, de acordo com as mudanças climáticas diárias podem regular as temperaturas de ar climatizado interno adaptando-as a nova situação, ou então, fornecendo sozinhos quantidades maiores ou menores de rações ou de água às aves, dentre outras facilidades.

Os sistemas de confinamento provocam a contaminação direta e indireta dos solos, e do lençol freático, a partir da infiltração dos nutrientes e compostos vários, normalmente contidos nos fertilizantes principalmente orgânicos (dejetos suínos), e/ou das enxurradas que carregam esses nutrientes para corpos d' água.

As Tabelas (1) e (2) mostram a produção diária de dejetos que são gerados conforme a categoria dos suínos e numa criação com 44 matrizes de ciclo completo.

A intensa atividade agropecuária das duas regiões utiliza-se da aplicação de nutrientes nos solos, principalmente dos dejetos suínos ou em menor escala, de fertilizantes minerais, além de agrotóxicos diversos, geralmente aplicados em

Categoria	Esterco (kg/dia)	Esterco + urina (kg/dia)	Dejetos Líquidos (litros/dia)
Suínos 25 a 100 kg	2,30	4,90	7,00
Porcas gestação	3,60	11,00	16,00
Porcas lactação + leitões	6,40	18,00	27,00
Cachaço	3,00	6,00	9,00
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40
Média	2,35	5,80	8,60

Tabela (1) – Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos. Fonte: EMBRAPA (março/1998). Adaptado de Oliveira (1993)

dosagens excessivas às necessidades do solo e dos cultivos. As concentrações anômalas de elementos (Cu, Pb, Zn, entre outros metais pesados) e compostos, principalmente, de nitrogênio e fósforo, na superfície do solo, e que terão como destino final: a percolação até as águas subterrâneas, ou então, serão posteriormente transportadas pelas águas de enxurradas e de irrigação, chegando finalmente aos rios e reservatórios aonde provocarão sensíveis modificações nas condições físico-químicas do meio.

A água subterrânea pela sua condição natural está melhor preservada da ação de poluentes que as superficiais, contudo, atividades antrópicas peculiares da região como as descritas acima tem provocado a contaminação dos sistemas aquíferos, conforme laudos de análises de água (anexos dos laudos de resultados

analíticos do poço (P-154) localizado no rio do Peixe, município de Capinzal-SC, e em Mariano Moro-RS, poço (P-108).

<i>Categoria</i>	<i>Nº animais/ Categoria</i>	<i>Dejetos líquidos (litros/dia)</i>	<i>Total Dejetos líquidos (litros/dia)</i>
Porcas lactação	12	27	324
Porcas gestação	32	16	512
Cachaços	3	9	27
Leitões na creche	152	1,4	212,8
Suínos 25 a 100 kg	296	7	2.072
Total	495	60,4	3.147,8

Tabela (02) – Quantidade de dejetos líquidos de suínos produzidos por uma criação de 44 matrizes em ciclo completo, de acordo com a composição do rebanho. Fonte: EMBRAPA (março/1998).

Com os novos reassentamentos municipais e rurais promovidos pela GERASUL e MAESA, porções de áreas que até recentemente eram destinadas estritamente à habitação humana e à agropecuária foram inundadas pelo reservatório da UHE Itá e pelo lago da UHE Machadinho. Deste modo, as fossas sépticas domésticas, aviários, chiqueirões, esterqueiras, pocilgas, estábulos, entre outros, que foram abandonados e ficaram submersos – entrando em contato com as águas dos reservatórios poderiam contaminá-las com nutrientes inorgânicos, orgânicos (fosfatos e nitratos) e organismos patogênicos, tornando necessário um tratamento prévio na exploração do manancial.

A eutrofização que se sucedeu à inundação do reservatório de Itá encobrendo toda a superfície do corpo d' água é a prova cabal deste procedimento irregular que na época foi subestimado pela direção da empresa Tractebel (Gerasul). O fenômeno da eutrofização do reservatório da UHE Itá pode ser visto

em duas regiões distintas nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina nas tomadas de fotografias (1) e (2).

Um programa de monitoramento hidrogeológico complementar ao Estudo de Impacto Ambiental - EIA da UHE Machadinho descreve a aplicação de um modelo numérico ao Sistema Aqüífero Guarani, o qual foi encomendado pelo Consórcio MAESA - Machadinho Energética S. A. à PROGEO, empresa de engenharia; na tentativa de se avaliar os prováveis efeitos de impactos hidrogeológicos aos aqüíferos, determinando uma possível elevação do lençol freático e a possibilidade de resfriamentos do aqüífero termal (MAESA, 2000).

Os resultados apontados pela modelagem reportam elevações do nível freático da ordem de 10 a 40 cm, ao passo que as variações de temperatura seriam insignificantes para o aqüífero termal, segundo depoimento oral do Eng.º Olavo Francis, representante da PROGEO (palestra no DNPM/DS 11º Distrito, 2000).

As conclusões desse ensaio são bastante generalizadas e não fazem referência ou contemplam zonas de prováveis alagamentos (deprimidas) nas áreas de influência dos dois reservatórios.

Poços tubulares profundos que não tenham sido lacrados devida e previamente à inundação desses lagos, permitiriam a infiltração de águas lênticas em subsuperfície, que percolando no interior de fissuras, fraturas provocariam a contaminação do Aqüífero Fraturado Serra Geral e, mesmo, das zonas de recarga do sistema aqüífero Serra Geral-Botucatu.

O poço tubular da localidade de Rancho Grande, no município de Concórdia, submerso pela inundação do reservatório de Itá, não foi lacrado previamente ao enchimento deste e posteriormente acabou sendo local para

infiltração de águas da superfície até o interior do Aquífero Fraturado Serra Geral. Este fato foi constatado pelo autor, por ocasião do deplecionamento do lago.

A Fundação Municipal do Meio Ambiente de Concórdia procedeu a coleta de amostras de águas do interior da boca do poço que jorrava até a superfície, derramando pelas bordas do revestimento. O poço ficou exposto devido ao rebaixamento do nível superficial das águas do reservatório quando a administração da Tracbell efetuava reparos no barramento da hidrelétrica. Com o nível d' água rebaixado do lago ocorreu a exposição de praticamente todo o PVC geomecânico azul (revestimento).

Resultados de análises microbiológicas revelaram altíssimos índices de coliformes presentes naquela amostra de água, segundo informações do técnico Paulo Corbelline, engenheiro sanitário, coordenador daquele órgão ambiental. Este técnico que acompanhou o fato desde a constatação do poço agora transformado em jorrante pode também visualizar numa das amostras coletada de água adicionada em um vidro, que revelava a olhos nus o excesso de coliformes formando colônias ou mesmo, agregados.



Fotografia (1) - Vista da lâmina d' água do rio Uruguai eutrofizada quase que completamente por ação de macrófitas. Ponte sobre o rio Lajeado Teixeira, situado próximo da cidade de Marcelino Ramos - RS.



Fotografia (2) - Em primeiro plano têm-se um início de processo de eutrofização na superfície das águas do Lajeado Fragosos. No segundo plano vê-se parte do distrito de Engenho Velho, Concórdia-SC.

Há, contudo no EIA-RIMA da UHE Foz de Chapecó, um estudo sobre ictiofauna que conclui que a partir do barramento dessa hidrelétrica a situar-se na calha do rio Uruguai (próximo da foz com o rio Chapecó), a montante deste, não poderá haver mais nenhum eixo de barragem ou usina/central hidrelétrica sob pena de haver isolamento das espécies migratórias e conseqüente perda de patrimônio genético.

Problemas sobre a migração de espécies terrestres em corredores interligados a UHE Quebra- Queixo e outras PCH's como Celso Ramos, Salto do Passo Velho, Salto Voltão no rio também se tornam conhecidos em algumas sub-bacias do rio Uruguai, na eventualidade da implantação de novas usinas na mesma bacia hidrográfica, segundo informações da MsC Beloni Terezinha Pauli Marterer, bióloga da FATMA.

Como primeira medida mitigadora com vistas a atenuar a multiplicidade de usinas/centrais hidrelétricas nessas bacias recomenda-se que seja elaborado um Estudo de Avaliação Estratégica - EAA para toda a bacia hidrográfica, na qual estejam projetadas os aproveitamentos energéticos escalonados, relacionando prováveis interferências entre as barragens e reservatórios, efeito somatório de impactos (sinergia), etc. Tal medida deveria ser empreendida com o apoio irrestrito dos Ministérios Públicos Federal e Estadual e de certo modo, do Ministério do Meio Ambiente - MMA.

1.2. Justificativa

O presente estudo justifica-se por servir como um referencial na análise ambiental e hidrogeológica de:

- inventários e projetos básicos de usinas/centrais hidrelétricas executados ou não na bacia e sub-bacias hidrográficas do rio Uruguai, atestando a fragilidade dos meios físicos e bióticos;
- avaliações de Impacto Ambiental - AIA na bacia e sub-bacias hidrográficas do rio Uruguai;

- outras pesquisas de cunho geral a serem desenvolvidas na região abordada pela presente Dissertação.

Pretende ainda, dentro de suas reconhecidas limitações, trazer ao conhecimento dos órgãos do governo federal e estadual, entidades em geral, agências governamentais, empreendedores e consultores técnicos, responsáveis pela implantação e operação das usinas/centrais hidrelétricas a eventual existência de processos geoquímicos já atuantes na concentração de nutrientes e de outros contaminantes nos sistema aquífero fraturado e, eventualmente, poroso, seja no estado do Rio Grande do Sul, seja no de Santa Catarina.

Por outro lado, instigar o debate e a pesquisa no meio científico, na busca de soluções para os problemas de contaminação dos solos, das águas superficiais e das águas subterrâneas, principalmente derivados de atividades agroindustriais regionais.

Trazer um alerta para as autoridades governamentais competentes e sociedade em geral, da necessidade dos órgãos ambientais estaduais e federais (e de saneamento) estarem aparelhados científica e tecnologicamente, e que possam constituir quadros de funcionários técnicos, capacitados e dignamente remunerados, de acordo com a função e nível técnico que lhes compete, para que, assim, tenham as condições mínimas necessárias para realizar os programas de monitoramentos e de controle ambiental, principalmente, na qualidade dos recursos hídricos.

Esta capacitação integral é de importância fundamental no licenciamento ambiental dos empreendimentos, na questão da outorga de águas, porque sem estes requisitos básicos esses órgãos não estarão exercendo a tarefa que lhes foi incumbida.

A presente Dissertação em si mesma tem a pretensão de contribuir com o conhecimento geoquímico e hidrogeológico dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Sistema Aquífero Guarani.

1.3. Objetivo Geral

Caracterizar a hidrogeoquímica e vulnerabilidade dos Aqüíferos Serra Geral e Botucatu na área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

1.4. Objetivos Específicos

- Caracterização hidrogeológica e hidroquímica dos sistemas aquíferos Serra Geral e Botucatu na área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho;
- Análise da qualidade da água dos poços tubulares na área de estudo;
- Caracterização hidroquímica em alguns locais da água do reservatório da UHE Itá para compará-los com as águas dos poços tubulares;
- Mapeamento de vulnerabilidade (enfocando) das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Uruguai, com vistas à identificação de áreas mais suscetíveis à poluição, inclusive salientando uma região tectonicamente controlada e passível à infiltração de poluentes, situada no município de Alto bela Vista, conhecida como Estreito do rio Uruguai, que foi inundada pelo reservatório de Itá.

1.5. Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH'S Aproveitamentos Energéticos Alternativos

Na óptica governista, as PCH's se tornam empreendimentos atrativos (ELETROBRÁS, 2002) devido a possuírem características de menor impacto ambiental, menor volume de investimentos, prazo de maturação mais curto e incentivos legais, tais como:

- Outorga para o empreendimento sem necessidade de licitação;
- Isenção de pagamento da taxa de compensação financeira aos Estados e Municípios;
- Possibilidade de comercializar de imediato a energia elétrica produzida com consumidores cuja a carga seja maior ou igual a 500 KW;
- Isenção de pagamento por uso das redes de transmissão e distribuição para PCHs que entrarem em operação até o ano de 2003 e redução de no mínimo 50 % deste custo para as que entrarem após esta data.

A Resolução CONAMA N° 002, de 18 de abril de 1996 que trata da reparação de danos ambientais causadas pela destruição de florestas e de outros ecossistemas com o pagamento como medida compensatória de 0,50 % (meio por cento) dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento não é aplicável às PCH's quando estas estiverem isentas da apresentação de EIA/RIMA, o que geralmente acontece, devido ao porte pequeno ou pouco impactante do empreendimento. Contudo, cabe o bom senso do (s) técnico(s) ambiental (ais) de analisar o empreendimento e a respectiva área de implantação e decidir ou não sobre a necessidade de EIA/RIMA para o mesmo. Agora, logicamente, as medidas compensatórias ficam por conta da autorização do corte de vegetação nas área impactadas, (área de inundação, canteiro de obras, mineração, obras civis, etc.) que devem ser compensadas sempre pelo setor competente do órgão ambiental.

Outras facilidades são oferecidas de maneira a ampliar as condições de viabilização desses empreendimentos através de uma parceria firmada entre a ELETROBRÁS e o Banco Nacional de Desenvolvimento - BNDES, que oferece o financiamento para a construção das PCH's, enquanto que a empresa estatal garante a compra da energia das usinas por meio de contratos de longo prazo, garantindo assim, o acesso dos empreendedores ao financiamento do BNDES.

Há no meio empresarial e da engenharia de barragens na atualidade o pensamento de que uma PCH com uma potência de 3,13 MW funcionando ao sistema interligado nacional possa gerar um ganho líquido de mais de R\$ 200.000,00 mensais, ou US \$ 69.930,06, que serão recebidos num período de mais de 30 anos, que é tempo de vida média do empreendimento, “uma excelente aposentadoria”, como se comenta no circuito dos “barrageiros”.

A ANEEL fornece também aos interessados informações sobre as condições de financiamento de empreendimentos do setor energético em geral, que são enquadrados na legislação vigente como de pequeno potencial impactante, podendo incluir além das microcentrais hidrelétricas já especificadas -

microcentrais eólicas, microcentrais termoelétricas, etc., - cujo montante é repassado por intermédio do Banco Nacional do Desenvolvimento - BNDES.

O termo Pequena Central Hidrelétrica - PCH foi designado pelo extinto Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica - DNAEE (órgão sob coordenação da ELETROBRÁS), através da Portaria DNAEE nº 109 de 24/10/82, para definir três categorias de pequenos aproveitamentos:

- Microcentrais, até 100 kW de potência e queda d'água entre 15 m e 50 m;
- Minicentrais, entre 100 kW e 1.000 kW e queda d'água entre 20 m e 100 m;
- Pequenas centrais, entre 1 MW e 10 MW e queda d'água entre 25 m e 130 m.

O Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas (Ministério das Minas e Energia, 1991) considera como obras de pequeno porte as microcentrais e minicentrais hidrelétricas, cujas potências instaladas não ultrapassem o valor de 1.000 kW. A partir de 10 MW de potência instalada, os aproveitamentos devem ter o seu inventário desenvolvido, conforme o que prescreve o Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas.

Posteriormente, com a entrada em vigor da Resolução ANEEL Nº 394 de 04/12/98, estabeleceram-se outros critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas, dentre os principais, estão:

- Empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW;
- Área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km²;
- A área do reservatório deve ser delimitada pela cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos.

Portanto, aproveitamentos hidrelétricos com potências superiores a 30.000 kW não são enquadrados como Pequenas Centrais Hidrelétricas e assumem a condição de usinas hidrelétricas - UHE's, na categoria de obra civil de grande porte. A nomenclatura usada com frequência - usinas/centrais hidrelétricas neste trabalho tem o significado de usinas hidrelétricas/pequenas centrais hidrelétricas.

A opção pelo tema também se traduziu pela experiência profissional e curiosidade do autor nas áreas selecionadas para este estudo, já que lhe são familiares, considerando o fato de que atuou nas mesmas como geólogo consultor em atividades que incluíam o planejamento e a execução de programas ambientais em usinas hidrelétricas, as quais foram monitoradas por anos consecutivos. Um outro aspecto a salientar, também determinante nesta opção que trata de um tema ambiental, está vinculado ao período de tempo em que atuou como Técnico de Controle Ambiental da FATMA.

O estudo analisa e classifica o quimismo das águas dos principais aquíferos regionais; na medida do possível estabelece correlações entre a produtividade média dos poços tubulares profundos e os sistemas de lineamentos mais evidenciados da Formação Serra Geral, além de levantar questões pertinentes à vulnerabilidade e ao zoneamento ambiental dos dois aquíferos, propondo igualmente medidas de prevenção à contaminação dos mananciais hídricos subterrâneos.

2. METODOLOGIA

2.1. Hidrogeoquímica e Geoprocessamento

O autor teve a oportunidade de trabalhar durante alguns anos na área em apreço, para empresas e laboratórios da iniciativa privada, geralmente com atividades relacionadas ao meio ambiente, em programas de cadastramento de poços tubulares, especialmente cadastrando e catalogando amostras de água, bem como planejando e executando programas de monitoramento. Estas atividades facilitaram de certo modo o seu conhecimento e a interpretação dos dados contidos nesta Dissertação.

A abordagem sobre a hidrogeologia dos poços tubulares e o quimismo de suas águas tem por base os seguintes documentos e acervo:

- Banco de dados de poços tubulares cadastrados pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM entre 1998 e 2001 na região oeste de Santa Catarina, serviço contratado pela Secretaria de Estado do desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente - SDM como parte da elaboração do "Projeto Oeste de Santa Catarina - PROESC" (SDM, 2002);
- Levantamento cadastral de poços tubulares em empresas estatais como a Companhia Catarinense de Água e Saneamento - CASAN, Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina-CIDASC e Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN, além de empresas municipais de águas e saneamento, situadas nos dois estados de interesse (pesquisa do autor);
- Pró Ambiente, Análises Químicas e Toxicológicas;
- MAESA Machadinho Energética S. A;
- TRACTBEL *Electricity & Gás International*;
- ECSA Engenharia Sócio-Ambiental S/A;
- Levantamento cadastral de poços tubulares nas empresas de perfuração privadas IMPAGROSS e Leão Poços (pesquisa do autor);
- Levantamento expedito dos poços tubulares de interesse realizado pelo autor durante o ano de 2000.

A área compreendida para o presente trabalho foi delimitada em um programa AutoCad R-14 *by Auto-desk*, que serviu para gerar os diversos mapas temáticos digitais. A área de enfoque neste trabalho, que abrange 2.810,47 km², foi georreferenciada no sistema de projeção UTM, utilizando-se como datum o *South America 69, SAD-69*. O índice de referência utilizado é o da Carta do Brasil ao Milionésimo, confeccionada pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - FIBGE.

A interpretação da geologia e geomorfologia foi realizada com base nas imagens de radar RADAMBRASIL, Folha SG.22-Y-D, na escala 1:250.000, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, sediado na Av. Rio Branco, Florianópolis.

Para maior detalhamento foram utilizadas imagens multiespectral LANDSAT 7 ETM + Fusão das bandas 5, 4, 3 + 8 (multispectral + pancromático),

reamostrado para 15 m, utilizadas no levantamento das UHE Barra Grande e UHE Foz de Chapecó.

A interpretação das imagens digitalizadas da região estudada, abrangida pelas Folhas SG.22-T-II, Concórdia; SG.22-V-DII, Joaçaba; SG.22-T-III, Erechim; e SG.22-T-IV; Paim Filho realizada na escala 1:50.000, disponibilizada pelo Laboratório de Geoprocessamento da Fundação do Meio Ambiente - FATMA, em Florianópolis.

O tratamento de dados de sensoriamento deste trabalho e a arte final dos mapas temáticos foram executados por Jorge Fernandes, Eng^o. cartógrafo, e contou com apoio de colegas do Laboratório de Geoprocessamento da Fundação do Meio Ambiente - FATMA, na disponibilização de materiais como estereoscópio de espelhos, cartas, etc., em especial, Ana Cimardi, Diretora da DEAM – Diretoria de Estudos Ambientais, daquela Fundação.

As informações geológicas têm por base o Mapa Geológico do Brasil, elaborado na escala 1:1.000.000 e o Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina, na escala 1:500.000 e outros dados constantes da bibliografia referenciada.

Os dados analíticos constantes (físico-químicos e microbiológicos) e respectivas fontes consultadas, utilizados neste trabalho, referem-se a dois conjuntos de amostras distintos, cujos períodos de coleta e respectivos laboratórios de análises estão descritos como segue abaixo:

1^o) conjunto de amostras: (= 1^a. amostragem) – relaciona seis coletas de amostras realizadas nos 47 poços tubulares entre o período de 1999 e 2000. Utilizou-se os dados analíticos constantes (Laboratório EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) da MAESA – Machadinho Energética S. A.;

2^o) conjunto de amostras (= 2^a. amostragem) – relaciona três coletas de amostras realizadas em 20 dos poços, constituintes de um total de 47 poços (mesmos

relacionados da 1ª amostragem), nos meses de abril, maio e julho de 2000. Parte dos dados analíticos do autor que também incluem amostras de águas de superfície foram analisados no laboratório Pró Ambiente, Análises Químicas e Toxicológicas, de Porto Alegre – RS. Outros parâmetros laboratoriais utilizados fazem parte do banco de dados analíticos constantes (Pró Ambiente, Análises Químicas e Toxicológicas) da empresa *Tractbel Electricity & Gás International*.

Muitos dos laudos de análises laboratoriais utilizados nesta monografia apenas receberam tratamento hidroquímico estatístico, muito embora sejam em grande parte do conhecimento do autor que participou pessoalmente da amostragem de muitos deles.

Entre os dados de hidrologia e hidrogeologia utilizados está o inventário de pontos d' água elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM entre 1998 e 2001, e disponibilizado na SDM pelo colega Eng^o. M. Sc. Guilherme Xavier de Miranda Júnior e pelo geólogo Marcos Alexandre de Freitas, Chefe do Projeto PROESC pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre-RS.

O Eng^o. M. Sc. Guilherme Xavier de Miranda Júnior também disponibilizou do acervo daquela instituição para este trabalho, o Mapa Geológico da Folha Erechim publicado na escala 1:250.000, elaborado (inédito) pela CPRM Serviço Geológico do Brasil em convênio com a SDM.

Outras fontes que serviram de referência no tratamento exclusivo de dados hidroquímicos nesta monografia são: Laboratório de Análises Físico-Químicas da CORSAN, de Porto Alegre-RS, e da HIDROLABOR, Laboratório de Controle de Qualidade S/C Ltda., com sede em Sorocaba, São Paulo.

As amostras de água subterrânea e superficial para exame bacteriológico foram coletadas em frascos de vidro com capacidade de 100 ml, esterilizados. As

amostras coletadas eram estocadas e refrigeradas a temperaturas inferiores a 10° C, em geladeiras térmicas. As amostras refrigeradas e embaladas eram então remetidas para o Laboratório da Pró-Ambiente, Análises Químicas e Toxicológicas num prazo nunca inferior a 8 horas.

As amostras de água foram todas coletadas em poços equipados com bombas mecânicas, nos quais, a água era bombeada durante aproximadamente cinco minutos, deixando-se a torneira que recebia a água aberta totalmente. Muitas torneiras adaptadas nos poços são de PVC e não permitem flambagem para esterilização. Os frascos eram rapidamente abertos e enchidos com amostra até cerca de 4/5 do seu volume, sem lavá-lo com a própria amostra, sempre tendo-se o cuidado no remover a tampa para que não tocasse em nada, e também evitando-se tocar no bocal do frasco. O frasco então era rapidamente fechado após a coleta, fixando-se bem o material protetor ao redor do gargalo, geralmente utilizando-se fita crepe. As etiquetas sempre eram identificadas previamente à coletas das amostras.

Os valores de pH e de condutividade foram registrados em campo através de um medidor integrado portátil Orion. Os valores de pH posteriormente eram medidos e corrigidos a 20°C em laboratório, comparando-se os resultados . A temperatura da água bombeada nos poços era medida após cinco minutos de funcionamento com um termômetro de bolso, importado, a prova d'água, sensibilidade de – 50° C a + 150° C ou - 58° F a 302° F.

As amostras para metais pesados foram coletadas em frascos de polietileno, e enchidos com cerca de 500 ml de amostra na saída do poço. Como a amostras eram rapidamente enviadas para o laboratório descartou-se a adição de ácido nítrico concentrado com pH < 2 para a preservação das amostras, como por exemplo, para o cádmio, chumbo e cobre.

As amostras de água do reservatório da UHE Itá foram poucas, e tiveram como objetivo a comparação com amostras de águas subterrâneas, justamente em locais onde presume-se houvesse ocorrido a contaminação do lençol freático a partir de águas do reservatório.

As amostras foram coletadas na região mais afastada das margens, usando-se um barco equipado com remos. As amostras foram coletadas com o frasco segurado pela base, e em seguida era mergulhado rapidamente com a boca virada para baixo, até cerca de 30 cm e, após era direcionado horizontalmente, criando-se uma corrente nesse sentido para frente, então lentamente inclinado para cima para o enchimento até a retirada do mesmo do corpo d' água. Assim que retirado, descartava-se uma pequena porção da amostra, deixando um espaço vazio, permitindo a homogeneização da amostra para análises.

Nas amostras coletadas para análise de DBO_5 foram adicionados preservantes para a estabilização dos constituintes, e adicionadas em frascos de polietileno, em volumes de 2.000 ml. Na maioria das outras amostras foram coletados em torno de 500 ml de amostra de água, normalmente em frascos de polietileno ou de vidro com boca larga e tampa de rosca.

As análises físico-químicas e bacteriológicas de amostras de águas do reservatório da UHE Itá, e de alguns afluentes, assim como de águas subterrâneas coletadas nos poços tubulares foram realizadas no Laboratório Pró-Ambiente, Análises Químicas e Toxicológicas, de Porto Alegre, do Eng^o. Químico Dr. Marco Antônio Dexheimer, Coordenador Técnico; contando ainda, com o apoio de Paulo Ricardo Brittes, Diretor-Financeiro que considerando o convívio de trabalho e de amizade durante alguns anos, subsidiaram todos os custos das amostras deste projeto.

Os seguintes métodos analíticos foram empregados na identificação e

quantificação de elementos e compostos presentes nas amostras de água:

- a) Titulometria:
 - Alcalinidade;
 - Bicarbonatos
 - Cloretos
 - Dureza
 - Dióxido de Carbono
- b) Espectrofotometria de Absorção Atômica:
 - Metais alcalinos e alcalinos terrosos
 - Metais básicos
- c) Espectrofotometria:
 - Compostos orgânicos e inorgânicos
 - Turbidez
- d) Eletrometria:
 - Condutividade
- e) Gravimetria:
 - Resíduo Total a 105°C
- f) Potenciometria:
 - pH "in natura" a 20°C
- g) Bacteriológico:
 - Contagem de Coliformes Totais - Número Mais Provável - (NMP)
 - Contagem de Coliformes Fecais - Número Mais Provável (NMP)

A classificação das águas dos dois Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani foi determinada através da representação gráfica em Diagramas de Piper, utilizando-se o software de águas subterrâneas *Modflow - 2000 do U. S. Geological Survey* (Serviço Geológico Americano).

Parte das águas subterrâneas dos dois aquíferos foram também representadas em Diagramas de Stiff, e Schoeller em outro *software* de águas subterrâneas *Ground Water For Windows - GWW*, da Organização das Nações Unidas – ONU, mas, devido a problemas recorrentes na abertura do programa, o *software* não pode ser mais usado. Inúmeras tentativas no sentido de recuperar o *software* foram feitas pelo colega, M. Sc. Galba de Oliveira, Analista de Sistemas, do CIASC, mas todas em vão, tendo o mesmo que ser abandonado definitivamente, assim como parte dos diagramas já elaborados.

As outras técnicas de apoio empregadas neste trabalho de pesquisa incluíram:

- a) Um levantamento completo de todos os dados já existentes em poços na área de influência direta e indireta dos empreendimentos: UHE Itá e UHE Machadinho;
- b) Ensaio periódico de vazão, medição de nível estático e dinâmico, além de outros parâmetros hidrogeológicos relacionados nos poços monitorados pré e pós-enchimento dos lagos;
- c) Coleta de amostras de água em poços tubulares selecionados da região para se proceder análises físico-químicas e microbiológicas;
- d) Os parâmetros abaixo especificados foram selecionados para servir como indicadores da qualidade das águas subterrâneas:
 - Parâmetros Físicos: Turbidez, Condutividade Elétrica, Temperatura, pH "in natura" a 20 °C,
 - Parâmetros Químicos: Alcalinidade; Bicarbonatos; Cádmio; Cálcio; Chumbo; Cloretos; Cobre; Condutividade; Dureza; Fenol; Ferro; Dióxido de Carbono; Magnésio; Nitratos; Nitritos; Orto-fosfato; Óxido de Silício (Sílica); Potássio, Sólidos Totais Dissolvidos –STD, Resíduo Total a 105°C; Sódio e Sulfatos;
 - Parâmetros Bacteriológicos: Coliformes Totais e Coliformes Fecais.

Dados complementares de determinados parâmetros físico-químicos como o fosfato total dissolvido (P-total dissolvido), o fosfato total (P-total), algumas formas de nitrogênio e outros, (ou mesmo, uma repetição das análises feitas aqui em levantamentos geoquímicos futuros na região), os quais não puderam ser analisados neste trabalho, se forem concretizados poderão melhor ratificar muitas das conclusões tecidas nesta Dissertação, possibilitando igualmente espaço para novas idéias sobre as condições de contaminação por nutrientes da região. Técnicas inovadoras aplicadas na amostragem e na comparação final dos resultados analíticos deveriam ser realizadas, principalmente para as formas de fosfatos e nitratos.

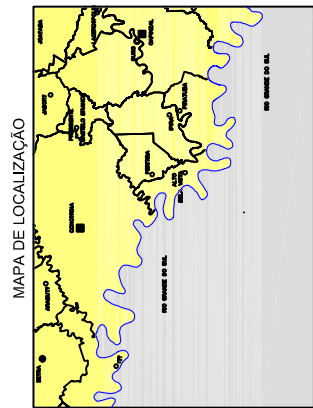
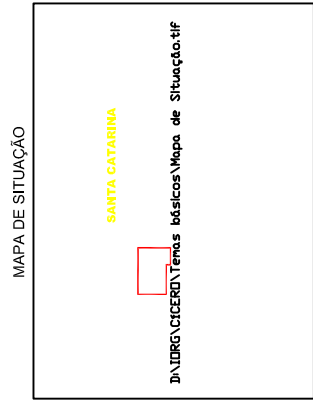
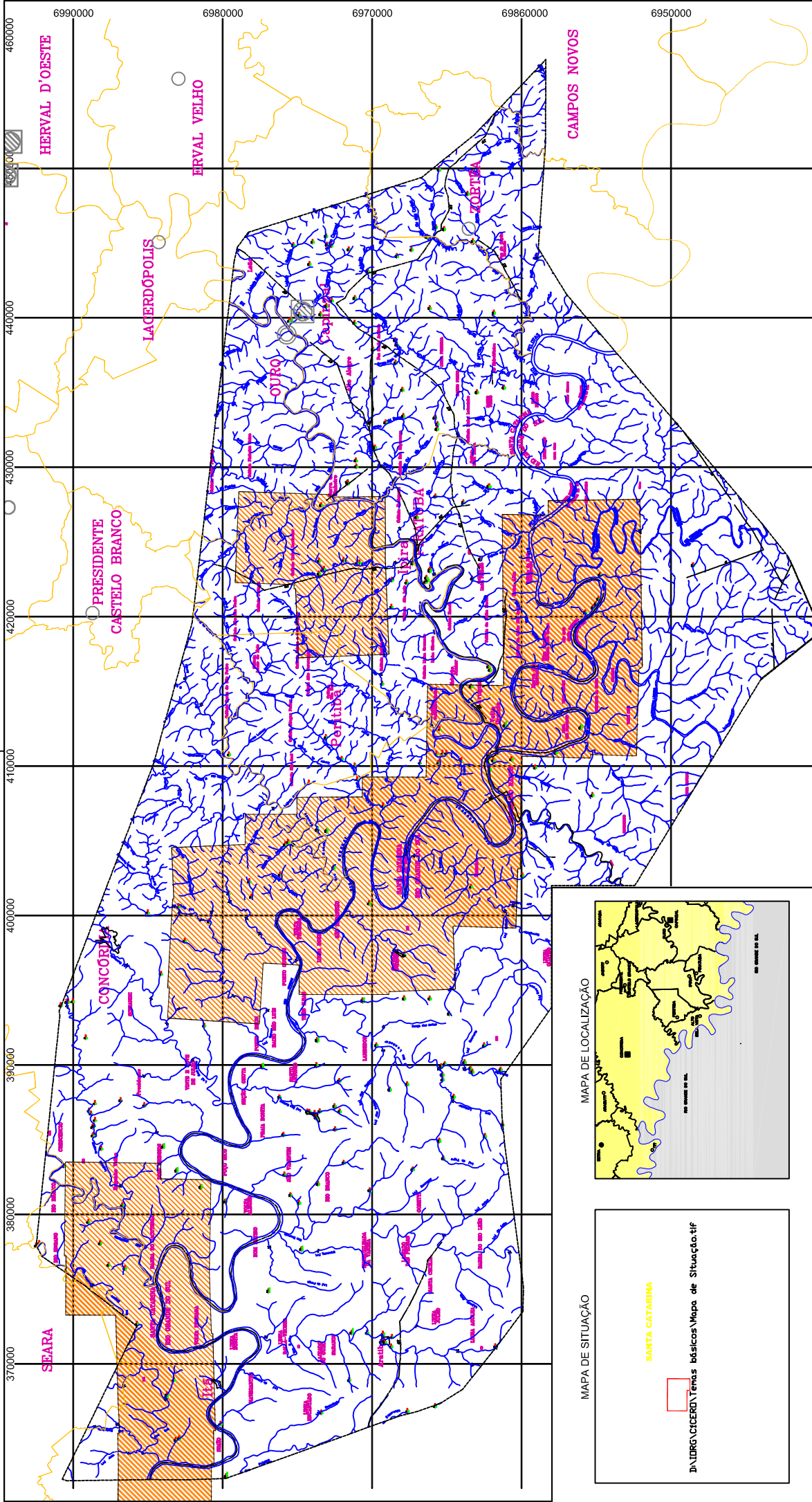
2.2. Análise Estrutural e Vulnerabilidade

Um estudo das principais feições estruturais e tectônicas, além da vulnerabilidade dos aquíferos da área pesquisada baseou-se em imagens de satélite, radar e fotografias aéreas, cuja análise interpretativa gerou os produtos finais: mapa de lineamentos, mapa de vulnerabilidade, entre vários outros. Entre as bases e produtos, destacaram-se:

- Uma carta plani-altimétrica de toda a região estudada, destacando-se as curvas de nível, localização geográfica de todos os poços monitorados, cotas topográficas dos eixos das barragens, boca de poços, entre outros;
- Interpretação de imagens de satélite com aplicação das bandas multispectral (5,4,3)+ pancromática (8) do LANDSAT 7 ETM + no estudo da Geologia, Geologia Estrutural, Geomorfologia, Pedologia e águas da região em apreço;
- Fotointerpretação geológica a partir de fotografias aéreas nas escalas 1:25.000 e 1:45.000 (infravermelho), de levantamento aerofotogramétrico executado pela Cruzeiro do Sul em 1979, adquiridas no 11^o Distrito Regional do DNPM (apenas parcialmente aproveitada, conforme demonstra o Mapa das Áreas de Detalhamento, na escala 1:350.000) (Figura 5);
- Interpretação geológica e estrutural, geomorfológica, usos e ocupação de solo (imagens de radar e satélite atualizadas com especificação prévia);
- Análise geológica, hidrogeológica e estrutural das áreas dos reservatórios e adjacências;
- A localização georreferenciada dos poços tubulares e o estabelecimento de correlações entre os principais lineamentos tectônico-estruturais interpretados e a produtividade desses poços (com limitações devido às diferenças de escalas entre as fotografias e as imagens de satélite, porém, adequado para lineamentos de significativa extensão).

Os poços tubulares encontram-se georreferenciados em Coordenadas UTM, as quais foram obtidas com o auxílio de um receptor GPS, com 12 canais de recepção, marca Garmin. O Datum utilizado como referência foi o *South America 69*.

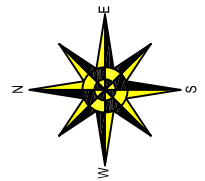
É importante salientar nesta Dissertação que os trabalhos aqui referidos foram apresentados em caráter preliminar, necessitando de maior detalhamento em fase posterior.



INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador: Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as consíguas
 10,000km e 500km respectivamente

Escala
 1:250.000



CONVENÇÕES

- Área de Cobertura Aerofotogramétrica

LEGENDA

- Divisas Oficiais Municipais
- Área de Interesse
- Estradas Principais
- Estradas secundárias
- Hydrografia
- Curvas de Nível
- Referência de Nível

HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE
 DOS AQUIFEROS SERRA GERAL
 E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA
 DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO.
 SC - RS

Cícero A. S. Almeida

FIGURA 5

MAPA DAS ÁREAS DE DETALHAMENTO
 AEROFOTO ESCALA DE VOO 1:25:000

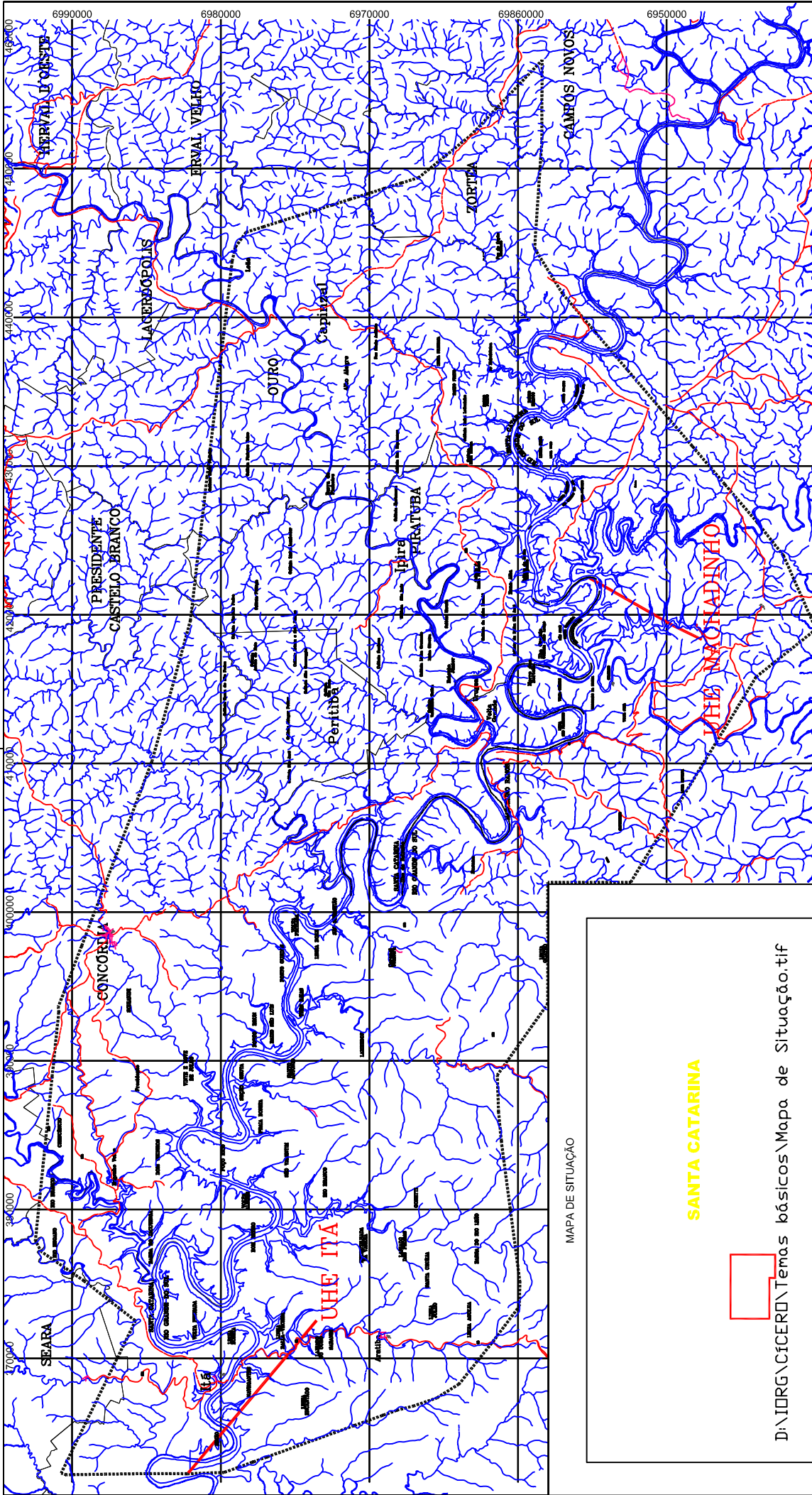
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1. Localização da Área e Acessos

A área de estudo está compreendida na região oeste do estado de Santa Catarina, numa faixa estreita e alongada em torno do rio Uruguai, numa extensão de aproximadamente 82 km de comprimento, e uma largura variável em ambas as margens, entre 30,62 e 34,12 km, tendo o curso do rio como a mediana, como pode ser observado no Mapa de Localização da Área de Pesquisa, na escala 1:350.000 (Figura 6). A área compreendida neste estudo possui cerca de 2.810 km².

O município de Itá, onde está situada a UHE Itá, dista 560 km da capital Florianópolis, sendo o acesso feito através da SC-283, que é interligada à Rodovia Itá 005, através de um entrocamento à direita no sentido Concórdia-Seara. A UHE Itá localiza-se no rio Uruguai, na divisa entre os municípios de Itá e Aratiba, no estado do Rio Grande do Sul, conforme o Mapa de Localização da Área de Pesquisa, na escala 1:350.000 (Figura 6).

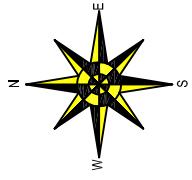
A UHE Machadinho fica localizada no rio Pelotas, aproximadamente 1.200 m a jusante da confluência do rio Inhandava, também denominado Forquilha, entre os municípios de Piratuba, no estado de Santa Catarina, e Maximiliano de Almeida, no Rio Grande do Sul, de acordo com o Mapa de Localização da Área de Pesquisa, na escala 1:350.000.



INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente

Escala
 1:50.000



LEGENDA

- Divisas Oficiais Municipais
- - - Área de Interesse
- Estradas Principais
- Estradas secundárias
- Hidrografia

HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE
 DOS AQUIFEROS SERRA GERAL
 E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA
 DOS RESERVATÓRIOS DE ITA E MACHADINHO,
 SC - RS

Cícero A. S. Almeida
 FIGURA 6
 MAPA DE LOCALIZAÇÃO
 DA ÁREA DE PESQUISA

MAPA DE SITUAÇÃO

SANTA CATARINA

D:\IDRG\CÍCERO\Temas básicos\Mapa de Situação.tif

3.2. Aspectos Socioeconômicos

O crescimento populacional no território catarinense no período de 80-91 foi de cerca de 2,5% ao ano, destacando-se o segmento urbano, responsável direto pelo crescimento. No mesmo período a população rural apresentou um crescimento decrescente ligeiramente inferior a 1%.

A Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (1997) reportou que na região hidrográfica RH 3 – Vale do Rio do Peixe, a população total era de 386.414 habitantes (1991), sendo que deste total, a população urbana correspondia a 222.000 habitantes (60% do total) e a rural de 150.301 habitantes (30% do total).

Esta região hidrográfica foi a segunda maior produtora de milho, com 700.450 ton (1995), destinado à agroindústria na fabricação de ração animal para suíno. Também possuindo o maior rebanho suíno com 1.282.836 de cabeças. Destaca-se igualmente a avicultura com 212.791.551 cabeças - a maior produção entre as outras nove regiões hidrográficas catarinenses (SDM, 1997).

A população rural residente da região do rio Uruguai é constituída predominantemente por descendentes de italianos e alemães, que constituíram grupos familiares dedicados ao trabalho agrícola, desenvolvendo atividades diárias da criação de animais e cultivos em geral. As pequenas propriedades ou minifúndios, geralmente com extensões de terras em torno de 17 ha, distribuem-se em grande número, predominando hoje a suinocultura e avicultura, em um processo de integração com as grandes agroindústrias e cooperativas de toda a região (ELETROSUL, 1990).

A economia regional é de certa maneira fortalecida, apesar de crises periódicas. A saúde e o nível de escolaridade da população são bons, destacando-se um forte sentimento de união nas comunidades rurais, cultivadas nas boas relações mantidas entre as vizinhanças.

O centro polarizador relativo às atividades de comércio e serviços no entorno do reservatório de Itá é o município de Concórdia, no estado de Santa Catarina, enquanto que o município de Aratiba desponta no estado gaúcho. Uma rede de infra-estrutura de apoio às trocas sócio-econômicas, assim como culturais, está distribuída regionalmente de maneira homogênea.

Os cultivos de milho, feijão, soja e fumo tem uma participação maior na produção agrícola da região, no lado catarinense (SDM, 1997).

3.3. Aspectos Fisiográficos

3.3.1. Geomorfologia

A unidade geomorfológica Planalto Dissecado do Rio Iguaçu/Rio Uruguai é dominante na região em apreço, possuindo uma descontinuidade espacial, por estar inserida na outra unidade geomorfológica denominada Planalto dos Campos Gerais. A sua característica principal é o relevo bastante dissecado, onde se destacam os vales profundos e encostas em patamares, com cotas altimétricas acima de 1.000 m na borda leste, diminuindo para cerca de 300 m progressivamente para oeste e noroeste, em direção ao eixo central da Bacia Sedimentar do Paraná. O caimento na topografia em direção oeste é traduzido pelo mergulho das camadas da bacia, típico de um relevo em planalto monoclinal. (Atlas de Santa Catarina, 1986).

O relevo apresenta-se na forma de um interflúvio estreito de topo plano ou suavemente convexo, que acaba subitamente em uma vertente com forte declividade, na maioria das vezes tipificada por uma escarpa. Ao longo do declive desta vertente há degraus caracterizando patamares. A conformação de encaixamento do vale determina a quantidade de degraus, geralmente, entre um e

quatro, como ocorre nos vales dos rios Canoas e Pelotas, onde se localizam as áreas de maior energia do relevo, representativos desta unidade.

Esta unidade está bem caracterizada na região de Barra do Pinheiro, distrito do município de Capinzal, ao longo do rio do Peixe e adjacências, onde esta forma de relevo aparece nitidamente diferenciada nas fotografias aéreas, na escala 1:25.000, podendo também ser identificada na imagem de radar, escala 1:250.000, acompanhando toda a margem direita do rio do Peixe a montante daquele ponto.

Regionalmente, em imagem de radar, essa unidade de relevo dissecado é dominante no espaço territorial ocupado pelo município de Piratuba, no lado catarinense, sendo balizado na margem oposta do rio Uruguai, grosso modo, pelo município gaúcho de Marcelino Ramos. Daquele ponto em diante a jusante pelo rio Uruguai, a unidade Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai ocorre com regularidade em ambas margens, às vezes tornando-se mais dissipada ou com um relevo mais arrasado, aproximando-se da segunda Unidade, Planalto dos Campos Gerais, como por exemplo, na região em torno do Estreito do rio Uruguai.

Entre os rios localizados nesta unidade, destacam-se: o rio Uruguai e tributários situados na margem direita, tais como: Canoas, Peixe, Jacutinga, Irani, Chapecó, das Antas e Peperi-Guaçu, na margem esquerda daquele curso d' água principal, situam-se tributários que drenam águas do estado do Rio Grande do Sul

As feições dos rios são mantidas por cursos sinuosos com vales encaixados e a presença de patamares nas vertentes.

As drenagens desta unidade apresentam forte controle estrutural, evidenciado pela retificação dos rios, a angularidade dos cotovelos e a frequência de corredeiras, saltos, lajeados, desníveis, entre outros.

A outra unidade geomorfológica presente na região é denominada Planalto dos Campos Gerais e apresenta-se sob a forma de blocos de relevos isolados, ou descontínuos espacialmente, pela Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai. A área ocupada por esta unidade é de 19.496 km², correspondente a 20,31 % da área total do estado de Santa Catarina. (Atlas de Santa Catarina, 1986).

A compartimentação de relevo em consequência da descontinuidade espacial da unidade são denominadas de planalto de Palmas, planalto de Capanema, planalto de Campos Novos e planalto de Chapecó.

Os compartimentos desta unidade estão elevados topograficamente em relação às áreas circunvizinhas representadas pelo Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai e definem-se como o remanescente de uma superfície de aplanamento. O processo de dissecação ocorrido ao longo dos cursos de rios como o Canoas, o Pelotas e o Uruguai implementou o processo de fragmentação em blocos ou compartimentação dessa unidade.

A forma de relevo pouco dissecada a planar da unidade em apreço, recoberta por solos que capacitam o terreno para a instalação de lavoura mecanizada, cujo manejo inadequado irá acarretar no aceleração de processos erosivos conspícuos ao escoamento superficial, formando sulcos ao longo das encostas de cultivo e nas margens das estradas.

Isto pode ser comprovado num trajeto realizado por estradas municipais entre Zortéa e Campos Novos, por exemplo, ou por outros municípios onde esta unidade ocorre; constata-se que o solo é aproveitado principalmente com cultivos de soja, devido a suavidade do relevo, dentre outros qualificativos.

Esta unidade mapeável em imagem de radar tem ocorrência regional a montante do rio Uruguai, em ambas margens, numa faixa grosseiramente a partir

de Piratuba-SC e Marcelino Ramos-RS, prolongando-se em direção à Campos Novos em Santa Catarina, e Barracão, São José do Ouro e Esmeralda na outra margem deste rio, pelo estado do Rio Grande do Sul.

3.3.2. Solos

Na região hidrográfica RH3 - Vale do Rio do Peixe, cerca de 71% do relevo apresenta-se fortemente ondulado e montanhoso, enquanto que 27% são ondulados e suavemente ondulados, concentrando-se na região nordeste e leste. Nos primeiros existem solos medianamente profundos a rasos e pedregosos, com fertilidade média, originários de basaltos. Na segunda classificação, os solos encontram-se mais profundos, há pouca pedregosidade, profundamente deficientes em nutrientes e com elevada acidez, também são de origem basáltica (Bacias Hidrográficas de Santa Catarina: Diagnóstico Geral, 1997).

As lavouras são intensamente desenvolvidas nos solos onde o relevo é mais acentuado, sem um manejo adequado, provocando sério desgaste. No relevo onde a topografia é menos pronunciada, desenvolve-se a pecuária e fruticultura, sendo que o desgaste e a erosão são de certo modo incipientes. A recomendação para o correto manejo desses solos seria a aplicação de uma lavoura de extensão limitada e culturas perenes, ou ainda, reflorestamentos (Bacias Hidrográficas de Santa Catarina: Diagnóstico Geral, 1997).

Na área de influência indireta da UHE Machadinho, determinada pelo espaço localizado entre o barramento e o término do remanso de alagamento, foram caracterizadas oito classes de solo, sumarizados abaixo:

Cambissolo Bruno álico, cambissolo distrófico, cambissolo eutrófico, latossolo bruno intermediário para latossolo roxo álico, latossolo bruno intermedia'rio para latossolo roxo distrófico e álico, terra bruna estruturada álica, terra bruna estruturada intermediária para podzólico vermelho-escuro álico.

A área de influência direta da UHE Machadinho compreende a faixa de mata ciliar no entorno do reservatório, totalizando 5.670 e 5.024 ha, constituindo partes do terreno, onde não haverá produção agrícola. Esta área engloba a maioria do fundo do vale da drenagem principal dos rios Pelotas, Inhandava e Canoas, subindo as encostas que modelam com profundidade o talvegue dos mesmos. A principal característica destes locais é a acentuada declividade, superior a 45°, que descarta qualquer uso para cultivo agrícola, sendo indicadas para a preservação dos recursos naturais (EIA-RIMA UHE Machadinho, 1987).

Os solos predominantes nesses terrenos são conhecidos como Cambissolo eutrófico. Neles desenvolvem-se lavouras de feijão e milho, geralmente ocupadas por propriedades rurais de pequeno porte, cuja exploração é conduzida por mão-de-obra familiar. O cultivo é realizado no sistema denominado de "coivara", prática que consiste na derrubada da vegetação nas encostas seguida de queimadas.

3.3.3. Vegetação

A região do Alto Uruguai era ocupada por densas florestas. Na região do vale do rio Uruguai compreendendo também os seus afluentes até uma altitude de 500 m, existia a Floresta Estacional Decidual (ou Floresta Subtropical); já nos patamares mais elevados e divisores de água dominava a Floresta Ombrófila Mista (ou Floresta de Araucária), notadamente nos solos de composição ácida. (EIA-RIMA UHE Itá, 1990)

Na Floresta de Araucária destaca-se o Pinheiro-do-Paraná (Araucária angustifolia), que aparece dominando o estrato mais alto, com 30 a 35 metros. Há um sub-bosque muito denso, tipificado por espécies arbóreas e arbustivas, igualmente incluídas na Floresta Subtropical.

A área de Influência da UHE Itá apresenta somente alguns poucos remanescentes do que eram as matas de araucárias, ocasionalmente encontrados nos trechos de topografia elevada do rio do Peixe.

A Floresta Subtropical aparecia recobrando, originalmente, a área diretamente afetada pela UHE Itá, possuindo como característica a ausência de araucária, juntamente com uma alta incidência de espécies decíduas, que são aquelas que perdem as folhas no inverno.

Em consequência do progressivo uso e ocupação do solo, essa cobertura acabou quase que completamente, restando na área descrita acima somente 3% da mata nativa. Os remanescentes da mata original permaneceram nos terrenos de topografia saliente, como topos e também áreas de declive acentuado e/ou localizados às margens das drenagens.

3.3.4. Hidrografia

A rede hidrográfica catarinense é formada basicamente por dois sistemas independentes de drenagem, um sistema integrado da vertente do interior, constituído pela bacia Paraná-Uruguai e o sistema da vertente atlântica, representado por várias bacias isoladas.

A rede de drenagem ocupada pela vertente do interior soma cerca de 60.185 km², o que equivale a 63, 03% de toda a área do Estado de Santa Catarina, destaque para a bacia do rio Uruguai com extensão de cerca de 2.300 km de comprimento desde a cabeceira principal até o rio Peperi-Guaçu, na divisa com a Argentina.

Nesta bacia, os principais afluentes são: Peperi-Guaçu, das Antas, Chapecó (com o tributário Chapecozinho, maior afluente do rio Uruguai), Irani, Jacutinga, do Peixe, Canoas e Pelotas. Pertencente ao mesmo sistema

hidrografico está o rio Iguaçu, com uma área de cerca de 10.612 km², tendo afluentes importantes como: Jangada e Negro, situados na divisa com o estado do Paraná, além dos rios Timbó e Paciência. (Atlas de Santa Catarina, 1986).

O rio Uruguai é formado pelos rios Pelotas e Canoas, cujas cabeceiras estão situadas na Serra Geral, com altitudes em torno de 1.800 m, possuindo ao longo do curso um declive bastante acentuado, onde são encontrados inúmeras corredeiras e desníveis topográficos, o mesmo acontecendo com os seus afluentes.

A partir das nascentes do rio Pelotas na Serra Geral, com altitudes em torno de 1.800 m, este percorre 433 km até o trecho compreendido pela UHE Machadinho, ocupando uma rede de drenagem de 32.060 km² (EIA-RIMA UHE Machadinho, 1990).

Na área de interferência da UHE Itá, este rio alcança um desnível de 110 m, entre a cota de 380 m, a partir da foz do rio Apuaê e a de 270 m, na localidade da alça do Uva, onde foi implantada a UHE Itá.

As áreas de maior drenagem deste rio estão localizadas em Santa Catarina. Na sua margem esquerda, drena áreas situadas no Rio Grande do Sul, onde faz o limite físico entre os dois estados.

As feições típicas da bacia hidrográfica do rio Pelotas são os vales na forma de um "V", de amplitude estreita e profunda, sendo os solos marcados pela pequena espessura, baixa permeabilidade e a dominância de áreas desmatadas. Todas essas características contribuem para que haja um escoamento superficial alto e muito rápido, mantendo desta forma, o regime fluvial estritamente relacionado ao regime de chuvas.

3.3.5. Clima

Segundo a Classificação Climática de Koeppen, a região Oeste catarinense apresenta um clima classificado como “mesotérmico úmido com verão quente”. A temperatura média anual na região do município de Itá é de 18,4°C, com uma umidade relativa média anual de 75% e uma precipitação média anual de 1.533 mm (Espinosa, H. R. M., Rocha, C. L.).

Na região de localização da UHE Machadinho, tem-se um clima típico de temperaturas amenas, superúmido, sem a presença de estação seca, próprio das regiões temperadas. A dinâmica atuante sobre o clima da região é atribuída aos centros de pressão atmosférica, os quais provocam fortes variações de temperatura e são responsáveis pela entrada das principais massas de ar tropicais marítimas.

Com relação à altitude da região, há forte influência sobre a temperatura, havendo nos pontos mais elevados uma menor temperatura média anual e nos locais menos elevados, temperaturas mais altas.

De acordo com dados da EPAGRI, em Marcelino Ramos o trimestre mais chuvoso é de agosto-setembro-outubro. Apesar de que as chuvas no estado Santa Catarina sejam consideradas bem distribuídas, verifica-se que no oeste os meses mais chuvosos são os de primavera e início de verão (Epagri, Machadinho, 1999).

O município de Itá apresenta uma precipitação média anual de 1654 mm, enquanto que o de Chapecó 2.096 mm, e Concórdia que está mais próxima das UHE's Itá e Machadinho 1944,2 mm (EPAGRI, Itá, 1999).

A temperatura máxima absoluta diária registrada em Campos Novos, no período de 85-98 variou entre 3,0°C e 35,0°C. Já em Itá a temperatura máxima

diária registrada, no período de 81-98, variou entre 5,5°C e 40,2°C, sendo que em Chapecó, a menor temperatura registrada foi de 3,4°C e a maior de 37,2°C. (EPAGRI, 2000).

De acordo com dados da EPAGRI (2000), a temperatura máxima absoluta registrada em Marcelino Ramos alcançou 40,6°C, no período de 38-72, enquanto que a temperatura mínima registrada em Itá no período de março/81 até dezembro /99 foi de - 6°C; em Chapecó com mínima de - 4,4°C, e em Campos Novos a mínima alcançou - 5,5°C.

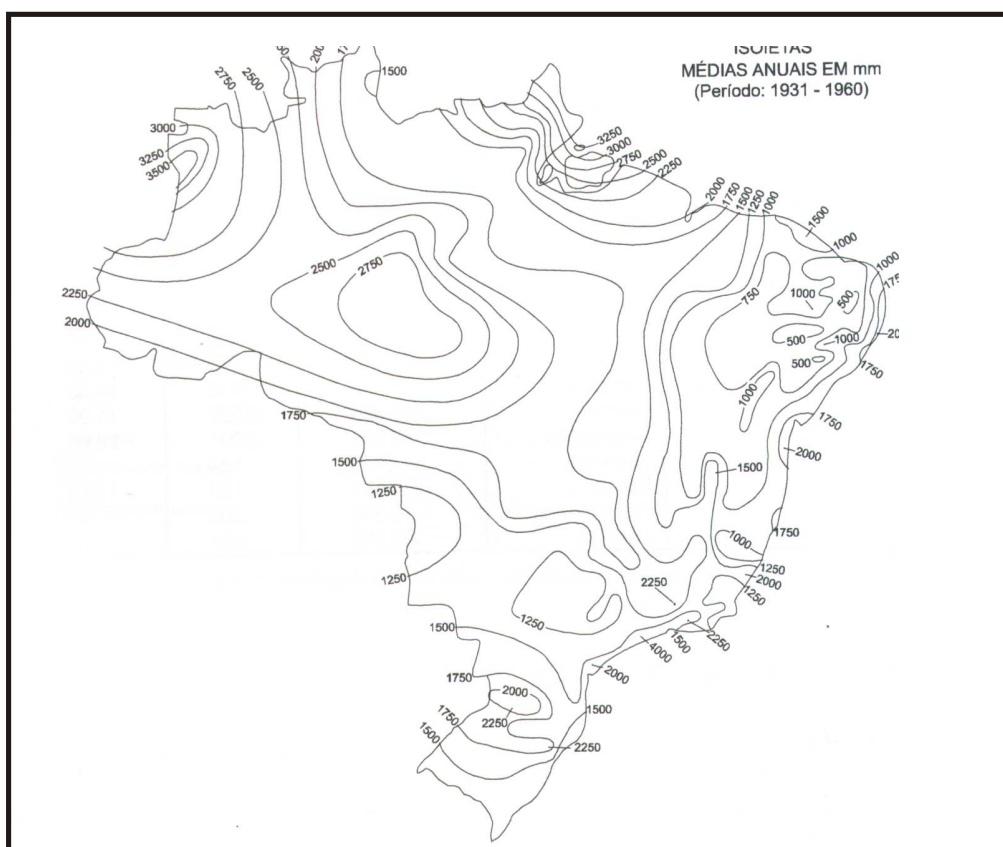


Figura (7) – Isoietas – Médias anuais em mm (período: 1931-1960). Brasil. DNPM, 1983. Fonte: Feitosa et al. (2000).

O mapa de isoietas médias anuais mostra claramente a variação pluviométrica apresentada nos diferentes tipos de clima encontrados no país (Figura 7).

4. GEOLOGIA REGIONAL

A partir da definição estratigráfica de White (1908), a Bacia do Paraná têm sido submetida as mais variadas classificações e revisões de ordem estratigráfica. A coluna estratigráfica adotada neste trabalho é a de Mühlmann et al. (1974), considerando que esses autores refinaram a análise estratigráfica, publicando uma coluna litoestratigráfica que desde então é reconhecidamente clássica na comunidade geológica. A coluna estratigráfica de Mühlmann et al. pode ser vista na figura (8).

Das litologias que compõem a referida coluna estratigráfica e com distribuição no estado de Santa Catarina, somente o Grupo Passa Dois, subdividido em: Formação Irati (Membros Taquaral e Assistência), Formação Serra Alta, Formação Teresina e Formação Rio do Rasto (Membros Morro Pelado e Serrinha) junto com o Grupo São Bento, representado no contexto regional pelas Formações Botucatu e Serra Geral, além das Coberturas Cenozóicas, formam o escopo geológico do tema proposto. A denominação de Rio do Rasto é utilizada quando é feita alguma referência à Formação Geológica, preservando desta forma a grafia antiga, ao invés da denominação Rio do Rastro

A participação do Grupo Passa Dois no esboço geológico ou hidrogeológico reside no fato de constituir-se na camada confinante ou aquíclode inferior do Aquífero Botucatu, embora possam haver restrições quanto ao caráter efetivo do termo aplicado, como veremos a seguir no capítulo dedicado ao estudo hidrogeológico.

A geologia da região Sul pode ser sintetizada em um contexto maior como a Plataforma Sul-Americana de Almeida (et al., 1976), com duas unidades geotectônicas principais: uma estreita faixa oriental sudeste - o Escudo Atlântico, cuja consolidação estendeu-se do Pré-cambriano ao final do evento Brasileiro.

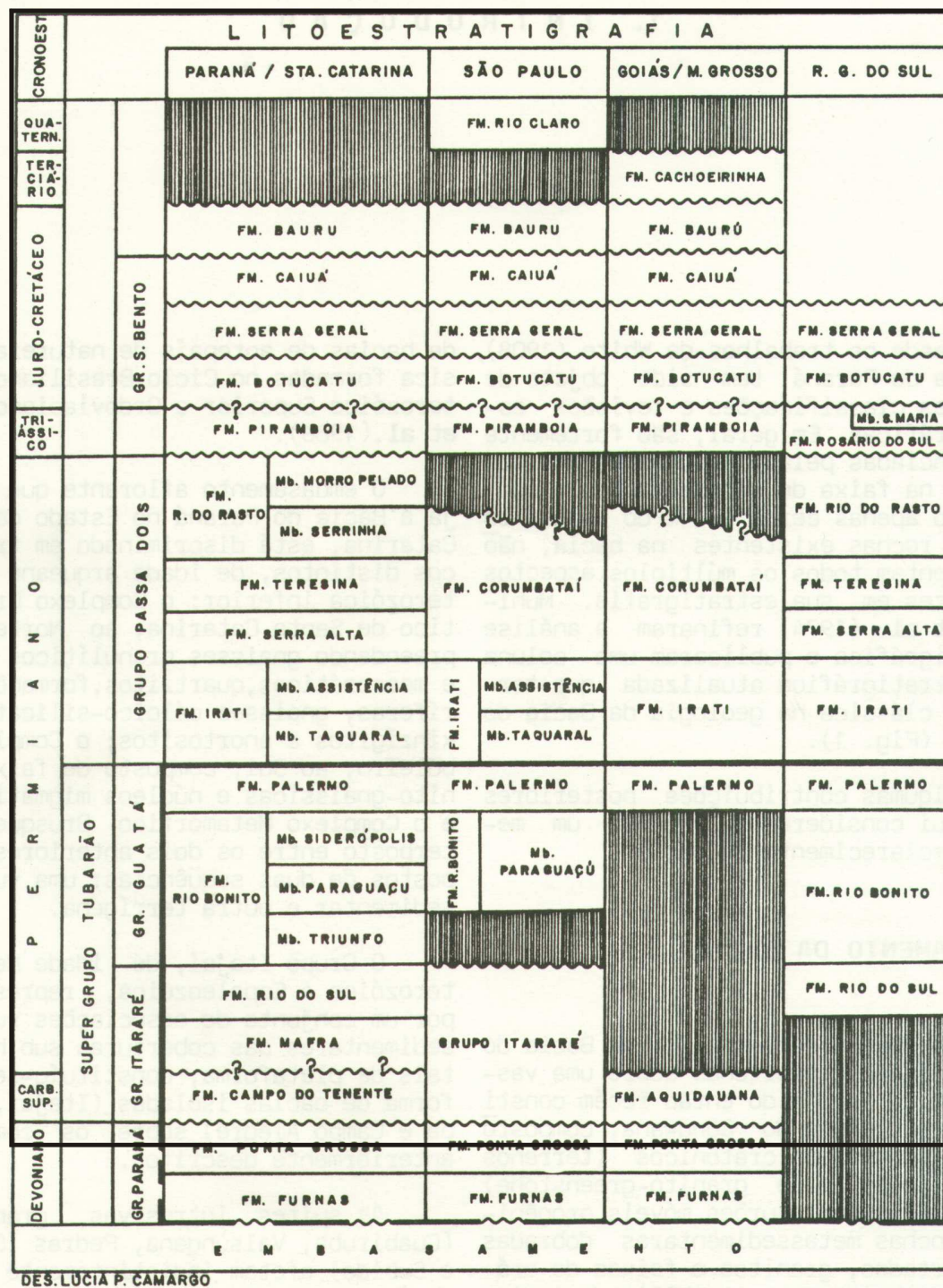


Figura (8) – Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná (segundo Mühlmann et al.). Fonte: CPRM (1987).

mantendo as características de ortoplataforma e uma outra com caráter de sinéclise - a bacia do Paraná, desenvolvida, sobretudo, a partir do Fanerozóico.

A Bacia do Paraná é uma extensa depressão, preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, com idades variando do Ordoviciano ao Cretáceo, situada no centro - leste da América do Sul, abrangendo uma área de 1.600.000 km² e cerca de 5.000 m de sedimentos (espessura máxima).

A atual configuração desta bacia intracratônica é uma consequência, principalmente, de movimentos epirogenéticos a que esteve submetida, promovidos por arqueamentos e depressões notoriamente ativos em diferentes áreas no decorrer do processo evolutivo (Mühlmann e Guazelli, 1973).

A descrição das principais unidades estratigráficas relevantes a este estudo estão fundamentadas em grande parte nas seções litoestratigráficas de perfis construtivos de poços profundos, perfurados pela Petrobrás no município catarinense de Piratuba e no gaúcho de Marcelino Ramos, bem como dados coletados nas saídas de campo e bibliografia pertinente. A Tabela (3) apresenta a estratigrafia do poço tubular profundo que foi perfurado pela Petrobrás, no local onde hoje está instalada a Cia. Hidromineral de Piratuba-SC.

4.1. Grupo Passa Dois

Está representado pelas Formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto. Boas exposições de todas essas unidades litoestratigráficas podem ser visualizadas e estudadas no estado de Santa Catarina.

4.1.1 Formação Irati

Esta unidade estratigráfica destaca-se perante outras litologias da bacia do Paraná pela importância econômica que tem como rocha geradora de óleo e conter significativas camadas de calcários e fósseis. Os tipos litológicos são representados por folhelhos pirobetuminosos. No estado de Santa Catarina esta formação aparece subdividida em dois membros: Taquaral e Assistência.

Tabela (3) – Estratigrafia do poço tubular profundo da Cia. Hidrotermal de Piratuba. Fonte: CONTEP (1995).

PERFIL – ESPESSURA (m)	GEOLOGICO
0,00 a 539,00 m (539 m)	Formação Serra Geral
539,00 a 582,00 m (43 m)	Formação Botucatu
582,00 a 627,00 m (45 m)	Formação Serra Geral (diabásio)
627,00 a 718,00 m (91 m)	Formação Botucatu
718,00 a 1.051,00 m (333 m)	Formação Morro Pelado
1.051,00 a 1.242,00 m (191 m)	Formação Serrinha
1.242,00 a 1.618,00 m (376 m)	Formação Teresina
1.618,00 a 2.018,00 m (400 m)	Formação Serra Alta
2.018,00 a 2.068,00 (50 m)	Formação Irati
2.068,00 a 2.151,00 m (83 m)	Formação Palermo
2.151,00 a 2.280,00 m (129 m)	Formação Rio Bonito
2.280,00 a 2.416,00 m (136 m)	Grupo Itararé

Esta formação apresentou uma espessura de 56 m, sendo que o intervalo de perfuração encontrado foi de 1868 a 1924 m, no perfil construtivo de poço MR-SI-1-RS, localizado no Balneário de Marcelino Ramos, no Estado do Rio Grande do Sul.

4.1.1.1. Membro Taquaral

As litologias consistem de siltitos e folhelhos de coloração cinza-escuros, ou ainda, cinza-claros e azulados, mostrando desagregação conchoidal. Um ambiente marinho de águas calmas, localizado abaixo da influência de onda propiciou a deposição dessas litologias (Schneider et al., 1974).

4.1.1.2. Membro Assistência

Designa um pacote de folhelhos cinza-escuros, que aparecem, intercalados, geralmente, com duas camadas de folhelhos pretos, pirobetuminosos, estreitamente associados com níveis de calcários de coloração creme e cinza-escuros, de composição dolomítica.

São extremamente importantes à Paleontologia por apresentarem como conteúdo fossilífero os répteis *Mesosaurus Brasiliensis* e *Stereosternun tumidum*, peixes, crustáceos, palinórfos e restos de vegetais.

Mantém similaridade com o Membro Taquaral pela gênese marinha de águas rasas, com os folhelhos pirobetuminosos sedimentados em ambientes restritos, enquanto que os calcários seriam desenvolvidos em áreas plataformais (Schneider et al., 1974). Para Petri e Fúlfaro (1983), o ambiente não é tipicamente marinho, uma vez que há ausência de fósseis representativos, e sugerem que a sedimentação do Irati deu-se em condições lagunares.

4.1.2. Formação Serra Alta

É representada por uma seqüência de folhelhos, argilitos e siltitos cinza-escuros a pretos que jazem sobre a camada superior de folhelho betuminoso da

Formação Irati com contato concordante. Uma idade neoPermiana é atribuída a esta formação.

Para Schneider et al. (1974) esta formação representa uma recorrência do Membro Taquaral, justificada pela origem similar de ambiente marinho de águas rasas com a deposição abaixo da influência das ondas, já que ambas litologias são idênticas na composição e na textura. Sua ocorrência no estado é verificada em qualquer faixa de exposição da Seqüência Gonduânica. Por Gondwana, entende-se o antigo continente que até o fim do Paleozóico reunia a América, África, Índia, Austrália e Antártida, constituindo uma única massa de terras. Há menção à Megasseqüência Gonduânica, que faz parte da primeira coluna estratigráfica da bacia do Paraná, estabelecida por White (1908), atribuída ao Supergrupo Tubarão (Grupos Itararé e Guatá) junto com o Grupo Passa Dois, permo-carboníferos e o Grupo São Bento, com unidade cuja temporalidade vai do Triássico ao Cretáceo.

A espessura em média desta formação em afloramentos alcança em torno de 85 m, enquanto que atinge um máximo de 120 m em subsuperfície (Castro, 1994). Na sondagem, esta formação atinge uma espessura de 194 m.

Esta unidade litoestratigráfica com as feições de um corpo tabular possui grande extensão lateral. É constituída por um folhelho cinza-escuro, com restos de peixes (fósseis marinhos). Uma estrutura do tipo laminação paralela é típica, resultante da decantação de partículas em suspensão em ambiente marinho de baixa energia.

Na base desta formação, através do perfil litológico, ocorre um espesso corpo intrusivo de rocha básica truncando bruscamente a continuidade lateral e vertical da formação, que apresenta contato normal com a Formação Irati.

4.1.3. Formação Teresina

É caracterizada por argilitos cinza-escuros e esverdeados, ritmicamente intercalados com siltitos cinza-escuros e arenitos muito finos, cinza-róseos a avermelhados. Essas litologias, quando estão alteradas, intercalam-se com camadas ou lentes de calcários, com estruturas por vezes oolíticas e silicificadas. A laminação "flaser" é típica desta formação, onde estão alternados folhelhos escuros com siltitos e arenitos bastante finos. Pode também ocorrer a laminação ondulada e outras estruturas como fendas de contração, marcas onduladas e diques de arenito.

Um ambiente marinho de águas rasas e agitadas, com domínio de ondas e sob a influência de marés caracterizou a sedimentação desta formação. A sua idade é atribuída ao neoPermiano.

No perfil litoestratigráfico do poço de sondagem da Petrobrás, esta formação possui 376 m de espessura. Esta unidade estende-se por toda a Bacia do Paraná, caracterizada por um espesso pacote de sedimentos pelíticos.

Através do perfil litológico da formação foi realizado uma estimativa do percentual presente em sedimentos:

- Siltitos - 51,76%;
- Calcários - 24,32%;
- Arenitos - 11,33%;
- Folhelhos - 6,23%;
- Diabásio - 6,44%.

O contato basal com a Formação Serra Alta é feito de modo gradacional e interdigitado.

4.1.4. Formação Rio do Rasto

A concepção atual da formação admite dois membros: Serrinha, posicionado na base desta e Morro Pelado, superior, segundo proposição de Gordon Jr. (1947).

4.1.4.1. Membro Serrinha

Este Membro atinge 181 m de espessura no poço profundo da Petrobrás, no município de Marcelino Ramos-RS, estando situada entre o intervalo de perfuração de 1012 a 1193 metros.

A composição modal dos sedimentos é constituída de:

- folhelhos e siltitos marrom, com características de laminados e maciços: 66%;
- Arenitos marrom, cinza-esverdeados, mal classificados com cimento calcítico argiloso: 34%. Intercalados junto às lentes de arenitos estão camadas finas de siltitos e folhelhos.

Devido à variação de fácies desta formação, supõe-se que o pacote de sedimentos atravessado pela sondagem corresponda à porção basal da formação, onde há nítido predomínio de argilas prodeltaica.

4.1.4.2. Membro Morro Pelado

Está representada por espesso pacote de sedimentos clásticos, que se formaram através de uma sucessão alternada de lentes de arenitos finos a médios, cimento pouco calcítico, exibindo estratificações cruzadas acanaladas com lentes de siltitos marrom calcíticos e, em menor quantidade, lentes de folhelho maciço marrom.

A unidade estratigráfica Membro Morro Pelado alcança 330 m de espessura no poço profundo da Petrobrás (Cia. Hidrotermal de Piratuba-SC).

4.2. Grupo São Bento

É constituído pelas Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, englobando ainda, as intrusões de diabásio. Alguns autores tem correlacionado as intrusões alcalinas feldspatóidicas e ultramáficas com carbonatitos da Suite Alcalina Ribeira do Iguape, representadas pelos Complexos Alcalinos Feldspatóidicos de Lages e Altos do Rio Pinheiros, localizado em Anitápolis, como pertencentes ao Grupo São Bento (Santa Catarina, GAPLAN, 1987).

Mühlmann et al.(1974) apud Coitinho (2.000) admitem que o Grupo São Bento é representado pelas Formações Botucatu e Serra Geral, enquanto que a Formação Pirambóia, por apresentar idade Triássica, fica em uma posição intermediária entre os Grupos Passa Dois e São Bento.

4.2.1. Formação Pirambóia/Botucatu

A Formação Botucatu aflora em uma faixa estreita e contínua, que percorre o contorno da escarpa formado de basaltos da Serra Geral, mantendo em média de 0,5 a 1,0 km de largura, desde o norte do estado, nas proximidades de Porto União e prolongando-se até Praia Grande, no extremo meridional do estado, na divisa com o Rio Grande do Sul. A Formação Pirambóia no estado catarinense restringe-se a uma faixa de ocorrência situada na porção setentrional, ao norte do município de Porto União (Bortoluzzi, 1994). É registrada também em Lages.

O nome Pirambóia vem sendo usado ora como formação, ora como fácies basal da Formação Botucatu. Sanford & Lange (1960, Andrade & Soares (1971) e Soares (1973) utilizaram o nome em conformidade com formação (DNPM op. cit., 1984).

Coitinho (2000) afirma que nos trabalhos de mapeamentos regionais, tanto do GAPLAN (1986) quanto do DNPM (1987), as formações Pirambóia e Botucatu foram cartografadas em conjunto, e a primeira é designada como a base da seqüência.

A Formação Pirambóia é representada por arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, médios a finos, síltico-argilosos, grãos polidos, subangulares e subarredondados com seixos de argila. Esta formação atinge espessuras da ordem de 350 m, em Taquari, MT. Esta formação é encontrada de forma contínua nos estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso e nordeste do Paraná.

A Formação Botucatu designa uma seqüência de arenitos com abundantes estratificações situada imediatamente abaixo dos primeiros derrames basálticos (Schneider et al., 1974.) . Para White (1908) esta formação corresponde ao arenito São Bento.

A litologia da formação é constituída de arenitos avermelhados, finos a médios, normalmente bimodais, quartzosos, friáveis, grãos foscos e geralmente bem arredondados.

As características litológicas e sedimentares desta formação são típicas de deposição eólica em ambiente desértico, associado a rios meandantes e pequenas lagoas, e em condições oxidantes (DNPM, 1984). Esta formação revelou uma espessura de 147 m, no município gaúcho de Marcelino Ramos e de 43 m em Piratuba, estado de Santa Catarina; ambas identificadas em poços tubulares profundos da Petrobrás.

4.2.2. Formação Serra Geral

A proposta de unidade estratigráfica é atribuída a White (1908) para denominar a seqüência de rochas vulcânicas. No reconhecimento em campo da unidade feito por Leinz (1949), este estabelece um perfil clássico dos derrames de lavas. O autor apresenta a superposição de 13 (treze) derrames ao longo da serra do Pinto, no estado do Rio Grande do Sul, e de outros 09 (nove) no trecho compreendido entre Lauro Müller - São Joaquim, em Santa Catarina.

A Formação Serra Geral estende-se por mais de 1.200.000 km², em estados das regiões Sul, Centro-Oeste, além do noroeste do Uruguai, nordeste da Argentina e sudeste do Paraguai.

A área ocupada pela Formação Serra Geral no estado de Santa Catarina é de aproximadamente 52% da totalidade do território, entre rochas vulcânicas de composição básica e ácidas (Bortoluzzi et al., 1987). A partir da feição fisiográfica Serra Geral que lhe originou a denominação estende-se cobrindo toda a região oeste catarinense, seguindo em direção à Argentina. Algumas exceções estão presentes nos terrenos basálticos, como no município de Vargeão, onde há pequenas exposições da Formação Arenítica Botucatu e diversas regiões, como as próximas do município de Abelardo Luz, caracterizadas pela ocorrência de vulcânicas ácidas.

Em termos petrográficos, esta unidade apresenta uma completa suite de tipos litológicos; desde basaltos até rochas ácidas, passando por rochas de composição intermediária. Os derrames basálticos podem apresentar no topo vulcânicas ácidas caracterizadas como riodacitos. Uma outra forma de ocorrência desta unidade são os diques e sills de diabásio, também com ampla distribuição no estado.

Esta formação alcança a espessura de 535 m em Marcelino Ramos e 539 m no município de Piratuba; informações estas obtidas através de sondagens executadas pela Petrobrás.

A compreensão do perfil clássico descrito por Leinz (1949) é fundamental no estudo hidrogeológico, como podemos verificar mais a frente.

4.3. Depósitos Cenozóicos

Caruso (1987) define os depósitos quaternários do estado de Santa Catarina em continentais, transicionais e marinhos.

Nos sedimentos continentais predominam dois tipos principais; aqueles que se acumulam nas encostas, tipificados pelos coluviões e eluviões, e os depósitos de origem fluvial, que abrangem os canais dos cursos d'água e as planícies aluviais que lhes margeiam.

Os sedimentos fluviais compreendem uma vasta gama de materiais que são as areias finas, médias e grosseiras, cascalho e areias inconsolidados que aparecem preenchendo os canais de rios importantes do estado como o Itajaí-Açú, Itapocu, Iguaçu, entre outros. O enquadramento dos sedimentos em apreço pode ser categorizado como atual ou então, sub-atuais, conforme a disposição em elevação dos terraços.

Os depósitos transicionais constituem os sedimentos que ocorrem em associação com lagunas de idade antiga, baías, deposições paludais, em turfeiras, depósitos relacionados a atividades eólica com formação de dunas e planícies arenosas, bem como depósitos de praias e cristas praias.

Os sedimentos marinhos são aqueles encontrados na plataforma interna e que são depositados durante períodos transgressivos com relação ao nível do mar. Compõe-lhes as areias de granulometria fina a média , cuja seleção varia de boa a moderada, havendo ainda, intercalações de silte e a identificação de foraminíferos bentônicos, (Caruso, op. cit.).

5. HIDROGEOLOGIA

5.1. Províncias Hidrogeológicas do Brasil

O nível de conhecimento hidrogeológico na década de 80 no Brasil era, de certa maneira, limitado na maioria do território nacional. Em escala global há uma tendência única, na medida em que os níveis de conhecimento refletem as densidades demográficas e os graus de escassez das águas da superfície, em relação às demandas que são impostas pela população e atividades econômicas (Rebouças, 1999).

Mente apud Feitosa et. al (2000) argumenta que se avaliando o mesmo quadro para a década de 90, há a constatação de que as áreas de cobertura de mapas hidrogeológicos não aumentaram substancialmente, porém com relação ao conhecimento hidrogeológico nacional houve algum progresso no grau geral e no de detalhe.

Em uma escala continental, as províncias hidrogeológicas brasileiras foram representadas em mapas por Mente, Albert et al. e Feitosa, (2000).

Os mapas foram confeccionados tomando-se por base os resultados encontrados na análise de aproximadamente 20.000 poços tubulares, distribuídos pelo país (Mente apud Feitosa et. al, 2000).

A metodologia empregada visou a caracterização das principais unidades litoestratigráficas em termos hidrogeológicos do país, atribuindo-lhes uma classificação como aquífero de acordo com a relevância representada em extensão territorial. Como base geológica para a sistematização hidrogeológica utilizou-se o Mapa Geológico do Brasil (versão preliminar), representado na escala 1:2.500.000 (DNPM/CPRM, 1979). A classificação das unidades hidrogeológicas envolveu conceitos de:

- produtividade do aquífero (muito elevada, elevada, elevada a média, média a fraca e muito fraca);
- poços representativos do aquífero e poço individual;
- província hidrogeológica no mapa.

A definição de Província Hidrogeológica no mapa é aplicada como meio de sistematizar e localizar as grandes unidades hidrogeológicas existentes no território nacional, representando um elemento de grande valor para o fácil manuseio e compreensão do mapa Mente apud Feitosa et al. (2000).

Os sistemas aquíferos do Brasil podem ser sintetizados na configuração de 10 (dez) províncias hidrogeológicas. Para Rebouças (1999), representa a combinação de fatores geológicos, geomorfológicos e climáticos no Brasil.

A condição hidrogeológica do Estado de Santa Catarina é mostrada no Mapa Hidrológico do Brasil, apresentado na escala 1:5.000.000, onde estão individualizadas:

- Província Escudo Oriental;
- Subprovíncia Sudeste;
- Província Paraná (aquíferos Itararé, Guatá, Botucatu-Pirambóia-Rio do Rasto);
- Província Costeira (sistema aquífero Quaternário).

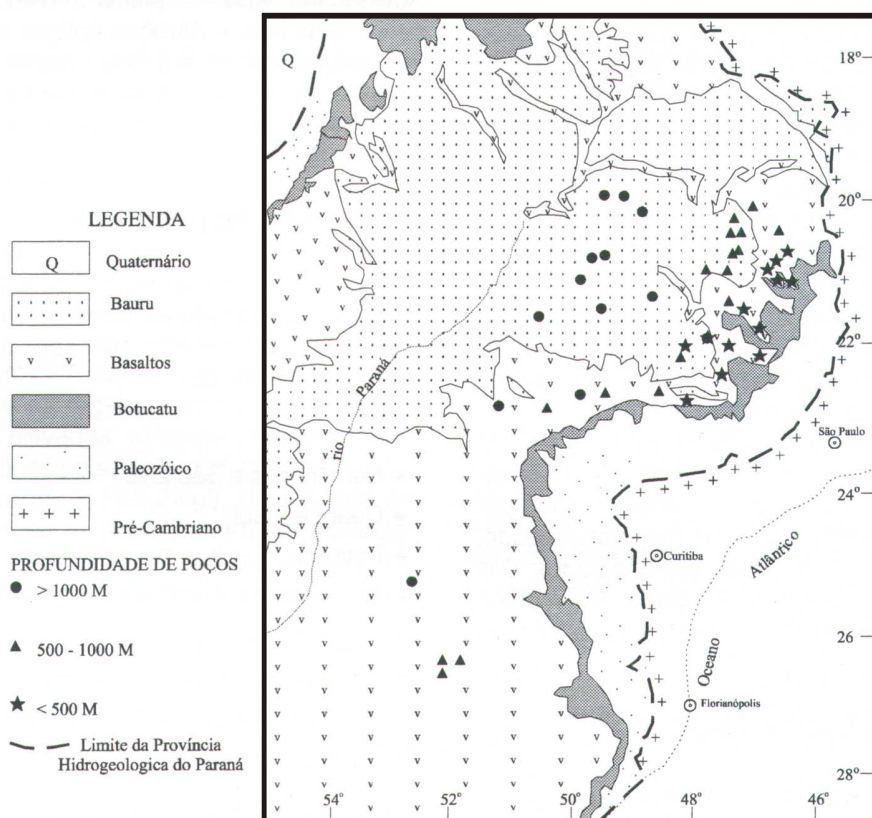


Figura (9) – Distribuição dos poços de água do Botucatu (Brasil. DNPM/CPRM, 1981). Fonte: Feitosa et al. (2000).

A Figura (9) representa a distribuição dos poços d'água no Botucatu de acordo com a profundidade; verificando-se o aumento das profundidades dos poços em direção ao centro da bacia. No mesmo sentido também aumentam as temperaturas da água nos poços.

5.2 Províncias Hidrogeológicas de Santa Catarina

O esboço hidrogeológico do estado de Santa Catarina foi inicialmente proposto por Brito Neves et al. (1979), através de um levantamento de dados geológicos, hidrogeológicos, entre outros, reordenados na escala 1:1.000.000, que tiveram como base geológica trabalhos publicados até então, de áreas estatais

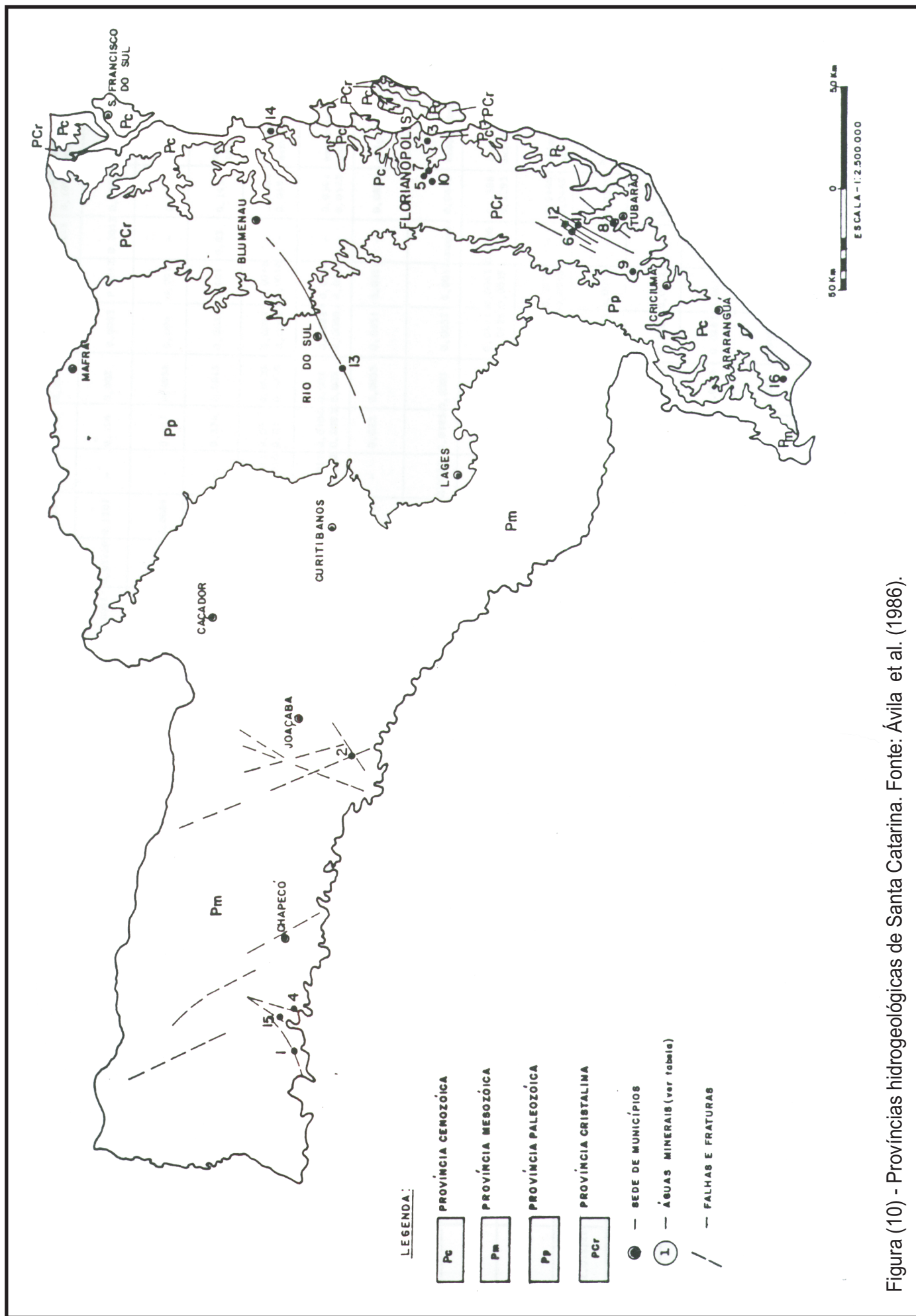


Figura (10) - Províncias hidrogeológicas de Santa Catarina. Fonte: Ávila et al. (1986).

como Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM e CPRM - Serviço Geológico do Brasil, ambos contribuindo com o Projeto Leste de Santa Catarina; Petrobrás (Desul); e empresas privadas responsáveis pela perfuração de poços tubulares.

Os autores classificaram os recursos hídricos subterrâneos no território catarinense em províncias hidrogeológicas, de acordo com critérios estabelecidos para águas subterrâneas do "U. S. Geological Survey", considerando:

- condicionamento geológico (litologia, posição estratigráfica, tectônica e estrutural);
- condicionamento fisiográfico (clima, hidrografia, morfologia, etc.);
- identificação de aquíferos e/ou sistemas aquíferos principais (estimativa dos caracteres dimensionais e hidrodinâmicos, e a definição da circulação);
- determinação e potencialidades globais desses aquíferos, com base na produção diária de poços e do cálculo das reservas potenciais exploráveis, sob condições diversas;
- finalidades e condições de explotabilidade, em função de fatores quantitativos e qualitativos dos aquíferos.

O estudo elaborado pelos autores citados também considerou os trabalhos de campo desenvolvidos no período com o objetivo de se caracterizar as províncias. A partir da síntese de todos esses dados e conhecimentos, o território catarinense foi dividido em 4 (quatro) Províncias hidrogeológicas a saber: do Embasamento Cristalino, a Paleozóica, a Mesozóica e a Cenozóica, como pode ser observado na figura (10).

5.2.1. Província Cristalina

Engloba o conjunto de rochas proterozóicas e eo-cambrianas ocorrentes no leste do Estado, numa faixa de largura variável entre 60 e 80 km, que se estende dos limites com o Estado do Paraná para o sul até as proximidades de Jaguaruna, no sudeste de Santa Catarina. Está coberto por aluviões quaternários, nos trechos drenados pela rede hidrográfica atual.

Estas rochas, que primariamente apresentam uma permeabilidade insignificante, e até mesmo nula, foram afetadas por um intenso diaclasamento desenvolvido em etapas diversas da história geológica regional. Este fraturamento orienta-se segundo as seguintes direções principais: N-S e E-W, os mais antigos e sintectônicos, e NW-SE e NE-SW, os mais recentes, de caráter distensional e ligado a epirogênese final do continente. Essas linhas estruturais condicionam a fisiografia atual (morfologia e rede hidrográfica) esculpida sob a influência deste tectonismo quebrável (Britto, Neves et al., op. cit.).

É nestas fraturas que há armazenamento de água subterrânea, formando-se assim zonas aquíferas. Nas áreas topograficamente elevadas, este nível aflora no contato do manto de intemperismo com a rocha fresca, de onde brotam as fontes (sargas) após percolarem por entre o fendilhamento intra-existente.

A recarga destas zonas é feita diretamente pelas águas pluviais sobre o fraturamento exposto (Ávila et al., 1986).

5.2.2. Província Paleozóica

Corresponde à espessa (até cerca de 3.000 m) seqüência sedimentar integrante das sub-unidades morfológicas conhecidas sob a denominação de "planalto sedimentar" e "planalto de Lages", cujos domínios geográficos se estendem de norte para sul, em faixa irregular de largura variando entre 20 km e 160 km (regiões dos afluentes do rio Iguaçu e de Lages). Limitando-se a leste pelas serras litorâneas e patamar cristalino, e a oeste, pelo planalto mesozóico.

Pelos caracteres litológicos, extensão regional e potência, apenas a Formação Rio Bonito *a priori* e de acordo com requisitos teóricos, pode ser classificada como aquífera.

Todas as unidades restantes, de constituição predominantemente pelítica e com baixa permeabilidade devem ser consideradas, em princípio, como aquícludes. Todavia, toda a seqüência Paleozóica, dada à sua extrema variação litofaciológica horizontal e vertical e à sua grande espessura, revela-se, na prática, em volume extremamente variável, produtora de recursos hídricos. Isto devido às condições altamente favoráveis do regime pluviométrico (precipitação entre 1500 e 1750 mm anuais), condicionadas pela litologia e topografia local (Britto N. et al., op. cit.).

5.2.3. Província Mesozóica

Sob a designação de Província Mesozóica, engloba-se a área catarinense situada sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu e os vulcanitos e sedimentos associados da Formação Serra Geral, constituintes da unidade geomorfológica do "Planalto Basáltico".

De fato, conquanto nesta área coexistam dois aquíferos (as Formações assinaladas) completamente diferentes, as relações recíprocas estão intimamente ligadas, bem como a problemática exploratória de cada, de forma que a conceituação de província é plenamente justificada.

O aquífero Botucatu é constituído pela permo-porosidade excepcional de uma formação de origem eólica, bem selecionada, bem classificada com pouco ou nenhum cimento, diagênese fraca em geral, com possanças desenvolvidas em Santa Catarina, de 100 a 480 m de este para oeste, distribuídos gradativamente, da área de afloramento à fronteira argentina (Ávila et al., 1986).

Funciona como capa confinante deste aquífero, o pacote basáltico, e como nível basal relativamente impermeável, as camadas argilosas do Grupo Passa Dois. O aquífero origina-se livre, na estreita e pertubada faixa de afloramentos, longitudinal à escarpa Serra Geral, e confina-se gradativamente para o interior, em

função do mergulho regional e por imposição das rochas basálticas e afins sobrepostas.

O aquífero Serra Geral é condicionado pelo sistema de vazios, de origem singenética, tectônica e atectônica, característico de rochas trapianas. Assim as irregularidades inter-derrames, os tufos e aglomerados vulcânicos, os níveis amigdaloidais, as intercalações areníticas, a desintegração prismática e esferoidal característica, o fraturamento angular, entre outras, agindo associativamente e/ou com predominância local, conferem ao pacote basáltico, senso lato, características inerentes a um aquífero, de tipo especial, onde a anisotropia tridimensional é marcante.

A extensão territorial central e centro ocidental do estado, ocupada pelo planalto/província Mesozóica abrange uma área de 4.200 km² (Britto Nunes, B. B. et al. op. cit.)

5.2.4. Província Cenozóica

Esta unidade está representada por sedimentos litorâneos e fluviais espalhados ao longo da estreita e irregular planície costeira de Santa Catarina.

Os sedimentos de planície costeira e dos baixos cursos dos principais rios da região são predominantemente clásticos, médios e finos, em parte bem selecionados (praias, dunas) e em grande parte não (aluviões e terraços), onde contingentes arenosos e argilosos se sucedem vertical e horizontalmente. As maiores espessuras detectadas nestes depósitos são da ordem de 60 metros.

A área litorânea ensejada pela província/planície é da ordem de 5.500 km², Marcada por interrupções (zona central) e alargamentos (norte e sul) os mais diversos. A porosidade efetiva destes sedimentos varia via de regra, com o contingente clástico de 2 a 10%, (Ávila et al., 1986).

A alimentação desta província é excepcional, quer pela direta precipitação atmosférica (isoietas médias anuais de 1.100 a 1.800 mm), quer pelas águas fluviais perenes de todos os rios, que a recortam. Desse modo, a infiltração é excessiva e controlada pela saturação absoluta ao pacote ao nível dos drenos e cursos d'água atuais. Os exutórios principais desta província são o mar (sempre), os próprios rios que a alimentam (no período não chuvoso) e a evapotranspiração.

5.3. SISTEMAS Aqüíferos da Região do Rio Uruguai

5.3.1. Sistema Aqüífero Guarani (Botucatu)

O termo Aqüífero Guarani (Rocha, 1997) é a denominação dada ao sistema hidroestratigráfico Mesozóico, constituído por depósitos de origem flúvio lacustre/eólicos do Triássico (Formações Pirambóia e Rosário do Sul no Brasil, Buena Vista no Uruguai) e por depósitos de origem eólica do Jurássico (Formações Botucatu no Brasil, Misiones no Paraguai e Tacuarembó no Uruguai e Argentina).

Sua área de ocorrência, de 1.195.200 km², extrapola a porção brasileira da Bacia do Paraná com mais de 839.800 km². (MS = 213.200 km², RS = 157.600 km², SP = 155.800 km², PR = 131.300 km², GO = 55.000 km², MG = 51.300 km², SC = 49.200 km² e MT = 26.400 km²) e estende-se na direção do Paraguai (71.700 km²), Argentina (225.300 km²) e Uruguai (58.400 km²) (Rebouças, 1999).

O aqüífero é confinado pelos basaltos da Formação Serra Geral (Cretáceo) e os sedimentos permo-triássicos de baixa permeabilidade. As reservas de água subterrânea da parte brasileira desse sistema aqüífero são estimadas em 48.000 km³, sendo as recargas naturais nos 118.00 km² de afloramento da ordem de 26 km³./ano, enquanto as recargas indiretas induzidas pelos potenciais hidráulicos

superiores das águas acumuladas nos basaltos e sedimentos do Grupo Bauru/Caiuá, da ordem de $140 \text{ km}^3 / \text{ano}$, ou seja, um total de $166 \text{ km}^3 / \text{ano}$.

O tempo de renovação de suas águas é de 300 anos, contra 20 mil anos na Grande Bacia Artesiana da Austrália, por exemplo. As águas são de excelente qualidade para consumo doméstico, industrial e irrigação e, em função das temperaturas serem superiores a 30°C em todo o domínio confinado, vêm sendo muito utilizadas para desenvolvimento de balneários.

Sobre cerca de 70% da área de ocorrência, onde as cotas topográficas são inferiores aos 500 m, há possibilidade de os poços serem jorrantes. O extrativismo é dominante e o desperdício é flagrante, exigindo medidas urgentes, nos planos nacional e internacional (Rebouças, 1976 e 1994).

5.3.2. Sistema Aquífero Serra Geral

As condições de ocorrência da água subterrânea no Sistema Geral são de aquíferos livres fraturado, com tendência de evolução para aquífero confinado, quando os fluxos das águas estão restritos aos contatos de juntas horizontais.

Uma outra condição para que o Aquífero Serra Geral apresente tendência de artesianismo em poço profundo é a contribuição de fluxos ascendentes e da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Botucatu, o que explica a surgência do poço de Marcelino Ramos (poço MR-SI-RS).

De acordo com Hausmann (1966), o Aquífero Serra Geral é de uma grande heterogeneidade hidrogeológica, conclusão obtida após catalogar centenas de poços no Rio Grande do Sul, onde níveis estáticos variam de 0,32 a 130 m de profundidade, sendo o valor modal de 30 m. As profundidades dos poços variaram

de 130 a 190 m, enquanto as capacidades específicas de $4.10^{-3} \text{ m}^3 / \text{h/m}$ a $38 \text{ m}^3 / \text{h/m}$, com vazão de até $90 \text{ m}^3 / \text{h}$ (MINERAR op. cit., 1984).

Para Rebouças (1976), as condições de ocorrência da água subterrânea no sistema Serra Geral são de aquíferos livres. Para os poços com profundidades maiores a tendência é de confinamento, quando há contatos ou juntas horizontalizados. Os aquíferos condicionados por estas estruturas podem ser mais ou menos independentes segundo as características de permeabilidade dos derrames que os separam (Rebouças apud Fraga, 1986).

5.4. ASPECTOS FÍSICOS, CONSTRUTIVOS E HIDRODINÂMICOS DOS POÇOS TUBULARES

A seguir são apresentados dados dos poços tubulares cadastrados na área estudada. Para este trabalho procedeu-se o cadastramento na área de influência direta e indireta dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho de um total de 233 poços tubulares, sendo que desses, 228 poços são abastecidos pelo Aquífero Serra Geral, enquanto os outros 5 poços pelo Sistema Aquífero Guarani.

Considerando-se os poços tubulares mais bem construídos sob o ponto de vista da engenharia, condições sanitárias adequadas, facilidade de coleta de amostras, representatividade para as áreas de influência direta e indireta dos empreendimentos hidrelétricos e para os dois sistemas aquíferos, optou-se pela seleção de 47 poços tubulares; desses, 42 poços eram representativos do Sistema Aquífero Serra Geral e 05 do Sistema Aquífero Guarani.

No levantamento estatístico dos parâmetros construtivos e hidrodinâmicos é normal que o número de poços possa variar em alguns dos tópicos abordados com relação aos outros poços. O banco de dados pode ter uma quantidade de

informações variável para determinado parâmetro analisado, ou então, possuir informações incompletas para este mesmo parâmetro.

Uma população estatística será maior para a análise da profundidade dos poços do que para o nível estático, por exemplo. Para que haja uma estatística sobre o nível estático é necessário que se tenham os parâmetros correspondentes para o nível dinâmico, para cada poço, senão a estatística fica prejudicada. Uma das dificuldades para se efetuar uma análise estatística desses parâmetros foi a comprovação de registros muitas vezes incompletos, ou então, contendo alguns dados de poços errados, trocados, levando ao abandono definitivo do registro.

Assim, por exemplo, é normal que existam 224 poços contendo informações consideradas corretas para o parâmetro profundidade e somente 217 poços para vazões, ou ainda, somente 101 poços contendo dados completos sobre o nível estático e nível dinâmico. Esta referência é para o Aquífero Serra Geral.

Para que se fizesse uma avaliação da composição físico-química das águas e da microbiologia com representatividade e ao mesmo tempo com precisão para as águas dos dois Sistemas Aquíferos, adotou-se, previamente, após as amostragens, o critério da seleção das amostras por balanço iônico. A partir do erro do balanço iônico selecionou-se um número menor de amostras de água, por períodos de coleta.

Todos esses 233 poços tubulares classificados, entre frios e termais, encontram-se locados no Mapa de Lineamentos e Poços Tubulares Frios e Termominerais, na escala , 1:175.000 - Anexo.

5.4.1. Profundidade do Regolito

As rochas efusivas de composição básica à intermediária originam, principalmente na superfície dos platôs, solos residuais eluvionares, enquanto que ao longo das encostas dos derrames de lavas e no sopé das escarpas, ocorrem solos coluvionares, os quais formam extensos depósitos, por vezes interdigitados com aluviões de gênese fluvial.

Os solos de origem basáltica são férteis e bem drenados com valores de permeabilidade variáveis entre 10^{-4} a 10^{-7} m/s (Raul et al., 1995).

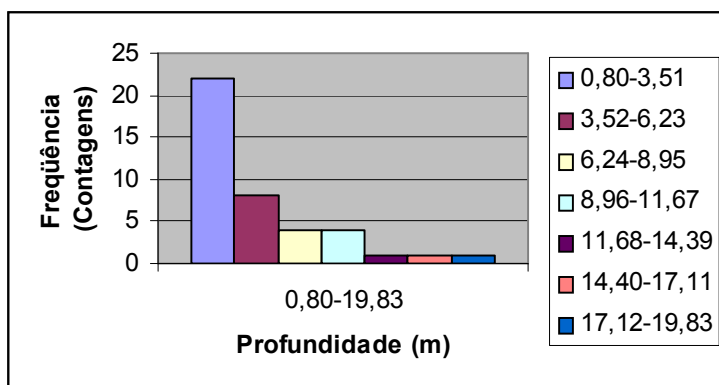


Figura (11): Distribuição das espessuras do manto de intemperismo em 41 poços do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

A frequência das espessuras do manto de intemperismo do Sistema Aquífero Serra Geral – SASG pode ser observada na Figura (11) no texto acima.

Espessuras do manto de intemperismo originário de basaltos da região do rio Uruguai, estão no intervalo situado entre 0,80-19,00 m, conforme verificado em uma população de 41 poços tubulares profundos.

O intervalo de espessura predominante do manto intemperizado situa-se

na faixa entre 0,80 m a 3,51 m, que corresponde a 53,65% dos 41 poços amostrados.

Espessuras do manto situadas entre 3,52 m e 11,67 m perfazem outros 39,02% das ocorrências. As demais espessuras do regolito menos freqüentes contribuem com 7,31 %, caracterizando o intervalo de 11,68-19,83 m.

5.4.1. Profundidade dos Poços

As profundidades dos poços se distribuem com 28,12%, dos poços perfurados na região do rio Uruguai, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina apresentando profundidades entre 92 m e 111 m, e 87,48% estão incluídos na faixa entre 51,77 e 151,12 m.

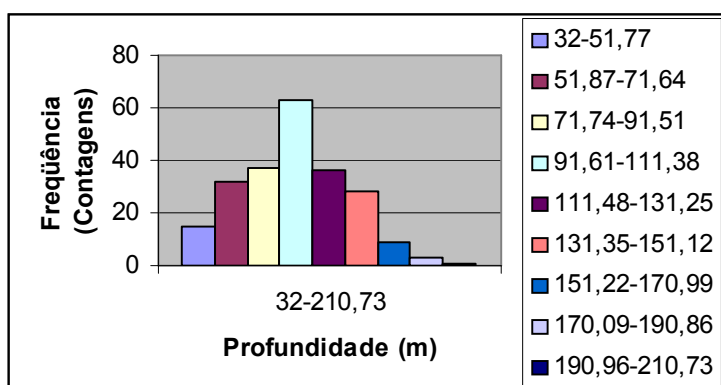


Figura (12): Distribuição da profundidade em 224 poços tubulares profundos do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

As outras classes estão mais dispersas e possuem menor freqüência: a primeira, com profundidade entre 32 e 51,77 m, corresponde a 6,69% de toda população; a antepenúltima, entre 151,22-170,99 m, aparece com 4%; a penúltima entre 171,09-190,86 m, corresponde a 1,33%, enquanto a última, com valores

entre 190,96-210,73 m, corresponde a apenas 0,44% do total. A figura (12) mostra a frequência de cada intervalo de profundidade.

A profundidade média encontrada nos poços é de 101,44 m; a menor, de 32 m, que qualifica o poço como tubular profundo³; a maior, de 206 m, num universo de 224 poços. No cadastramento de poços da região localizada nas margens do rio Uruguai nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, há registros de poços com 250 m de profundidade (SDM, 2002), ou com valores de profundidade superiores àqueles analisados no Aquífero fraturado Serra Geral, mas que por sua localização não foram incluídos na presente avaliação.

Nenhuma correlação pode ser estabelecida entre as profundidades dos poços perfurados e a sua produtividade no Sistema Aquífero Serra Geral, uma vez que a grande maioria dos poços com profundidades acima de 100 m apresenta vazões similares àqueles com profundidades menores que este valor. Além disso, em vários relatórios técnicos de poços pertencentes às empresas de perfuração que atuam na região Oeste e Extremo-Oeste de Santa Catarina, bem como Norte e Nordeste do estado do Rio Grande do Sul, tais como a Leão Poços Artesianos Ltda., a IMPAGROSS Poços Artesianos Bernardes & Bernardes, existem diversos registros de poços que atingiram profundidades significativas e se mostraram improdutivos:

- PSC-17 - profundidade = 148 m, Linha das Palmeiras, município de Alto Bela Vista-SC;
- PSC-17A - profundidade = 92,50 m, Linha das Palmeiras, município de Alto Bela Vista-SC;
- PSC-16 - profundidade = 115 m, Vila Rancho Grande, Concórdia-SC;
- PSC-23 - Terra Vermelha, município de Concórdia-SC;
- PRS-06B - profundidade = 118 m, Linha São Sebastião, município de Marcelino Ramos-RS;
- PRS-15 - Linha Núcleo Água Verde, município de Marcelino Ramos-RS.

Destaca-se que nos perfis construtivos analisados dos respectivos

³ De acordo com a CETESB (1977) os poços tubulares com profundidade menor que 30 m são considerados rasos, e os demais, profundos.

relatórios das duas empresas citadas anteriormente não há nenhuma especificação com relação às profundidades dos níveis estáticos e dinâmicos, ou às vazões, ou seja, os poços perfurados resultaram em secos literalmente.

5.4.2. Vazões

A figura (13) com a frequência das vazões dos 217 poços analisados demonstrou que a maioria dos mesmos apresenta vazão menor do que $9,26 \text{ m}^3/\text{h}$ (51,15%, conforme análise estatística).

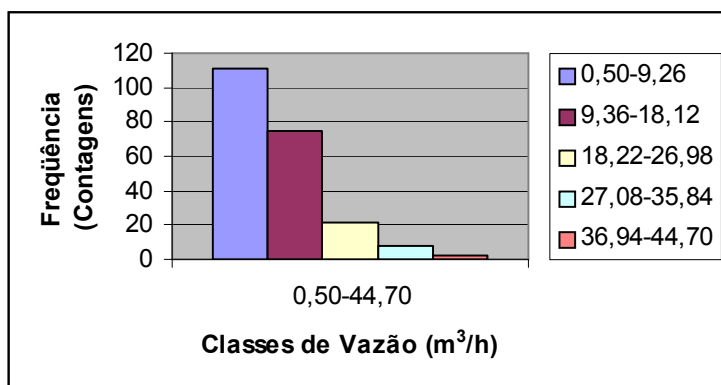


Figura (13): Distribuição da vazão em 217 poços tubulares do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

A segunda classe, também numerosa, apresenta vazões entre $9,36 \text{ m}^3/\text{h}$ e $18,12 \text{ m}^3/\text{h}$, correspondendo a 34,56% do total. Os intervalos correspondentes às vazões mais significativas mostram frequência bem mais baixa.

A menor vazão de exploração encontrada nos poços tubulares foi de $0,50 \text{ m}^3/\text{h}$, ao passo que a maior correspondeu a $40 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo a vazão média de $10,49 \text{ m}^3/\text{h}$, num levantamento estatístico de 217 vazões.

Uma vazão média de 10,49 m³/h é considerada um valor baixo⁴ para aquíferos em geral. Contudo, na avaliação* quanto à produtividade dos aquíferos deve ser considerada a importância estratégica e econômica do aquífero na esfera regional, dentre outros parâmetros essenciais, como: climatologia, geologia, declividade, área de contribuição, hidrogeologia, etc.

Em se tratando do Sistema Aquífero Serra Geral, cuja formação litológica cobre cerca de 52% do território do estado de Santa Catarina (Bortoluzzi, 1987) onde predominam as baixas vazões, é comprovadamente, a exemplo de toda a região sul do país, o aquífero mais utilizado do oeste catarinense (SDM, 2002).

Assim, o Aquífero Fissurado Serra Geral tem participação essencial na socio-economia da maioria dos municípios que participam do sistema de integração com agroindústrias de ponta, sejam estes localizados no estado de Santa Catarina, sejam no Rio Grande do Sul. Há de se frisar que municípios gaúchos como os de Severiano de Almeida, Maximiliano de Almeida, Mariano Moro, Aratiba, situados ao sul da margem esquerda do rio Uruguai, entre outros, são abastecidos na íntegra por poços penetrantes no Sistema Aquífero Serra Geral. No estado de Santa Catarina, citam-se os municípios de Alto Bela Vista, Peritiba, Capinzal, Zortéa, etc. que são também abastecidos pelo mesmo Aquífero.

Os dados obtidos nesta pesquisa coadunam-se com os do Projeto Oeste de Santa Catarina – PROESC, que cadastrou 2.614 poços nesta região, dos quais foi feito um tratamento estatístico para as vazões encontradas nos poços construídos no Aquífero Serra Geral, que aparece na tabela abaixo (04).

Tabela (04) – Percentual dos intervalos de vazões nos poços construídos no Aquífero Geral. Fonte: SDM, 2002.

⁴ Na avaliação quanto à produtividade dos aquíferos deve ser considerada a importância estratégica e econômica do aquífero na esfera regional, dentre outros parâmetros essenciais, como: climatologia, geologia, declividade, área de contribuição, hidrogeologia, etc.

Vazão (m ³ /h)	Número de Poços	Frequência (%)
Abaixo de 1	864	31,83
Entre 1 e 5	525	19,36
Entre 5 e 10	493	18,17
Entre 10 e 20	572	21,08
Acima de 20	260	9,56

A tabela acima mostra que há um número significativo de vazões com valores inferiores a 1 m³/h, correspondente a 31,83% de todos os poços e predomínio de vazões inferiores aos 10 m³/h (69,36%).

Os dois levantamentos estatísticos demonstram que o Aquífero Fraturado Serra Geral apresenta uma baixa produtividade⁵, assim uma vazão de 10 m³/h encontrada em um poço penetrante neste aquífero pode ser considerada um resultado significativo regionalmente. Há uma discussão de que a baixa produtividade encontrada nesse aquífero deve-se à perfuração dos poços sem a utilização de critérios técnicos prévios, como estudos de hidrogeologia, geofísica, interpretação de fotografias aéreas, etc.

5.4.3. Nível Estático

O comportamento do nível estático (NE) em aquíferos fraturados é determinado por uma série de fatores como porosidade, permeabilidade, fluxo subterrâneo, proximidade das zonas de recarga e número de fraturas abertas que disponibilizam a água subterrânea para o aquífero (Baggio, 1997).

⁵ De modo geral considera-se bom poço aquele que produza 50 m³/h e outro muito bom que forneça 100 m³/h (CETESB, 1977).

No Aquífero Fissural Serra Geral em questão, o NE varia de 1,50 m a 66,90 m; apresentando um valor médio de 16,55 m, nos 101⁶ poços amostrados. A maior freqüência para o NE está entre 1,50 m e 10 m, que corresponde a 48,97% de toda a população.

Em seguida aparece a segunda classe, com percentual maior que a metade da primeira, representando o NE nos intervalos entre 10,14 m e 18,68 m, com 29,59% do total.

Os outros intervalos, em número de 06, menos abundantes individualmente por classe, variam de 18,78 m a 70,52 m, mantendo praticamente uma homogeneidade de freqüência (6,12%, 4,08%, 3,06%, 4,08%, 1,02%, 3,06%) para os NE. A figura (14) apresenta as freqüências para o nível estático:

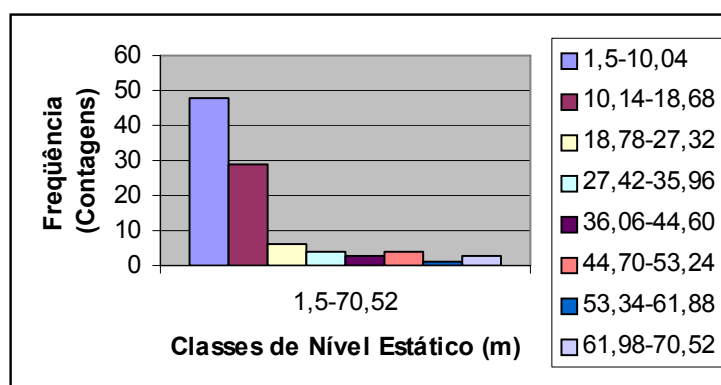


Figura (14): Distribuição do nível estático em 98 poços tubulares do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's de Itá e Machadinho.

Segundo (Raul, 1995) as condições de ocorrência da água subterrânea no Sistema Serra Geral são de aquíferos livres fraturados, com tendência de evolução para aquífero confinado, quando os fluxos das águas estão restritos aos contatos de juntas horizontais.

⁶ O total de 101 poços utilizado no tratamento estatístico para o NE e ND foi realizado levando-se em consideração que em cada poço analisado havia a medição dos dois parâmetros hidrológicos, sendo que os poços que não preenchiam esses requisitos foram descartados.

O mesmo autor reporta que uma outra condição para que o Aqüífero Serra Geral apresente tendência de artesianismo em poço profundo é a de contribuição de fluxos ascendentes e da superfície potenciométrica do Sistema Aqüífero Botucatu.

Alguns poços artesianos surgentes puderam ser identificados no Sistema Aqüífero Serra Geral, por ocasião do cadastramento de poços e das coletas de amostras de água superficiais e subterrâneas realizadas em campo para esta Dissertação:

- Poço 133: profundidade = 50 m, $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$, Linha Várzea, Mariano Moro-RS;
- Poço 196: profundidade = 126 m, $Q = 6 \text{ m}^3/\text{h}$, Hotel Fazenda do Engenho, Piratuba-SC;
- Poço 217: profundidade = 150 m, $Q = 7 \text{ m}^3/\text{h}$, SIMAE, Capinzal-SC.

No poço tubular profundo termal pertencente à Cia. Hidrotermal de Piratuba, 2-PI-1 SC (369), penetrante no Sistema Aqüífero Guarani, que apresenta características de artesianismo surgente, a superfície potenciométrica é medida acima do nível natural do terreno, e registrou um nível estático correspondente a + 140 m, na época de sua perfuração (Petrobrás, 1964). Posteriormente, em outubro de 1995, a Cia. Hidrotermal de Piratuba, pretendendo implementar um aumento da vazão de exploração, realizou testes no poço através da empresa CONTEP S. A. Empresa Técnica de Perfurações, chegando aos seguintes resultados: (Nível Estático: + 71 m; Nível Dinâmico: + 10 m).

Esta empresa concluiu então no relatório que em 30 anos de operação a superfície potenciométrica diminuiu de +140 m para + 71 m acima do nível do terreno, e que poderia diminuir mais ainda com a conclusão de um poço tubular profundo para atingir o Sistema Aqüífero Guarani em construção nas proximidades (500m) do Balneário (CONTEP, 1995).

Monitoramentos de parâmetros hidráulicos e hidrogeológicos constantes realizados pelo autor nas Áreas de Influência das UHE's Itá e Machadinho, no

período de pré-enchimento, durante e pós-enchimento dos dois reservatórios permitiram observar uma elevação progressiva do nível estático, principalmente detectado nos poços localizados mais próximos das bordas dos dois reservatórios.

A empresa Tractebel já divulgou através de palestras e de um informativo técnico curto que está ocorrendo a elevação do NE.

Muito embora este técnico tenha observado através de medições uma elevação do NE em poços localizados próximos das margens do reservatório, como por exemplo, Núcleo Tamanduá, em Aratiba-RS, em Mariano Moro-RS; distrito de Engenho Velho, no município de Concórdia-SC, logo após o enchimento do reservatório da UHE Itá, certamente esses valores foram acrescidos desde o enchimento do segundo reservatório que praticamente uniu com o da UHE Itá.

5.4.4. Nível Dinâmico

Quando um aquífero é bombeado a uma vazão constante, o lençol d' água que ocupava um plano horizontal, depois do início do bombeamento, passa a ter superfícies cônicas em torno do poço. O abaixamento dessa superfície com o tempo depende da permeabilidade do aquífero e da quantidade de água nele armazenada. O inverso se dará, quando, depois de um longo período de bombeamento, suspende-se o mesmo: a superfície cônica passa a subir até atingir a posição anterior ao início do bombeamento.

Para uma compreensão melhor da situação, continuamos com o relato dos autores (Villela et al., 1978), que reportam que quando dá-se o bombeamento de um aquífero artesiano, ao invés da superfície livre (lençol freático), neste exemplo particular (regional), o do Aquífero Fraturado Serra Geral, têm-se a superfície piezométrica (lençol artesianos), que corresponderia para nós como o do Sistema Aquífero Guarani.

Aqueles autores também observam que nos aquíferos freáticos, o armazenamento praticamente é definido pela porosidade. Entretanto, em um aquífero artesiano além da porosidade há o efeito da compressibilidade da água e elasticidade das rochas.

O Fascículo CETESB (1977) fornece da mesma forma algumas definições apropriadas para esta situação:

- Nível Estático (NE) – correspondente à pressão neutra do aquífero no ponto considerado. É a superfície livre da água dentro do poço, medida a partir da superfície do solo e referida ao nível médio dos mares.
- Nível Dinâmico (ND) – é o nível do lençol d' água dentro do poço, quando bombeado. É medido a partir da superfície do solo até o nível de bombeamento.
- Rebaixamento – corresponde à distância vertical dentro do poço entre o NE e ND, isto, $S = ND - NE$.
- Raio de Influência – quando um poço está sendo bombeado, forma-se em torno do mesmo um cone de depressão com o seu vértice voltado para o fundo do poço. Segue a definição dada pelos autores acima. A distância que vai desde o centro do poço até o ponto em que a superfície interior do cone tangencia o prolongamento da superfície horizontal, do NE, é chamada de raio de influência. É o ponto em que o rebaixamento torna-se nulo.
- O nível dinâmico em média medido em 101 poços que são abastecidos por águas do Sistema Aquífero Serra Geral foi de 53,30 m, que segundo as medições variou entre um valor mínimo de 6,34 m e um máximo de 138 m.

De acordo com o gráfico mostrado na Figura (15), o intervalo de maior frequência sobre todos os demais para o ND desse aquífero está situando entre 23,65 e 40,86 m, e correspondeu a 28,71 % do total de medições efetuadas.

O outro intervalo de ND com destaque situou-se entre 40,96 e 56,17 m, alcançando 23,76 % do total de medições.

Daí em diante, três outros intervalos descontínuos com valores de frequências próximas merecem importância, sendo representados pelos intervalos (6,34-23,56 m), (58,27-75,48 m) e (75,48-92,79 m), que juntos corresponderam a 39,60 % nesta análise estatística.

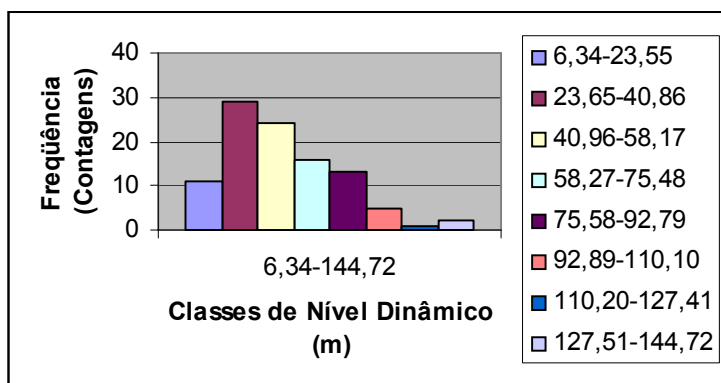


Figura (15) – Distribuição do ND de 101 poços do SASG na área de influência dos reservatório das UHE's Itá e Machadinho.

Verifica-se estatisticamente que a maior frequência para o ND das águas do Aqüífero Fraturado Serra Geral encontra-se aproximadamente entre 24 e 58 m, correspondendo em conjunto a 52,47 % do total de medições efetuadas em campo.

A empresa CONTEP S. A. Empresa Técnica de Perfurações realizando serviços de acompanhamento técnico e avaliação da produção do poço tubular profundo (termomineral) de propriedade da Companhia Hidrotermal de Piratuba, no período de 31 de julho a 05 de agosto 1995, reportou que o nível dinâmico medido na época era de + 10 m, enquanto que o nível estático, conforme já explicado no tópico homônimo correspondia a + 71 m para uma vazão de 350 m³ /h. O relatório daquela empresa ainda concluiu que em 30 anos de operação a superfície potenciométrica diminuiu de + 140 m para + 71 m acima do nível do terreno, podendo diminuir mais com a conclusão de um poço tubular profundo em construção nas proximidades do Balneário. A referência é da construção do poço termal do hotel Thermas Park Hotel, o que ficou comprovado em 2001 que os poços interferiam entre si quando bombeavam simultaneamente.

5.4.5. Profundidade das Entradas de Água

As entradas de água (figura 17) encontradas nos perfis construtivos dos poços tubulares penetrantes no Sistema Aquífero Serra Geral possuem a seguinte disposição:

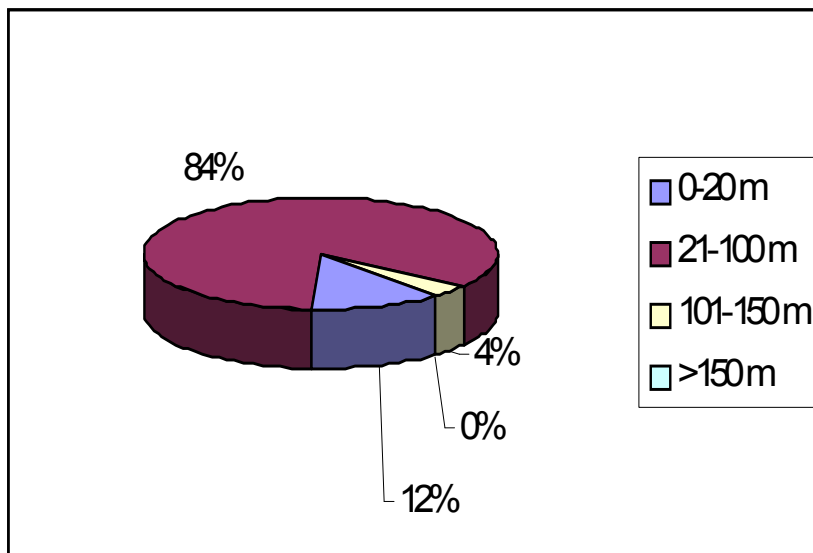
- a) 84% de todas as entradas de água ocorrem entre 21 e 100 m de profundidade;
- b) 12% das entradas de água distribuem-se até 20 m de profundidade;
- c) 4% do restante das entradas de água aparecem entre 101 e 150 m de profundidade;
- d) em profundidades superiores a 150 m não foram detectadas entradas de água;
- e) a menor profundidade encontrada para as entradas de água foi de 5 m, sendo a profundidade média em torno de 50,91 m, enquanto que a maior profundidade correspondeu à 128 metros.

Figura (16): Frequência das Profundidades de Entradas de Água do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

Com base nas estatísticas, pode-se inferir de que poços construídos no Sistema Aquífero Serra Geral terão fornecimentos de água a partir dos intervalos entre 21 e 100 m, predominantemente como recarga para o poço, e que as entradas d'água nas profundidades entre 101 m e 150 m e acima desta serão mais raras.

Levantamento estatístico semelhante foi realizado pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil para profundidades de entradas de água, considerando 2.723 poços tubulares construídos no Aquífero Fraturado Serra Geral, que foram cadastrados durante a execução do Projeto Oeste de Santa Catarina - PROESC, que concluiu que somente 1,47% das contribuições de água ocorrem

Fig. 16. Frequência das profundidades de entradas de água do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.



em profundidades superiores a 150 metros (SDM, 2002). Este Projeto recomenda uma profundidade de 150 m como limite máximo de perfuração no aquífero fraturado em questão.

Segundo Feitosa et al. (2000), um sondador experiente detecta facilmente a profundidade a partir da qual deixa de haver contribuição de fraturas, isto é, de novas "entradas d'água". Tendo perfurado uma certa metragem abaixo da última zona de contribuição, no máximo 20 m a partir dos 50 m de profundidade, sem alcançar novas fraturas, deve o poço ser encerrado, sob pena de tornar a obra antieconômica. Esses autores ainda alegam que a profundidade ideal é pois variável de uma região para outra e não existem valores concretos e definitivos para delimitar essa profundidade. Apesar disso, alguns estudos e observações oferecem indicativos que parecem importantes, no sentido de fornecer uma idéia aproximada da questão.

São numerosos os poços cadastrados no Aquífero Fissurado Serra Geral com profundidades situadas em torno de 150m e que apresentaram vazões muito baixas:

- Poço 3 - Alto Bela Vista-SC, profundidade: 130 m, Q: 1,80 m³/h;
- Poço 4 - Linha Palmeiras, Alto Bela Vista-SC, profundidade: 150 m, Q: 2,50 m³/h;
- Poço 5 - Linha Schuck, Alto Bela Vista-SC, profundidade: 138 m, Q:3,70 m³/h;
- Poço 30 - Lajeado Paulino, Concórdia-SC, profundidade: 132 m, Q: 4 m³/h;
- Poço 68 - CASAN, Peritiba-SC, profundidade: 150 m, Q: 5 m³/h;

- Poço 82 - Linha Sarandi, Aratiba-RS, profundidade: 156 m, Q: 2,50 m³/h;
- Poço 91 - Linha Coxilha Seca, Marcelino Ramos-RS, profundidade: 206 m, Q: 3,60 m³/h;
- Poço 106 - Linha Bigarella, Mariano Moro-RS, profundidade: 162 m, Q: 1 m³/h;
- Poço 117 - Cerro do Meio Dia, Severiano de Almeida-RS, profundidade: 192 m, Q: 1 m³/h;
- Poço 122 - Linha Caracol, Severiano de Almeida-RS, profundidade: 162 m; Q: 4 m³/h.

Esta lista poderia também incluir poços com profundidades pouco menores que 150 m, mas que ainda apresentariam baixas vazões e uma outra listagem que conteria os poços perfurados com profundidades inferiores a 60 m, 80 m, às vezes menos, e com vazões significativas em se tratando do Sistema Aquífero Serra Geral. Cita-se o poço G.305 SEA.1a, com profundidade de 35,60 m, que apresentou uma vazão de 7,33 m³/h, de propriedade da CORSAN, localizado no município de Severiano de Almeida-RS.

Nas rochas ígneas e metamórficas a porosidade é considerada praticamente inexistente. Os vazios intercristalinos condicionantes da porosidade são mínimos e não interconectados. Devido a esta característica, as permeabilidades primárias dessas rochas, expressas como condutividade hidráulica, são extremamente pequenas, variando de 10⁻¹¹ a 10⁻¹³ m/s. (...) As fraturas presentes no domínio dessas rochas criam uma porosidade secundária, responsável pelo armazenamento e uma permeabilidade (m²) que também se expressa como uma condutividade hidráulica (m/s), responsável pela circulação de água subterrânea. As aberturas das fraturas geralmente são menores do que 1 mm (Feitosa et al., 2000).

Estes mesmos autores relatam que estudos efetuados há mais de 30 anos nos Estados Unidos sugerem que a permeabilidade média (secundária) das rochas ígneas e metamórficas decresce rapidamente com a profundidade (Davis & Turk et al., 1964).

Em aquíferos fissurais a desproporção entre a vazão específica (m^3/h por m de rebaixamento) e o aumento do rebaixamento é justificada pelo fato de que as fraturas a partir de uma certa profundidade vão se tornando mais fechadas. Considerando que a vazão específica é a razão entre a vazão total e a espessura da zona aquífera, se aumentar a profundidade sem aumentar o volume de água para o poço, a vazão específica tenderá naturalmente a diminuir (Feitosa et al., 2000).

Como já foi assinalado anteriormente, a água subterrânea da Bacia do Paraná está condicionada a fatores de ordem genética e tectônica. Os fatores genéticos são condicionantes da permeabilidade horizontal, enquanto, que a permeabilidade vertical é controlada pela tectônica (Neto, Raul, et al., 1995). Para um melhor entendimento desses fatores, é necessário que se trace um perfil descritivo dos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

As corridas de lavas foram descritas por Leinz (1949) com a seguinte alternância textural dos basaltos de baixo para cima: uma zona de basalto vítreo, brilho de piche, preto, com espessuras que variam de 5 a 10 metros. Esta faixa vítrea passa gradativamente para um basalto microcristalino, com diáclases horizontais, aparentando um sedimento. Segue-se um basalto micro a macrocristalino, com diáclases predominantemente verticais.

No perfil mostrado na figura (17), esta zona possui até 40 m de possança. Mais para o topo aparecem, novamente, diáclases horizontais seguidas por uma zona de 5-10 m, rica em amígdalas vazias ou preenchidas com zeólitas, etc. Estas amígdalas são normalmente elípticas, com o eixo menor no sentido vertical.

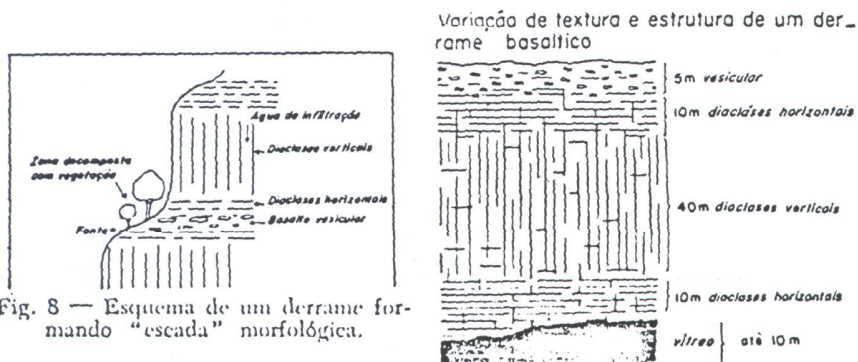


Fig. 8 — Esquema de um derrame formando "escada" morfológica.

Fig. 9 — Esquema da variação de textura de um derrame basáltico.

Figura (17): Seções esquemáticas de derrames basálticos. Fonte: Leinz, V. (1949).

A zona vítrea representa a soleira do derrame com resfriamento rápido devido ao contato com o embasamento, ao passo que a faixa "melafírica" é a zona de enriquecimento de gases sob alta pressão conjugada com resfriamento rápido graças ao contato com a atmosfera. As diáclases de contração são horizontais perto dos contatos e verticais no centro dos derrames onde o resfriamento é lento. A faixa de diáclases horizontais e de textura amigdalóide decompõem-se mais intensamente, dada a maior retenção da água de percolação, - são os níveis das fontes e da vegetação, formando assim o piso do degrau⁷.

Assim, pode-se constatar que há uma estreita relação, principalmente entre as zonas de diáclases horizontais e zonas amigdalóides com as entradas de água encontradas nos poços seccionados do Aquífero Fissurado Serra Geral, por onde ocorre o fluxo horizontal de águas subterrâneas. O fluxo vertical das águas subterrâneas através das zonas de diáclases verticais é menos freqüente, e

⁷ A descrição geológica das corridas de lavas de Viktor Leinz (1949), riquíssima em detalhes, tem sido utilizada como obra de consulta e de referência técnica obrigatória na construção de usinas hidrelétricas de grande porte como as de Itá, Machadinho, Campos Novos, Barra Grande, etc., implantadas no rio Uruguai, bem como de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's; registre-se também a elaboração de EIA/RIMA para a implantação e operação de aterros sanitários, industriais, dentre outras atividades poluidoras/degradantes, em terrenos basálticos do estado de Santa Catarina.

somente há uma contribuição mais significativa quando as mesmas estão associadas a fraturas e/o falhamentos profundos provavelmente associados a reativações do embasamento.

O perfil geológico e construtivo do Poço SEA 5, que atingiu 146 m, de propriedade da CORSAN, no município de Severiano de Almeida, mostra entradas de água nas profundidades de 12 m, 33 m, 53m e 56 m; todas relacionadas à níveis basálticos descritos como vesiculares e amigdalóides, com fraturas, quartzo e minerais verdes. As mesmas litologias se repetem intercaladamente até o final do poço, porém sem a presença de contribuições d'água.

No perfil geológico do poço tubular MR-S1-1-RS perfurado pela Petrobrás (1964), bem mais profundo atingindo 2.590 m de profundidade, o pacote vulcânico da Formação Serra Geral aparece com uma espessura de 535 m, e está em contato litológico concordante com arenitos da Formação Botucatu. Os derrames de lavas do poço estão representados por basaltos densos intercalados com pelo menos 15 zonas vesiculares em toda a unidade litológica, muitas das quais ou as iniciais, estima-se correspondam a entradas de água, contribuindo como fluxos horizontais para a recarga do poço. Muitos outros perfis geológicos e construtivos de poços penetrantes no Sistema Aquífero Serra Geral descrevem situações similares.

As evidências apontadas até aqui aparentemente demonstram que há somente poucos registros de recargas dos poços através de fluxos horizontais nas profundidades próximas ou superiores a 150 m, talvez condicionadas pelo fato de que essas fraturas certamente estão fechadas.

Contribuições de água oriundas de maiores profundidades provavelmente estariam conectadas a falhamentos profundos reativados durante períodos tectônicos sucessivos (Brasiliano e Wealdeniano) na área da Bacia Sedimentar do Paraná, apesar de que, muitas delas teriam sido preenchidas sob a forma de diques e processos hidrotermais.

5.5. HIDROGEOQUÍMICA DAS FORMAÇÕES SERRA GERAL E BOTUCATU (GUARANI) NA REGIÃO DO RIO URUGUAI

5.5.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

5.5.1.1. Temperatura

O conceito de temperatura como uma medida de calor surge da sensação subjetiva de calor ou frio. Logo, se define com a medição da intensidade de calor. Com relação à água, a temperatura que se produz como consequência da absorção das radiações caloríficas pelas camadas mais superficiais, depende da energia cinética média das moléculas. Uma variação de temperatura afeta parâmetros como a solubilidade dos gases na água, a densidade, a viscosidade, a tensão superficial, pressão de vapor, etc.

A temperatura das águas subterrâneas depende do terreno drenado, podendo ser influenciada, entre outras causas, pela natureza das rochas, sendo afinal uma função da profundidade. A variação de temperatura é função da camada aquífera e dos aportes subterrâneos externos, seja por infiltração direta, seja por aportes subterrâneos, etc.

Em terrenos pouco permeáveis, a poucos metros da superfície desaparece a influência das variações diárias da temperatura ambiente.

A temperatura da água que circula por terrenos muito permeáveis está submetida às mesmas influências da água contida em estratos subterrâneos, dependendo do grau geotérmico e de outros fatores como o caráter descontínuo das rochas, o tempo de contato com as mesmas, a circulação do ar nas cavidades, as misturas de águas umas com as outras, etc. Via de regra, a variação da temperatura das águas subterrâneas não apresenta oscilações sazonais tão evidentes como as das águas superficiais. A uma certa profundidade

é constante, crescendo à medida que se aprofunda segundo as regras da geotermia (Lafuente, 1981).

Há uma concordância entre Feitosa et al. (2000) e o autor acima, quando os primeiros afirmam que a amplitude térmica anual das águas subterrâneas geralmente é baixa, em torno 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.

Contudo, o Aquífero Fissural Serra Geral considerado como um aquífero freático apresentou nas suas águas uma temperatura média de 18,66°C, sempre abaixo da temperatura ambiente, durante as estações mais quentes do período, mas nos meses de inverno a temperatura das águas ficava sempre acima da temperatura ambiente. Observa-se que a variação anual de temperatura foi de 3,1 °C, como pode ser visto no gráfico da Figura (18).

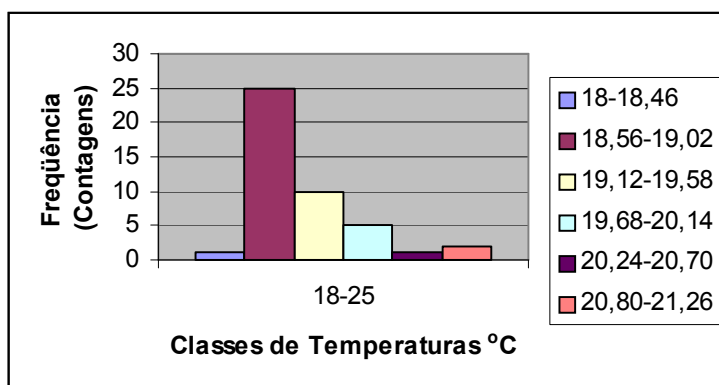


Figura (18 – Frequência da temperatura (°C) em classes nos poços tubulares do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

A temperatura dominante verificada ficou no intervalo entre 18 e 18,5°C, correspondendo a 56,81 % das medições verificadas, enquanto que a segunda, no

intervalo, entre 19 e 20°C, correspondendo a 22,72 %. Os dois intervalos de temperaturas somados atingem a 79,53 % do total de medições apuradas em campo.

A temperatura é a característica mais importante das águas termominerais. É importante em si mesma por seus efeitos fisiológicos e hidrodinâmicos e também pelo fato geralmente admitido de que a concentração de sais dissolvidos aumenta com a mesma. O caudal está também muitas vezes vinculado à temperatura; por exemplo, quando se mostra um pouco elevada o caudal é pequeno e variável.

Uma fonte chama-se *termal* quando as suas águas apresentam uma temperatura superior de 5 a 6°C da temperatura média da região. Na Europa Ocidental diz-se que uma fonte é termal quando a sua temperatura é superior a 20 °C (Custodio e Llamas, 1983).

A Tabela (05) ilustra os poços de águas termominerais do Sistema Aqüífero Guarani, encontrados na região do rio Uruguai, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

A principal origem da temperatura das águas termominerais é o gradiente geotérmico. Ao mesmo podem ser acrescentados fatores secundários como o vulcanismo, o resfriamento dos magmas e as reações físico-químicas. O gradiente geotérmico é a profundidade de penetração do solo expressa em metros, necessária para que a temperatura aumente 1°C (Custodio e Llamas, 1983).

Tabela (05) – Poços termais do Sistema Aqüífero Guarani, profundidades da Formação Botucatu e temperatura média. Fonte: pesquisa do autor.

Poço Tubular Profundo (local)	Município Estado	Profundidade do Poço (m)	Profundidade da Formação Botucatu (m)	Temperatura na Boca do Poço (° C)
Sadia (mais antigo)	Concórdia-/SC	700	-	31,66 ⁸
Cia Hidrotermal de Piratuba	Piratuba-SC	2.416	539	38,6
Hotel Thermas Park	Piratuba-SC	680	540	37,5
Prefeitura M. de Marcelino Ramos	Marcelino Ramos-RS	2.590	535	39
UHE Itá	Itá-SC	500	-	30

Ávila et al. (1986) citam fontes de águas minerais termais geneticamente relacionadas a fraturamentos do Aquífero Serra Geral: Fonte Água Mineral de Ilha Redonda, Fonte Piratuba, Fontes Águas de Pratas.

Para Coitinho (2000), a termalidade nas Províncias Paleozóica e Mesozóica está relacionada com o grau geotérmico atingido pela perfuração de poços tubulares, ou a existência de zonas com anomalias termais, possivelmente controladas tectonicamente, como é o caso das ocorrências de Águas de Prata (São Carlos), Águas de Chapecó (Águas de Chapecó) e Ilha Redonda (Palmitos).

⁸ Reflete a temperatura média obtida durante quatro períodos consecutivos, ou seja, em 30/06/00; 03/10/00; 27/11/00 e 18/12/00. Neste período o reservatório da UHE Itá já se encontrava preenchido, enquanto que a UHE Machadinho ainda se encontrava inacabada.

5.5.1.2. Turbidez

A turbidez é provocada por partículas insolúveis presentes em suspensão na água, do tipo argilas, margas, lodo, sais de ferro, matéria orgânica finamente dividida, etc., todas de tamanhos que podem variar desde coloidais até partículas de granulação relativamente grosseira (diâmetros que vão desde milimícron até vários décimos de milímetro). É um fenômeno óptico produzido por essas partículas e consiste essencialmente em uma absorção da luz que ilumina um certo volume de água, combinado com uma difusão.

Para Von Sperling (1996), turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo-lhe uma aparência turva. Os sólidos em suspensão são os constituintes responsáveis por esta propriedade. A sua origem pode ser natural, a partir de partículas de rocha, argila ou silte, algas e outros microrganismos. Com relação à origem antrópica, têm-se os despejos domésticos, despejos industriais, microrganismos e erosão.

Lafuente (1981) reconhece que ao conceito de turbidez estão ligados outros igualmente importantes como a quantidade de matéria em suspensão e a filtração, os quais devem ser considerados no momento em que se for projetar alguma fonte de abastecimento de água potável ou uma estação de tratamento.

O parâmetro turbidez é geralmente utilizado para a caracterização de águas de abastecimento brutas e tratadas, servindo no controle de operações das estações de tratamento de água.

A unidade utilizada para turbidez é a μT que significa Unidade de Turbidez – Unidade de Jackson ou nefelométrica.

A turbidez das águas constituintes dos Sistemas Aqüíferos Serra Geral e Guarani pôde ser verificada a partir de três campanhas realizadas nos meses de

abril, maio e julho de 2000, já na fase posterior ao enchimento do reservatório da UHE Itá.

Os valores de turbidez média registrados nas águas do Aquífero Serra Geral corresponderam a 1,62 μT , num total de 53 amostras. O valor médio de turbidez mínimo encontrado foi de 1 uT e o máximo de 4 μT .

Apenas um dado de turbidez pode ser constatado nas águas do Sistema Aquífero Guarani e correspondeu a 1 ut, especificamente no poço termal da empresa Sadia em Concórdia.

Von Sperlling *op. cit.* afirma que numa água com turbidez igual a 10 μT há o reconhecimento de uma ligeira nebulosidade que pode ser notada. Uma turbidez com 500 μT torna a água praticamente opaca. Quando houver valores de turbidez da água bruta inferiores a 20 μT a providência é direcioná-la à filtração lenta, dispensando a coagulação química; valores superiores a 50 μT requerem uma etapa antes da filtração, que pode ser a coagulação química ou um pré-filtro grosseiro.

As águas de ambos sistemas aquíferos encontram-se dentro dos padrões estabelecidos de potabilidade pela Portaria MS nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, a qual determina 5 uT para as águas de consumo humano. A diretriz de potabilidade deste parâmetro também verifica-se na legislação do estado de Santa Catarina e na Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986.

O Decreto nº 14.250, de 5 de junho de 1981, que classifica as águas interiores situadas no território do Estado de Santa Catarina em quatro classes, segundo os usos preponderantes, não faz nenhuma referência ao parâmetro de turbidez nessas águas, nem para os corpos d' água receptores nas Classes 1, 2, 3 e 4, todas destinadas ao abastecimento doméstico (com especificações nos sistemas de tratamento), nem para o lançamento.

5.5.2. PROPRIEDADES IÔNICAS

5.5.2.1. Condutividade Elétrica (CE)

Quando se dissolve um ácido, uma base ou um sal em água, os íons se dissociam, em cátions e ânions, sendo que esta solução têm uma propriedade de conduzir a corrente elétrica. Isto é explicado pela teoria da dissociação eletrolítica de Arrhenius, segundo a qual se admite que ao se dissolver um ácido, uma base ou sal em água, uma parte variável dos mesmos (a proporção de moléculas que se dissocia se chama grau de dissociação) se dissocia espontaneamente em íons positivos e negativos (Lafuente, 1981). A condutividade elétrica, segundo Feitosa et al. (2000), é a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica, estando diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons.

A água pura, espécie química definida como H_2O , apresenta uma condutividade elétrica muito débil, da ordem de $0,05 \cdot 10^{-6} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ para uma água bidestilada sobre permanganato potássico e barita, congelada depois e abrigada do contato com o ar.

Quando se trata de água natural, os eletrólitos dissolvidos fazem com que esta água se torne mais condutora, tanto mais quanto maior seja a concentração de eletrólitos dissolvidos, chegando, logicamente, até um certo limite, já que há as interações iônicas, ou seja, o princípio que deva existir uma relação entre a condutividade da água e os eletrólitos dissolvidos, ou seja, o resíduo seco. A temperatura modifica em muito a condutividade de uma solução. Como exemplo, pode-se citar que uma solução de KCl que contenha 10 miliequivalentes por litro irá duplicar a sua condutividade ao passar sua temperatura de 0°C a 25°C . (Lafuente, 1981).

Resumidamente aquele autor afirma que os valores da condutividade indicam com bastante exatidão, para determinadas aplicações, a concentração de

sólidos dissolvidos, sendo muito úteis essas medidas para determinar trocas a curto prazo que têm lugar na qualidade de um rio ou uma fonte, e no caso de seleção entre as diversas classes de águas, assim com em um mesmo rio para se estudar a variação que sofrem suas águas ao largo do mesmo. Apresenta, igualmente, grande importância para o controle das águas de alimentação, das águas para usos industriais, controle de água desonizada, etc.

A unidade de medida utilizada para condutância é o Mho, que é o inverso do Ohm, unidade de resistência elétrica. Os valores da condutividade para as águas subterrâneas são referidos ao milionésimo do Mho/cm, ou seja, microMho/cm ($\mu\text{Mho/cm}$ a uma temperatura padrão de 25°). Como já foi indicado no texto acima, a condutividade aumenta com temperatura, por isto Feitosa et al. (2000) aconselham que se deve anotar a temperatura de referência da água amostrada.

Medidas de condutividade elétrica foram tomadas em 42 amostras de água do Aquífero Serra Geral. O tratamento estatístico dos dados para efeito de visualização e mesmo compreensão na sua disposição foi expresso em um gráfico de frequência, conforme mostra a Figura (19).

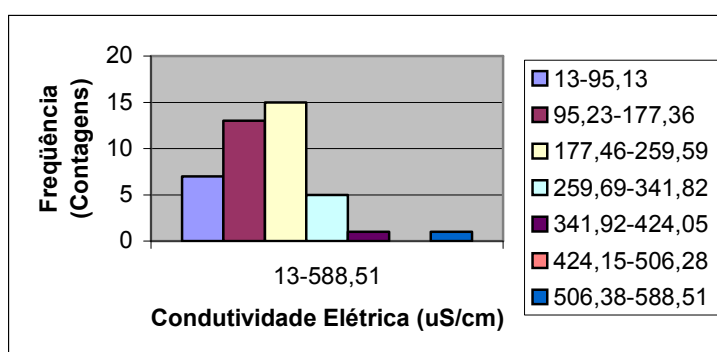


Figura (19): Frequência da condutividade elétrica das águas do Aquífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

O valor médio de condutividade elétrica presente nas águas do Sistema Aquífero Serra Geral foi de 182,54 μ S/cm, o qual variou entre os extremos: mínimo de 13 μ S/cm e máximo de 537 μ S/cm. Analogamente, a concentração média encontrada para STD foi de 163,85 mg/L presente nas águas desse aquífero.

O intervalo que representa a condutividade elétrica entre 177,46 e 259,59 μ S/cm é dominante sobre os demais com 35,71%, portanto, ocorre com uma maior frequência. Um segundo intervalo de condutividade elétrica entre 95,23 e 177,36 μ S/cm com frequência próxima do primeiro também é significativo numericamente, correspondendo a 30,95 % do total. Dois outros intervalos representados por 13-95,13 e 259,69-341,82 μ S/cm apresentaram valores de frequência próximos e juntos somam (16,66 % + 11,90 %) 28,56 % do total da amostragem. Os três intervalos restantes apresentaram baixo significado numérico comparativamente com os demais.

O valor da condutividade elétrica média encontrado nas águas do Sistema Aquífero Guarani foi de 3.028 μ S/cm, que variou entre um valor mínimo de 635 μ S/cm e um máximo de 18.230 μ S/cm.

Estes valores de condutividade elétrica significativamente elevados encontrados nas águas do Sistema Aquífero Guarani mantêm uma correspondência de proporcionalidade direta com os teores de Sólidos Totais Dissolvidos - STD respectivos para cada amostra, e demonstrando que essas águas são intensamente mineralizadas. A relação entre condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos foi abordada em parágrafo prévio do texto.

Não existem normas de qualidade de água para o consumo humano tratando da condutividade elétrica, porém é evidente que as águas com acentuado grau de mineralização podem ocasionar determinados problemas à saúde, conforme descreve o texto nos tópicos correspondentes aos íons dissolvidos e/ou

elementos-traços. Normalmente altos teores de condutividade elétrica podem sinalizar contaminação das águas.

5.5.2.2. Dureza

A dureza pode ser definida como o poder de consumo de sabão por determinada área ou a capacidade da água neutralizar o sabão pelo efeito do cálcio, magnésio ou outros elementos como Fe, Mn, Cu, Ba, etc. (Feitosa et al., 2000). O poder de consumo é resultante da presença na água de cátions que formam compostos insolúveis com o sabão.

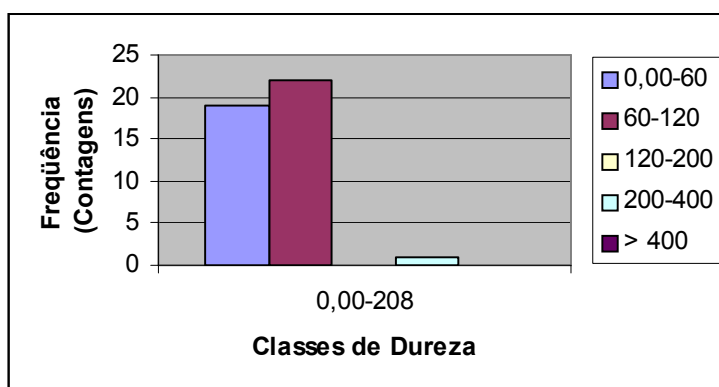


Figura (20): Distribuição da dureza nas águas de 42 poços tubulares do SASG nas áreas de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

Esta reação inibe a formação de espuma capaz de englobar graxas, partículas de pó, etc., entorpecendo a capacidade de limpeza do sabão, de maneira que, quando se utilizam águas duras para lavar, é necessário gastar mais sabão, já que o primeiro se dissolve e se transforma em sal insolúvel e precipita. Em geral, para cada 10 mg/l de CaCO_3 (um grau Francês de dureza - °F) de uma água se desperdiçam aproximadamente 120 mg/l de sabão (Lafuente, 1981). As águas duras produzem incrustações, com grandes demandas de sabão, além de dificultarem o cozimento dos alimentos.

A dureza média (figura 20) encontrada nas águas subterrâneas analisadas (42 amostras) foi 65,14 mg/l de CaCO_3 , o que equivale a classificação de dureza de uma água moderadamente branda. O menor teor encontrado correspondeu a 10 mg/l, classificada como água branda, enquanto que o maior, 208 mg/l, se enquadra como água dura, estando ausentes, portanto, os teores para águas muito duras, correspondentes a valores acima de 400 mg/l de CaCO_3 , conforme a Tabela (06) para classificação de águas segundo a dureza - mg/l CaCO_3 , abaixo:

No gráfico da Figura (20), observa-se que há um predomínio (52,38%) de águas classificadas como Muito brandas, acompanhado de perto (45,23%) de águas tidas como Brandas, ambas somando 97,61% do total. Os demais teores de dureza da água, menos significativos, estão representados por Águas Duras, alcançando 2,38% da população amostrada.

As águas do Sistema Aquífero Guarani apresentaram em média 56,6 mg/L para dureza, em um total de 10 amostras analisadas, estando classificadas como águas do tipo Moderadamente Branda. O valor médio de dureza mais baixo correspondeu a 11 mg/L e o mais elevado a 296 mg/L. Um valor elevadíssimo de dureza de 1.270 mg/L encontrado no poço P-234, da Cia. Hidrotermal de Marcelino Ramos-RS, não foi considerado neste levantamento estatístico.

TIPO	TEOR EM mg/l de CaCO_3
Branda	0-60
Moderadamente branda	60-120
Moderadamente dura	120-200
Dura	200-400
Muito Dura	Acima de 400

Tabela (06) - Classificação das águas segundo a dureza - mg/l CaCO_3 . Fonte: CETESB (1977).

A Portaria MS nº 1.469, de 29/12/2000 determina um VMP⁹ de 500 mg/L para dureza como padrão de aceitação para consumo humano. O mesmo VMP é também recomendado pela Organização Mundial da Saúde – OMS e pela Portaria nº 36 do Ministério da Saúde, de 19/01/90. Deduz-se que as águas dos dois sistemas aquíferos estão dentro dos padrões de potabilidade.

5.5.2.3. pH

As letras pH têm um significado, pois se traduzem como a abreviação de “*potentia* (ou *pondus*) *hidrogeni*”: a força ou o peso do hidrogênio (GTZ, 1999). O pH representa a concentração de íons hidrogênio H⁺ (em escala anti-logarítmica), servindo para caracterizar o comportamento neutro, ácido ou alcalino (básico) de uma solução. A variação da faixa de pH é de 0 a 14.

Como definição química, a água é um eletrólito extremamente fraco, que se ioniza em uma extensão diminuta. A ionização da água envolve a transferência de um próton de uma molécula de água a uma segunda (Ohlweiler, 1976).

Em uma água pura ou em soluções neutras, a concentração de íons hidrogênio é de 10⁻⁷ mol/l; isto é, valor de pH = 7. Já as águas naturais apresentam um valor de pH diferente do valor neutro 7, reflexo da presença de ácido carbônico, substâncias húmicas ou pela entrada de água subterrânea com características ácidas ou alcalinas.

⁹ Valor máximo permitido.

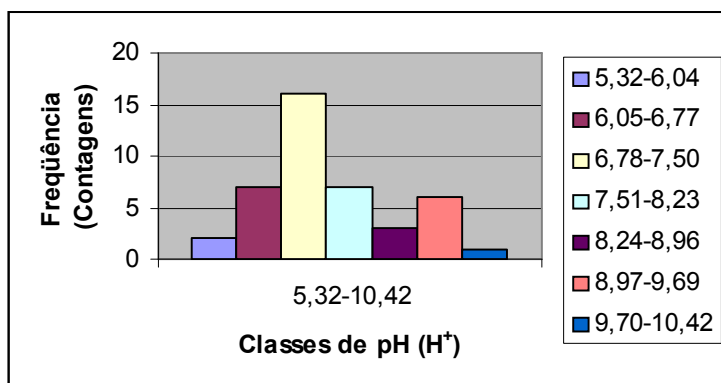


Figura (21): Histograma de frequência de 42 valores de pH (H⁺) para águas de poços tubulares do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

Além do que, o valor de pH é influenciado pela temperatura e por sais minerais, particularmente se eles têm um efeito de tamponamento (p.ex. bicarbonato de cálcio). Outras influências são os lançamentos de efluentes, por via direta ou indireta através da transformação microbiana ou vegetal de matérias contidas nos despejos, e poluições atmosféricas (chuva ácida), que contribuem para alterar o pH das águas naturais (GTZ op. cit.).

A origem do pH nas águas pode ser natural ou artificial. Como causa natural está o dióxido de carbono dissolvido, procedente da atmosfera, e em seguida o que se encontra na zona de infiltração da terra, produzido pela respiração dos organismos vivos, assim como da respiração e fotossíntese dos organismos aquáticos.

O ácido sulfúrico encontra-se nas águas como causa natural, quando essas atravessam mineralizações de pirita no subsolo ou rochas vulcânicas, sendo mais rara a presença de ácido clorídrico e muito mais ainda do ácido sulfídrico, já que este é instável no ar, oxidando-se. Os ácidos orgânicos, e entre outros, os ácidos húmicos, são também frequentes nas águas, esses últimos devem a sua origem

na cobertura de bosques, o qual é lavado por ação das enxurradas (Lafuente, 1981).

De fato, pode-se verificar que as águas subterrâneas da Formação Serra Geral constituída de rochas vulcânicas apresentam um pH menor ou de tendência mais ácida que os arenitos confinados da Formação Botucatu. Podemos observar que o recobrimento do manto de intemperismo sobre a rocha sã (basáltica) favorece aparentemente a formação de ácidos húmicos.

Na amostragem realizada nas águas da Formação Aqüífera Serra Geral, o valor médio encontrado para o pH foi de 7,55, variando entre um mínimo de 5,33 e um máximo de 9,97 (Figura 21). O valor de pH mais freqüente encontrado nesta amostragem situou-se no intervalo entre 6,78 e 7,50, correspondendo a 38,09 % de uma população de 42 amostras. Os outros dois intervalos, representados por 6,05-6,77 e 7,51-8,23, apresentaram resultados iguais correspondendo em conjunto a 33,32 % de toda a população. Um outro intervalo representado por 8,97-9,69 ficou próximo dos anteriores, com 14,28 % do total. Seguiu-se 7,14 % e 2,38 % do total, como pode ser visualizado na Figura (18).

As águas do Aqüífero Guarani apresentaram um valor de pH médio de 8,54 nas três amostragens consecutivas, situando-se entre um valor mínimo de 7,50 e um máximo de 9,15.

Os padrões de potabilidade recomendados pela Organização Mundial da Saúde – OMS, Portaria 36 do Ministério da Saúde de 19/01/90, pelo Canadá e pelo EUA para o pH estão situados entre 6,5 e 8,5. A Alemanha recomenda o pH dentro de um intervalo mais amplo entre 6,5 e 9,5.

5.5.2.4 Resíduo Total a 105°C (Resíduo Seco-RS)

É definido como o peso dos sais resultantes da evaporação de um litro d'

água, após a filtragem para a remoção de materiais em suspensão.

Determina-se através da eliminação prévia de toda substância que esteja em suspensão na água, e caso não seja completa pode demonstrar resultados falsos. As distintas técnicas descritas em tratados de análises para a determinação do resíduo seco diferem fundamentalmente, já que uns o determinam a 105°, 110° ou 180 °C. Há um consenso atual no entendimento dos

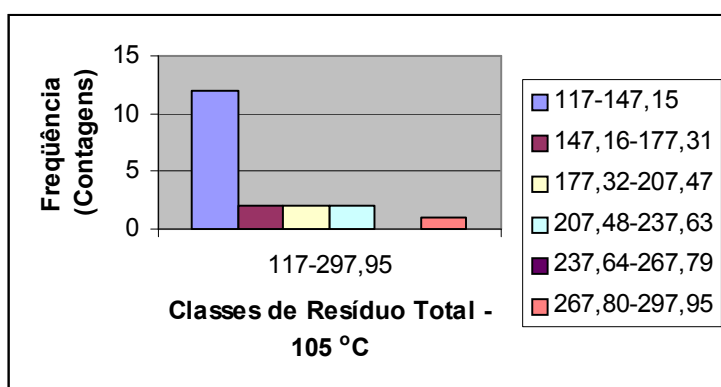


Figura (22): Distribuição das 19 amostras de teores de resíduo seco por intervalos de classes no Aquífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

autores pela determinação do resíduo seco a 110°C (Lafuente, 1981).

Um volume determinado de água, geralmente 1 litro deve ser filtrado e evaporado, na temperatura selecionada, sendo que a composição do resíduo obtido difere da composição inicial da água devido à perda de voláteis e da precipitação dos íons HCO_3^- sob a forma carbonatos, dos sulfatos sob a forma de gesso, etc. Outros íons como o Cl^- , NO_3^- ou pequenas quantidades de substâncias orgânicas podem ser volatilizadas durante a evaporação – Fenzl (1988) ainda cita que o R_s - total pode variar de 10 mg/l nas chuvas até 30.000 mg/l em águas altamente concentradas.

Na presente análise química o resíduo seco total contido nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral e Guarani foi determinado a 105° C, e as amostras foram coletadas em apenas uma campanha realizada em junho de 2000.

Nas 19 (dezenove) amostras analisadas do Sistema Aquífero Serra Geral para resíduo seco total, o teor médio foi de 151,94 mg/l, variando entre 117 mg/l e 275 mg/l. As maiores frequências de resíduo seco total situaram-se no intervalo entre 117 e 147,15mg/l, correspondendo a 63,15% das amostras, a qual forma um pico comparativamente com os demais intervalos, mais homogêneos e bem menos freqüentes, em torno de 10,52%. Salienta-se que uma única amostra correspondente a 275 mg/l representou o último intervalo entre 267,80 e 297,95 mg/l exibido no gráfico da Figura (22).

No Sistema Aquífero Guarani, apenas uma amostra foi analisada para o resíduo seco total no poço (antigo) da empresa Sadia de Concórdia, revelando um teor de 330 mg/l, valor este bem superior à média encontrada nas águas subterrâneas do Aquífero Fraturado.

Na tabela (7) abaixo são apresentados alguns padrões para o consumo animal, de acordo com Bateman & Costa (1979), apud Feitosa, op.cit. Observa-se que as concentrações de resíduo seco presentes nas águas dos dois sistemas aquíferos encontram-se dentro dos padrões recomendados para consumo animal.

Tabela (7) – Classificação das águas para consumo animal. Fonte: Feitosa (op. cit.) apud Bateman & Costa (1979).

Resíduo Seco (mg/L)	Consumo Animal
5.000 – 6.250	Cavalos bebem bem
6.250 – 7.800	Suportável por cavalos
7.800 – 9.375	Suportável pelo gado
9.375 – 15.605	Suportável por ovelhas
≥ 15.605	Nenhum herbívoro bebe

5.5.2.5. Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Diferentemente do resíduo seco a 105° C, que se refere especificamente aos sais resultantes de evaporação de um litro d' água, os sólidos totais dissolvidos representam o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume.

Inclui a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil. Os sólidos totais dissolvidos quando determinados apresentam concentrações superiores ao resíduo seco devido à presença do HCO_3^- (bicarbonato), que a altas temperaturas ($> 100^\circ \text{C}$) se decompõe em parte como CO_3^{2-} e em parte como CO_2 , que se volatiliza e evapora da amostra (Feitosa et al., 2000).

As águas dos oceanos apresentam concentrações de STD em torno de 35.000 mg/l.

As águas subterrâneas do Aqüífero Fraturado Serra Geral apresentaram em média uma concentração de 163,85 mg/l para STD, que variou entre um teor mínimo de 73 mg/l e o máximo de 614 mg/l.

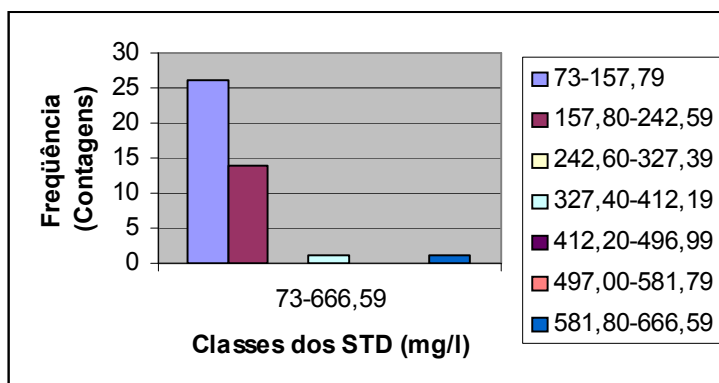


Figura (23) – Distribuição do STD nas águas do Aquífero Serra Geral, na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

Destacam-se no gráfico da figura (23) dois intervalos de frequências onde estão representadas as concentrações mais freqüentes para o STD, ou seja, entre 73 e 242,59 mg/l. O intervalo entre 73-157,79 mg/l representa 61,90 % das 42 amostras analisadas, enquanto que o segundo, entre 157,80-22,59 mg/l, somente 33,33 %. Os dois intervalos restantes da amostragem são insignificantes e representam apenas 2,38 % cada um, como mostra o gráfico de frequência (24).

Em três amostragens seqüenciais (mensais) as águas do Sistema Aquífero Guarani apresentaram uma média de 652,77 mg/l para STD, com variação de um teor mínimo de 361 mg/l e um máximo de 828 mg/l. Há de se registrar aqui os teores fortemente anômalos de 10.999 mg/l e 3.897 mg/l para STD, registrados em duas campanhas distintas nas águas do poço termal de Balneário Marcelino Ramos-RS, logo após a Cia Hidrotermal local ter contratado uma empresa de perfuração para ampliar o tamanho do tampão no interior do poço tubular para aumento de vazão. Certamente houve a transposição do tampão que separava a Formação Aquífera Botucatu de outras formações sotopostas pertencentes ao Grupo Passa Dois, havendo a mistura entre as águas dos respectivos aquíferos. O geólogo Carlos Augusto, consultor confirmou verbalmente o fato a este técnico durante uma visita deste ao Balneário de Marcelino Ramos-RS.

A Portaria MS nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000 determina como padrão de aceitação de consumo humano o VMP de 1.000 mg/l de Sólidos Totais Dissolvidos.

Classe	STD (mg/L)
Boa	≤ 2.500
Satisfatória	2.500 – 3.500
Pobre	3.500 – 4.500
Insatisfatória	≥ 4.500

Tabela (8) – Classificação das águas para consumo animal. Fonte: Feitosa (op. cit.)

Pode-se observar que o teor médio encontrado nas águas subterrâneas do Aquífero Poroso Botucatu é elevado, embora ainda esteja dentro do VMP para consumo humano. Contudo, as águas deste aquífero no poço tubular de Balneário Marcelino Ramos não se enquadram dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria MS.

A Tabela (8) acima apresenta um padrão para STD (mg/L) para consumo animal elaborado por Logan (1965). Pode-se verificar que tanto as águas do Aquífero Fraturado Serra Geral quanto do Sistema Aquífero Guarani enquadram-se nos padrões recomendados para o consumo animal. Exceção para as águas do poço tubular de Balneário da Cia. Hidrotermal de Marcelino Ramos-RS, que é abastecido pelo Aquífero Guarani.

5.5.3. CONSTITUINTES IÔNICOS PRINCIPAIS

5.5.3.1. CÁTIONS

5.5.3.1.1. Cálcio

O cálcio não ocorre livre na natureza. Os sais deste elemento possuem moderada a elevada solubilidade, e comumente precipitam sob a forma de carbonato de cálcio (CaCO_3). O cálcio é um dos constituintes principais da água e o agente responsável pela dureza. Ocorre com maior frequência sob a forma de bicarbonato e raramente como carbonato (Feitosa et al., 2000).

De acordo com Fenzl (1986), nas rochas magmáticas o teor médio de cálcio é 36.200 mg/Kg, relacionado aos seguintes minerais portadores: plagioclásio, minerais do grupo dos anfibólios e piroxênios, granada, epidoto, zoisita, wollastonita (CaSiO_3), apatita $\{\text{Ca}_5(\text{FCl})(\text{PO}_4)_3\}$ e fluorita (CaF_2). Quando este elemento é liberado pelo intemperismo nas rochas ígneas, apresenta-se distribuído do seguinte modo: resistato (22.400 mg/Kg, rochas argilosas (22.500 mg/Kg) e carbonatos (272.000 mg/Kg). O elemento também tem a importância relacionada aos depósitos de: calcário, calcita, aragonita, dolomita (CaCO_3 , anhidrita (CaSO_4) e gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Nas águas encontra-se em quantidades superiores às do magnésio. Nas águas de chuvas as concentrações deste elemento podem variar entre 0,80 e 10 mg de Ca^{++}/l e tem origem nos sais cíclicos, nas poeiras terrestres e na poluição industrial levado pelos ventos a maiores altitudes atmosféricas. A água pura dissolve (a 20 °C) 14 mg de CaCO_3 ou 5,6 mg de Ca^{++}/l , aumentando assim o pH para aproximadamente 10,0 (Fenzl, 1986).

A composição mineralógica das rochas ígneas é bastante diversificada, entretanto os silicatos são dominantes. Logo, íons como Ca^{++} , Na^+ , Mg^{+2} e K^+ que

estão ligados fracamente à estrutura silicatada podem passar facilmente para a água.

Mineral	Íons	Mineral	Íons
Plagioclásio	Na ⁺ e Ca ⁺²	Microclínio	K ⁺
Hornblenda	Na ⁺ , Ca ⁺² e Mg ⁺²	Apatita	Cl ⁻ e Ca ⁺
Calcita	Ca ⁺	Alanita	Na ⁺ , Ca ⁺² e Mg ⁺²
Moscovita	K ⁺	Epídoto	Ca ⁺
Biotita	K ⁺ e Mg ⁺²	Titanita	Ca ⁺
Granada	Ca ⁺² e Mg ⁺²	Clorita	Mg ⁺²

Tabela (9): Principais minerais de rochas cristalinas e os íons por eles liberados. Fonte: Costa (1965), apud Feitosa et al. (2000).

A dissolução é influenciada pelo pH, pela temperatura e pelo grau de saturação de cada elemento. Geralmente, a dissolução é bem mais rápida em ambientes ácidos do que em ambientes alcalinos. Costa (1965) apud Feitosa listou os minerais que mais contribuem na salinização das águas subterrâneas de aquíferos fissurais e os íons por eles liberados, relacionando-os na Tabela (9) acima.

Os derrames basálticos e as efusivas ácidas da Formação Serra Geral têm na sua constituição mineralógica plagioclásios e minerais ferro-magnesianos predominantemente.

As águas do Aquífero Fissural Serra Geral apresentaram um teor médio para cálcio de 8,79 mg/l, que variou entre um mínimo de 0,81 mg/l e um máximo de 42,02 mg/l. A concentração de cálcio é predominante nos dois intervalos representados por 0,81-7,26 e 7,27-13,72 mg/l, os quais correspondem, respectivamente a 40,47 % e 45,23 %, que somados alcançam 85,70 % do total de 42 amostras analisadas. Um terceiro intervalo, menos expressivo, entre 13,73 e

20,18 corresponde a 11,90 % do total. O último intervalo entre 39,57 e 46,02 com apenas uma amostra analítica é inexpressivo, e corresponde a 2,38 %.

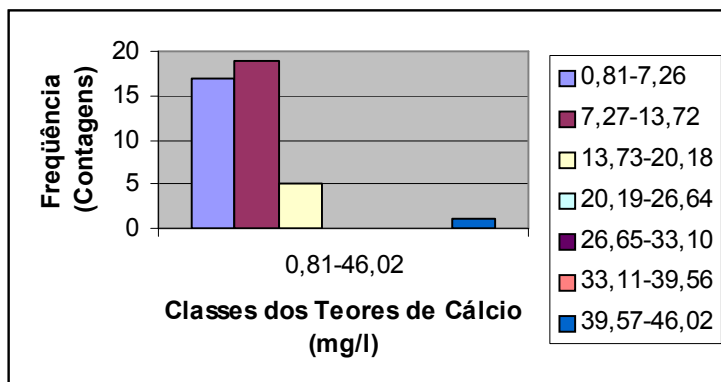


Figura (24): Frequência do cálcio nas águas do Aquífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

As águas do Sistema Aquífero Guarani apresentaram um teor médio de cálcio de 5,80 mg/l, variando entre um mínimo de 0,81 e um máximo de 41,21 mg/l. O teor médio do Aquífero Fraturado Serra Geral é um pouco mais elevado que o Guarani, contudo, os intervalos ou as variações nos teores de cálcio são semelhantes – Figura (24).

A Tabela (10) mostra os padrões exigidos para teores de cálcio na água destinada à indústria. Na água a ser utilizada pela indústria alimentícia o cálcio pode apresentar-se com até 500 mg/l.

Tabela (10) – Critério de qualidade da água para indústrias. Notas: 1 – Águas de Refrigeração, 2 – Ind. De Laticínios, 3 – Ind.de Conservas Alimentícias, 4- Ind. Açucareira, 5 – Cervejaria, 6 – Ind. De bebidas e Suco de Frutas, 7 – Curtume, 8 – Ind. Têxtil, 9 – Ind. De Papel. Fonte: Feitosa et al. (2000).

Parâmetro	Unid.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PH	-	-	-	7,5	-	6,5-7	-	8	-	-
Dureza	mg/L de CaCO ³	50	180	50- 80	30- 100	50- 75	25	50	50	100
Alcalinidade	mg/L de CaCO ³	-	-	80- 150	-	-	128	135	-	-
Cálcio	mg/L de Ca	-	-	500	20	200	-	-	10	-
Cloretos	mg/L de Cl	-	30	-	20	100	250	-	100	75
Ferro	mg/L/ de Fe	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,25	0,10
Manganês	mg/L de Mn		0,5	0,1	0,2	-	0,1	0,2	0,25	0,05
R. S.	mg/L	-	500	850	-	1000	850	-	-	200
Nitrato	mg/L de N	-	30	15	-	10	-	-	-	-
Amônia	mg/L NH ₃	-	traços	0.5	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	mg/L SO ₄	-	60	-	20	-	250	-	100	-
Fluoretos	mg/L de F	-	-	1,0	-	1,0	1,0	-	-	-
Magnésio	mg/L Mg	-	-	-	10	30	-	-	-	-

Na indústria da cerveja a qualidade da água requer 200 mg/l deste elemento. A indústria açucareira exige como padrão um teor de cálcio de 20 mg/l.

Não há menção nos padrões de potabilidade nacionais e internacionais para o cálcio.

Os padrões da água com finalidade industrial são complexos devido a diversidade de uso da água, pois dependem do tipo de indústria e dos processos de industrialização, acarretando em diferentes necessidades de qualidade de água para cada uso.

Técnicas modernas de tratamento de água permitem que águas de composição diferentes sejam utilizadas para qualquer uso industrial (Feitosa (op. cit.)). A adoção dessas técnicas em qualquer empreendimento industrial ou público, deve considerar os custos de tratamento da água, por serem via de regra, onerosos.

5.5.3.1.2. Ferro

Com uma média de abundância de 5 % por peso, o ferro é o quarto mais abundante elemento na crosta terrestre. Os principais minérios incluem magnetita (Fe_3O_4), siderita (FeCO_3), limonita ($\text{FeO}(\text{OH})$), e hematita (Fe_2O_3). O ferro é um elemento essencial, requerido por ambos, animais e plantas, essencial no transporte de oxigênio pelo sangue de todos os vertebrados e alguns invertebrados.

O ferro é quase sempre detectado em águas tratadas por processos de potabilidade, simplesmente devido a sua abundância na crosta terrestre. Plantas de tratamento de água, no Rio de Janeiro produziram água com um conteúdo de Fe de 0,04 mg/L e um conteúdo de Fe suspenso de 0,20 mg/L Azcue et al., (1988) apud (Moore (1990)).

Os resultados de análises (1999-2000) na área estudada revelaram concentrações de ferro em apenas 07 (16,66%) amostras de uma população constituída por 42 elementos. O Sistema Aquífero Serra Geral apresentou uma concentração média de ferro de 0,28 mg/L, entre os extremos; mínimo de 0,11 mg/L e máximo de 0,60mg/L.

Em uma outra análise laboratorial, representada por 20 amostras, na qual a amostragem foi realizada por este técnico em três campanhas consecutivas (abril, maio, julho) em 2000, os resultados encontrados para o ferro revelaram-se próximos desses, com um teor de ferro igual a 0,20 mg/L. Embora o ferro tenha sido encontrado em todas as amostras. O menor teor de ferro encontrado foi igual a 0,032 mg/L e o maior 0,75 mg/L.

Mesmo sendo o ferro um dos principais elementos das rochas magmáticas (42.200 mg/kg), estando presente nos piroxênios, anfibólios, biotitas, magnetita (Fe_3O_3), andradita ($\text{Ca}_3\text{Fe}_3\text{Si}_3$)₁₂ (Fenzl, 1986), nas águas da formação aquífera basáltica, em 35 análises realizadas nas águas da Formação Aquífera Serra Geral não foram detectadas teores de ferro.

O limite de detecção - LD para o ferro é 0,001 mg/L aplicando-se a metodologia de Espectrofotometria de Absorção Atômica utilizada pelo laboratório da Pró-Ambiente, Análises Químicas e Toxicológicas, de Porto Alegre-RS. O laboratório da Epagri não forneceu o LD para o ferro usado naquela análise química.

As concentrações de ferro também não foram freqüentes nas águas do Sistema Aquífero Guarani, sendo que apenas o poço termal situado no parque agroindustrial da empresa SADIA apresentou 0,15 mg/l do elemento.

A Portaria MS nº 1.469 de 29/12/2000 estabelece um teor de 0,30 mg/L para o ferro como padrão de aceitação de potabilidade. Pode-se concluir que a

água armazenada no Aqüífero Serra Geral se apresentou, de uma maneira geral, dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos por esta Portaria, pois somente 07 laudos analíticos detectaram concentrações maiores de ferro e desses, apenas 04 amostras de águas revelaram teores anômalos, em média, 0,4 mg/L de ferro.

5.5.3.1.3. Magnésio

O magnésio não existe de forma livre na natureza, somente combinada. Juntamente com o cálcio são responsáveis pela dureza, produzindo um gosto salobro nas águas.

Apesar da alta solubilidade do $MgCO_3$, o magnésio é um elemento raro em águas subterrâneas devido a sua escassez geoquímica (Fenzl, 1986). As precipitações atmosféricas apresentam teores entre 0,4 e 1,6 mg de Mg^{++}/l , provindo de sais cíclicos e poeiras terrestres (Schoeller, 1986 apud Fenzl).

As águas contidas no Sistema Aqüífero Serra Geral apresentaram um teor médio de magnésio de 7,91 mg/l, com variação entre os extremos: mínimo de 1,22 mg/l, e máximo de 25,28 mg/l, todos abaixo do padrão de potabilidade para águas.

As maiores concentrações do magnésio aparecem no intervalo de classes entre 5 e 8,80 mg/l, com 50 % do total, como é mostrado na figura (26).

O Sistema Aqüífero Guarani apresentou um teor médio de magnésio de 3,16 mg/l, não se considerando na presente estatística uma concentração anômala deste elemento de 154,38 mg/l, encontrada no poço tubular profundo do Balneário de Marcelino Ramos, no estado vizinho gaúcho (Figura 25).

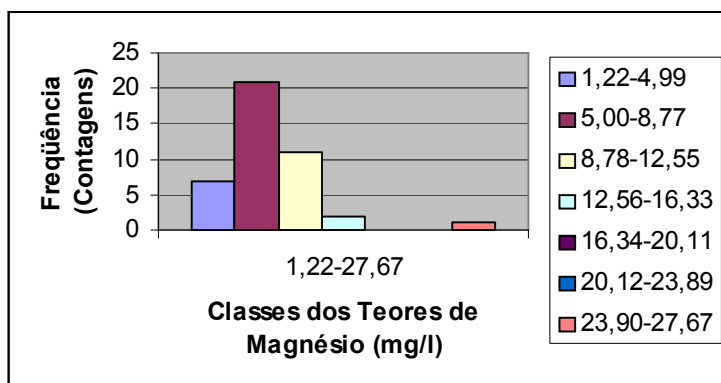


Figura (25): Distribuição dos teores de magnésio em intervalos de classes (42 amostras de água) para as águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

No organismo humano, o magnésio atua no sentido de converter o açúcar em energia, além de ser essencial para o funcionamento regular dos nervos e músculos. A deficiência do elemento causa nervosismo e tremores; sendo o excesso maléfico para a saúde humana, provocando distúrbios intestinais, já que atua como laxativo (Feitosa, 2000). Nas águas de irrigação reduz igualmente o “perigo de sódio”, além de se constituir como um componente essencial da clorofila. A origem do magnésio está relacionada principalmente com os piroxênios e dolomitas. Nas águas naturais apresenta-se geralmente como bicarbonatos (CETESB, 1977).

O Decreto Federal nº 79.637 de 09/03/77, Portaria 5, BSB-13/03/77 determina uma concentração de 50 mg/l de magnésio como padrão de potabilidade para águas. Já a Portaria 36 do Ministério da Saúde de 19/01/90 não faz menção à concentração do elemento no padrão de potabilidade.

5.5.3.1.4. Potássio

O potássio é encontrado geralmente em pequenas quantidades, isto porque

apesar dos compostos de potássio serem facilmente dissolvidos pelo intemperismo químico, do mesmo modo que ele entra em solução, a ação de outros processos tendem a remove-lo seletivamente fazendo-o retornar à fase sólida. Processos que incluem a troca de base, adsorção e a transformação da montmorilonita em illita, são particularmente importantes (CETESB, 1977).

Este elemento ocorre principalmente nos feldspatos, abundantes nas rochas constituídas por silicatos complexos (ortoclásios, microlínio - $KAlSi_3O_8$); nas micas (muscovita, biotita); na leucita (KSi_2O_6) e em menores quantidades na nefelina.

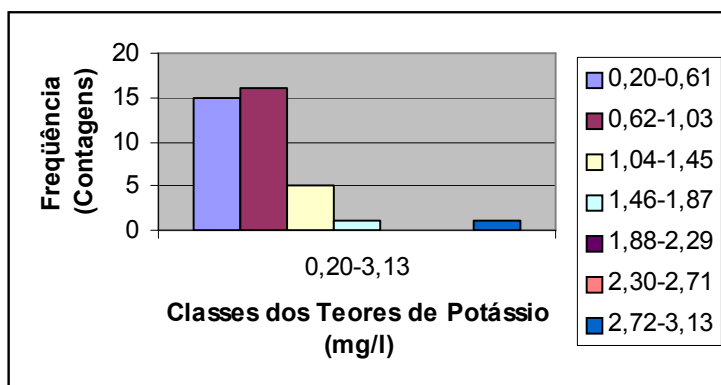


Figura (26): Frequência do potássio em intervalos de classes (38 amostras) nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

O potássio é constantemente liberado das rochas por intemperismo, como o sódio, mas é facilmente adsorvido pelas argilas, como a illita, ou pode participar da formação de minerais secundários, justificando assim as altas concentrações de K nas argilas (até 24.900 mg/kg) e nas águas marinhas (Fenzl, 1986).

Conforme pode ser visualizado no gráfico de frequência do potássio da figura (26), a Formação Serra Geral apresentou uma concentração média do

potássio de 0,60 mg/l, cuja variação para o valor mínimo foi de 0,2 mg/l e o máximo de 2,83 mg/l.

O Sistema Aquífero Guarani apresentou um teor médio de 0,55 mg/l, valor este bastante próximo daquele encontrado para águas do Aquífero Serra Geral. Uma concentração elevada de 11,31 mg/l foi encontrada no poço termal do Balneário de Marcelino Ramos- RS.

Feitosa et al. (2000) reportam que o potássio no organismo humano, além de regular os batimentos cardíacos, também controla os impulsos nervosos e as contrações musculares. A carência pode levar à fadiga, baixa de açúcar no sangue e insônia, enquanto o excesso pode resultar em câimbras, fadiga, paralisia muscular e diarreia. O elemento também tem importância para os organismos vegetais, sendo utilizado normalmente como fertilizante nos solos.

As várias organizações nacionais e internacionais responsáveis pela elaboração dos padrões de potabilidade não fazem nenhuma referência às concentrações admissíveis de potássio pelo organismo humano.

5.5.3.1.5. Sódio

Este elemento aparece com uma concentração de aproximadamente 28.100 mg/kg nas rochas ígneas, destacando-se também como o principal elemento nos seguintes minerais:

- a) feldspatos sódicos, ex. albita: $\text{Na}(\text{AlSi}_3)\text{O}_8$;
- b) feldspatóides:
 - nefelina ($\text{Na, K}(\text{AlSiO}_4)$);
 - sodalita ($\text{Na}_8\text{Al}_6)_{24}\text{Cl}_{12}$);
- c) e em quantidades inferiores, constituindo minerais como:
 - glaucofano ($\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2 - (\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH, F})_2$
 - zeólitas

O intemperismo atuante nos silicatos das rochas magmáticas e silicatos,

via de regra, libera sódio. O enriquecimento deste elemento nas águas naturais é uma consequência da alta solubilidade dos sais e da boa mobilidade desse elemento. Durante o intemperismo e nos processos de trocas iônica (Na^+ , por Ca^{++}), grandes quantidades de sódio podem ser liberadas nas águas subterrâneas (Fenzl, 1986).

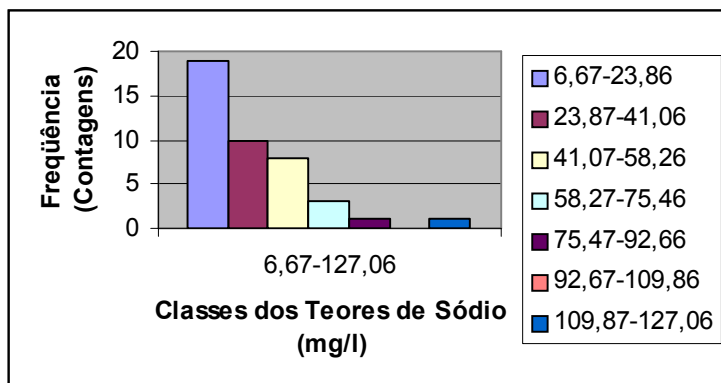


Figura (27): distribuição dos teores de sódio em intervalos de classes de 42 amostras de águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

As águas do Aquífero Fraturado Serra Geral na região de estudo possuem um teor médio de sódio de 32,40 mg/l, situando-se entre o valor mínimo de 6,67 mg/l e o máximo de 116,40 mg/l para uma população de 42 amostras de água. A figura (27) acima mostra um pico para os teores de sódio no intervalo compreendido entre 6,67 e 23,86 mg/l.

Embora a quantidade de amostras de água analisada do Sistema Aquífero Guarani seja significativamente menor que a do Sistema Aquífero Serra Geral, verificou-se que a concentração média de sódio encontrada no primeiro foi de 295,59 mg/l, em contraposição com 32,40 mg/l do segundo. As concentrações extremas de sódio encontradas para o Sistema Aquífero Guarani estão entre o mínimo de 173,72 mg/l e o máximo de 395,92 mg/l. Contudo, no poço termal de

Marcelino Ramos-RS, foi encontrado uma concentração de 5.365,12 mg/l de sódio, sendo que este valor anômalo não foi considerado nessa estatística.

Há correlações positivas entre a concentração de sódio na água e várias enfermidades, entre elas as que se manifestam como problemas cardíacos, hipertensão, enfermidades renais, cirrose hepática, toxemias no período de gravidez, enfermidade de Menier e outras. Em todas essas enfermidades, é essencial estabelecer uma dieta para o sódio. Em geral, quando a causa da enfermidade é a retenção de líquidos, deve-se, geralmente, restringir a ingestão de sódio a fim de se evitar esta retenção, em função de que os mecanismos que mantêm a concentração de sódio no fluido extracelular, não permitem a retenção de água quando falta sódio. Em todos esses casos, a dieta pode ser restrita (500 mg de sódio/dia), ou moderada (1.000 de sódio mg/dia). Considerando-se que quase todos alimentos contêm sódio, fica difícil proporcionar uma dieta adequada sem uma ingestão a partir dos alimentos de cerca de 440 mg de sódio por dia. As outras 60 mg se dividirão entre a água, os medicamentos e outras ingestões acidentais (Lafuente, 1981).

A Portaria MS n^o 1.469 de 29 de dezembro de 2000 estabelece como padrão de aceitação para consumo humano uma concentração de até 200 mg/L de sódio como água potável. Assim, há concentrações bem acima dos padrões normais desse elemento na água armazenada pelo Sistema Aquífero Guarani, devendo haver prudência no consumo humano. Com relação à água mantida pelo reservatório Serra Geral, há manutenção dos padrões de potabilidade estabelecidos por aquela Portaria do Ministério da Saúde.

Águas naturais apresentando elevados teores de Na⁺ geralmente possuem concentrações elevadas de fluoretos. É o caso do poço termal de Balneário, no município de Marcelino Ramos-RS, cujo conteúdo de sódio identificado foi de 2.165,44 mg/L, e a concentração de fluoreto encontrada, 1,86 mg/L, lembrando-se de que o Decreto Federal n^o 79.367 de 09/03/77 estabelece um VMP (Valor Máximo Permissível) entre 0,6 e 1,7 mg/L para o fluoreto.

Um fato constatado pelos turistas de predominância senil, entre outros, que procuram as estâncias hidrotermais para repouso ou tratamento de saúde, é que essas pessoas durante o período de visita ingerem diariamente elevadas doses de água *in natura* bombeada diretamente do Sistema Aqüífero Guarani, e que é distribuída através de rede hidráulica interna ao complexo da Cia Hidrotermal de Piratuba ou do município vizinho gaúcho de Marcelino Ramos. Segundo os relatos, as águas mineralizadas são utilizadas para tratamento de saúde, na regularização de problemas gastro-intestinais e na cura de males em geral, pelos que ali procuram as estâncias hidrotermais. Muitas delas, além da (s) dose (s) diárias ainda fazem estoques da água em vasilhames domésticos, a qual será consumida sob a forma de autotratamento quando do retorno a seus lares. A água acentuadamente mineralizada do Sistema Aqüífero Guarani pode acarretar alguns problemas ao incauto, como por exemplo, para quem já segue uma dieta de cloreto de sódio, a ação laxativa do magnésio, ou tóxica do fluoreto, distúrbios gástricos incompatíveis com nitratos e outros.

A Estância Hidrotermal de Piratuba possui uma junta médica de apoio aos visitantes, mas que geralmente se restringe aos exames médicos com cobrança de taxas para habilitação a banhos nas piscinas e/ou uso das banheiras de hidromassagem termal. O autor, nas várias vezes em que freqüentou o Balneário Hidrotermal, inclusive se submetendo a exames médicos, geralmente dermatológicos, em nenhuma oportunidade ouviu o desaconselhamento clínico quanto à ingestão sem critérios das águas hidrotermais.

Outra situação verificada ali decorre do fato de que em Piratuba existem somente dois poços tubulares profundos que bombeiam águas termais do Aqüífero Guarani - um pertencente à Cia. Hidrotermal Municipal e outro - ao Thermas Park Hotel de Piratuba; este último, oferecendo, igualmente aos seus hóspedes, piscinas e banheiras hidrotermais nas suas instalações internas.

Os outros hotéis locais que também possuem uma boa classificação no ramo de hotelaria, mas que não possuem poço termal, sobretudo devido aos elevados custos de implantação do empreendimento e que no afã de atrair hóspedes acabam disponibilizando aos banhistas piscinas com aquecimento somente artificial, algumas com discretos avisos da procedência da temperatura da água. Assim, turistas menos atentos que ali buscam banhos medicamentosos de imersão a base de sais minerais em águas termais, certamente não encontrarão o que procuram ou planejaram. Alguns mais afoitos, querendo aproveitar o máximo de suas estadias nas estações de tratamento, ainda ingerem copos d' água "hidrotermal" tida como terapêutica ou rejuvenescedora nas saídas das torneiras.

Outros organismos vivos como as plantas também são afetados por altas concentrações de sódio dissolvido nas águas subterrâneas, pois fazem reduzir a permeabilidade do solo, aumentando o caráter nocivo quando as concentrações de Ca e Mg se mostram baixas (Feitosa, 2000).

5.5.3.2. ÂNIONS

5.5.3.2.1. Bicarbonato

O dióxido de carbono (CO_2) dissolvido na água com os diversos compostos que a constituem tem um importante papel no seu quimismo. Em água pura o dióxido de carbono se dissolve, permanecendo em dissolução uma parte sob a forma de gás e a outra parte reagindo com a água que dará origem ao ácido carbônico, o qual como ácido fraco se dissocia parcialmente formando os íons carbonato e bicarbonato, o que pode ser verificado em reações químicas (Lafuente, 1981).

Na água, o dióxido de carbono, o ácido carbônico, o bicarbonato e o carbonato se mantêm em equilíbrio por interdependência do pH. O ácido carbônico livre somente existe em concentração significativa na faixa de pH levemente ácido a neutro; o ácido carbônico fixo na forma de bicarbonato e carbonato existe na faixa de pH neutro a alcalino. Em relação à acidulação das águas, é importante que o lançamento de ácidos nas águas possa ser tamponado. Se uma água dispõe de uma capacidade suficiente de tamponamento, por exemplo, águas contendo carbonato de cálcio, os íons de hidrogênio lançados à água com as “chuvas ácidas” podem ser tamponados e o valor de pH será estabilizado. Em águas correntes oligotróficas de regiões rochosas, onde a decomposição atmosférica é reduzida, e os solos pobres em calcário, apresentam uma capacidade de tamponamento reduzida. Esta capacidade num lançamento contínuo de íons de hidrogênio tende a se esgotar rapidamente. Como resultado ter-se-á uma queda no valor de pH, o que pode conduzir a um considerável prejuízo para a biota (GTZ, 1995).

O íon bicarbonato (HCO_3) não se oxida nem se reduz em águas naturais, porém pode precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio (CaCO_3). Conforme Feitosa et. al. (2000) os teores podem variar entre 50 e 350 mg/l em águas doces, podendo chegar a 800 mg/l. Na água do mar apresenta teores da ordem de 100 mg/l.

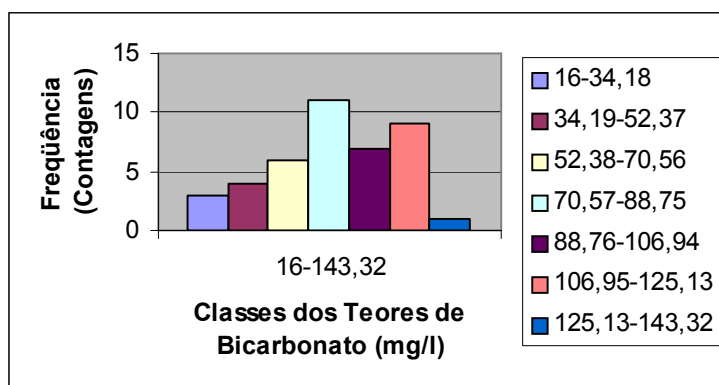


Figura (28): Distribuição dos teores de HCO_3^- nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

As águas da Formação Aqüífera Serra Geral apresentaram um teor médio de carbonato de 83,36 mg/l, o qual variou entre um valor mínimo de 16 e um máximo de 132 mg/l. O histograma dos teores de bicarbonato - Figura (28) mostra-se bem distribuído nos vários intervalos representados. O teor de bicarbonato mais representativo é verificado no intervalo 70,57-88,75 mg/l, correspondendo a 26,82 % do total.

As águas do Sistema Aqüífero Guarani apresentaram um teor médio de bicarbonato de 243,16 mg/l, portanto bem mais elevado do que aquele presente no Aqüífero Fraturado Serra Geral, variando entre 106 e 350 mg/l.

As Portarias em vigência atualmente no Brasil não determinam um padrão de potabilidade específico para o bicarbonato, contudo, águas com um teor de 150 mg/L de HCO_3^- já são enquadradas como moderadamente duras, portanto não adequadas para o consumo diário, por possuírem propriedades incrustantes. O USGS ou Serviço Geológico Americano classifica águas com teores entre 121 e 180 mg/l como duras.

5.5.3.2.2. Carbonato

A quantidade relativa de íons de carbonato está relacionada ao pH e ao conteúdo de gás carbônico (CO_2). Nas águas naturais de sabor doce, a quantidade de carbonato será muito baixa se comparada com o bicarbonato.

A concentração de carbonato presente nas águas subterrâneas da Formação Aqüífera Serra Geral da região da bacia do rio Uruguai, em geral mostrou-se pouco expressiva; sendo que de um total de 42 laudos analíticos, em 32 não foi detectada a presença deste ânion. A concentração em média

encontrada nos carbonatos foi de 44 mg/L, variando entre um mínimo de 2 mg/L e um máximo de 96 mg/L.

O Sistema Aquífero Guarani apresentou uma concentração média de 40 mg/L de carbonato, cuja variação ficou entre 16 mg/L e 52 mg/L.

Logan (1965) apud. Feitosa (2000) argumenta que o carbonato somente excede o bicarbonato quando o pH é igual ou superior a 10. Isto pode ser comprovado no gráfico (relação entre as espécies de CO_2 e o pH em águas naturais, no parágrafo referente a Características Físico-Químicas e Bacteriológicas das Águas Subterrâneas), quando a água apresentar um pH = 10,25, o bicarbonato possui concentração percentual igual a carbonatos e valores de pH acima deste patamar, tendenciam um aumento de carbonato com a redução dos bicarbonatos.

Resultados analíticos das águas de quatro poços tubulares (218, 73, 34, 139) conectados ao Aquífero Fraturado Serra Geral com pH igual a 10,02 ou próximo deste apresentaram uma concentração de 30 mg/L de CO_3^{-2} , contra teores nulos e/ou inferiores dos bicarbonatos (HCO_3^-). Águas subterrâneas com pH igual ou superior a 10 mostraram-se bastante raras nos resultados das análises.

Ernani et. al (1987) sugerem que águas do Sistema Aquífero Serra Geral com pH acima de 8 na realidade representariam uma mistura com águas de aquíferos subjacentes, principalmente o Aquífero Guarani.

Nenhuma referência a padrão de potabilidade nacional é estabelecida para o carbonato. Porém, de acordo com o "*Water Quality Criteria*" (1969), os valores de alcalinidade superiores à faixa de 400 a 500 mg/L são considerados altos para águas de abastecimento público. Nas águas naturais, valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L são considerados normais, permitindo sua utilização como manancial de abastecimento (Branco, 1977). Assim, as águas subterrâneas de

ambos Sistemas Aqüíferos mostraram-se dentro dos padrões de potabilidades estabelecidos para o carbonato.

Em águas utilizadas para irrigação o carbonato não é recomendável, pois a sua presença sob a forma de carbonato de sódio é altamente tóxica aos vegetais (Feitosa et al, 2000).

5.5.3.2.3. Cloreto

Quase todas as águas interiores contém cloreto. O cloreto geralmente é muito solúvel e bastante estável em solução, por isso, dificilmente precipita. Não oxida e muito menos se reduz em águas naturais (Feitosa et al, 2000).

Na natureza os cloretos aparecem como cloreto de sódio, cloreto de potássio e cloreto de cálcio. A água subterrânea pura contém de 10 a 30 mg/l de cloreto; já nas zonas litorâneas e proximidades com depósitos de sal, assim como em áreas de rejeitos de minas de potássio, a concentração tende a aumentar para centenas de miligramas de cloreto. Nas regiões alpinas e de rochas antigas, os teores se situam abaixo de 10 mg/l, normalmente, entre 3 e 5 mg/l de cloreto. Este ânion é facilmente hidrossolúvel.

A concentração média de cloreto encontrada nas águas do Sistema Aqüífero Serra Geral foi de 17,38 mg/l de cloreto, situando-se entre um valor mínimo de 5,67 mg/l e um máximo de 126,20 mg/l.

Predomina uma concentração do ânion no intervalo entre 5,67 e 24,56 mg/l, perfazendo 95 % do universo de 42 indivíduos, como mostra a figura (29) abaixo:

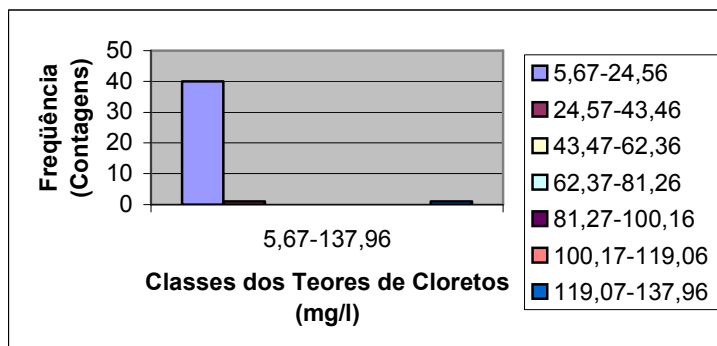


Figura (29): Frequência do cloreto em classes nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

A concentração média de cloreto nas águas do Sistema Aquífero Guarani é bem maior que a do Aquífero Serra Geral, encontrando-se 125,40 mg/l de cloreto, entre um mínimo de 57,43 mg/l e um máximo de 173,00 mg/l. Um valor extremo de 6.700,05 mg/l foi encontrado no poço de Balneário, no município de Marcelino Ramos-RS.

O padrão de aceitação do cloreto para consumo humano de acordo com a Portaria nº 1.460 de 29/12/2000 fica estabelecido em 250 mg/L de cloreto. Os dois Aquíferos na maioria das análises para determinação de cloreto mostraram-se dentro dos padrões de aceitação para consumo humano, conforme a Portaria acima. Contudo, as concentrações de cloreto dissolvido nas águas do poço tubular de Marcelino Ramos-RS, nas várias amostragens ali realizadas têm detectado teores de cloreto bem acima dos padrões determinados, sendo, portanto, inaptas ao consumo humano.

5.5.3.2.4. Sulfato

Os sulfatos (SO_4^{-2}) estão presentes geralmente na forma de sulfato de cálcio, magnésio e de sódio. O sulfato que ocorre nas águas subterrâneas é quase sempre de origem hidrogeogeoquímica. Assim, arenitos podem conter até 300

mg/kg de enxofre, rochas calcárias até 1.100 mg/kg e argilitos até 2.600 mg/kg de enxofre. Através da água infiltrada ou da água corrente subterrânea o enxofre geralmente é lixiviado na forma de sulfato (GTZ, 1994).

O ânion sulfato, presente em todas as águas naturais, deriva-se principalmente da oxidação dos sulfetos que ocorrem nas rochas e pela lixiviação dos compostos sulfatados (gipsita e anhidrita) abundante em muitas regiões sedimentares, onde chegam a formar grandes depósitos (CETESB, 1977).

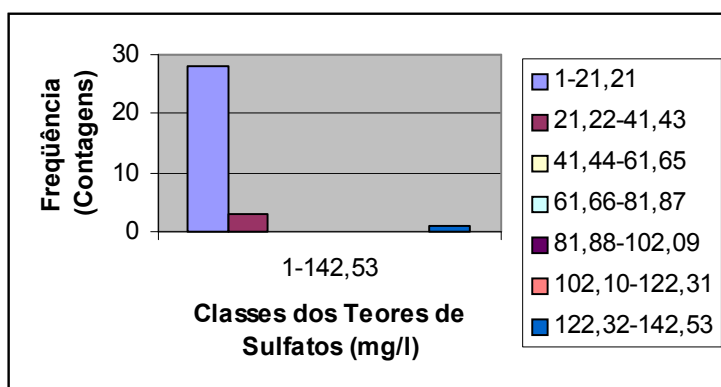


Figura (30): Frequência dos sulfatos em classes nas águas do SASG¹⁰ na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

As águas subterrâneas da Formação Serra Geral apresentaram uma concentração média de sulfatos de 11,09 mg/l, entre um valor mínimo de 1 mg/l e um máximo de 130 mg/l, nos 42 resultados de análises, sendo que dessas, apenas em 32 detectaram-se concentrações do ânion, podendo ser observado na figura (30).

As maiores concentrações de sulfatos foram registradas no intervalo de classe entre 1 e 21, 21 mg/l, correspondente a 87,50 % do total. Concentrações entre 21 e 41 mg/l de sulfato perfazem apenas 9,37 %; enquanto que valores

¹⁰ Sistema Aquífero Serra Geral

superiores, entre 122 e 142 mg/l são mais raros (3,12 %) ou então nulos, como pode ser visualizado na figura (31) acima.

As águas do reservatório Guarani apresentaram em média concentração da ordem de 90 mg/l de sulfato, situando-se entre um valor mínimo de 10 mg/l e um máximo de 360 mg/l. A Formação Aqüífera Guarani comparativamente apresenta concentrações de sulfatos bem maiores que os do Aqüífero Serra Geral.

As elevadas concentrações de sulfatos encontradas nas águas do Sistema Aqüífero Guarani são oriundas de formações subjacentes à Formação Botucatu, como a Formação Terezina e a Formação Irati, ambas possuindo águas mineralizadas, salobras e com altos teores de enxofre (MINEPAR, 1995 op. cit. PETROBRÁS, 1960).

A Portaria nº 1.469 de 29 de dezembro de 2000 determina como padrão de aceitação para consumo humano: 250 mg/L de sulfato. As águas subterrâneas de ambos Aqüíferos encontram-se dentro dos padrões de potabilidade determinado para o sulfato; somente o poço termal de Marcelino Ramos-RS apresentou numa das análises 360 mg/l de sulfato.

Teores maiores de sulfato nas águas para consumo do que as concentrações preceituadas pela Portaria nº 1.469 de 29/12/ 2000 podem acarretar danos ao organismo humano. A absorção via oral de 50 mg de sulfato de magnésio (sal amargo) pode agir de forma letal num organismo vivo.

5.5.3.2.5 Sulfeto

O enxofre tem um enorme significado ambiental por causa dos complexos que forma com muitos agentes tóxicos, materiais orgânicos, e hidrogênio em águas superficiais, e é o agente primário na acidificação de muitos lagos e rios. A

concentração de enxofre em muitas águas superficiais tem aumentado consideravelmente desde os tempos histórico e recente, como resultado das emissões de SO_2 e de águas residuárias de minas (Moore, 1990).

O ácido sulfídrico (H_2S) em condições normais é um gás incolor muito tóxico que mesmo em concentrações-traço apresenta um cheiro forte de ovos podres.

É suficiente apenas um teor de 0,5 mg/l de H_2S na água fria para que o odor seja percebido. O gás sulfídrico em contato com a água forma um ácido fraco, tornando-a corrosiva (Feitosa et. al, 2000).

De acordo com o autor, o H_2S é pouco solúvel em água e comporta-se em solução aquosa como um ácido muito fraco. Por dissociação de um próton é formado íon do sulfeto de hidrogênio (SH^-); em solução alcalina dissocia um segundo próton, resultando o sulfeto (S^{2-}). Os sulfetos ácidos e os álcali-sulfetos (sulfeto de sódio e de potássio) dissolvem-se facilmente na água. Os sulfetos de metais pesados (em função do pH) são de difícil dissolução. Os sulfetos dos metais alcalinos e alcalino-terrosos são incolores, os sulfetos restantes normalmente são pretos (sulfetos de chumbo, de cobre, de ferro), amarelos (sulfeto de cádmio, de arsênio), cor de carne (sulfeto de manganês) ou vermelho (sulfeto de mercúrio).

Ainda conforme Feitosa et al (2000), com muita a frequência o ácido sulfídrico ocorre na natureza em quantidades ínfimas. O H_2S é formado em condições aneróbicas através da redução de sulfato e através da decomposição de aminoácidos, por exemplo, em pântanos, águas em estagnação e estações de tratamento de efluentes. Em petróleo, gás de petróleo e gases naturais, o H_2S ocorre em quantidades maiores.

Os sulfetos são combinações de enxofre com metais, não metais, complexos e radicais orgânicos ou eles são os sais e ésteres do ácido sulfídrico

(H₂S), respectivamente. Muitos metais existem na forma de minérios sulfetados. A maioria dos sulfetos metálicos de uso comercial são de origem vulcânica. Sulfetos metálicos tem um papel importante na química analítica para a comprovação dos metais (GTZ, 1999).

As águas da Formação Aqüífera Serra geral apresentaram concentrações muito pequenas ou traço de sulfetos. Em apenas 21,42 % do total (42) das amostras analisadas detectou-se a presença de sulfeto. A concentração média encontrada foi de 0,028 mg/l de sulfeto, situando-se entre um mínimo de 0,007 mg/l e um máximo de 0,015 mg/l.

Os sulfetos foram identificados em 36,36 % das análises efetuadas em águas do Sistema Aqüífero Guarani. A concentração média encontrada foi de 0,0085 mg/l de sulfeto, com um mínimo de 0,006 mg/l e um máximo de 0,014 mg/l.

Os sulfetos, incluindo o sulfeto de hidrogênio, não são normalmente detectados no processo final de águas tratadas para abastecimento. Isto reflete a rápida oxidação desses compostos sob condições anaeróbias. A maioria dos sulfetos pode ser rapidamente removida das águas potáveis através de aeração, precipitação dos metais, ou oxidação química. O cloro, o permanganato de potássio, o ozônio e o **ferrate** tem sido utilizados efetivamente como oxidantes químicos (Moore, 1990).

A Portaria nº 1.469 de 29 de dezembro de 2000 e a legislação no Canadá determinam um padrão para o consumo humano para o sulfeto de hidrogênio de 0,05 mg/L de sulfeto de hidrogênio. A Portaria 36 do Ministério da Saúde de 09/01/90 estabelece como padrão de potabilidade de 0,025 a 0,25 mg/L de sulfeto de hidrogênio.

A Organização Mundial da Saúde também tem proposto como diretriz de potabilidade o equivalente a aproximadamente 0,05 mg/L (como sulfeto de

hidrogênio). Esta diretriz está baseada nas características organolépticas da água como o gosto ruim produzido na água pelos sulfetos e não em critérios de saúde.

Pela Portaria 36 haveria restrições para o consumo de água para alguns dos poços abastecidos de água pelo Sistema Aquífero Serra Geral; a própria concentração média encontrada, 0,028 mg/l de sulfeto caracterizaria uma anomalia no padrão exigido. Para as águas provenientes do Sistema Aquífero Guarani não haveria problemas para o consumo humano, permanecendo as concentrações de sulfeto dentro dos padrões de potabilidade.

5.5.4. CONSTITUINTES IÔNICOS SECUNDÁRIOS

5.5.4.1. Cádmio

O cádmio é caracterizado como um metal de cor branca-prateada, brilhante, bastante macio e facilmente moldável. As suas combinações são estritamente bivalentes.

Este metal está presente na crosta terrestre com cerca de $5 \times 10^{-5} \%$, com isto, é considerado relativamente raro (DVWK, 1993).

O cádmio ocorre associado a alguns minerais como a greenockita (Cds), um sulfeto de cádmio, a hawleyta, é uma das formas cristalinas de sulfeto de cádmio, a esfalerita (ZnS), um sulfeto de zinco e a otavita, uma forma mineralizada de carbonato de cálcio. Na sua maioria os minerais contendo cádmio podem ser considerados raros.

Fetter (1982) relata que no final dos anos 60 foi diagnosticada uma doença estritamente relacionada à contaminação ambiental caracterizada por dor extrema nos ossos (osteomalacial) e múltipla fraturas dos mesmos; identificada em várias

localidades do Japão. As vítimas apresentavam níveis muito elevados de cádmio nos tecidos do corpo e ossos. Em outras ocorrências o cádmio registrou concentrações muito altas no solo e na água para consumo humano. As fontes de cádmio no Japão incluíam rejeitos e metais fundidos.

O Manual alemão *DVWK* (1993) reporta que não se têm conhecimento de nenhuma necessidade fisiológica para o cádmio, e ele é tóxico em quase todos os sistemas do organismo. A incorporação de cádmio no organismo humano varia individualmente. Fumantes, por exemplo, absorvem muito cádmio.

O cádmio apresenta uma meia-vida longa biológica (20- 30 anos). Ele é armazenado nos rins. Sintoma típico de um envenenamento crônico, portanto, é uma lesão nos rins. Em paralelo ocorre uma mudança de equilíbrio dos minerais ósseos, que, no caso extremo, pode levar a deformações dos ossos. Envenenamentos por via oral manifestam-se após 30 –120 minutos por dores estomacais e intestinais. Uma dose de 30 mg de cádmio têm efeito letal.

Na Alemanha é proibida a aplicação deste metal e de seus sais na indústria cosmética e para a proteção das plantas (*DVWK*, 1993).

Hutton e Symon (1986) apud Moore (1991) observaram que aproximadamente 43 toneladas métricas de cádmio por ano entram nas costas marinhas do Reino Unido. Dessas, 33,3 toneladas métricas vêm de águas residuárias e resíduos de lodos; 5,7 toneladas métricas da produção e uso fertilizantes fosfatados; 2,6 toneladas métricas da produção de metais não ferrosos; e 1,7 toneladas métricas da produção de ferro e aço.

Nriagu (1990) relata ainda que em torno de 15 % da deposição atmosférica vêm de fontes naturais, tais como vulcões, partículas de solo e partículas de origem biológica.

Solos não contaminados contém < 0,5 mg/kg MS de cádmio. Com os fosfatos de adubo, o cádmio chega aos solos cultivados (DVWK, 2993). Muitas nações, mais a OMS usam como padrão máximo 0,005 mg Cd/L para a água de consumo.

Em três campanhas de amostragem consecutivas realizadas para a detecção de cádmio, dentre outros constituintes em poços localizados nos Aqüíferos Serra Geral e Guarani, na região do rio Uruguai no período de abril, maio e julho de 2000, foram tiradas algumas conclusões, as quais passamos a transcrever abaixo.

O cádmio não foi detectável em 74,07 % de um total de 54 amostras coletadas em campo e posteriormente analisadas em laboratório. A concentração média de cádmio obtida nesta amostragem foi de 0,001143 mg/L.

Pela Portaria MS nº 1.469 de 29 de dezembro de 2000, a concentração média de cádmio de 0,001143 mg/L está abaixo do padrão de potabilidade que corresponde a 0,005 mg/L de cádmio. Observa-se que o padrão de potabilidade determinado para o cádmio é o mesmo da OMS como foi indicado previamente.

5.5.4.2. Chumbo

O chumbo (Pb) é um metal pesado macio e muito maleável. É o 36^o elemento mais abundante da crosta terrestre, com uma variação de concentração de 15 mg/kg. Embora seja encontrado em mais de 200 minerais, o chumbo está concentrado na galena (PbS), anglesita (Pbso₄) e cerussita (PbCO₃).

Segundo Horn et al. (1966) apud Fenzl (1988) a distribuição geoquímica do chumbo na crosta terrestre é:

- rochas magmáticas - 15.6 mg/kg;
- resistatos – 13.5 mg/kg;

- hidrolisados – 80 mg/kg;
- precipitados – 16.5 mg/kg;
- evaporitos - 0.9 mg/kg;
- água do mar $3 \cdot 10^{-5}$ mg/kg.

Minérios de chumbo são geralmente constituídos por variações química-mineralógicas composicionais de prata e zinco, além de cobre, enxofre, arsênio, antimônio e bismuto. Solos não contaminados por chumbo na Alemanha contêm de 2 a 60 mg/kg.

Devido à pequena mobilidade geoquímica do chumbo, as concentrações nas águas naturais são baixas. Nas águas subterrâneas sua concentração média é de aproximadamente 20 µg/L. Grande parte do chumbo que participa atualmente no ciclo hidroquímico e bioquímico provém da poluição antrópica (gases de descarga de automóveis, gases industriais, depósitos de indústrias metalúrgicas, etc.). (Matthess, 1973 apud Fenzel, 1988)

Hutton and Symon (1986) apud Moore (1991) relatam que uma quantidade equivalente a 2.400 t de chumbo dá entrada anualmente nas águas marinhas bordejando as costas do Reino Unido. Deste total, 878 t origina-se nos rios, 789 t de material dragado, 300 t de águas residuárias e lodo de esgotos, 245 t de despejos industriais. A disposição de chumbo na parte do Mar do Norte conhecida como *Netherlands* dá-se por deposição atmosférica e transporte fluvial [Tabela (18)].

Sedimentos do rio Danúbio, analisados em 1985 apresentavam concentrações de chumbo entre 147 e 216 mg/kg. Análises de diferentes sedimentos de represas (Henne, Fürwigge, Möhne, Lister e Bigge) forneceram concentrações médias de chumbo de 120 até 200 mg/kg. Sedimentos do rio Elba continham entre 184 e 262 mg/kg (DVWK, 1993).

Mudroch et al. (1988) apud Moore (1991) revisando alguns estudos sobre chumbo nas bacias deposicionais da região dos Grandes Lagos, descobriu que a

superfície dos resíduos estavam 13 vezes acima dos níveis de *background*, como pode ser visto na Tabela (11).

Lago	Superfície	"Background"
Ontario	7.0-285	18-32
Erie	6.0-299	21-49
Hurón	3.0-151	14-36
Michigan	10-130	8-10
Superior	75-138	21-68

Tabela (11) – Concentração (mg/kg peso seco) do total de chumbo contido nos sedimentos das bacias deposicionais da região dos Grandes Lagos. Fonte: Mudroch et al. (1988) apud Moore (1991).

Um levantamento hidroquímico para a determinação da concentração de chumbo nas águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral foi realizado nos meses abril, maio e julho de 2002. Das 54 amostras de águas analisadas para concentração de chumbo, apenas 33,33 % apresentaram teores detectáveis do metal. A concentração média encontrada para o chumbo correspondeu a 0,0004889 mg/L, a qual variou entre um mínimo de 0,001 e um máximo de 0,018 mg/L de Pb. A concentração média encontrada para o chumbo representa um valor bastante baixo.

Os teores mais elevados de 0,018 mg/L de Pb encontrados nas águas do poço identificado no mapa como P-143, da localidade de Pinheiro Preto e alguns outros que responderam positivamente à detecção do chumbo nas águas pode ser um indicativo de desequilíbrio na composição do solo provocados pelo excesso de nutrientes, em particular do chumbo, provenientes dos dejetos de suínos aplicados por longo períodos ao solo, e que também se infiltra nas águas subterrâneas. O poço perfurado no Aquífero Fraturado Serra Geral está situado num plano inferior de uma encosta íngreme e cercado completamente, inclusive sem cerca de proteção, por cultivo de milho que se renovam anualmente, conforme

testemunhado por este técnico. Todos os solos das localidades de Pinheiro Preto, de Engenho Velho, entre outras, nas quais se detectou chumbo nas águas subterrâneas são regiões típicas de suinocultura de confinamento, bem como de cultivos de milho, pertencentes ao município de Concórdia, e que utilizam intensamente os dejetos de suínos como fertilizantes de solos.

Chamamos a atenção notadamente para o poço P-66, assinalado no mapa, que abastece a comunidade de Passo do Uvá, no município de Itá, sendo perfurado no Aqüífero Serra Geral, o qual se situa na parte plana do terreno, próximo da estrada de acesso à comunidade e que mais acima subindo no aclave abrupto, a menos de 30 m de distância, têm nada menos que uma granja de suínos, com um *chiqueirão* bastante grande e plantação de milho (adubado com carga orgânica) por toda a encosta de alta declividade.

O quadro nos parece bem lógico com a possibilidade de que tenha havido a contaminação das águas subterrâneas com os dejetos suínos, que com excesso de nutrientes, entre esses os metais pesados, como o chumbo que se infiltraram e através do fluxo migratório provocado pelo gradiente hidráulico, como acentuamos acima, estejam carreando e percolando contaminantes pelo sistema de fraturas da Formação Serra Geral, às águas daquele poço. A queda das águas subterrâneas percolando através das fraturas nesse poço pode ser ouvido na boca do poço. Um outro poço tubular profundo de propriedade da CASAN, P-65 no mapa, está situado cerca de 100 m dali, às margens do rio Engano.

Não há presença de jazimentos contendo mineralizações de Pb, sendo que as efusivas não possuem essas mineralizações associadas.

A comunidade Passo do Uvá, situada em um dos locais de topografia mais baixa da cidade nova de Itá construída no topo dos morros (derrames basálticos) adjacentes, contrastando forte desnível topográfico, é caracteristicamente rural e com inúmeras granjas de integração da Sadia, com sistema de confinamento

animal: na maioria suínos e frangos. A pecuária com gado e a agricultura são também atividades bem desenvolvidas no Passo do Uvá.

A amostragem das águas do Aqüífero Guarani para análise das concentrações de chumbo foi feita em apenas um poço termomineral, identificado como P-233 no mapa, localizado no pátio do complexo agroindustrial da Sadia em Concórdia. O Pb não foi detectado nesta amostra.

A maioria das nações, bem como a OMS, geralmente, usam como guia padrão 0,05 mg/L de Pb para a proteção das águas de consumo humano. Contudo, recentes estudos têm indicado que a tolerância semanal de 3 mg é igualmente muito alta, e que este padrão deveria ser reduzido para 0,02 mg/L (Moore op. cit., 1991).

A Portaria MS nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, estabelece uma concentração de 0,01 mg/L de chumbo como Valor Máximo Permitido para águas de consumo. A Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986 era mais tolerante permitindo que os corpos d' água receptores nas Classes 1 e 2 apresentem como padrão de qualidade uma concentração de até 0,03 mg/L de chumbo, enquanto que na Classe 3 uma concentração de até 0,05 mg/L. O padrão de lançamento para o chumbo em corpos d' água é de 0,5 mg/L. É importante salientar que os corpos d' água enquadrados nas Classes 1, 2 e 3 destinam-se ao abastecimento doméstico.

Somente em três amostras do Aqüífero Serra Geral foram detectadas concentrações de Pb pouco acima do VMP determinado pela Portaria MS de nº 1.469. A amostragem realizada nas águas do Sistema Aqüífero Guarani apresentou um resultado negativo ou ND para a concentração de chumbo. Assim, pode-se concluir que ambas águas dos respectivos se encontram dentro dos padrões de potabilidade nacionais e internacionais estabelecidos para o chumbo.

5.5.4.3. Cobre

Este metal comum ocorre na natureza como ambos, o metal nativo e os vários minerais de cobre e sais. Ele é um elemento traço essencial para o crescimento das plantas e é também requerido em quantidades traço em animais vertebrados e invertebrados (Fetter, 1982).

A distribuição geoquímica do cobre é de acordo com Horn & Adams et al. (1966) apud Fenzl (1986):

- rochas magmáticas – 97,4 mg/kg;
- resistatos – 15,4 mg/kg;
- hidrolisados – 44,7 mg/kg;
- precipitados – 4,44 mg/kg;
- evaporitos – 2,0 mg/kg;
- água do mar – $9 \cdot 10^{-4}$ mg/kg.

O cobre ocorre associado nos sulfetos, óxidos e hidróxidos de carbonatos. Os solos contêm em média de 2 a 100 mg de cobre por kg de matéria seca. Em áreas agrícolas de cultivo de lúpulo e vinho, o teor de cobre no solo é consideravelmente maior (até 580 mg/kg), por causa do uso, durante anos, de agentes de proteção de plantas, contendo Cu (DVWK, 1993).

Matthess (1973) apud Fenzl (1986) consideram a solubilidade do cobre baixa, citando como exemplo, a solubilidade dos óxidos de cobre que é de 64 $\mu\text{g/L}$ em águas oxigenadas com pH igual a 7. Aumentando-se o pH até 9, a solubilidade diminui para 6,4 $\mu\text{g/L}$. Em um ambiente redutor, a solubilidade é mais baixa ainda.

O cobre é um elemento traço tanto nas águas subterrâneas, como o metabolismo animal e vegetal com concentrações em torno de 1 $\mu\text{g/L}$. Concentrações maiores somente ocorrem em caso de contatos diretos entre a água e minerais ou jazimentos de cobre, como no caso de uma mina de cobre nos

USA, onde foram encontradas águas com até 312 mg de Cu⁺/L (Hem, 1970) apud Fenzl (1986).

Estima-se que um total de descarga antrópica de cobre para as águas superficiais variem de 35 x 10³ para 90 x 10³ toneladas métricas por ano. As fontes primárias incluem as águas residuárias domésticas de ambos, fontes centralizadas ou não, processos de manufaturados envolvendo metais, produção de energia elétrica, e o despejo de lodo de esgotos. Deposição atmosférica na qual aproximadamente 56 % vêm de emissões antrópicas (Nriagu, 1989 apud Moore, 1991) é uma outra fonte importante para a água. Abuzkhar et al. (1987) apud Moore (1991) reportaram que a concentração média de cobre no lodo de esgotos de Trípoli (Líbia) foi de 172 mg/kg de peso seco, com uma variação de 112-360 mg/kg.

Sung et al. (1986) apud Moore (1991) relatam que trabalhando com os resíduos de 25 estações de tratamento no estado de Washington, descobriram resíduos de cobre com até 294 mg/L de peso úmido de um lodo primário.

É importante de que se notifique neste trabalho, o qual aborda as usinas hidrelétricas e os reservatórios, os teores de cobre encontrados em sedimentos de represas, como as da Alemanha (*Henne, Fürwigge, Möhne, Lister e Bigge*), nos quais se identificaram concentrações médias de cobre de 38 a 120 mg/kg. Sedimentos do rio Elba (*Schnackenburg*) continham de 286 a 385 mg/kg (DVWK, 1993).

Três campanhas consecutivas foram executadas para a identificação das concentrações de cobre nas águas do Aquífero Fraturado Serra Geral, nos meses de abril, maio e julho de 2000. A concentração média do cobre encontrada naquelas águas foi de 0,01125 mg/L, (o limite de detecção pelo método Espectrofotometria de Absorção Atômica que é de 0,001 mg/L).

A concentração de cobre mínima encontrada foi de 0,001 mg/L, equivalente ao limite de detecção laboratorial, enquanto que a máxima correspondeu a 0,038 mg/L.

A Portaria MS nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000 determina um Valor Máximo Permitido para o cobre de 2 mg/L, e é mais tolerante que o padrão recomendado pela OMS correspondente a 1 mg/L

A Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986 estabelece como padrão de qualidade para os corpos d' água nas Classes 1 e 2 uma concentração de cobre de 0,02 mg/L, enquanto que para a Classe 3, uma concentração de cobre de 0,5 mg/L Como padrão para lançamentos em corpos d' água somente são permitidas cargas com até 1 mg/L de cobre. A três Classes estão enquadradas para usos de abastecimento doméstico.

As águas do Sistema Aquífero Guarani foram amostradas e analisadas em apenas uma oportunidade e o teor de cobre encontrado foi de 0,005 mg/L.

Podemos concluir que ambas águas dos Sistemas Aquíferos se encontram dentro dos padrões de potabilidade para concentrações de cobre.

5.5.4.4. Fluoreto

O flúor se encontra naturalmente nas águas superficiais e subterrâneas, existindo na forma de íon fluoreto. O flúor, segundo Horn et al. (1966) apud Fenzl (1986) se distribui na crosta terrestre da seguinte maneira:

- rochas magmáticas: 710 mg/kg;
- resistatos: 220 mg/kg;
- hidrolisados: 560 mg/kg;
- precipitados: 112 mg/kg;
- evaporitos: 24 mg/kg;
- água do mar: 1.3 mg/kg.

A predominância do flúor está nas rochas magmáticas, ocorrendo também em quantidades significativas hidrolisados, resistatos, e precipitados. As outras ocorrências geoquímicas são mais discretas, inclusive na água do mar.

Entre os minerais de flúor estão a fluorita (CaF_2) e a apatita, cuja composição química-mineralógica é representada por $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3$. Nos anfibólios e nas micas, o flúor pode substituir o grupo hidroxila.

As águas naturais apresentam fluoreto principalmente através da decomposição físico-química de minerais de flúor. Nos rios e nos lagos o fluoreto está presente em concentrações entre 0,05 e 0,5 mg/L. Nas águas do mar a concentração se torna maior entre 1,0 e 1,4 mg/L de fluoreto. Os teores de fluoreto nas águas subterrâneas estão entre 0,05 e 0,08 mg/L. Os sedimentos devido aos processos de intemperismo atuando sobre os minerais fluoretados tendem a fixar fluoreto correspondendo a 0,018 e 0,074 % da massa (DVWK, 1995).

Uma pessoa normalmente ingere de 2 a 5 mg por dia de fluoreto através da alimentação e da água. O fluoreto é armazenado nos ossos e nos dentes (Fetter, 1982).

A concentração média de fluoreto presente nas águas do Aquífero Fraturado Serra Geral foi de 0,40 mg/L, variando entre um teor mínimo de 0,02 e um máximo de 1,63 mg/L.

Como pode ser visualizado na Figura (31), nessas águas subterrâneas predomina uma concentração de fluoreto no intervalo entre 0,02 e 0,27 mg/L, que corresponde a 52,38 % de um total de 42 amostras analisadas composicional e estatisticamente. O segundo intervalo com teores de fluoreto entre 0,28 e 0,53 mg/L também apresenta um significado quantitativo, e correspondeu na presente estatística a 26,19 % do total.

Os outros intervalos seguintes com concentrações maiores são menos significativos numericamente. Destaca-se o último intervalo de classe, entre 1,58 e 1,83 mg/L pelo teor elevado de fluoreto, acima do padrão normativo, mas com uma pequena frequência.

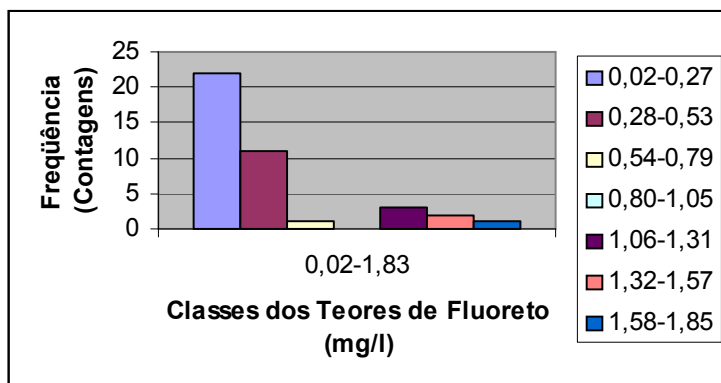


Figura (31): Frequência do fluoreto em classes nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's.

O teor médio do fluoreto encontrado para as águas do SAG foi de 1,39 mg/L, o qual variou entre 0,70 e 1,86 mg/L. Pela Portaria nº 1.469, de 29/12/2000 este teor médio está somente um pouco abaixo do VMP determinado que é de 1,50 mg/L. Embora, este valor represente a média de uma amostragem de somente 13 elementos, o mesmo deve ser considerado, pois resultados analíticos das águas de alguns desses poços mostraram teores de fluoreto acima do padrão de potabilidade estabelecido, entre os quais se pode citar: o poço termal de Marcelino Ramos-SC, com 1,86 mg/L de fluoreto; o poço do Thermas Park Hotel, com 1,72 mg/L de fluoretos; o poço da Estância Hidrotermal de Piratuba-SC, com 1,68 mg/L de fluoreto, etc.

As águas do Aquífero Serra Geral têm um teor médio de 0,40 mg/l de fluoreto, comparativamente bem abaixo das águas do SAG, e por conseguinte dentro dos padrões da Portaria referenciada. Contudo, há de se destacar alguns

valores elevados de fluoretos encontrados nas águas desse aquífero fissural, os quais devem analisados quanto a sua possível gênese.

A Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000 estabelece uma concentração de 1,5 mg/L de fluoreto como VMP para padrão de potabilidade. A Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986 é pouco mais tolerante nos padrões de qualidade exigíveis para os corpos d' água receptores nas Classes 1, 2 e 3, permitindo concentrações de fluoreto de 1,4 mg/L indistintamente por classe. O padrão de lançamento deverá ser de 10 mg/l de fluoreto no corpo receptor.

Com relação aos efeitos nocivos do fluoreto, o DVWK (1995) explica que a ação dos fluoretos sobre o homem depende da concentração. Em doses reduzidas este têm uma ação profilática contra cáries. A absorção elevada de doses de fluoretos por longos períodos pode levar à osteoesclerose. Num exemplo, cita o caso de operários que estiveram expostos por períodos prolongados ao fluoreto, e em conseqüência, verificou-se uma rigidez nas articulações e dores reumáticas como sintomas crônicos de uma intoxicação por fluoreto. A ingestão constante de mais de 2 mg/L de fluoreto pode levar ao desenvolvimento de uma fluorose a partir de água potável em crianças, que se caracteriza através de manchas no esmalte dentário.

Concentrações elevadas de fluoreto de sódio como de 5000 mg/L num período de ação de 35 horas agem de forma letal sobre as trutas. No rio Ruhr foram analisadas as concentrações de fluoreto nas águas superficiais e encontrou-se entre 0,050 e 0,247 mg/L, em 1988. No rio Reno havia uma concentração entre 0,140 e 0,420 mg/l, numa amostragem realizada em 1985 (DVWK, 1995).

5.5.4.5. Fenol

O padrão estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (WHO) para fenóis individuais, clorofenóis, e 2, 4, 6-triclorofenol não é maior do que 0,1 µg/L (0,1ppb), quando o gosto e o odor podem ser detectados nesse nível ou acima dele após o desprendimento ao ambiente. O odor de alguns clorofenóis é detectado com apenas 1 µg/L. Além disso, 2,4,6- triclorofenol encontrado nos biocidas e nas águas contendo fenol, é considerado um carcinogênico químico tomando por base estudos realizados em animais. O padrão de potabilidade para o pentaclorofenol, um conservante para madeira, é de 10 µg/L com base na sua toxicidade. Ele também tem sabor e cheiro desagradável.

Fenóis são um grupo de compostos orgânicos que são subprodutos do aço, do petróleo refinado, e das operações químicas. Eles devem ser previamente removidos antes de serem despejados nos mananciais hídricos. Os fenóis também estão associados com a deterioração de produtos a base de madeiras, biocidas, e despejos de esgotos municipais. A presença de fenóis na água pode causar sérios problemas na indústria de alimentação e de bebidas alcoólicas, e pode estragar peixes (O' Neill, 1985).

Os fenóis não são encontrados naturalmente nas águas, a sua presença deve-se sempre a alguma contaminação industrial ou mineira. A sua origem principal é da água residuária do gás de hulha, linhitos ou turfa, águas de coquerias, destilarias de alcatrão, fábricas de matérias plásticas, de determinados corantes, etc. Também têm a sua origem nos revestimentos e nas pinturas betuminosas de automóveis novos (Lafuente, 1981).

A sua presença nas águas subterrâneas pode estar associada a águas superficiais contendo lavado de gás ou de coquerias, que se infiltraram no solo.

As águas do Sistema Aquífero Serra Geral revelaram em 30,95 % das amostras analisadas um teor médio de fenol de 0,13 mg/L, o qual apresentou

variações entre um teor mínimo de 0,01 e um máximo de 0,42 mg/L. Teores de fenol não foram detectados em 69,05 % da amostragem.

O teor médio encontrado para o fenol pode ser considerado um valor elevado e expressivo, já que o padrão de qualidade de um corpo d' água receptor nas Classes 1 e 2 é de somente 0,001 mg/L, conforme determina a Resolução CONAMA nº 20, de 18/06/86, como veremos na discussão a seguir.

Pelo menos 5 dos poços contendo teores detectáveis de fenol acham-se distribuídos na bacia hidrográfica do rio do Peixe, na calha principal. Em dois poços pode-se constatar a proximidade com posto de gasolina e um outro com oficina e abastecimento de veículos pesados, como ônibus. Dois desses poços cujas águas apresentaram fenol estavam com as suas águas subterrâneas (Aqüífero Serra Geral) comprovadamente contaminadas por coliformes fecais e totais. Na bacia do rio do Peixe estão localizadas várias indústrias de papel e celulose, dentre outras poluentes, e que produzem resíduos de fenóis nos seus efluentes.

Em geral, as quantidades encontradas nas águas são muito pequenas, de tal modo que, não representam perigo de toxidez. Na presença de água clorada produz clorofenol que em pequenas quantidades, da ordem de 0,001 mg/L, produzem um gosto desagradável de medicamento.

Em quantidades da ordem de 1 mg/L a sua presença se revela tóxica aos peixes, e em concentrações menores sua toxidez atinge os organismos presentes nos cursos d' água (moluscos, algas, protozoários, bactérias), provocando com a ação uma redução no poder de autodepuração do rio, como consequência das modificações implementadas aos ecossistemas (Lafuente, 1981).

A Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000 menciona como padrão de potabilidade o 2, 4, 6-triclorofenol com um VMP de 0,2 mg/L. A Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986 estabelece o índice de fenóis para os

corpos d' água nas Classes 1 e 2 como sendo de 0,001 mg/L, enquanto que para Classe 3, eleva-se para 0,3 mg/L. O padrão para o lançamento no corpo receptor é de 0,5 mg/L.

Os padrões de potabilidade utilizados pela CETESB (1990) apud Feitosa (2000) para o Índice Fenol são os mesmos para as Classes 1 e 2 do corpo receptor, da Resolução CONAMA nº 20, porém, estabelece valores para corpos d' água na Classe 4, de 1 mg/L, na Classe 5 de 0,001 mg/L e na Classe 7 igualmente de 0,001 mg/L. Os corpos d' água receptores na Classe 4 têm como uso preponderante a navegação, a harmonia paisagística e outros usos menos exigentes.

As águas da Classe 5 são referidas a águas salinas e destinam-se à recreação de contato primário e à criação natural ou intensiva de espécies para fins de alimentação humana. Daí o padrão restritivo nos valores para o Índice Fenol igual ao das Classes 1 e 2.

As águas da Classe 7 referem-se às águas salobras, especificamente para a recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas e, finalmente à criação natural e/ou intensiva de espécies com a finalidade de alimentação humana.

O Decreto Nº 14.250, de 5 de junho de 1981 do Estado de Santa Catarina no Capítulo II, Seção I - Da Proteção das Águas, Subseções I, II e III – Dos Padrões de Qualidade de Água também segue os mesmos padrões de qualidade dos corpos d' água receptores para as Classes 1, 2 3 e 4, e de lançamento apresentado pela Legislação Estadual da CETESB, do estado de São Paulo.

Pelos resultados analíticos encontrados para o fenol nas águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral, considerando-se que em 69,05 % não foram detectados concentrações de fenol, pode-se concluir que as águas

enquadram-se nos padrões de potabilidade vigentes. Contudo, as águas de vários poços amostrados, praticamente 30,95 % do total, apresentaram concentrações de fenol acima do padrão Índice de Fenol estipulado pela CONAMA nº 20, de 18/06/1986 e por outras legislações, que é de 0,001 mg/L, estabelecido para corpos d' água de Classes 1 e 2 destinados ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado na primeira e convencional na segunda.

As águas do Sistema Aquífero Guarani na sua grande maioria apresentaram resultados não detectáveis para o Índice de Fenol. Apenas uma amostra das águas termominerais apresentou uma concentração de 0,005 mg/L de fenol, portanto, abaixo do padrão de qualidade para águas de consumo.

5.5.4.6. Gás Carbônico (CO₂)

O carbono têm pouca representatividade nas rochas ígneas (329 mg/kg), porém é um elemento geoquimicamente importante, devido a sua participação decisiva no ciclo biológico. Em rochas carbonáticas de gênese relacionada a depósitos orgânicos, o carbono é um dos elementos principais.

Nas águas naturais, o carbono é encontrado principalmente no gás carbônico, CO₂, e em seus derivados, cuja importância está na dissolução dos carbonatos.

O gás carbônico, de fórmula CO₂, é um gás que se encontra fundamentalmente na atmosfera (0,0033 % em volume) e nos mananciais de águas carbônicas. Outras vezes surge através de fendas no terreno acumulando-se no fundo de certas cavernas, já que sua densidade é maior que a do ar, produzindo-se uma atmosfera irrespirável por causa da ausência de oxigênio. O autor cita como exemplo, a Gruta do Cachorro, em Nápoles (Lafuente, 1981).

Kreyci-Graf et al. (1934) apud Fenzl (1986) identificaram as principais fontes de gás carbônico nas águas subterrâneas como sendo:

- águas meteóricas que contém CO_2 ;
- CO_2 sob a forma de gás contido na zona subsaturada;
- os processos de carbonização que liberam CO_2 ;
- a oxidação de substâncias orgânicas que libera gás carbônico;
- o ataque de carbonatos por ácidos orgânicos que liberam CO_2 ;
- exalações vulcânicas;
- zona de contato de duas águas de durezas diferentes, podendo haver a precipitação de CaCO_3 , devido a mudanças de pH e da temperatura resultando na liberação do gás carbônico.

A chuva normalmente contém dióxido de carbono dissolvido do ar ou do solo. Em combinação com água há formação de ácido carbônico, que é um ácido fraco. Não obstante, quando a água contiver poucos elementos químicos, o ácido carbônico funciona de maneira agressiva causando danos em tubos metálicos que são corroídos. Tal água adquire ferro, os tubos começam a perder água nas juntas, e as caldeiras são corroídas (Cederstrom, 1964).

O mesmo autor cita um caso típico em que o revestimento de um poço surgente na planície costeira da Virgínia, nos Estados Unidos, perto de um afloramento de camadas aquíferas confinadas, foi corroído completamente em dois anos por uma água pura – água quase sem elementos químicos, exceto dióxido de carbono.

Para se evitar a corrosão de água com baixo teor de mineralização, mas tendo dióxido de carbono, no tratamento municipal, aumenta-se a sua dureza com um pouco de óxido de cálcio.

As águas do Aquífero Fraturado Serra Geral apresentam uma concentração média de dióxido de carbono de 3,90 mg/L durante três amostragens consecutivas realizadas nos meses de abril, maio e julho de 2000. Foram analisadas 42 amostras de água para o dióxido de carbono. Deste total, 36,58 % corresponderam a águas sem dióxido de carbono. A concentração média mínima encontrada foi de 0,30 mg/L de CO_2 e a maior de 7,76 mg/L.

Uma análise realizada nas águas do Sistema Aquífero Guarani para a concentração de CO₂ apresentou resultado negativo.

Inexistem padrões definidos para a concentração de dióxido de carbono em águas para consumo humano.

5.5.5. NUTRIENTES

Os nutrientes são elementos químicos e compostos encontrados no meio ambiente e de que as plantas e os animais necessitam para crescer e sobreviver. Quando se investiga a qualidade das águas, as várias formas de nitrogênio e fósforo são os nutrientes de interesse. As formas incluem o nitrato, nitrito, a amônia, o nitrogênio orgânico (na forma de material vegetal ou outros compostos orgânicos) e fosfatos, nas formas de ortofosfatos e outros (USGS, 2003). Para os objetivos desta pesquisa serão abordados o nitrogênio e seus compostos, (excluído o nitrogênio orgânico), e o fósforo na forma de ortofosfato.

5.5.5.1. Nitrato

O nitrato (NO₃⁻) é identificado como ânion do ácido nítrico, sendo que os seus compostos são bastante solúveis em água. Ocorre geralmente sob a forma de pequenas concentrações.

Caracteriza-se pela mobilidade, podendo ser removido das camadas superiores do solo para água (Bower, 1978 apud Feitosa et al., 2000). O nitrato também atinge as águas através das chuvas (GTZ, 1993).

O nitrogênio, nos processos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato, acarreta no consumo de oxigênio dissolvido do meio, o que pode afetar a

vida aquática. A determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição – ou seja, uma poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato (Von Sperling, 1996).

Nos tópicos seguintes serão abordados os outros compostos nitrogenados, que foram amostrados e analisados neste estudo: nitrogênio amoniacal (NH_3) e nitrito (NO_2^-). O nitrogênio total e o nitrogênio em ligação orgânica não foram objeto da presente pesquisa.

Segundo Feitosa et al. (2000), o nitrato representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica e teores acima de 5 mg/l podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade humana (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais, etc.).

Outros autores afirmam que as águas subterrâneas apresentam teores de nitratos da ordem de 0,1 a 10 mg/l; contudo, se as águas se encontram poluídas, os teores podem chegar a 1.000 mg/l. As águas marinhas possuem concentrações em torno de 1 mg/l.

Na ciclagem do nitrogênio ocorre que os resíduos de produtos protéicos provenientes de esgotos, fezes, etc., são ricos em nitrogênio e se decompõem em nitrato na presença de oxigênio (nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato). O ciclo do nitrogênio e do fósforo será tratado com maior ênfase no capítulo sobre os nutrientes e a eutrofização de lagos, principalmente a ocorrida no reservatório de Itá, logo após o seu enchimento.

Alguns teores elevados de nitrato têm sido detectados em análises físico-químicas e microbiológicas realizadas em águas subterrâneas de cemitérios,

geralmente apresentando contaminações bacteriológicas e químicas, e que tem sido pesquisadas recentemente em alguns estados brasileiros. Os cemitérios são uma fonte generalizada de impactos ambientais, representando risco de contaminação das águas subterrâneas por microrganismos que proliferam durante o processo de decomposição de cadáveres e pelo posterior uso dessas águas pelas populações (Pacheco, Matos 2000)

Duarte & Menegasse et. al. (2002) reportam teores da ordem de 5,71 mg N/l e 11 mg N /l identificados na contaminação da água subterrânea relacionada com os cemitérios da Paz e da Saudade no município de Belo Horizonte, em Minas Gerais.

Concentrações elevadas de NO_3^- também foram observadas por Pacheco e Matos (2002) nas amostras de água do aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, no município de São Paulo. Nas águas subterrâneas foram reveladas contaminações por bactérias e vírus (enterovírus e adenovírus), e outros; os teores de nitratos encontrados em poços de monitoramento chegam a 11,56 mg N /l N e 21,62 mg N /l, localizados mais próximos das sepulturas com relação aos demais, sendo que também apresentaram elevados valores de condutividade elétrica, proporcional à maior concentração de sais minerais, resultantes da decomposição de cadáveres.

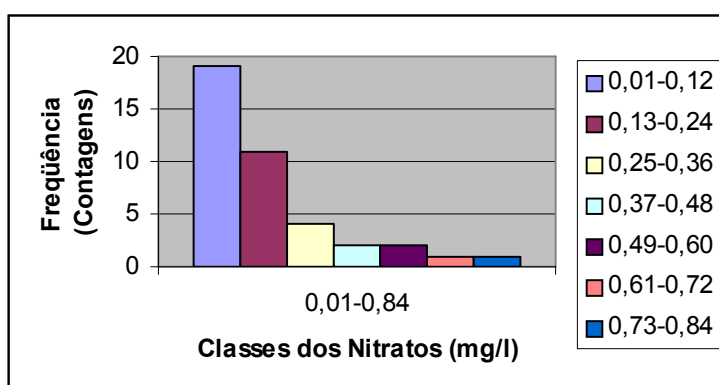


Figura (32): Distribuição do nitrato nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

As águas do Aquífero Serra Geral apresentaram um teor médio de nitrato de 0,052 mg/L, que variou entre um valor mínimo de 0,01 e 0,75 mg/L. Teores de nitrato entre 0,01 e 0,12 mg/L correspondem a 45,23% do total. Um outro intervalo igualmente significativo, entre 0,13 e 0,24 mg/L aparece em seguida com 26,19%, embora, considerados baixos. Os resultados estão apresentados na figura (32).

Os quatro últimos intervalos merecem uma análise devido aos teores de nitratos mais elevados para águas subterrâneas, (muito embora, estejam todos abaixo do VMP como padrão de potabilidade) e variaram entre 0,25 e 0,84 mg/L; e juntos podem alcançar até 23,8% do total.

Os teores de nitratos na sua grande maioria não foram detectados nas águas do Sistema Aquífero Guarani. Apenas em duas amostras o nitrato pode ser detectado, respectivamente, com 0,03 e 0,05 mg/L, ambos abaixo do VMP para o nitrato que é de 10 mg/L, praticamente padronizado na legislação nacional e internacional.

Poluições resultantes principalmente do manejo da agricultura são, da mesma forma, a causa direta e indireta de impactos provocados na saúde humana relacionados a contaminações por nitratos. A Organização Mundial da Saúde – OMS revela que níveis de nitrogênio nas águas subterrâneas têm aumentado em muitas partes do mundo como resultado da “intensificação da prática da agricultura” (OMS, 1993).

Este fenômeno é bem conhecido em muitas regiões da Europa.

Os níveis de nitratos têm aumentado em alguns países a ponto de expor mais de 10 % da população residente a níveis de nitratos bem acima da diretriz de

10 mg N /l estabelecida como padrão nas águas destinadas ao consumo. Embora a OMS não tenha descoberto evidências significativas entre nitratos, nitritos e câncer humano, a diretriz para o consumo de água está estabelecida para prevenir a metahemoglobinemia, para a qual os nenês são particularmente susceptíveis (FAO, op. cit.).

Nolan et al.(1992-1995) reportam que a contaminação da água subterrânea por nitrato é um problema de saúde porque as fontes de água subterrânea fornecem água potável para mais da metade da população dos Estados Unidos. Segundo eles, a ingestão de nitrato em água potável pelos bebês pode causar uma baixa do nível de oxigenação do sangue, uma condição potencialmente fatal, por esta razão o *U. S. Environmental Protection Agency* (USEPA) estabeleceu um nível máximo para o contaminante (MCL) de 10 mg/L de nitrato como nitrogênio. Outros efeitos adversos à saúde com relação ao nitrato estão relatados na literatura recente. Um caso estudado em Indiana indicou que concentrações de 19-29 mg/L dissolvidos em poços rurais domésticos poderiam ter causado oito abortos espontâneos entre quatro mulheres entre 1991 e 1994. Concentrações de 4 mg/L ou mais na água de poços comunitários em Nebraska têm sido associadas com o aumento de risco para o “linfoma de Hodgkin”. Concentrações de nitratos menores do que 2 mg/L geralmente não afetam as funções humanas.

Lafuente (1981) argumenta que tanto os nitratos quanto os nitritos são encontrados como componentes naturais em muitos vegetais com o espinafre, ruibarbo, etc., bem como em muitos dos conservantes de alimentos, como por exemplo, nos embutidos. Os efeitos fisiológicos desses podem ser benéficos nas enfermidades do aparelho circulatório e do coração. Contudo, quando são consumidos por bebês com menos de seis meses de idade, devido ao fato de possuírem sucos gástricos com pouco ácido, esses favorecem a redução do íon nitrato em nitrito, produzindo a metahemoglobinemia. Isto foi demonstrado em 1945.

Embora o problema esteja menos documentado, a poluição por nitrogênio das águas subterrâneas parece ser igualmente um problema em países desenvolvidos.

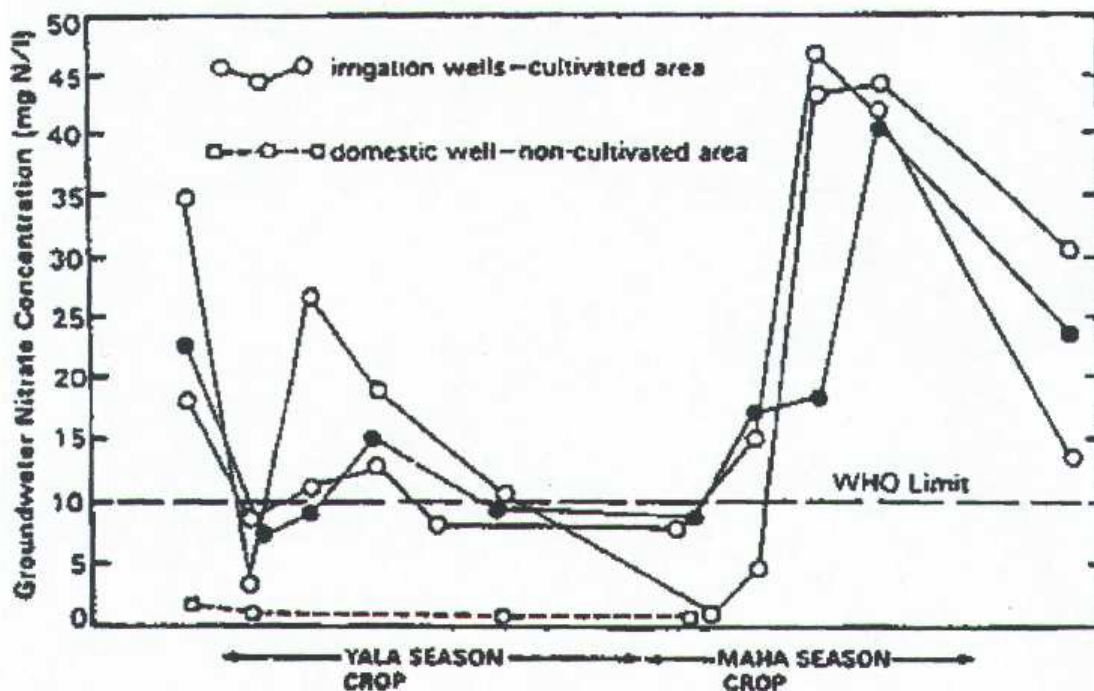


Figura (33) - As concentrações de nitratos nos poços de irrigação em áreas cultivadas do Sri Lanka. Yala refere-se à estação seca, Maha refere-se à estação chuvosa.

FAO, apud Lawrence e Kumppnarachi (1986), reportam concentrações de nitrato em torno de 40 a 45 mg N/l em poços de irrigação que estão localizados próximos de campos de arrozais intensamente cultivados por irrigação. O gráfico (01) ilustra a variação de $\text{NO}_3 - \text{N}$, na qual há um pico ou aumento significativo na concentração nas águas subterrâneas durante a estação de colheita denominada Maha, que é a estação chuvosa anual (em oposição a Yala, a estação seca anual), e quando o crescimento do arroz é mais intenso no Sri Lanka.

A água subterrânea está sendo poluída principalmente por nitratos. Em várias áreas a água subterrânea está poluída em tal modo que a mesma não está mais adequada para consumo de acordo com os padrões atualmente

estabelecidos. Enquanto esses problemas foram primariamente atribuídos para fertilizantes minerais pela FAO/ECE (1991), em algumas áreas o problema está particularmente associado ao manejo, com extensiva e intensiva aplicação de fertilizantes orgânicos (FAO, 2003).

Tabela (12) – Composição química de algumas amostras de dejetos suínos, em teores totais. Fonte: EMBRAPA (2000).

Amostra	Ca	Mg	P	K	Cu	Zn	Mn	N
	g/L	g/L	g/L	g/L	mg/L	mg/L	mg/L	g/L
A	2,22	0,74	1,83	0,63	34,8	119,0	24,8	3,45
B	2,50	0,74	1,80	0,44	36,5	120,0	30,0	3,40
C	3,34	1,30	3,18	0,94	31,9	159,0	39,2	5,90
D	2,25	0,82	1,89	0,58	42,7	134,1	23,0	3,12
E	5,70	0,96	2,50	1,20	11,7	72,4	49,2	6,00
F	3,50	1,50	3,90	6,80	51,0	51,0	-	6,50

A, B, C = Seganfredo (1998)

D = Seganfredo (1997)

E = Konzen (1980)

F = Hoeksma (1998)

Na região Sul do Brasil, a EMBRAPA (2000) afirma que os dejetos de suínos têm sido utilizados como fertilizantes do solo porque possuem elementos químicos Tabela (12) que, ao serem adicionados ao solo, podem se constituir em nutrientes para as plantas. Tais nutrientes, após sua mineralização no solo, poderão ser absorvidos pelas plantas da mesma forma que aqueles dos fertilizantes químicos (Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC, 1995; Brandjes et al., 1996). Observa-se que os teores de metais são bem representativos quantitativamente nas amostras e uma aplicação contínua deste adubo orgânico pode gerar concentrações apreciáveis no solo e/ou águas subterrâneas.

Para esta empresa a suinocultura desenvolvida no Sul do país é uma atividade de grande importância econômica e social para a região, pois abrange, apenas em Santa Catarina, 4,5 milhões de animais. Neste Estado, apesar de 70 % dos suínos estarem concentrados em 12.994 propriedades (Linder, 1999), até o censo agropecuário de 1996 (Testa et al., 1996; IBGE, 1997) havia 96.693 suinocultores. Com o aumento da densidade populacional de suínos, especialmente no Oeste de Santa Catarina (Testa et al., 1996; IBGE, 1997), houve, em consequência, um grande aumento no volume de dejetos produzidos por propriedade, os quais, inadequadamente manejados, passaram a facilitar a proliferação de insetos (Paiva, 1994) e a causar problemas de contaminação ambiental, destacando-se a deteriorização da qualidade das águas de superfície e de subsuperfície (Oliveira, 1993; Prefeitura Municipal de Concórdia, 1994; Seganfredo, 1998).

A EMATER-RS (1998) apresentou em uma de suas publicações sobre o meio rural um equipamento denominado de decantador de fluxo ascendente, utilizado como tratamento preliminar para dejetos suínos. Segundo a empresa, este equipamento pode ser utilizado para separar a parte sólida da parte líquida dos dejetos suínos, aumentando a eficiência dos processos subseqüentes e valorizando o material resultante (o lodo) para uso como adubo orgânico. A Tabela (13) apresenta a eficiência média do decantador na remoção da carga orgânica e nutrientes dos dejetos líquidos de suínos, obtida na unidade experimental da EMBRAPA Suínos e Aves. Pode-se observar que a quantidade concentrada no lodo de nutrientes ali representados por nitrogênio, fósforo e potássio é bastante significativa, destacando-se 4,98 kg/m³ de fósforo, acima dos demais.

A EPAGRI e a GERASUL (modificado para TRACTEBEL *Electricity & Gás International*), por ocasião da construção da UHE Itá, firmaram um convênio no sentido de promover o monitoramento do índice de qualidade da água - IQA nas microbacias Arroio Capelinha em Ipira, Arroio Veado, em Peritiba, da Vila, em Piratuba, Arroio Tigre, em Concórdia, e Arroio Bela Vista, em Itá.

Tabela (13) – Composição média do lodo obtido no decantador de fluxo ascendente e valor equivalente dos nutrientes em fertilizante mineral. Fonte: EMATER, 1998.

Nutrientes	Lodo (kg/m ³)	Equivalente		Valor/m ³ (R\$)
		adubo (kg)	mineral	
Nitrogênio	3,20	7,11 uréia		2,70
Fósforo	4,98	11,85 SFT		4,50
Potássio	1,10	1,83 Kcl		0,50
Total	9,28	20,79		7,70

Um relatório preliminar (EPAGRI/GERASUL, 1999) concluiu que o nível de nitrato nas microbacias oscila entre 0 e 3,0 mg/l, portanto sem representar um problema para o uso e consumo da água em todas as suas modalidades de uso. A Figura (35) apresenta o comportamento do nitrato para aquelas microbacias.

Outros dados de monitoramento do índice de qualidade realizados pela Engenharia Sócio-Ambiental S/C Ltda Consultoria – Gerenciamento – Execução – ECSA, consultora e executora de projetos ambientais para a Gerasul (ECSA, 1999), faziam parte dos Programas Ambientais de Monitoramento dos Recursos Hídricos, assumidos no PBA - Programa Básico Ambiental, de apresentação obrigatória para avaliação e emissão da Licença Ambiental de Instalação por parte dos Órgãos ambientais (FATMA e IBAMA).

O monitoramento fora iniciado na fase de pré-enchimento do reservatório da UHE Itá, e uma campanha de amostragem conduzida de julho/99 a dezembro /99 revelou informações técnicas mais precisas que aquele executado acima pela EPAGRI, pois contemplava a detecção dos níveis de nitrogênio não somente nas formas de nitrato, mas também de amônia e nitritos, e que, em conseqüência, se os dados forem bem analisados e interpretados, podem indicar quais estágios de

poluição são mais visíveis nas águas, se o grau de poluição é mais recente, se é mais remoto.

O monitoramento tem sido realizado desde então no reservatório do rio Uruguai, representado pelos pontos Upb (balsa de serviço da UHE Machadinho), Uca (Linha dos Vicentes, grupo de tributários da cabeceira do reservatório), UCe (Linha Porto Brum, contribuições dos tributários formadores da parte central do reservatório), Uac (Dique 1, abrange as contribuições recebidas pelo rio Uruguai), Uju1 (rio Uruguai na foz do tributário Uvá), Uju2 (rio Uruguai na foz do tributário Paloma, a 600 m do descarregador de fundo) referente a Figura (35).

Além disso, também se faz o monitoramento de seus principais tributários (do rio Uruguai), assim divididos: cabeceira do reservatório: rio Apuaê (TA), rio do Peixe (TP), rio Teixeira Soares (TTS); centro do reservatório: rio Rancho Grande (TRG), rio Lamedor (TL), rio dos Queimados (TQ); bacia de acumulação: rio Dourado (TD), rio Jacutinga (TJ), rio Novo (TN) – referente a Figura (36).

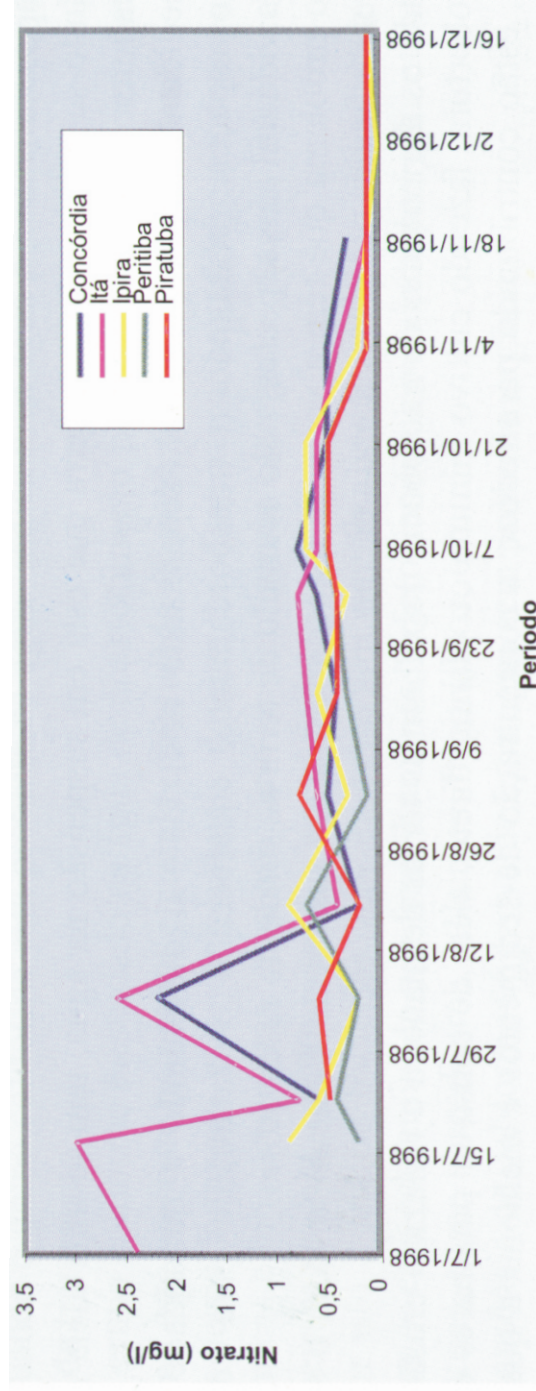


Figura (34) - Comportamento da concentração de nitrato nas microbacias monitoradas no período de julho/1998 a dezembro/1999. Fonte: EPAGRI (março/1999).

A análise dos resultados desse monitoramento durante a campanha de julho/99 a dezembro/99 é particularmente interessante (sob o ponto de vista do autor) para o nitrogênio em algumas de suas formas encontradas na natureza (amônia, nitrito e nitrato), com pontos de coleta no rio Uruguai e nos seus principais afluentes da região (Figuras 35 e 36).

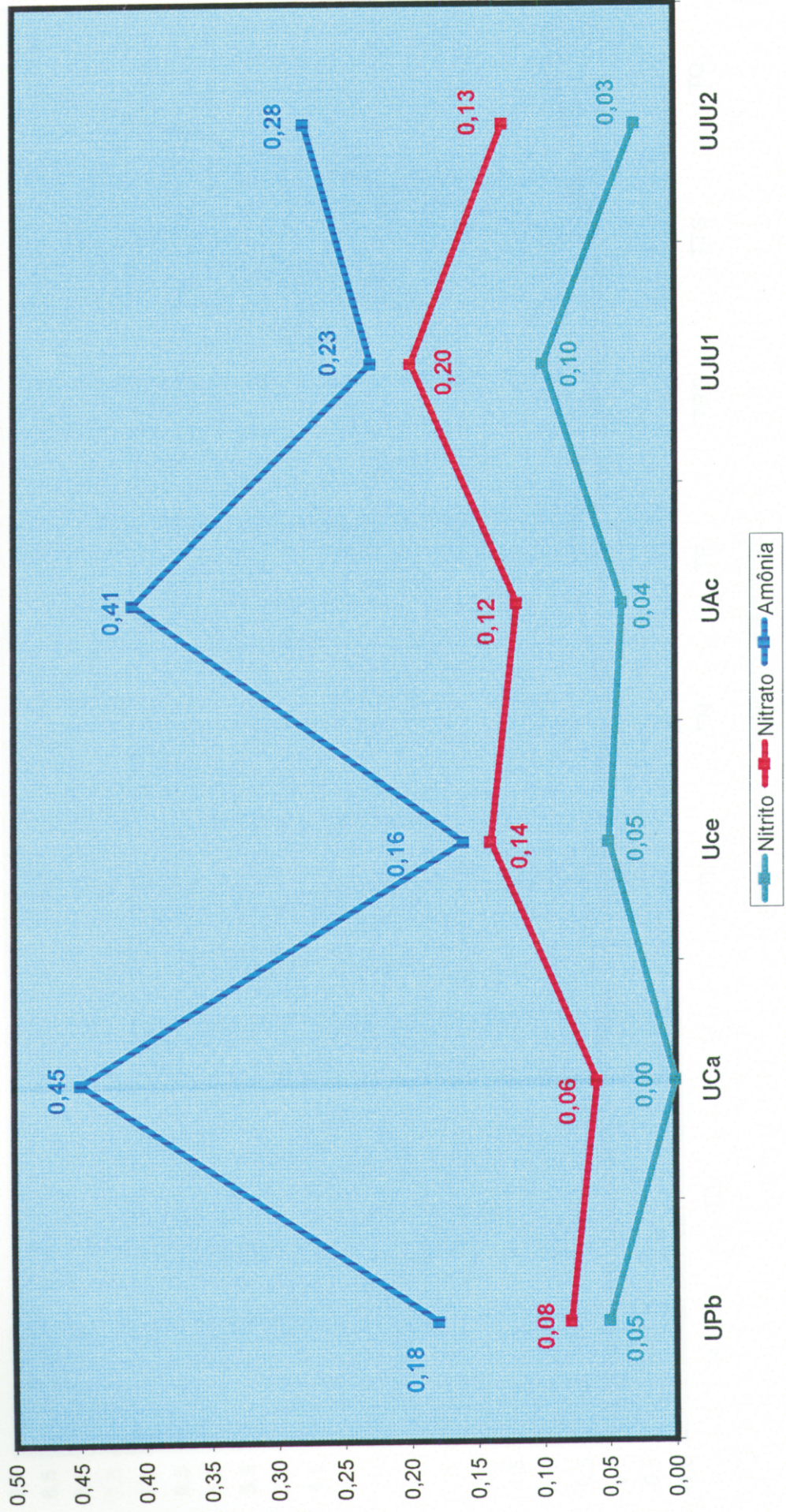


Figura (35) - Valores médios de nitrito (mg/l), nitrato (mg/l) e amônia (mg/l) nos diferentes pontos de coleta no rio Uruguai. Fonte: ECSA (1999).

A figura (35) mostra que os valores médios encontrados para o nitrato, seguem de certo modo uma regularidade, nos diferentes pontos amostrados do rio Uruguai (locais do atual reservatório), variando no patamar de 0,08 a 0,13 mg/l N, os quais estão abaixo de 10 mg N /l, mantido como padrão para os corpos d' água de Classe 1, 2 e 3, de acordo com a Resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86.

Os valores médios para o nitrito, cuja concentração mínima encontrada foi de 0,05 mg/l N e a máxima de 0,10 mg/l N, também mantém uma certa regularidade no gráfico focado (figura 36), e todos teores estão abaixo do Valor Máximo Permissível para nitrito que é de 1 mg N /l, para os corpos d'água das Classes 1, 2 e 3, conforme determinação desta Resolução.

O gráfico (figura 35) representando as concentrações da amônia, ao contrário, é bastante irregular, formando picos ao longo de toda a amostragem, os quais representam valores médios acima de 0,02 mg/l, correspondente ao Valor Máximo Permissível (VMP) para a amônia livre (NH₃), para corpos receptores Classe 1, 2, e 3, de acordo com os padrões de qualidade que estabelece a Resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86.

Na figura (36) onde estão plotados valores de Nitrito(mg/l), Nitrato (mg/l) e Amônia (mg/l) dos pontos de amostragem dos principais tributários localizados a montante da UHE Itá, verificam-se diferenças marcantes com relação à figura (35), já analisada, e algumas conclusões interessantes podem ser subtraídas. O valor médio encontrado para o nitrato foi de 0,16 mg/l, variando entre um mínimo de 0,08 mg N/l e um máximo de 0,67 mg N/l. O gráfico para o nitrato apresenta uma regularidade nos valores médios encontrados, estando todas as 09 (nove) análises químicas abaixo da diretriz de 10 mg N/l para nitrato estabelecida para os corpos d'água das Classes 1, 2 e 3, pela Resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86; havendo um pico maior para o resultado de 0,67 mg N/l de nitrato.

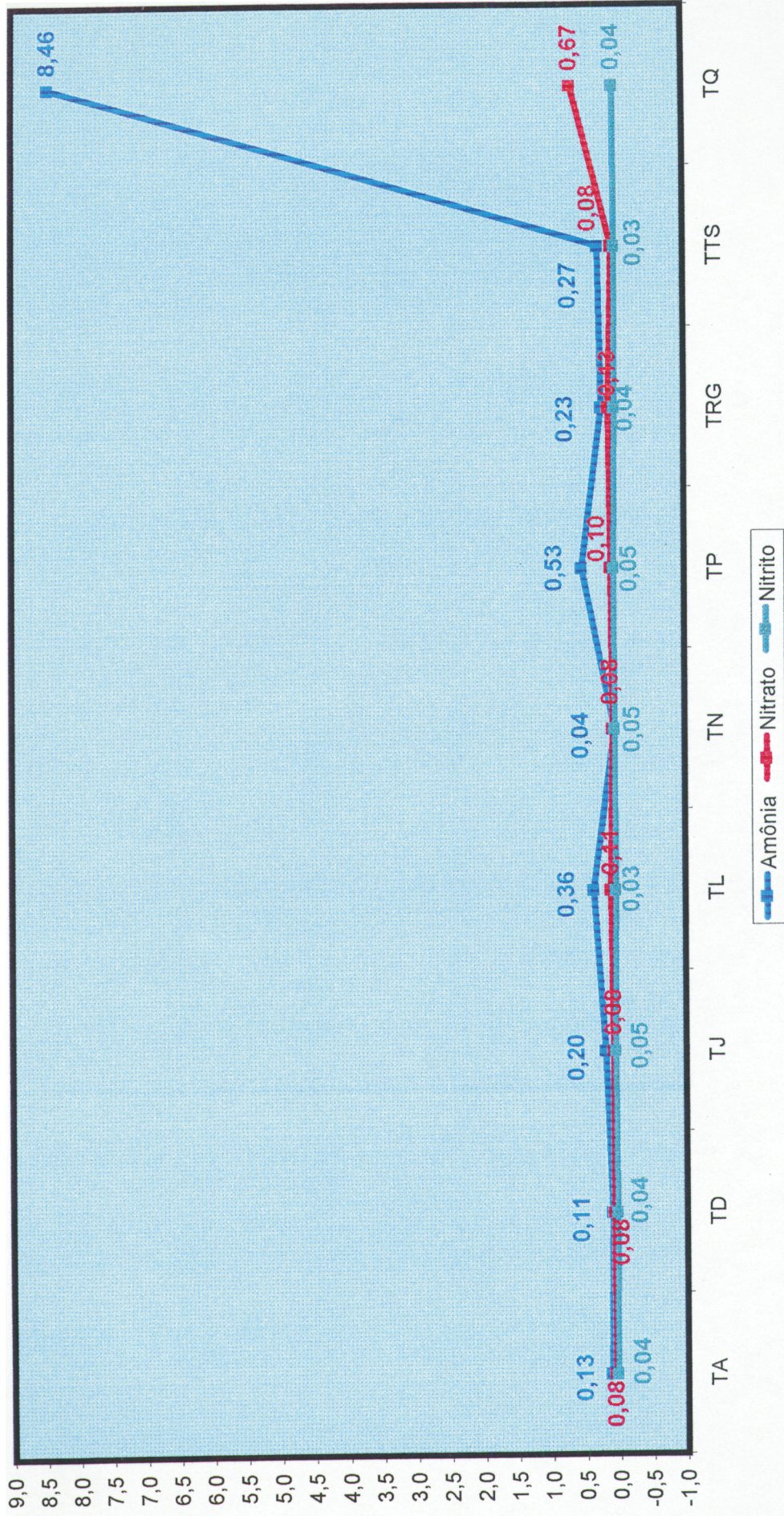


Figura (36) - Valor médio de nitrito (mg/l), nitrato (mg/l), e amônia (mg/l) nos pontos de coleta nos principais tributários a montante da UHE Itá. Fonte: ECSA (1999).

Há de se destacar os valores médios elevados de 0,11 mg N/l, 0,13 mg N/l, e 0,67 mg N/l de nitrato, encontrados nos pontos TL, TRG e TQ, assinalados na figura (37). Este último código identifica o tributário rio dos Queimados. O teor elevado para o nitrato das amostras se justifica pois o rio dos Queimados é um contribuinte que atravessa todo o município de Concórdia, indo desaguar no atual reservatório da UHE Itá, levando consigo toda a carga de esgotos que é lançada “in natura” naquele corpo receptor pelo município, além dos efluentes gerados principalmente pelas agroindústrias, dejetos de origem suína e avícola, atividades essas intensamente exploradas na região rural e que produzem elevadas concentrações de nitrogênio.

A estação TP refere-se ao rio do Peixe. Segundo dados da FATMA, as atividades potencialmente poluidoras do Vale do Rio do Peixe eram equivalentes a uma população de 1 milhão e duzentas mil pessoas, enquanto que a população urbana, na época, não ia além de 106 mil habitantes, durante o período de monitoramentos que ali efetuava na década de 80 (SDM, 1997).

A estação TL é atribuída ao rio Lamedor que cruza o município gaúcho de Severiano de Almeida, que igualmente desemboca no reservatório de Itá, possuindo semelhanças nas cargas de efluentes com o rio dos Queimados, embora aquele município seja bem menor comparativamente com o de Concórdia. A principal atividade socioeconômica do município é agricultura, dentre outras se destacam: suinocultura, avicultura, e cultivos de milho, soja, etc.

Na análise do gráfico (Figura 36) pertinente ao nitrito pode se observar que há praticamente uma linha constante e regular para os nove valores encontrados ao longo dos tributários do rio Uruguai, naqueles pontos transformado em reservatório. Todos os valores médios de nitrito estão bem abaixo de 1 mg N/l de nitrito, que é o Valor Máximo Permissível, para corpos d' água de Classes 1, 2 e 3 estabelecido pela Resolução CONAMA no 20 de 18/06/86.

Distingue-se dos dois gráficos anteriores (Figura 36) aquele que mostra valores médios para a amônia nos pontos de coleta dos principais tributários do rio Uruguai. O gráfico é formado por linhas sucessivas alternadas por pequenos quadrados (mm) que representam as concentrações de amônia; possuindo o conjunto orientação aproximadamente horizontal. A partir do ponto TTS a linha passa a subir em direção ao ponto TQ, evidenciando um pico, caracterizado pela concentração muito elevada de amônia, de 8,46 mg N/l. Como foi acentuado previamente na discussão sobre a estação TQ referente ao rio dos Queimados, contribuinte do rio Uruguai, o mesmo recebe grande carga de efluentes advindos da área urbana e rural do município de Concórdia, e na qual o nitrogênio contribui com um grande percentual. O valor médio encontrado para a presente amostragem foi de 1,14 mg/l, e a variação, entre um mínimo de 0,04 mg/l e um máximo de 8,46 mg/l. Todos os valores encontrados da amônia estão bem acima do Valor Máximo Permissível, de 0,02 mg N/l para corpos d' água nas Classes 1 e 2, especificado pela Resolução CONAMA nº 20 de 18/06/86.

Pela análise das duas figuras pode-se concluir que nos corpos d' água receptores aqui representados pelo rio Uruguai (reservatório da UHE Itá) e seus tributários, os valores médios mais elevados e em conseqüência anômalos para o nitrogênio são atribuídos para a sua forma como amônia livre, apesar de que em muitos pontos os teores de nitrato são igualmente elevados, mas nem tanto quanto esta, o que tem um significado importante, ou seja, de que há um estágio de poluição recente, correspondente ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia.

As concentrações elevadas de nitratos traduzem-se por uma poluição das águas mais remota, portanto associada ao nitrogênio na forma de nitrato; quando já houve a transformação da amônia para nitrito e deste para nitrato.

A importância do reconhecimento de bacias hidrográficas ou microbacias contaminadas por excesso de nutrientes de conotação orgânica deve servir, além

da prevenção de eutrofização dos corpos d' água, como medida de controle para a qualidade das águas subterrâneas, uma vez que estes mananciais durante os períodos de estiagem normalmente alimentam os fluxos superficiais ou vice-versa, havendo trocas ou mistura dessas águas. Por outro lado, há a susceptibilidade do Aquífero Serra Geral de infiltrar essas águas contaminadas vindas da superfície através do sistema de fraturas que lhe é conspícuo.

A contaminação dos mananciais subterrâneos tem sido observada e monitorada em várias partes do mundo.

Pesquisadores do Convênio de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha – *Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit* (GTZ) GmbH (2000), entre eles, o Dr. Joachim Knie, da FATMA de Florianópolis, afirmam (informação verbal) que as águas do rio Reno da Alemanha e águas subterrâneas em geral relacionadas ao mesmo apresentam concentrações críticas de nitratos, nas quais há praticamente a impossibilidade de redução para se atingir concentrações menores.

5.5.5.2. Nitrito

O nitrogênio ocorre na biosfera nos estados de oxigenação variando de 3 – (amônia) para 5 + (nitrato). As mais importantes formas inorgânicas de nitrogênio são amônia (NH_3), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), e nitrogênio molecular (N_2). Todas essas formas estão inter-relacionadas no ambiente pelo ciclo do nitrogênio, uma complexa série de transformação (Moore, 1990).

Como definição química, o nitrito é o ânion do ácido nitroso. Todos os compostos de nitrito são bastante solúveis em água. O nitrito é um intermediário natural na oxidação microbiana da amônia para o nitrato. Via de regra, o nitrito formado no processo da nitrificação é oxidado imediatamente para nitrato, a não ser que substâncias ou processos interfiram de maneira inibidora.

Enquanto estes processos de decomposição estão equilibrados em teores pequenos de NH_4^+ , a concentração deste intermediário é mínima (cerca de 0,02 mg/L N-NO_2^-) e não influencia a qualidade da água. Em caso de aumentos drásticos da concentração de NH_4^+ e/ou de valores elevados do pH e da temperatura, a nitrificação pode ocorrer a uma velocidade tão alta que são alcançadas concentrações de NO_2^- tóxicos para os peixes.

A toxicidade do nitrito também depende, entre outras coisas, do teor de cloreto na água. Para águas poluídas, este parâmetro deve ser especialmente considerado. Apesar do nitrito desempenhar um papel apenas secundário para o balanço da sua alta toxicidade. Nos solos, o nitrito é mais móvel por causa da sorção da amônia (DVWK, 1993).

Na maioria das análises efetuadas nas águas do Aquífero Serra Geral, o nitrito não foi detectado; de 42 resultados analíticos, somente em 07 houve a detecção deste ânion e a níveis de concentrações tão baixas quanto 0,01 mg/L.

A rede hidrográfica do rio Uruguai é caracterizada por um forte alinhamento estrutural determinado por um sistema de fraturas e falhamentos regionais inerentes aos derrames basálticos da Formação Serra Geral, como pode ser visualizada na interpretação de fotografias aéreas, na escala 1: 25.000 e imagens de satélite Landsat 7 (vide Mapa de Lineamentos e Poços Tubulares Profundos Frios e Termominerais, escala 1 : 175.000). Além da disposição dos talwegues encaixados nos sucessivos derrames da Formação Serra Geral, o acentuado declive topográfico entre o topo mais elevado dos derrames, com cotas topográficas normalmente em torno de 600 a 700 m, às vezes mais, e o leito do rio Uruguai entre 300 e 400 m, tornam as águas mais oxigenadas e certamente com quantidades ínfimas de nitritos devido ao fato de que ao contato com o ar oxidam-se em nitratos.

O teor médio encontrado para o nitrito de 0,01 mg/L está de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000 que determina 1 mg/L como valor máximo permitido. A Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986 estabelece 1 mg/L de nitrito como padrão para os corpos d' água receptores de Classes 1, 2 e 3.

5.5.5.3. Amônia

O nitrogênio é um nutriente essencial que é requerido por todas plantas e animais para a formação de aminoácidos. Em sua forma molecular, o nitrogênio não pode ser usado pela maioria das plantas aquáticas, portanto, deve ser convertido para uma outra forma. Uma das formas é amônia (NH_3). A amônia pode ser assimilada pelas plantas ou oxidada pelas bactérias para nitrato (NO_3^-) ou nitrito (NO_2). Destas formas o nitrato é usualmente o mais importante (Center for Technologies, 2002).

A amônia é liberada continuamente através da decomposição bioquímica de substâncias nitrogenadas, por exemplo, proteínas, aminoácidos e uréia lançadas, mas também através da biomassa produzida naturalmente e, via de regra, está presente na água em quantidades pequenas. Em ambiente anaeróbio, no lodo do fundo de corpos d' água a amônia pode surgir da redução de nitrato, num processo chamado de amonificação do nitrato. Este processo trata-se de um resultado da metabolização através de determinados microrganismos. Altas concentrações de amônia são geradas por efluentes residenciais, municipais, indústrias e da agricultura. Via de regra, a amônia nas águas é oxidada por microrganismos (nitrificantes). Normalmente, a amônia é oxidada via nitrito para o nitrato, o que pode significar uma carga substancial para o equilíbrio de oxigênio (DVWK, 1993).

Teores de amônia foram identificados em apenas 04 das 42 amostras de águas analisadas do Aquífero Serra Geral. Uma única amostra de amônia com uma concentração de 1,51 mg/L como (NH₃) está fora dos padrões de potabilidade estipulados pela Portaria MS nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, a qual determina uma concentração de amônia de 1 mg/L como (NH₃).

As águas do Sistema Aquífero Guarani à semelhança do Aquífero Fissurado Serra Geral apresentaram 58,33% dos resultados analíticos nulos para concentrações de amônia. O poço termomineral de Marcelino Ramos-RS apresentou uma concentração de amônia elevada de 4,60 mg/L. O valor mínimo de Amônia detectado foi de 0,13 mg/L como (NH₃). Todas as concentrações de amônia, exceção para uma encontram-se dentro do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000.

Nolan, Bernard et al. (1995) reportam que amônia e as formas orgânicas de nitrogênio são rapidamente transformadas quando estão nas águas subterrâneas. Formas orgânicas de nitrogênio, tais como a uréia, são mineralizadas para amônia sob ambas condições anaeróbicas e aeróbicas quando a matéria orgânica decompõe. Ainda segundo os autores, a amônia é solúvel em água, mas é convertida para gás nitrogênio em sistemas anaeróbicos e para hidróxido de amônio em sistemas aeróbicos.

5.5.5.4. Ortofosfato

O fósforo é um nutriente essencial para as reações metabólicas de plantas e animais. Uma vez compondo a água subterrânea ou uma corrente, ele rapidamente une-se às partículas de solo, tornando-se temporariamente indisponível para os organismos vivos. Visto que ele ocorre com baixos níveis de concentrações, freqüentemente, atua como fator limitante ao crescimento das

plantas. O fósforo ocorre de várias formas – tanto inorgânica quanto orgânica (Center for Technologies, 2003).

Na água está presente nas formas de ortofosfato (PO_4^{3-}), polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos estão diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples. As formas em que os fosfatos se apresentam na água são dependentes do pH e são representadas por: PO_4^{-3} ; HPO_4^{-2} ; $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$; e H_3PO_4 . Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo. O fósforo orgânico é normalmente de menor importância (Von Sperling, 1996).

A importância do estudo do fósforo e de outros nutrientes nesta pesquisa está diretamente relacionada à agricultura da região de interesse, principalmente voltada para o cultivo de milho, e que utiliza os dejetos suínos como adubo orgânico no solo, além da aplicação eventual de cargas de fertilizantes minerais, conforme já foi demonstrado em outros capítulos.

O enchimento gradativo do reservatório da UHE Itá em 2000 inundou vales do rio Uruguai e de tributários nas duas margens, várzeas, solos nos quais havia um excesso de material orgânico derivado de atividades relacionadas à suinocultura, avicultura, pecuária de gado leiteiro e de corte, pocilgas, esterqueiras, fossas sépticas, entre outras (que foram suspensas, havendo o reassentamento para locais mais elevados). Isso provocou em curto tempo, a eutrofização quase que completa de toda a lâmina d' água do lago, como pode ser visto nas fotografias (01) e (02).

No passado, cientistas, pesquisadores de águas subterrâneas pensavam que o fósforo nas respectivas águas migrasse pouco e, portanto, não tivesse importância sob o ponto vista ecológico. Anos de monitoramento sobre a concentração de fósforo em uma pluma de água residuária tratada localizada em **Cape Cod**, na costa leste dos Estados Unidos, mostrou que o fósforo migra com a

água subterrânea, ocasionando com a sua descarga na Lagoa *Ashumet* a aceleração de processos de eutrofização da lagoa, como pode ser vista na figura (39) (USGS, 2003).

Elevados níveis de fósforo nas águas subterrâneas da Lagoa *Ashumet* foram medidos de 1978-1979, quando o Serviço Geológico Americano (USGS) primeiramente delineou a pluma contaminante na estação de esgotos (LeBlanc, 1984 apud Mccobb et al. 1999). Fósforo dissolvido está presente em concentrações superiores a 0,1 mg/L, sendo encontrado a 750 m de distância a jusante do ponto de infiltração nas camadas. O fósforo dissolvido migra mais vagarosamente do que os constituintes conservativos, tais como boro e cloreto, por causa da absorção do fósforo nos sedimentos do aquífero (Stollenwerk, 1999 apud Mccobb et al. 1999).

A hidroquímica das águas subterrâneas do Aquífero Fraturado Serra Geral na região pesquisada apresentou uma concentração média de 0,43 mg/l de ortofosfato dissolvido, como pode ser visto na figura (38). Apesar de não se ter no presente estudo os resultados analíticos para o fosfato total, pode-se inferir de que esta média para ortofosfato é bastante elevada nas águas do Aquífero Serra Geral. Esteves (1998) afirma que na água o íon fosfato (P-orto), pode estar sob diferentes espécies iônicas em função do pH do meio. Ainda segundo este limnologista, como em águas continentais a faixa de pH mais freqüente situa-se entre 5 e 8, as espécies iônicas, predominantes, são H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} .

Não existem critérios específicos para a qualidade de águas subterrâneas com relação ao fósforo, mas segundo Nolan (1995), o fósforo em água subterrânea representa uma fonte potencial deste nutriente para os cursos d' água que derivam na maioria do fluxo de águas subterrâneas.

A legislação brasileira e internacional para a qualidade de água somente determina parâmetros específicos para fosfatos totais contidos nas águas

superficiais, contudo, levando-se em conta que há uma interação desta com as águas subterrâneas, e que não podemos mais estudar casos separados entre ambas, e ainda, pelas próprias características regionais da área estudada da hidrogeologia, geologia estrutural, etc., permitem que os seguintes comentários sejam tecidos a seguir, para que se tenha um melhor conhecimento do fósforo.

A *U. S. Environmental Protection Agency* (USEPA) estabelece como meta que o total fosfatado não deva exceder 0,05 mg/L em cursos d' água que deságüem em lagos ou reservatórios, e que o total de fósforo em cursos que não descarreguem diretamente para esses corpos d' água não deveria exceder 0,1 mg/L P.

A legislação ambiental alemã reconhece que o ortofosfato em águas não poluídas encontra-se em concentrações muito pequenas, geralmente entre 0,01 e 0,05 mg/L P – P₀₄. As outras frações de fósforo são dominantes. Porém, o teor total de fósforo freqüentemente importa em apenas 0,1 mg/L P. O teor total de fósforo em águas poluídas por efluentes aumenta sensivelmente e muitas vezes o ortofosfato predomina. A concentração pode subir a vários mg/L. Por causa disso, o ortofosfato está sendo utilizado como parâmetro diretriz para lançamentos de efluentes. (DVVWK, 1993). Estes valores referidos pelos manuais alemães DVWK são bastante próximos da agência americana.

A Resolução CONAMA N° 20 de 18 de junho de 1986 brasileira estabelece um patamar de 0,025 mg/L de fosfato total para os corpos d'água receptores nas Classes 1, 2 e 3.

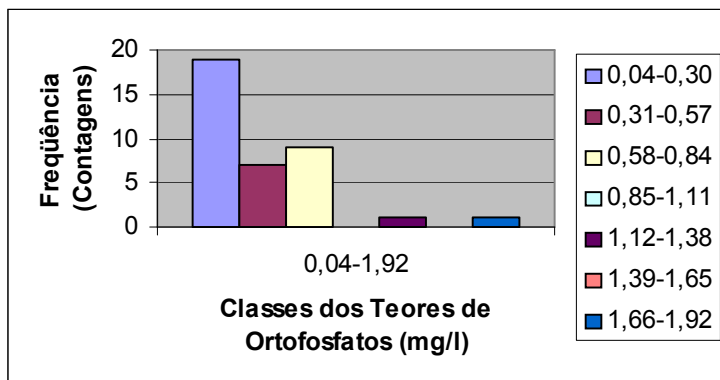


Figura (37): Frequência do ortofosfato nas águas do SASG na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

O teor médio de concentração do ortofosfato é de 0,43 mg/L, e oscila entre um valor mínimo de 0,04 e um valor máximo de 1,71 mg/L. Este último valor considerado para o ortofosfato na presente análise como bastante elevado. Em 37 amostras de água tratadas estatisticamente, podemos observar, de acordo com o gráfico da figura (37), de que o intervalo entre 0,04 e 0,30 mg/L de ortofosfatos, na coloração azul, representando as menores concentrações do composto fosfato, distribui-se regionalmente com 45,23 % do total amostrado.

Os dois intervalos seguintes representados por 0,31- 0,57 e 0,58-0,84 mg/L de ortofosfato já são preocupantes pelo teor, apesar de terem uma abrangência menor que o primeiro acima, mas que juntos somam 38,08 % da população.

Este terceiro intervalo para o teor de fosfato entre 0,58 e 0,84 mg/L, representado na cor amarela clara é mais significativo comparado com os demais, pois assume um patamar mais elevado para o composto e, além disto, possui razoável distribuição regional, com 21,42 % daquele total. Os outros intervalos seguintes, apesar das concentrações elevadas de ortofosfatos são valores de conotação mais pontual, embora devam ser investigadas as causas de suas anomalias.

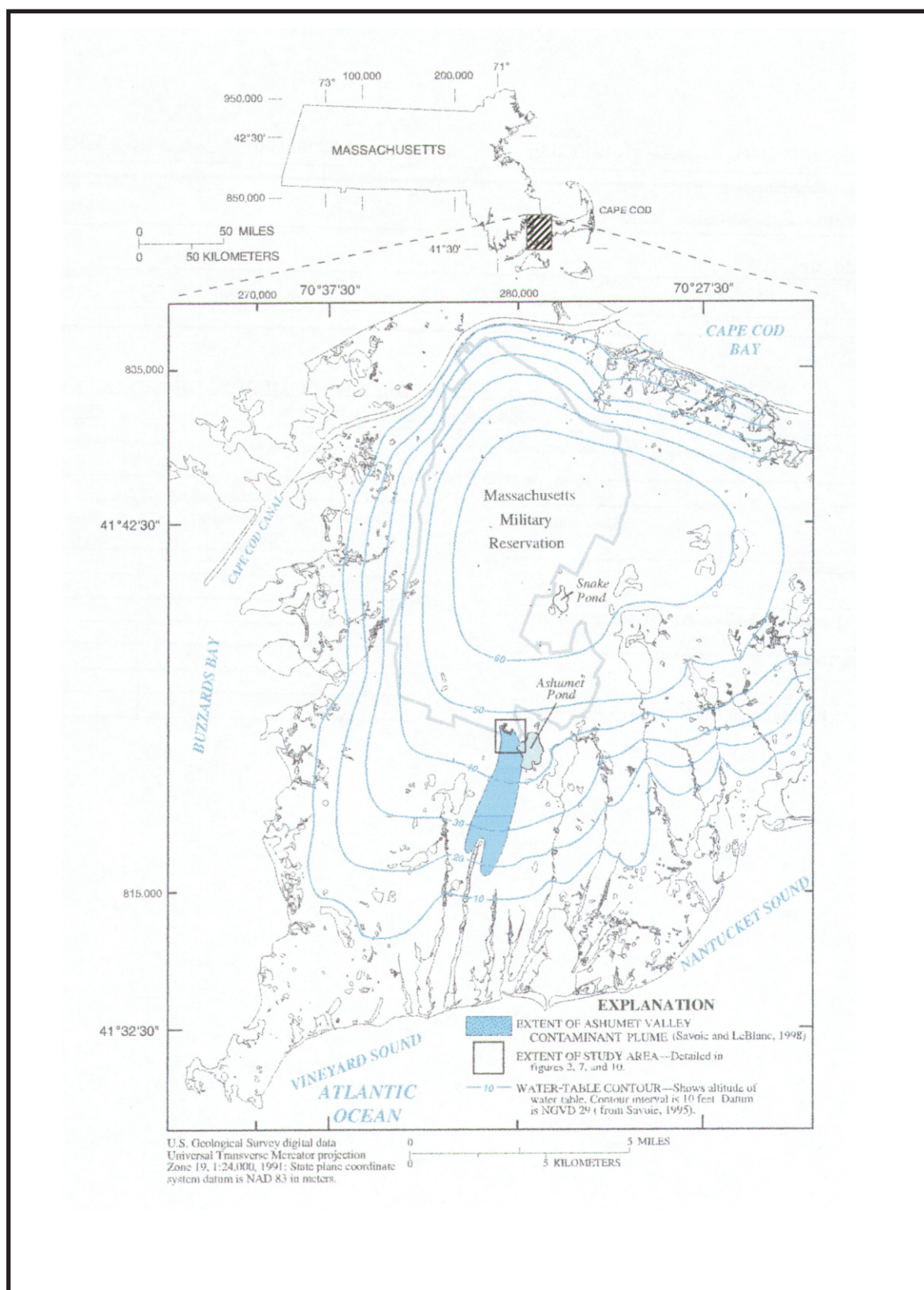


Figura (38) - Localização da Reserva Militar Massachusetts, extensão da pluma de contaminação, e a altura do lençol freático, a oeste de Cape Cod, Massachusetts. Fonte: Mccobb et al. (2003).

No Sistema Aquífero Guarani confinado pelo pacote de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, embora com um número bem menor de amostras de água analisadas, apresentou cerca de 50 % das amostras com valores não detectados para o ortofosfato e uma concentração média de apenas 0,06 mg/L.

Campanhas de monitoramento da qualidade da água da UHE Itá efetuadas pela Tractebel na fase de pré-enchimento do reservatório, de julho de 1999 a dezembro de 1999, a montante do barramento no rio Uruguai e nos seus principais tributários localizados na sua margem esquerda e direita, respectivamente, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, davam conta de que a concentração média obtida para os fosfatos totais era de 0,14 mg/L, enquanto que para os ortofosfatos era equivalente a 0,12 mg/L. As duas concentrações médias obtidas para fósforo foram acentuadamente elevadas e a primeira com um teor acima daquele determinado pela USEPA. Aquelas concentrações reveladas já apontavam valores de fósforo compatíveis com meio eutrófico ou com forte tendência de vir a sê-lo. Com o enchimento do reservatório da UHE Itá este fato viria a se consolidar.

6. DIÓXIDO DE CARBONO, CARBONATO, BICARBONATO E AS RELAÇÕES COM O SASG E SAG

O bicarbonato HCO_3^- é o ânion dissolvido mais freqüente nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral, como já pode ser verificado anteriormente, com um teor médio de 83,36 mg/L, variando entre um valor mínimo de 16 e um máximo de 132 mg/L. A ocorrência do carbonato CO_3^{2-} é apenas discreta, comparada com o bicarbonato (97,61%), com 23,19% do total de amostras em que foi detectado.

O ânion CO_3^{2-} apresentou com teor médio de 40 mg/L, o qual situou-se entre 2 e 96 mg/L. Quatro laudos analíticos de águas subterrâneas (P-34, P-73, P-139, P-218) com pH em torno de 10,02 apresentaram uma concentração de 30 mg/L de CO_3^{2-} , contra teores nulos e/ou inferiores dos bicarbonatos.

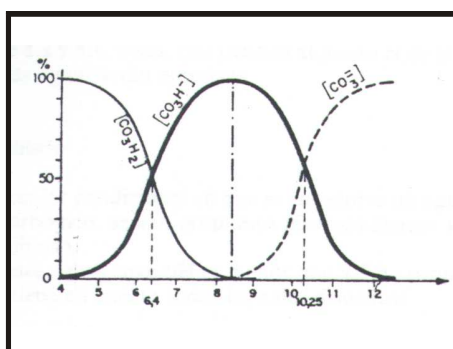


Figura (39) – Relação entre as espécies de CO_2 e o pH em águas naturais. Fonte: Lafuente (1981).

O pH nessas águas tende em média à neutralidade com 7,55. O menor valor de pH encontrado foi de 5,33 e o maior 9,97. O intervalo mais freqüente de pH situou-se entre 6,78 e 7,50, correspondendo a 38,09% do total. Outros intervalos de pH com tendência mais ácida, ficaram situados entre 6,05 e 6,77, e ainda entre 7,51 e 8,23; sendo que juntos alcançaram a 33,32% da população.

Como mostra a figura (39), o valor médio de pH está situado no domínio dos bicarbonatos, mas é ainda compartilhado com o ácido carbônico e sem que

haja nenhuma concentração (%) de carbonatos. Estes ânions (CO_3^{-2}) devem surgir no momento em que o ácido carbônico tende a desaparecer (consumindo-se), ou seja, com um pH superior a 8,3, havendo igualmente a redução progressiva dos bicarbonatos.

Para Ernani et al. (1987), águas do Sistema Aquífero Serra Geral com pH acima de 8 revelam, na realidade, misturas de águas de aquíferos subjacentes.

Pela interpretação do gráfico representativo das diversas espécies de CO_2 com relação ao pH, como já foi acentuado nos parágrafos prévios, o campo dos ânions CO_3^{-2} é dominante a partir do pH igual a 8,3, com a tendência simultânea à redução nas concentrações de HCO_3^- , indicando também o consumo total de ácido carbônico. Com isto, haveria um favorecimento geoquímico às águas carbonáticas ao invés de bicarbonatadas representativo das águas do Aquífero Fissural Serra Geral.

7. CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL (SASG) E SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)

Alguns comentários podem ser feitos sobre a presença de coliformes totais e coliformes fecais nas águas dos Aquíferos Serra Geral e Guarani, sendo que os dados utilizados nesta estatística estão baseados em dados técnicos fornecidos pelo Laboratório da Epagri, sediado em Chapecó-SC. Porém, antes de entrar na análise propriamente do tratamento de dados microbiológicos faz-se necessário distinguir conceitualmente coliformes totais dos coliformes fecais.

Com relação às bactérias patogênicas especialistas afirmam que devido à dificuldade e grande demora inerentes à identificação dos organismos patogênicos existentes em uma amostra proveniente de águas residuárias, a praticidade está em se pesquisar um grupo de bactérias não patogênicas. Estas são mais fáceis de

se detectar, pois estão sempre presentes nas águas que tenham sido poluídas por águas residuárias ou fezes. Este grupo é denominado de bactérias coliformes.

Existem dois grupos de coliformes: os coliformes fecais e os não fecais. O *único e exclusivo “habitat” dos coliformes fecais são os intestinos do homem e dos animais de sangue quente. A presença de coliformes fecais em água indica – sem dúvida – que a mesma recebeu uma poluição fecal. Com relação aos coliformes não fecais, o quadro não é bem definido, porque os mesmos existem naturalmente, tanto em solos não poluídos como nos intestinos. Assim, a sua presença na água não implica necessariamente numa poluição* (Silva & Duncan, 1979).

De um total de 142 amostras analisadas, 71 revelaram resultados positivos na identificação de coliformes totais, o que correspondeu exatamente a 50% de toda a população. A amostragem realizada em poços tubulares da área compreendida por este estudo deu-se durante quatro períodos distintos e consecutivos no ano de 1999.

7.1. Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

O maior número de coliformes totais presentes no aquífero fissural correspondeu a 770,10 NMP/100 ml, enquanto que o menor a 0,06 NMP/100 ml.

Das análises obtidas nas 142 amostras foram caracterizados somente 20 resultados positivos para coliformes fecais, equivalentes a 14% daquele total. O menor número de coliformes fecais encontrado nas águas do aquífero fissural foi de 1 NMP/100 ml, enquanto que o maior correspondeu a 191,80 NMP/100 ml.

Os coliformes totais foram detectados em maior quantidade que os coliformes fecais, como era de se esperar. Na sua maioria, os coliformes fecais

estão relacionados a problemas de contaminação de solos e águas subterrâneas a partir de esterqueiras e/ou contaminações oriundas de águas superficiais de rios da bacia hidrográfica do rio do Peixe.

Alguns comentários podem ser feitos com relação à contaminação por coliformes encontrada em alguns dos poços tubulares do aquífero fissural. Poços tubulares que se conectam a este aquífero têm susceptibilidade à contaminação de suas águas através de sistemas de fraturas/falhas, ainda mais numa região onde a suinocultura, a avicultura e pecuária são intensamente desenvolvidas, gerando volumes grandes de dejetos de origem animal.

Nas áreas urbanas têm-se igualmente atividades agroindustriais e lançamento de esgoto “in natura” para a rede hidrográfica do rio Uruguai, contaminando as águas superficiais e, por conseguinte, as águas subterrâneas. Este tema inclusive têm sido discutido em outras partes nesta monografia.

Observou-se que em poços (P-154, no Mapa de Lineamentos e Poços Tubulares Profundos Frios e Termominerais) com águas de má qualidade contaminadas com coliformes principalmente fecais por períodos prolongados; bombeava-se águas subterrâneas contaminadas abaixo do leito do rio Peixe para o interior do poço através do cone dejeção, na localidade de Barra do Pinheiro, em Capinzal-SC.

Um outro poço (P-108, no Mapa de Lineamentos e Poços Tubulares Profundos Frios e Termominerais) na localidade de Linha Três Pinheiros, em Mariano Moro –RS, situado a menos de 12 m de uma esterqueira apresentou variações na contagem de coliformes durante as amostragens que se sucediam no período anual, chegando a níveis zero na contagem, quando constatou-se havia pouca atividade na esterqueira.

É interessante registrar que as pessoas responsáveis pelos poços foram avisadas reiteradas vezes sobre a contaminação dos poços, porém, nunca

tomaram qualquer providência por nós aconselhada para desinfetar as águas ou mudar de poço ou fazer a retirada definitiva da esterqueira do local. As autoridades municipais que tinham responsabilidade sobre a manutenção, fiscalização e prevenção das condições sanitárias da mesma forma nunca tomaram qualquer medida para reverter a situação, mesmo sendo informadas a respeito da realidade dos fatos.

7.2. Sistema Aqüífero Guarani (SAG)

Nas águas do Sistema Aqüífero Guarani foi identificada uma quantidade não muito significativa de coliformes totais e um número bastante pequeno de coliformes fecais que não superou 3,0 NMP/100 ml em alguns dos poços termais amostrados. Esses números alcançados para os coliformes não estão muito fora do padrão de potabilidade em vigência, principalmente levando-se em consideração os argumentos tecidos no parágrafo seguinte. Essa amostragem ocorreu durante três períodos consecutivos entre 1999 e 2000.

8. CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DOS SISTEMAS AQÜÍFEROS SERRA GERAL (SASG) E GUARANI (SAG)

Para a classificação geoquímica, procedeu-se à representação gráfica de 97 (noventa e sete) amostras de água subterrânea pertencentes ao Aqüífero Fraturado Serra Geral e ao Sistema Aqüífero Guarani através da plotagem em Diagramas de Piper. Deste total, 85 amostras correspondem ao aqüífero fraturado, enquanto 12 representam o aqüífero poroso.

O Diagrama de Piper é de grande utilidade quando se trabalha com um número bastante grande de análises químicas de água, e serve para classificar e

comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes (Feitosa et. al, 2000).

Para Lafuente (1981), este diagrama expressa as relações químicas entre águas diferentes com uma maior clareza sobre os demais sistemas. Uma das vantagens de sua aplicação está na identificação das misturas das águas.

Uma avaliação foi feita preliminarmente nas análises de água através do cálculo do erro da análise. Foi empregado o cálculo dos erros prático e teórico cometido, segundo a definição de Custódio & Llamas (op. cit. 1983), descartando-se aquelas amostras que não apresentaram balanço iônico. O desequilíbrio iônico verificou-se tanto nas análises químicas de águas do Aquífero Serra Geral, quanto naquelas pertencentes ao Sistema Aquífero Guarani.

Uma classificação geoquímica bastante confiável sob o aspecto do equilíbrio iônico das análises químicas pode então ser definida para as águas do Aquífero Serra Geral e do Sistema Aquífero Guarani.

8.1. Classificação Geoquímica das Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral

Com relação a classificação das águas obtidas através da aplicação do Diagrama de Piper, neste estudo ficou demonstrado que as águas do Aquífero Serra Geral possuem composições típicas e bem determinadas, normalmente bicarbonatadas, com uma maior concentração magnésiana sobre a sódica, ou então, águas bicarbonatadas magnesianas cálcicas. Águas de composição bicarbonatada sódica magnésiana, também representativas do aquífero fissural são menos freqüentes que os dois tipos bicarbonatada predominantemente magnésiana, seja de composição mais sódica, seja de composição mais cálcica.

Águas bicarbonatadas sódicas são atípicas na Formação Aqüífera Serra Geral, porém, aparecem com uma freqüência significativa naquele contexto hidroquímico, conforme demonstra o levantamento estatístico.

Nesta mesma linha, seguem os tipos cloretados magnesianos com predominância sódica ou então, cálcica, mas que são pouco freqüentes perante às outras classificações geoquímicas.

Classificação Hidroquímica	Quantidade de Amostras	Freqüência Relativa (%)	Freqüência Acumulada
Bicarbonatada magnesiana sódica	30	35,29	35,29
Bicarbonatada Sódica	23	27,05	62,34
Bicarbonatada magnesiana cálcica	17	20	82,34
Bicarbonatada sódica Magnesiana	11	12,94	95,28
Cloretada magnesiana sódica	2	2,35	97,63
Cloretada magnesiana cálcica	2	2,35	99,98 ~ 100

Tabela (14) – Classificação geoquímica das águas do Aqüífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho.

No tratamento estatístico dispensado a 85 amostras de água pertencentes ao Aquífero Serra Geral, as águas de composição bicarbonatada magnesiana sódica estão representadas com 35,29% no contexto total (Tabela 14).

Os tipos bicarbonatados magnesianos sódicos possuem grande representatividade de caráter hidroquímico no aquífero fissural, junto com os bicarbonatados magnesianos cálcicos, os quais serão analisados em seguida justamente por esta importância. As águas bicarbonatadas magnesianas sódicas constituem a classe mais numerosa de toda a análise estatística.

Na figura (40) estão plotadas amostras de água do poço P-66 (Mapa de Lineamentos e Poços Tubulares Profundos Frios e Termominerais), da localidade de Passo do Uva, no município de Itá-SC. As amostras de água foram coletadas em quatro períodos (Amostragens 1, 2, 3 e 6) distintos, entre 1999 e 2000.

Os seguintes tipos geoquímicos para as águas do aquífero fissural foram classificados em (figura 40):

- Bicarbonatadas magnesianas cálcicas;
- Bicarbonatada magnesianas sódicas;
- Bicarbonatadas sódicas magnesianas.

No quadrante superior à esquerda do Diagrama de Piper, abaixo de *Explanation*, os dois círculos de coloração avermelhada simbolizam as variações encontradas nas concentrações (mg/l) de STD, respectivamente, menores e maiores presentes na amostragem.

Para águas com representatividade do aquífero fraturado, àquelas de composição bicarbonatada magnesiana cálcica, como foi já acentuado são legítimas representantes do aquífero basáltico devido à sua gênese composicional hídrica (Figura 41), constituindo uma terceira classificação de águas com 20% sobre o total. Os tipos com predominância bicarbonatada magnesiana cálcica mais aquele bicarbonatado magnesiano sódico representam 55,29% de toda água classificada do Aquífero Serra Geral.

Verificaram-se duas amostragens 05 e 06 de águas subterrâneas realizadas no poço tubular P-94 (Mapa de Lineamentos e Poços Tubulares Profundos Frios e Termominerais), localizado na Linha Suzana, no município de Marcelino Ramos-RS, em 2000 (Figura 41).

Observa-se que os tipos de águas de composição bicarbonatada magnesiana cálcica representados no Diagrama de Piper e simbolizados por um círculo azul marinho e um quadrado verde claro estão definidos no campo à esquerda do losângulo, e no triângulo à direita, ambos domínios de águas bicarbonatadas, sendo que o triângulo situado à esquerda é determinante na composição de águas com predominância magnesiana cálcica. No quadrante superior à direita do Diagrama de Piper, a nomenclatura dos dois círculos de coloração azul marinhos expressam a quantidade de STD em miliequivalentes/l, respectivamente, para a menor e a maior concentração encontrada nas duas amostragens.

As bicarbonatadas de composição sódica magnesiana que também estão filiadas ao primeiro grupo constituíram 13% daquele total (Figura 41).

As águas de composição estritamente bicarbonatada sódica, consideradas como atípicas no quimismo do Aquífero Serra Geral apresentaram significativa freqüência com 27,05% sobre o total, representando o segundo tipo composicional mais numeroso da análise estatística (Figura 42). Os tipos cloretados magnesianos de composição predominantemente sódica ou então cálcica são considerados devido a sua classificação hidroquímica como incompatíveis geoquimicamente com águas do aquífero fissural da região pesquisada neste estudo.

Os esclarecimentos técnico-científicos sobre a representatividade geoquímica dos tipos de águas mais característicos do Aquífero Serra Geral e do Sistema Guarani com base nas conclusões subtraídas do autor desta análise

hidrogeológica-geoquímica, e comparativamente com trabalhos científicos publicados por autores especializados, serão abordados nos parágrafos posteriores.

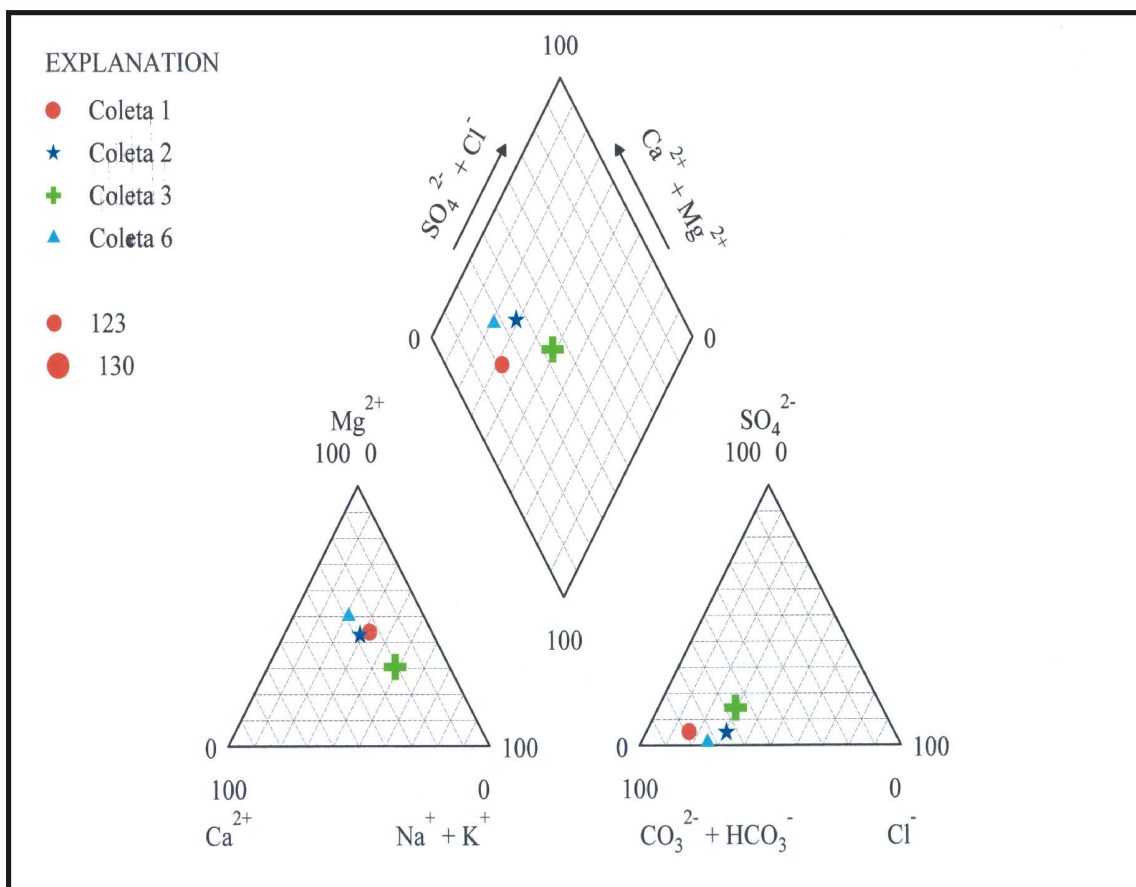


Figura 40 – Classificação das águas subterrâneas do Poço P-66 do Aquífero Serra Geral em 04 amostragens distintas, segundo o Diagrama de Piper.

A hidroquímica do Aquífero fissural está representada basicamente por três campos geoquímicos distintos a saber, um dominante, e típico, de águas cuja composição seja bicarbonatada magnésiana sódica, bicarbonatada magnésiana cálcica, ou então, bicarbonatada sódica magnésiana derivadas sobretudo pelo tempo de residência com rochas de gênese vulcânica, distribuição do dióxido de carbono no ciclo hídrico, etc.; um segundo por águas bicarbonatadas sódicas

(atípico), e um terceiro tipo cloretado magnesiano sódico/cálcico, menos freqüente, dentre os demais.

Há uma nítida incompatibilização geoquímica entre as três classificações de águas, sendo que o primeiro tipo composicional é característico de águas do Aqüífero Serra Geral, enquanto que os dois últimos tipos representam misturas de águas desse aqüífero com as do Sistema Aqüífero Guarani, e/ou com outras formações paleozóicas, todos subjacentes ao pacote de derrames vulcânicos. Água de natureza mista é a resposta geoquímica para esses tipos composicionais.

Os poços no Aqüífero Serra Geral na bacia hidrográfica do rio Uruguai são próximos a sistemas de fraturamentos antigos e profundos, sobre os quais, este rio e seus tributários seguem alinhados na forma de vales suspensos e encaixados. As zonas de recarga ascendentes do Sistema Aqüífero Guarani interconectadas a fraturamentos subverticais do pacote vulcânico sobreposto promovem a mistura das águas.

Bittencourt (1978) apud Ernani Rosa Filho et al. (2003) identificaram a tipologia da água deste aqüífero (Sistema Aqüífero Serra Geral) como sendo bicarbonatada cálcica. Esses autores atribuem a composição bicarbonatada sódica de algumas águas captadas em poços com profundidades máximas de 200 m, a uma mistura com as águas de aqüíferos subjacentes, a exemplo do Aqüífero Guarani e aqüíferos paleozóicos.

Outras classificações geoquímicas de águas encontradas, menos freqüentes, têm sido interpretadas como de natureza mista, são águas cloretadas magnesianas sódicas, e cloretadas magnesianas cálcicas

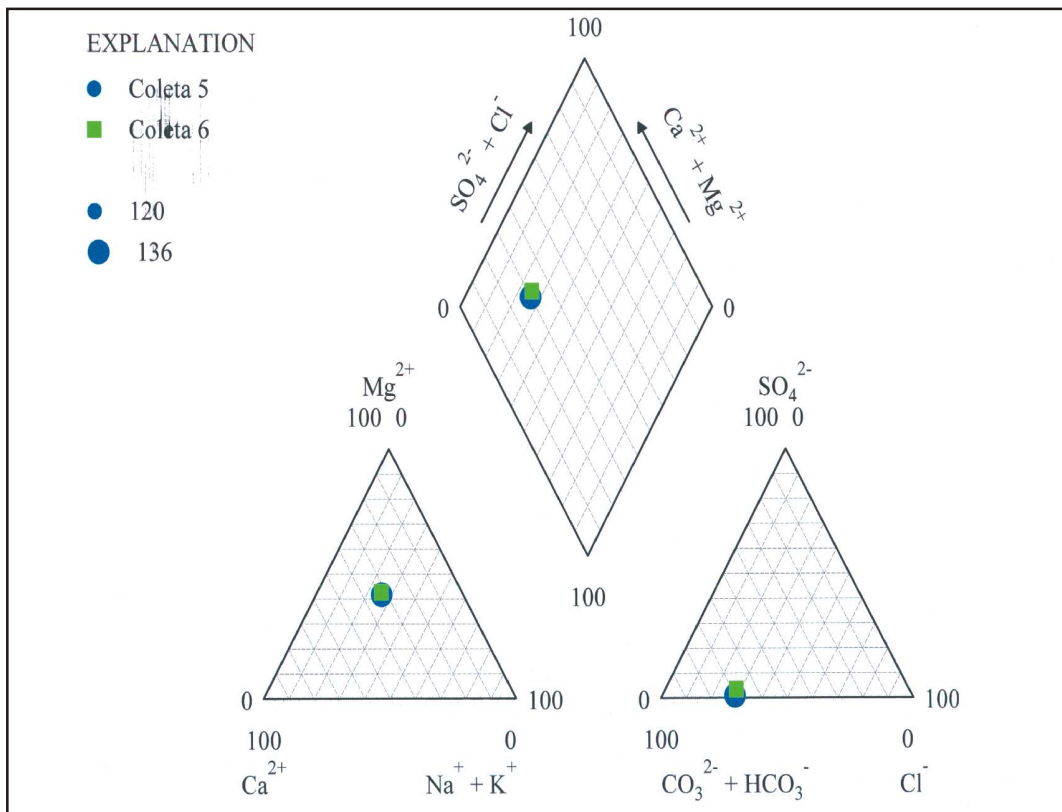


Figura 41 – Classificação das águas subterrâneas do Poço-94 em 02 amostragens distintas do Aquífero Serra Geral, segundo o Diagrama de Piper.

Resumidamente, pode-se caracterizar a hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios de Itá e Machado pelos seguintes tipos composicionais, os quais mereceram tratamento estatístico conforme representação na Tabela (15).

Figura 42 – Classificação das águas subterrâneas do poço P-90 do Aquífero Serra Geral, durante 03 amostragens distintas, segundo o Diagrama de Piper.

8.2. Classificação Geoquímica das Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani

A classificação geoquímica das águas do Sistema Aquífero Guarani, como no procedimento anterior, pode ser determinada no Diagrama de Piper através da plotagem dos percentuais em miliequivalentes dos cátions e ânions.

Buscou-se uma melhor representatividade das águas do Sistema Aquífero Guarani através da plotagem dos íons das amostras de águas subterrâneas coletadas em cinco diferentes poços termais do Sistema Aquífero Guarani, todos localizados na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho. A amostragem foi realizada no período de 1999 a 2000.

Esses poços termais como foi salientado estão distribuídos sobre a área de pesquisa, cujas águas termominerais possuem os seguintes usos:

- poço P-232, Thermas Park Hotel de Piratuba-SC (estância hidrotermal);
- poço P-233, empresa Sadia, município de Concórdia-SC (agroindústria);
- poço P-234, localidade de Balneário, Prefeitura Municipal de Marcelino Ramos-RS (estância hidrotermal);
- poço P-235, Cia. Hidrotermal de Piratuba-SC (estância hidrotermal);
- poço P-236, Casan, município de Itá-SC (abastecimento público).

Os íons dessas águas subterrâneas ocupam dois campos distintos no losango maior integrante do Diagrama de Piper a saber: o das águas bicarbonatadas sódicas e das águas cloretadas. O domínio das águas do tipo bicarbonatada sódica é representada pelo losango menor localizado na porção inferior do losango maior, enquanto que o das águas sulfatadas e/ou cloretadas cálcicas e/ou magnesianas, no losango menor localizado a direita do losango maior.

As águas de composição geoquímica bicarbonatada sódica formam o tipo geoquímico mais freqüente e abundante encontrado em três amostragens consecutivas nas águas subterrâneas de quatro poços tubulares profundos que seccionam o SAG: agroindústria Sadia de Concórdia, Cia. Hidrotermal de Piratuba, Thermas Park Hotel de Piratuba e Estância Hidrotermal da Prefeitura Municipal de Marcelino Ramos, esta última no Estado do Rio Grande do Sul.

O tipo bicarbonatado sódico predominante está representado por um agrupamento de figuras geométricas simbolizadas na legenda da Figura (43), por um círculo vermelho, um triângulo azul, uma cruz verde, um xis azul e um quadrado verde, todas localizadas na parte inferior na lateral direita do losango.

Apenas um tipo de água classificada como cloretada sódica foi identificada no SAG e está representada por uma estrela de cinco pontas na coloração azul, posicionada na parte superior do losango a direita.

O quimismo final dessas águas determinado pelos triângulos menores dos ânions e cátions conferem-lhes tipos bicarbonatados e sódicos, simbolizados pelo círculo vermelho, um triângulo azul, uma cruz verde, um xis azul e o quadrado verde inseridos nas extremidades opostas dos triângulos do Diagrama de Piper. Observa-se que há concentrações em torno de 100% para os cátions $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ e os ânions Cl^- , e intermediárias para os ânions $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ e SO_4^{2-} , nos dois triângulos.

Águas de composição cloretada sódica estão representadas nos triângulos menores, nos respectivos domínios pela estrela de cinco pontas azul, conforme a representação gráfica (figura 43) para águas do Sistema Aquífero Guarani.

Em uma outra representação gráfica do SAG, empregando-se o Diagrama de Piper na classificação geoquímica das águas do poço de Itá, outros tipos geoquímicos foram encontrados.

Conforme verificou-se na área em estudo, as águas do SAG apresentaram uma composição bicarbonatada sódica na região de Piratuba-SC, ali representado por dois poços termais e também de Concórdia-SC, no poço da empresa Sadia, enquanto que no entorno de Itá-SC e Marcelino Ramos-RS as águas tornam-se respectivamente, cloretada sódica bicarbonatada e cloretada sódica.

Fenzl (1986) afirma que concentração de cloro nas rochas magmáticas é de 305 mg/kg, nas rochas carbonáticas de 305 mg/kg e nos arenitos só 15 mg/kg. Ainda segundo esse autor, o cloreto possui uma alta mobilidade, e por isso é rapidamente lixiviado das rochas ou sedimentos mais permeáveis.

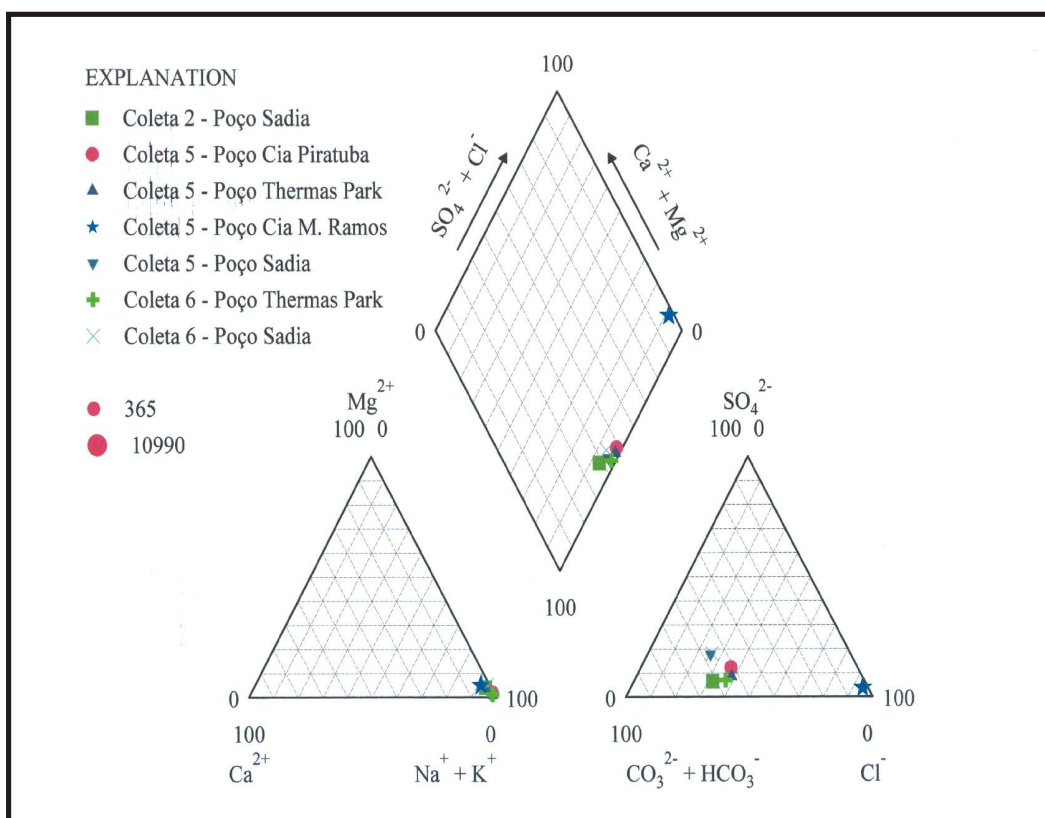


Figura 43 – Classificação das águas subterrâneas de 04 poços do Sistema Aquífero Guarani em 3 amostragens distintas, segundo o Diagrama de Piper.

Assinala-se que as duas regiões acima, típicas por suas águas cloretadas estão localizadas mais próximas do rio Uruguai (ou melhor, do reservatório da

UHE Itá), que têm o seu curso d' água e o de tributários fortemente encaixados por lineamentos tectônicos profundos, principalmente naquela região, conforme atesta o Mapa de Lineamentos e de Poços Tubulares Profundos Frios e Termominerais.

A lixiviação de cloretos a partir do sistema fissural das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral sobrejacente, e em menor extensão dos arenitos da Formação Botucatu a partir de fluxos ascendentes deste, e que podem percolar entre os dois sistemas aquíferos pode ser considerada hipoteticamente. A percolação do cloreto proveniente da Formação Aquífera Rio do Rasto, pertencente ao Grupo Passa Dois subjacente à Formação Botucatu também não é descabível, através da superfície piezométrica.

A composição geoquímica das águas do Membro Morro Pelado, encontradas no andar superior da Formação Rio do Rasto é caracteristicamente a de cloretadas e bicarbonatadas-magnesianas (Petrobrás, 1995).

Este tampão de confinamento tinha por objetivo justamente a obstrução das águas do Sistema Aquífero Guarani e do Grupo Passa Dois, subjacente, e logicamente, no período posterior à abertura, quando então se observou nitidamente a contaminação ou a mistura de águas, ocasionada pela perfuração de camadas indesejáveis do Grupo Passa Dois, sotopostas à Formação Botucatu.

Mesmo com a provável mistura dessas águas ocorrida pelo incidente da empresa perfuradora; deve ser frisado, que anteriormente ao fato, já se bombeava águas subterrâneas daquele poço termal com níveis significativos na concentração de sulfatos, ânions que normalmente não são típicos das águas do Sistema Aquífero Guarani. O que, portanto, já refletia naquele período, a mistura dessas águas com formações aquíferas do Grupo Passa Dois/Super Grupo Tubarão, com as águas notadamente sulfurosas da Formação Irati e do Grupo Itararé.

Uma classificação padrão encontrada para as águas do aquífero poroso da região do rio Uruguai pode ser estendida para o mesmo aquífero em outros locais da bacia sedimentar, especificamente para condições de confinamento. Outras classificações para águas deste aquífero, de caráter estritamente regional tiveram também as suas representações gráficas, como pode ser visto no item específico.

9. INTERPRETAÇÃO DOS MAPAS HIDROQUÍMICOS

A apresentação de mapas temáticos de hidroquímica nesta monografia foi escolhida tomando por base os constituintes iônicos principais dissolvidos nas águas subterrâneas dos dois Sistemas Aquíferos enfocados: Serra Geral e Guarani. Os mapas hidroquímicos estão representados em dois formatos distintos A4 e A2, os quais foram elaborados nas escalas 1:350.000 e 1:175.000, cujas áreas cobrem 164.175 ha e 267.722,70 ha, respectivamente.

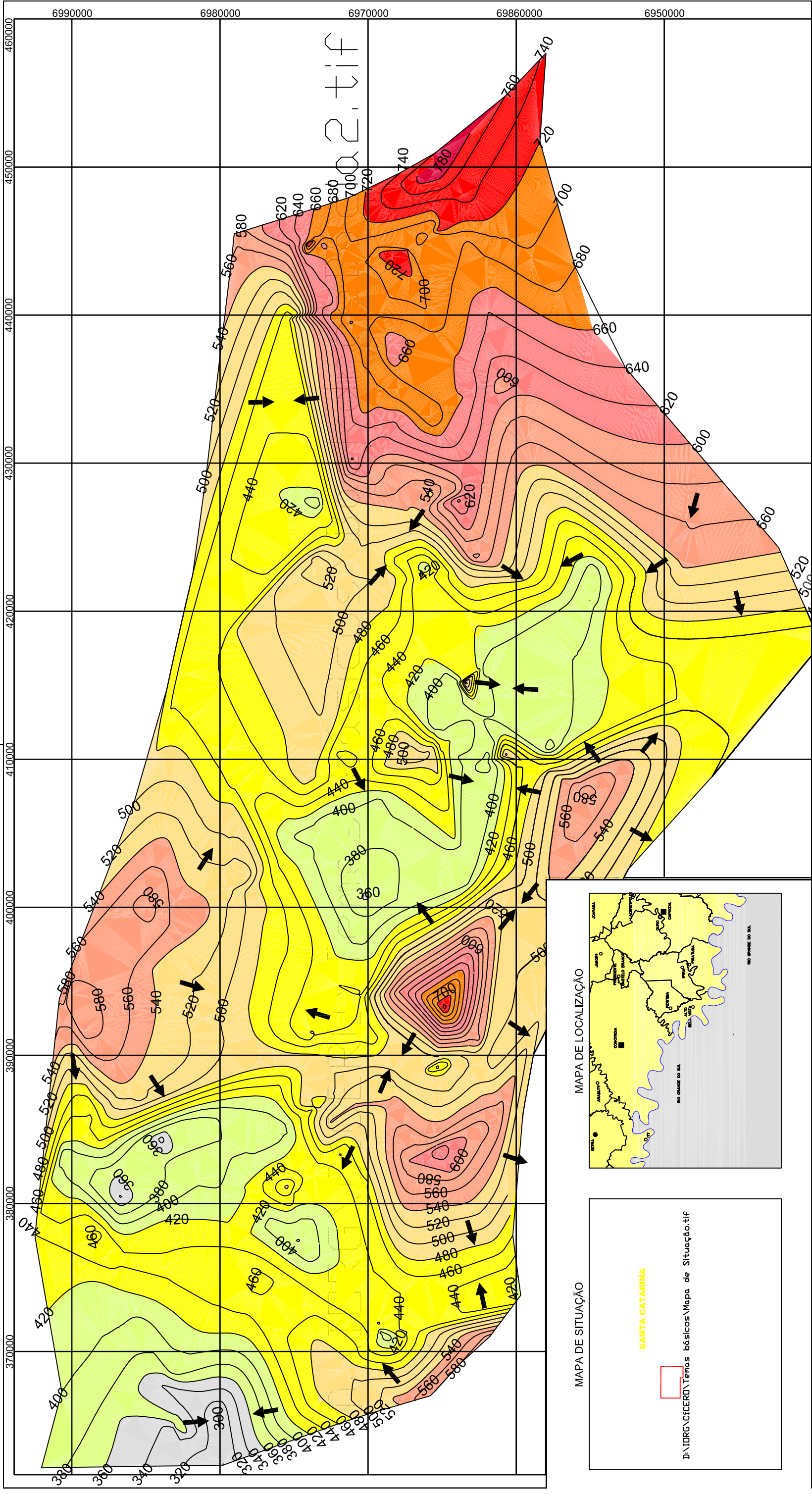
A representação dos 233 poços tubulares cadastrados inclui 228 poços tubulares abastecidos pelo Aqüífero Serra Geral e 5 poços tubulares que fornecem águas termais do Sistema Aqüífero Guarani (Mapa de Lineamentos e Poços Tubulares Profundos Frios e Termominerais, escala, 1: 175.000).

A área menor mapeada (1: 350.000) representa os principais aspectos físico-químicos das águas subterrâneas de 42 poços tubulares, normalmente estendidos para o Sistema Aqüífero Serra Geral.

9.1 Mapa Potenciométrico

O Mapa Potenciométrico (figura 45) foi elaborado levando-se em conta a superfície piezométrica obtida em 228 poços tubulares perfurados nas rochas basálticas do Sistema Aqüífero Serra Geral. A declividade da superfície piezométrica é geralmente média a elevada, alcançando valores da ordem de 64,40-77 %, atingindo declividades superiores em outros locais, como na porção NE do mapa, e centro-sul, entre as coordenadas UTM 6.950.000N/410.000E e 6.970.000/400.000E.

Pelo menos 06 (seis) zonas de recarga natural podem ser visualizadas neste mapa, quatro delas estão localizadas na porção meridional SW em direção a



2.tif

INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente

Escala
 1:350.000

MAPA DE SITUAÇÃO

SANTA CATARINA

D:\LDRG\CICERD\Temas básicos\Mapa de Situação.tif

MAPA DE LOCALIZAÇÃO

CONVENÇÕES

VALORES DE COTAS POTENCIOMÉTRICAS

800m
780m
720m
660m
600m
540m
480m
420m
360m
<360m

LEGENDA

- Divisas Oficiais Municipais
- Área de Interesse
- Estradas Principais
- Estradas secundárias
- Hidrografia
- Linha de isovalores de 20 em 20m
- Fluxo migratório de águas subterrâneas

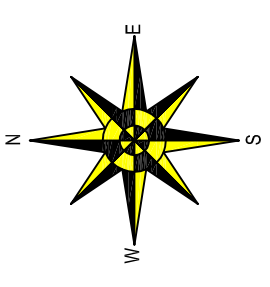
HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE DOS AQUIFÉROS SERRA GERAL E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO, SC - RS

Cícero A. S. Almeida

FIGURA 45

MAPA POTENCIOMÉTRICO

OUTUBRO DE 2003



oeste, enquanto que a quinta está localizada no quadrante NNW da área, e a última, com maior extensão, na porção leste da área, onde as cotas potenciométricas alcançam 780 m.

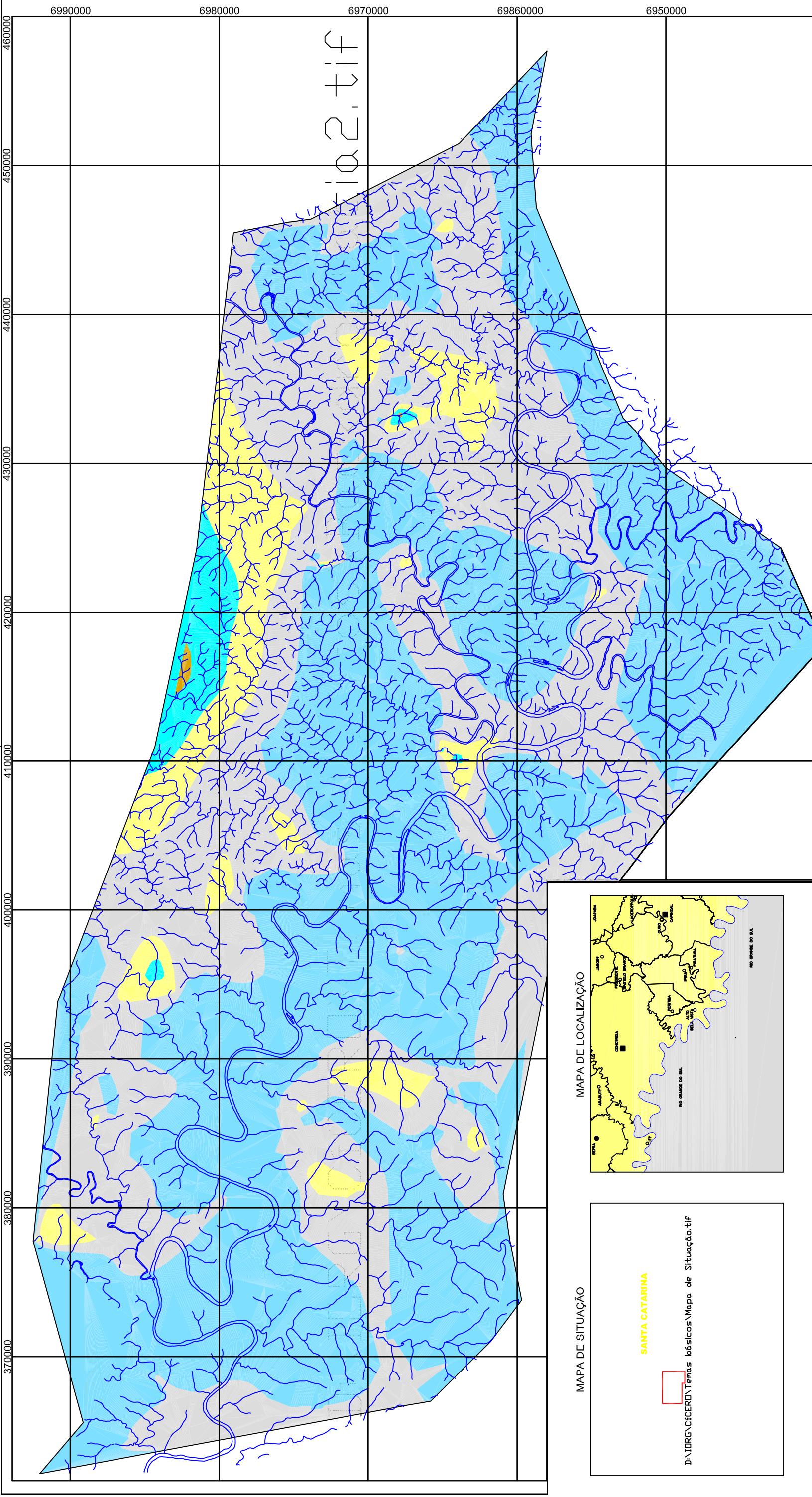
A zona de descarga se dá principalmente na área central do mapa, no sentido longitudinal por onde passa o rio Uruguai. Outras áreas de descarga de menor expressão na porção NE, sentido NE-SW, estão representadas por onde flui o rio do Peixe. Uma destacada zona de descarga praticamente forma um corredor entre os dois estados na porção NW e SW, onde passam os rios Jacutinga (catarinense), e o rio Novo (gaúcho). O gradiente hidráulico da cota potenciométrica de 780 m com a mais baixa (300 m) situada no rio Uruguai chega a 480 m.

9.2. Mapa de Frequência de Vazões

Compõem o presente mapa (figura 46) as vazões registradas em 217 poços tubulares profundos, compilados do cadastramento de poços (SDM, 2002) executado pela CPRM, e que estão distribuídos em ambas margens do rio Uruguai, respectivamente nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

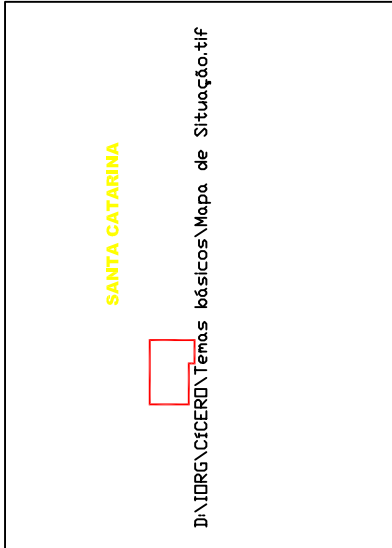
Destaca-se neste mapa uma curva de contornos com um intervalo de valores de vazão entre 18,12 e 44,70 m³/h, que são as maiores vazões obtidas nas amostragens. Representa uma zona de descarga.

Três outras curvas de contornos de vazões com valores entre 18,12 e 35,84 m³/h com dimensões menores estão distribuídas da seguinte maneira: uma localizada no quadrante NW, uma segunda próxima da confluência do rio do Peixe com o rio Uruguai, e uma terceira localizada na margem esquerda do rio do Peixe, próxima do município de Capinzal-SC. Todas as três curvas encontram-se sobre áreas de descarga, com acentuado desnível potenciométrico.

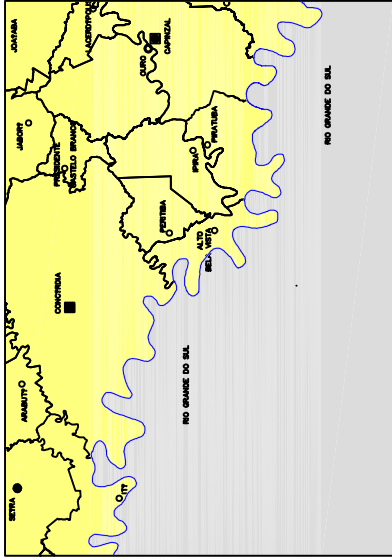


ia2.tif

MAPA DE SITUAÇÃO



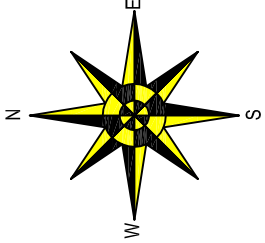
MAPA DE LOCALIZAÇÃO



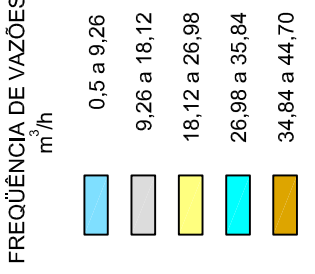
INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente

Escala
1:350.000

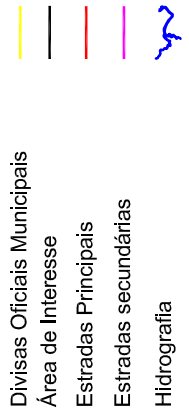


CONVENÇÕES



Obs: Curva de iso-teor com intervalo de 8,76m³/h

LEGENDA



HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE
 DOS AQUIFEROS SERRA GERAL
 E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA
 DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO,
 SC - RS
 Cícero A. S. Almeida
 FIGURA 46
 MAPA DE FREQUÊNCIA DE VAZÕES

Pode-se perceber no mapa que os menores valores de vazões, nos intervalos entre 0,5 e 9,26 m³ /h, para o Aquífero Serra Geral, que, inclusive são predominantes estatisticamente encontram-se no entorno do rio Uruguai, em ambas margens; do rio do Peixe; ocupando todo o quadrante SE; e nas área dos rios Dourados e Lamedor no estado do rio Grande do Sul. Todos esses locais estão associados a zonas de descarga. A porção SE representa uma das maiores áreas de descarga, como pode ser verificado no Mapa Potenciométrico.

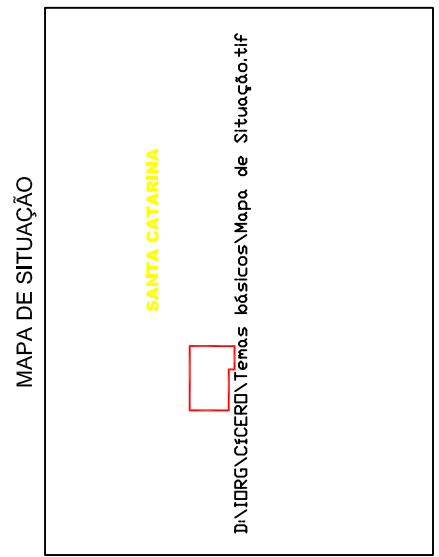
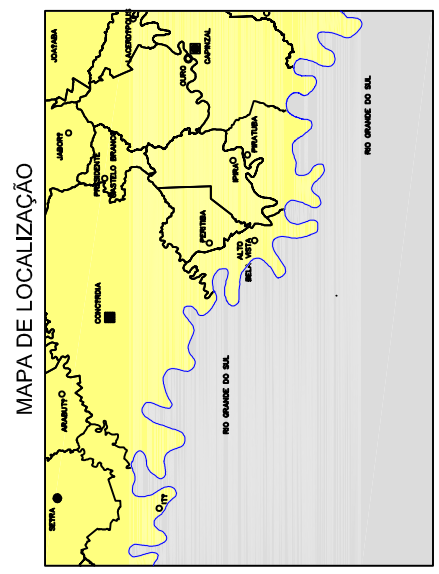
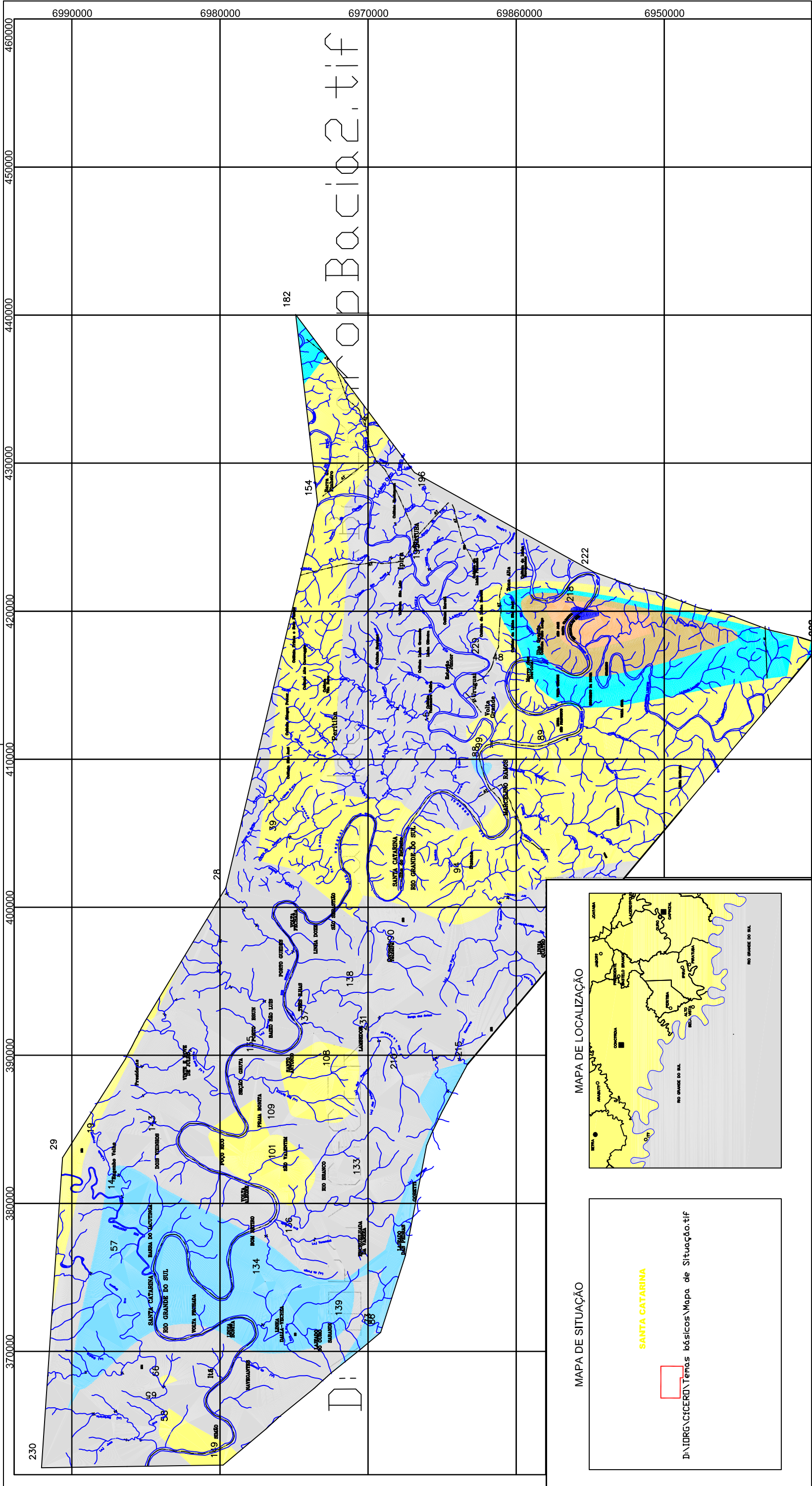
Pode-se observar que este mapa representa com muita clareza todas as vazões encontradas nos poços tubulares do Aquífero Serra Geral, na área de influência direta e indireta dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

9.3. Mapa de Dureza

Neste mapa (figura 47) estão distribuídos os valores de dureza encontrados em 42 poços tubulares.

Uma auréola bem definida, com valores de dureza situados entre 103,11 e 227,27 mg/L, aproximadamente transversal ao rio Uruguai, está representada no entorno do município gaúcho de Marcelino Ramos, especificamente entre a cidade e a Estância Balneária. A concentração dos valores de dureza parece representar uma influência das águas do Sistema Aquífero Guarani sobre as águas do Aquífero Serra Geral.

Um segmento desta curva de contorno, com valores de dureza entre 72,07 e 103,11 mg/L, na coloração amarela clara, destaca-se pela distribuição geoquímica regional, de forma aproximadamente lenticular e transversalmente ao rio Uruguai.



INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente

Escala
 1:350.000

CONVENÇÕES DE DUREZA
 mg/L

10 A 41,03
41,03 A 72,07
72,07 A 103,11
103,11 A 134,15
134,15 A 165,19
165,19 A 196,23
196,23 A 227,27

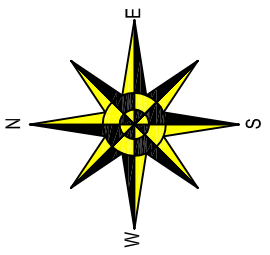
LEGENDA

- Divisas Oficiais Municipais
- Área de Interesse
- Estradas Principais
- Estradas secundárias
- Hidrografia

HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS SERRA GERAL E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO, SC - RS

Cícero A. S. Almeida
 FIGURA 47
 MAPA DE DUREZA

OUTUBRO DE 2003



Obs: Curva de iso-teor com intervalo de 31.03 mg/L

Os outros intervalos de dureza, menos significativos, ocorrem a montante de Capinzal-SC, ao longo do rio do Peixe; uma curva de contorno igualmente transversal ao rio Uruguai, no quadrante NW, entre Itá-SC e Aratiba-RS, estendendo-se para o sul, no estado vizinho.

São águas com variações de Branda a Pouco Dura, conforme demonstra a Tabela de Dureza (16).

Considerando-se que o teor mais elevado de dureza encontrado nas águas do Sistema Aquífero Serra Geral correspondeu a uma única amostra com 208 mg/l de CaCO_3 , que classifica a água como Muito Dura, conforme demonstra a Tabela (16) de Classificação das águas segundo a dureza de Custódio & Llamas (1983), então pode-se concluir que a dureza dessas águas em geral conservaram-se em patamares que variam de Branda a Pouco Dura e bem menos freqüente, de Dura a Muito Dura.

TIPO	TEOR DE CaCO_3
Branda	< 50
Pouco Dura	50 – 100
Dura	100 – 200
Muito Dura	> 200

Tabela (16) – Classificação das águas segundo a dureza expressa em mg/L de CaCO_3 . Fonte: Custódio & Llama (1983).

Para que ocorra a incrustação de CaCO_3 , é necessário normalmente, uma dureza acima de 300 mg/l presente na água, enquanto que para efeitos de corrosão necessita-se de uma dureza inferior a 300 mg/l, conforme divulgado em uma tabela de valores (CETESB, 1977). É interessante ressaltar que mesmo diante desta classificação para águas Muito Duras, em pelo menos dois poços pode-se constatar a incrustação de CaCO_3 na junção da saída d' água do poço

tubular P-134, localizado na comunidade de Três Barras (reassentamento da UHE Itá), no município de Aratiba-RS, e do poço P-57, na Linha Alvorada, em Itá-SC. Os valores detectados de dureza para esses poços foram, respectivamente, 45,6 e 23,8 mg/L de CaCO_3 em uma amostragem realizada no mês de julho de 2.000.

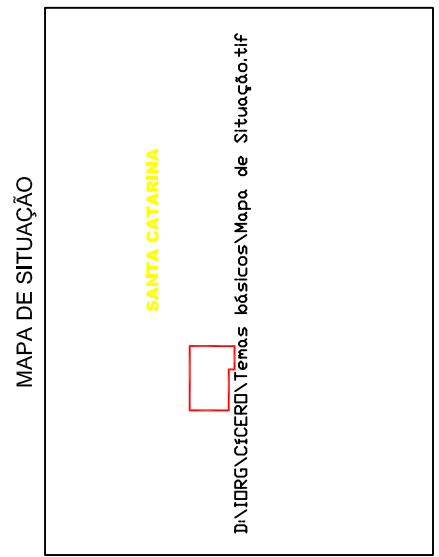
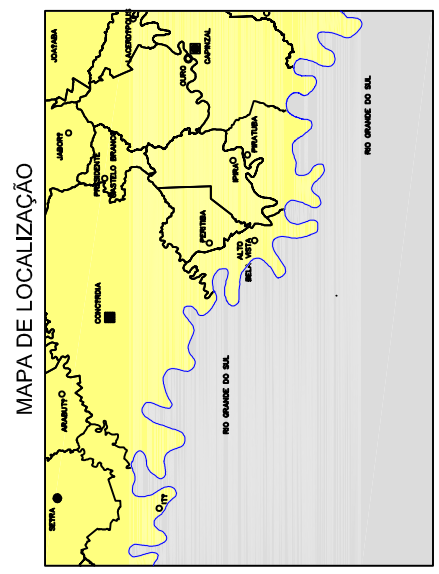
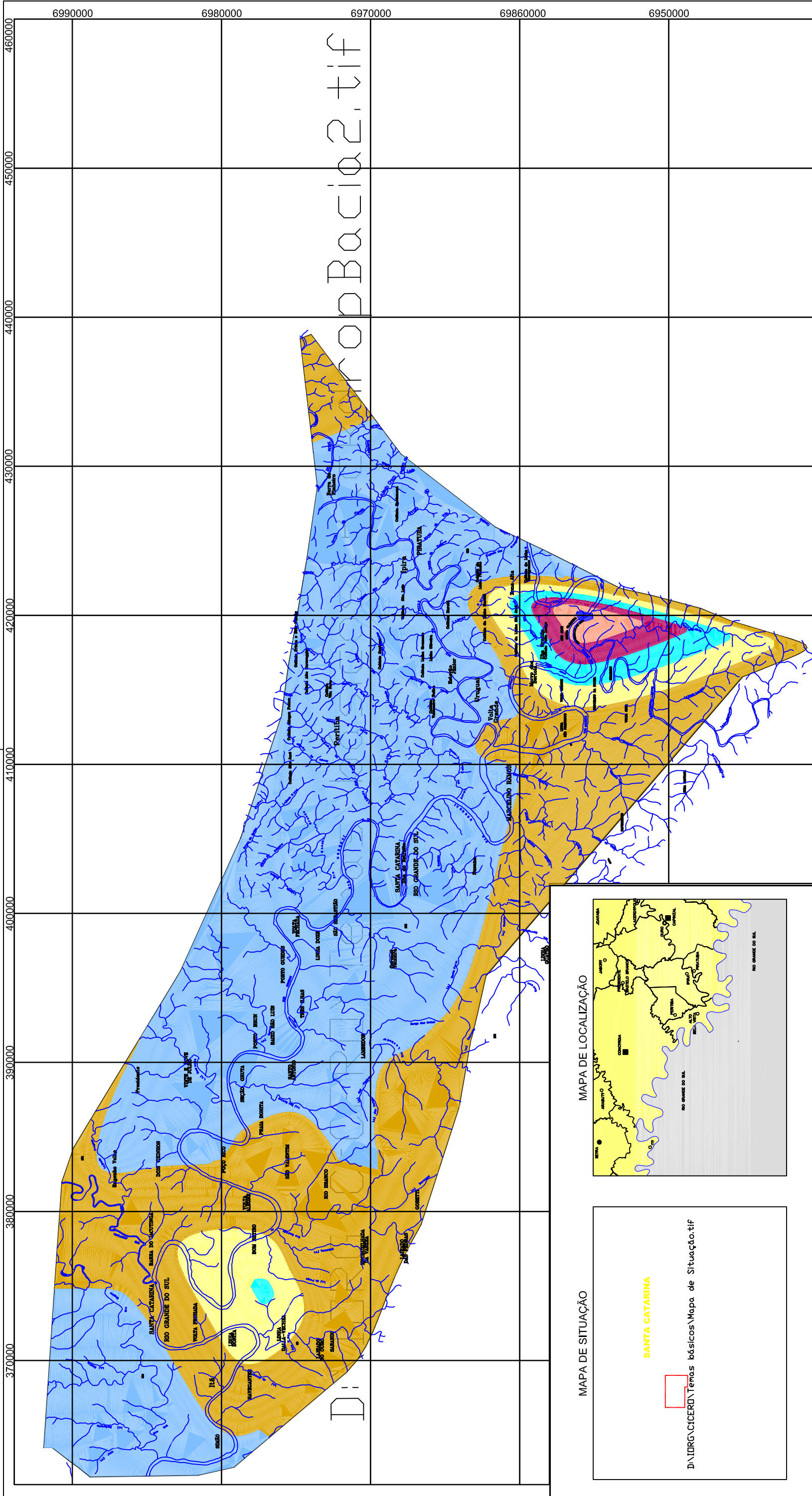
9.4. Mapa de pH

Duas auréolas com valores de pH igual ou superior a 8,23 se destacam, ocupando posições diferenciadas neste mapa (figura 48). A auréola maior localiza-se no quadrante NW do mapa, na porção setentrional distribuindo-se pelos municípios de Concórdia, Itá, e na porção meridional, nos municípios gaúchos de Aratiba, Mariano Moro e Severiano de Almeida. A outra auréola está configurada ao redor do município de Marcelino Ramos.

As águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral com altos valores de pH representados nessas auréolas certamente constituem misturas de águas com as do Aquífero Guarani subjacente, e foram mostradas no diagrama triangular de Piper, com as respectivas composições. Inclusive uma discussão é feita sobre o gráfico da Figura (39) que apresenta as relações entre as espécies de gás carbônico e o pH das águas naturais.

9.5. Mapa dos Teores de Sólidos Totais Dissolvidos

As duas auréolas evidenciando o aumento dos teores de sólidos totais dissolvidos refletem as zonas de descarga, uma em torno do município de Marcelino Ramos-RS, na porção SE do mapa (figura 49) e a outra centralizada em torno do rio Uruguai, no quadrante SSW. A auréola mais externa que representa o intervalo entre 157,79 e 242,69 mg/l de cor parda também corresponde a uma zona de descarga, já evidenciada no mapa de potencial hidráulico.



INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente

Escala
 1:350.000

MAPA DE LOCALIZAÇÃO

MAPA DE SITUAÇÃO

SANTA CATARINA

D:\LDRG\CICERD\Temas básicos\Mapa de Situação.tif

CONVENÇÕES

VALORES DE STD
73 a 157,79
157,79 a 242,59
242,59 a 327,39
327,39 a 412,19
412,19 a 496,99
496,99 a 581,79
581,79 a 666,59

LEGENDA

- Divisas Oficiais Municipais
- Área de Interesse
- Estradas Principais
- Estradas secundárias
- Hidrografia

HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE DOS AQUIFEROS SERRA GERAL E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO, SC - RS

Cícero A. S. Almeida

FIGURA 49

MAPA DE SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

OUTUBRO DE 2003

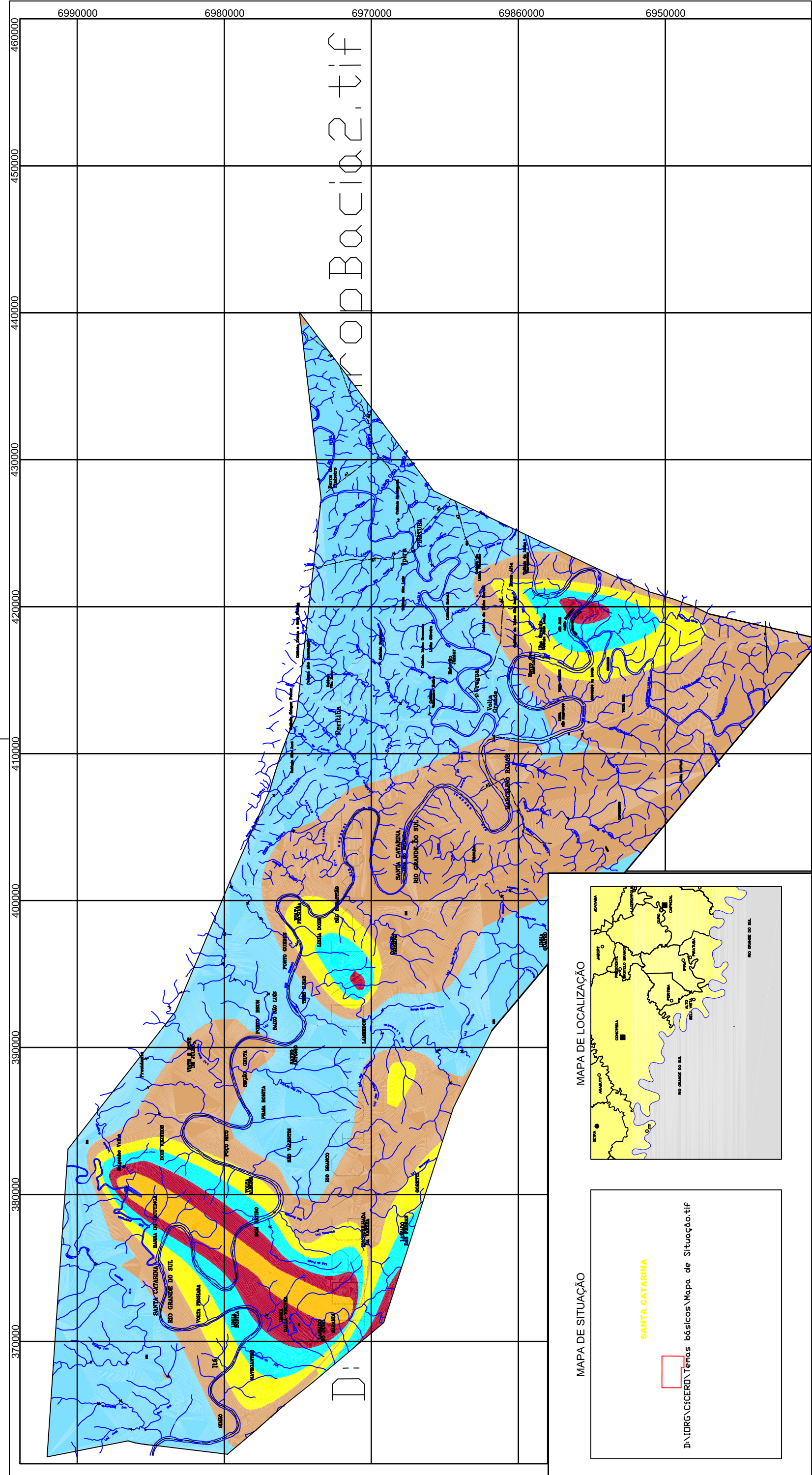
Os mapas de sólidos totais dissolvidos e de cloretos permitem identificar com boa margem de precisão a direção do fluxo subterrâneo, quando não se dispõe de mapas piezométricos (CETESB, 1977).

9.6. Mapa dos Teores de Fluoretos

No mapa de contornos de fluoretos (figura 50) as maiores concentrações deste ânion estão representadas em três auréolas, cujas localização geográfica coincide com as áreas de descarga previamente definidas no Mapa de Potencial Hidráulico. Os maiores teores de fluoretos permitem identificar as áreas de descarga, já que estão associados às mesmas no presente mapa. Duas das concentrações de fluoreto estão localizadas nos quadrantes NW e SE do mapa em questão, e uma terceira na parte centralizada na margem esquerda do rio Uruguai.

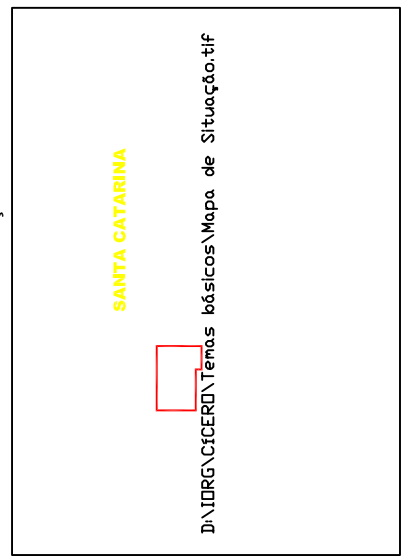
A origem dos fluoretos é bastante controversa: a hipótese mais aventada é a de que provêm da lixiviação dos basaltos da Formação Serra Geral, que cobrem as Formações Botucatu e Pirambóia (Rebouças, 1986). Contudo, a origem do fluoreto como subproduto da lixiviação dos basaltos é refutada por Rebouças citando Fraga (1989), baseado em uma série de teorias e aplicações, principalmente no Estado do Paraná.

De acordo com pesquisas sobre a gênese das mineralizações de Flúor no domínio do afloramento das rochas pré-cambrianas que circundam a Bacia do Paraná a leste desenvolvidas pelo IPT e DAEE (Perroni et al., 1985 apud Rebouças, 1986), foram reconhecidas duas épocas distintas de mineralizações para o elemento, uma proterozóica e outra mesozóica. Esta última fase mineralização está associada à Reativação Wealdeniana (Almeida, F. F.M., 1968), segundo citação de Scheibe (1986).

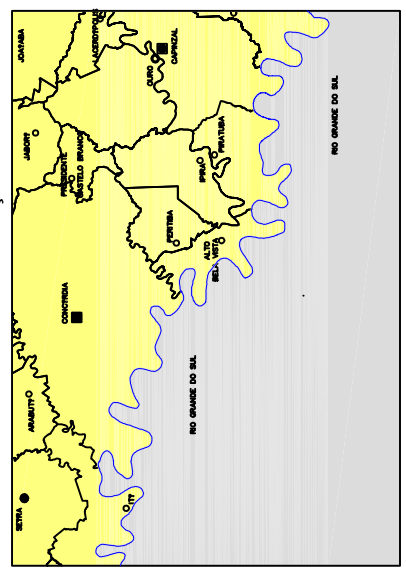


Bacia2.tif

MAPA DE SITUAÇÃO



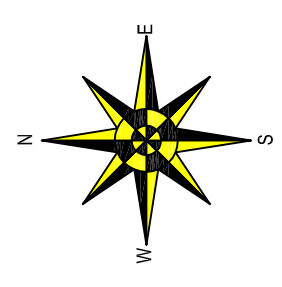
MAPA DE LOCALIZAÇÃO



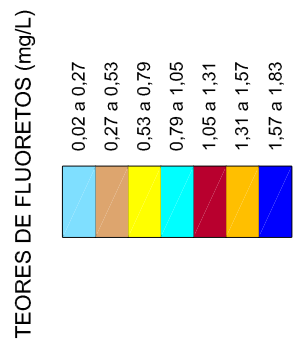
INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente

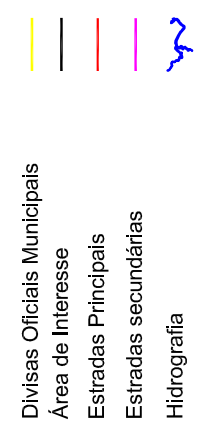
Escala
 1:350.000



CONVENÇÕES



LEGENDA



HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE
 DOS AQUIFEROS SERRA GERAL
 E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA
 DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO,
 SC - RS

Cícero A. S. Almeida
 FIGURA 50

MAPA DE FLUORETOS

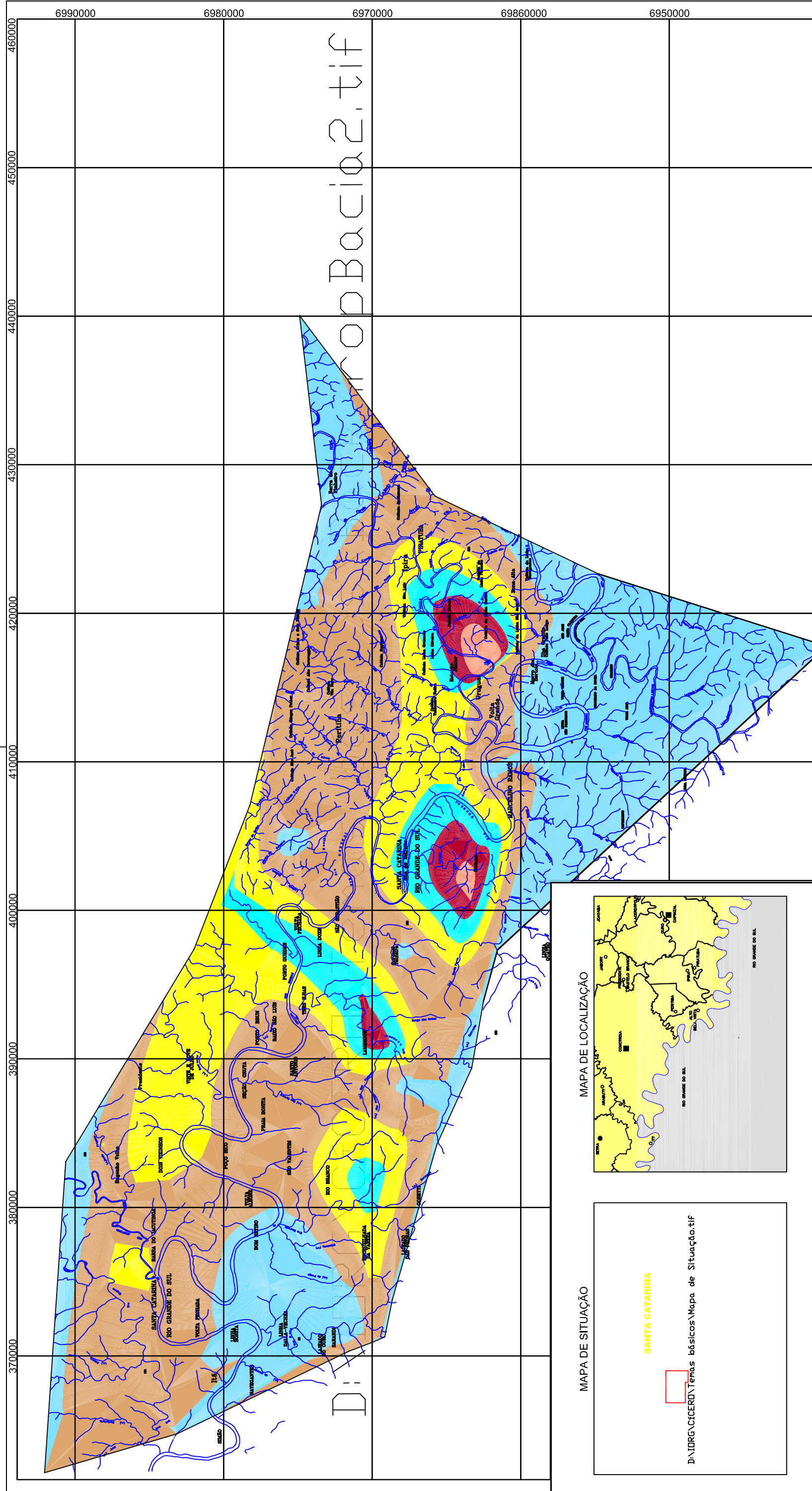
OUTUBRO DE 2003

9.7. Mapa dos Teores de Nitratos

As maiores concentrações de nitratos foram expressas em quatro halos distribuídos neste mapa (figura 51). O primeiro dos halos a ser analisado encontra-se no quadrante NNW do mapa, prolongando-se no sentido SW em direção ao estado do Rio Grande do Sul. Sobre a sua superfície está inserido o município de Concórdia e parte de seus distritos situados a nordeste, sul e sudoeste da cidade. A partir dali as isolinhas cruzam o rio Uruguai estendendo-se até o município gaúcho de Severiano de Almeida. Alguns comentários devem ser tecidos relacionando os resultados analíticos da amostragem hidroquímica com aspectos socioeconômicos e de saneamento da região.

A anomalia de nitratos obtida nesta seqüência amostral está localizada em áreas voltadas à produção e industrialização de aves e suínos, seja no estado de Santa Catarina, seja no Rio Grande do Sul. Nas áreas enfocadas abrangidas pelos dois estados a agricultura é bastante desenvolvida com o plantio de milho, da soja e outros. Para isto há o emprego de fertilizantes inorgânicos e comumente orgânicos de dejetos líquidos de suínos aspergidos a partir de tanques pipas transportados por tratores, em larga escala sobre os solos residuais de basaltos. O sistema de integração entre produtores e a indústria de aves e suínos funciona nos dois estados. As atividades agroindustriais de confinamento animal tanto para a suinocultura quanto para a avicultura geram grandes quantidades de dejetos, principalmente de suínos, e para os quais ainda não se têm um destino definitivo, como pudemos verificar no item sobre aspectos sócioeconômicos.

A borda mais externa de anomalia, de coloração amarela que exprime o intervalo entre 0,24 e 0,36 mg/l de nitrato se estende pelos principais cursos d'água encontrados no município de Concórdia ou que atravessam a cidade, apresentando cargas elevadas de nutrientes, como o fósforo e o nitrogênio. Os esgotos domésticos são despejados diariamente a céu aberto nessas drenagens, principalmente no rio dos Queimados.



LEGENDA

<p>CONVENÇÕES</p> <p>VALORES DE NITRATOS</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td style="background-color: #e0e0e0;">0,01 a 0,12</td></tr> <tr><td style="background-color: #d2b48c;">0,12 a 0,24</td></tr> <tr><td style="background-color: #ffff00;">0,24 a 0,36</td></tr> <tr><td style="background-color: #00ffff;">0,36 a 0,48</td></tr> <tr><td style="background-color: #ff0000;">0,48 a 0,60</td></tr> <tr><td style="background-color: #ffa500;">0,60 a 0,72</td></tr> <tr><td style="background-color: #0000ff;">0,72 a 0,84</td></tr> </table>	0,01 a 0,12	0,12 a 0,24	0,24 a 0,36	0,36 a 0,48	0,48 a 0,60	0,60 a 0,72	0,72 a 0,84	<p>LEGENDA</p> <table border="0"> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 2px solid yellow;"></td> <td>Divisas Oficiais Municipais</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 2px solid black;"></td> <td>Área de Interesse</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 2px solid red;"></td> <td>Estradas Principais</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 2px solid magenta;"></td> <td>Estradas secundárias</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 2px solid blue;"></td> <td>Hidrografia</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 2px solid black;"></td> <td>Referência de Nível</td> </tr> </table>		Divisas Oficiais Municipais		Área de Interesse		Estradas Principais		Estradas secundárias		Hidrografia		Referência de Nível
0,01 a 0,12																				
0,12 a 0,24																				
0,24 a 0,36																				
0,36 a 0,48																				
0,48 a 0,60																				
0,60 a 0,72																				
0,72 a 0,84																				
	Divisas Oficiais Municipais																			
	Área de Interesse																			
	Estradas Principais																			
	Estradas secundárias																			
	Hidrografia																			
	Referência de Nível																			

HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE DOS AQUIFEROS SERRA GERAL E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO, SC - RS

Cícero A. S. Almeida
Figura 51
MAPA DE NITRATOS

INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente

Escala
1:350.000

MAPA DE SITUAÇÃO

SANTA CATARINA

D:\IDRG\CICERO\Temas básicos\Mapa de Situação.tif

MAPA DE LOCALIZAÇÃO

A curva fechada de isoteor de 0,48-0,80 mg/l de nitrato representada pela cor marrom envolve a azul escuro com o valor de 0,36-0,48 abrangem parte do município de Severiano de Almeida-RS. Este município apresenta atividades produtivas similares às de Concórdia e que tem no principal curso d' água, o rio Lambedor que corre ao largo onde também são lançadas cargas de esgotos a céu aberto. A suinocultura é muito desenvolvida naquele município com inúmeros "chiqueirões" e esterqueiras construídas próximas do rio Lambedor e de seus principais tributários. O cultivo de milho largamente desenvolvido na região a base de fertilizantes orgânicos e inorgânicos atende principalmente as indústrias de ração animal, sendo insuficiente frente à demanda.

Outras duas concentrações de nitratos sob a forma de halos isoquímicos de Na encontram-se unidas pela curva de isoteor de 0,24-0,36 mg/l de Na, na coloração amarela clara. Os contornos de nitratos formando halos estão divididos pelo rio Uruguai. Um deles localiza-se na região conhecida como Ilha do Estreito do rio Uruguai, pelo lado gaúcho, e que foi submersa por ocasião do enchimento do reservatório da UHE Itá. O outro abrange parte dos municípios catarinenses de Piratuba e Ipira, separados pelo rio do Peixe, Alto Bela Vista, além de outros localizados a montante.

O município de Piratuba e os outros fronteiriços ali representados por Ipira, Alto Bela Vista, Ouro e Capinzal, todos localizados às margens do rio do Peixe lançam esgotos naquele curso d' água, além do que abrigam dentro dos seus limites geográficos todos os produtores integrados com a agroindústria Perdigão com sede em Capinzal. O contorno de nitratos da margem esquerda do rio Uruguai estende-se pelos municípios gaúchos de Marcelino Ramos e Severiano de Almeida que têm grande vocação para a produção de suínos, aves, agricultura e pecuária. Os principais cursos d' água são formados pelos rios Suzana e Lajeado Teixeira que recebem esgotos a céu aberto.

Uma outra concentração de nitratos formando contornos abrange os municípios vizinhos gaúchos de Aratiba, Mariano Moro e Severiano de Almeida, localizando-se mais a SW do mapa. Esses municípios lançam suas cargas de esgotos nos rios Dourado e nos afluentes da margem esquerda do rio Lamberdor. Todos estes municípios possuem grandes rebanhos de suínos, bem como a avicultura e também criação de gado. Nesses municípios são comuns matadouros localizados, geralmente, às margens de arroios e sangas, além da lavoura relacionada ao cultivo do milho, soja e de outros.

As taxas elevadas de nitratos e de outros nutrientes derivados das águas residuárias domésticas, ação dos fertilizantes, bem como dos despejos da agroindústria fortemente enraizada nos dois estados divididos pelo rio Uruguai irão compor o quimismo das águas superficiais. Os seus cursos d' água marcados nitidamente por alinhamentos estruturais (ver mapa de lineamentos e poços tubulares profundos frios e termominerais) tendem a percolar da superfície e concentrar os nitratos em teores anômalos no lençol freático do aquífero basáltico fraturado.

A concentração de nitrato em água subterrânea é variável e depende da interação de vários fatores, incluindo da carga de nitrogênio, do tipo de solo, da permeabilidade do aquífero, da taxa de recarga, e clima (Nolan, op. cit.).

O zoneamento perfeitamente definido pelos nitratos e outros nutrientes na bacia hidrográfica do rio Uruguai, alguns, a exemplo dos nitratos, na atualidade com níveis detectáveis ainda inferiores aos permissíveis pela OMS e pela legislação sanitária competente para potabilidade, já traduzem um prognóstico fortemente indicativo de que as concentrações por efeito cumulativo desses compostos tendam a aumentar cada vez mais no Aquífero Fissurado Serra Geral, nos dois estados da região sul.

A tendência projetada para aquela região do rio Uruguai e de outros municípios localizados mais a jusante que formam um anel econômico de criadores de suínos e frangos para corte em torno de Chapecó, como, por exemplo, Xavantina, onde essas atividades econômicas surpreendentemente encontram-se em acelerado processo de desenvolvimento, é a mesma daqueles países da comunidade européia que tiveram e têm na sua economia o setor agroindustrial (suinocultura) avançado, como a Bélgica e Alemanha. Ou seja, da contaminação de seus solos e mananciais subterrâneos com nutrientes como o nitrato e o fósforo a níveis extremos e preocupantes, conforme reportamos previamente. O problema se acentua quando sabemos que não há tecnologia disponível no momento nesses países capaz de retirar o nitrato dessas águas subterrâneas ou mesmo, promover a sua redução a níveis aceitáveis nos padrões de potabilidade recomendados pela OMS.

Os municípios gaúchos produtores e integrados da agroindústria também devem seguir a mesma tendência de terem os seus mananciais hídricos subterrâneos poluídos por esses nutrientes, como demonstra o mapa de contornos.

Com a implantação das UHE Itá e UHE Machadinho e de outras previstas para a bacia hidrográfica do rio Uruguai transformando o ambiente lótico em lântico o problema se tornou ainda mais complexo, pois os efluentes trazidos pela rede hidrográfica eram diluídos, transportados e eventualmente depositados nos meandros ou levados para o mar.

O ambiente lântico é um sistema fechado, de grande estabilidade, com profundas interações físicas, químicas e biológicas. As características físicas das águas indicam uma graduação diferenciada da superfície para o fundo, onde a penetração da luz determina zonas fólicas (de penetração da luz), térmicas (gradientes) e, conseqüentemente, químicas e biológicas (Müller, 1995).

Assim, no processo evolutivo dos lagos há uma tendência ao seu desaparecimento pela deposição progressiva de materiais diversos no fundo. Uma passagem gradativa para áreas alagadiças ou banhados até o completo entulhamento por sedimentos, tal como ocorre na formação e desaparecimento de lagos naturais. Mais recentemente haverá a concentração progressiva de nutrientes originários da rede hidrográfica, da interação com o fundo e das margens o que acarretará na alteração da qualidade da água. Neste ambiente não existe a dinâmica do meio lótico, o qual propicia a diluição dos nutrientes transportando-os e depositando-os em locais distantes ou favoráveis ao longo do seu curso, como já foi salientado.

Além do mais, as áreas de recargas do Aquífero Guarani através do Sistema Aquífero Serra Geral, apesar da classificação do índice de vulnerabilidade de Foster e Hirata, que o identifica como de vulnerabilidade insignificante à baixa imposta, sobretudo, pelo confinamento basáltico - tendem a ficar mais susceptíveis com a aplicação de cargas contaminantes persistentes que poderiam percolar pela permeabilidade secundária determinada por fraturamentos. São também fatores negativos a superexploração do Aquífero Basáltico Fraturado promovendo excessivos rebaixamentos no lençol freático tendendo a trazê-lo até as cotas potenciométricas de teto do Sistema Aquífero Guarani.

Da mesma forma oferece riscos de contaminação por nutrientes ou por qualquer outro contaminante a mistura das águas dos dois aquíferos com a progressiva e lenta elevação da cota potenciométrica de base do Sistema Aquífero Guarani que lhe está sendo impulsionada desde o início dos enchimentos dos reservatórios das UHE Itá e UHE Machadinho, e de outros reservatórios que vierem a se instalar naquela bacia hidrográfica.

9.8. Mapa dos Teores de Ortofosfatos

Têm importância pela área de abrangência e conteúdo geoquímico neste mapa de contornos (figura 52), as auréolas que representam os teores de ortofosfatos entre 0,57 e 0,84 mg/L, na coloração amarelo canário. São valores significativamente elevados, principalmente porque a *U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)* determina que o total fosfatado não deva exceder 0,05 mg/L nos cursos d' água que deságuem em lagos ou reservatórios, e que o total em fósforo em cursos que não descarreguem diretamente para esses corpos d' água não deveria exceder 0,1 mg/L.

Um outro parâmetro ambiental comparativo igualmente importante é fornecido pela legislação ambiental alemã, quando menciona que o ortofosfato em águas não poluídas se encontra em concentrações muito pequenas, geralmente entre 0,01 e 0,05 mg/L.

Três são as auréolas representativas desse patamar de teores distribuídas no Mapa de Ortofosfatos. A principal delas, bem extensa territorialmente, localiza-se na margem direita do rio Uruguai, e pequena parte da margem esquerda, no estado do Rio Grande do Sul. Os municípios catarinenses inseridos nesta curva de contorno encontram-se descritos no item sobre o Mapa de Ortofosfatos.

As outras duas auréolas menores, porém não menos importantes que a primeira, já que delineiam teores de ortofosfatos significativos, distribuem-se do seguinte modo uma no entorno do rio Uvá, no município de Itá-SC, e a outra no Rio Grande do Sul. Os cursos d' água da região mostram-se alinhados tectonicamente, inclusive a área apresenta forte declive topográfico, propiciado provavelmente por uma zona de falha. A terceira auréola, intermediária em extensão está localizada ao redor da localidade de Cerro do Meio Dia, no estado do Rio Grande do Sul.

Isolinhas com teores mais elevados de ortofosfatos entre 0,84 e 1,92 mg/L estão envolvidas pela auréola amarela, e apresentam um alinhamento segundo a orientação NW-SE do rio Uruguai.

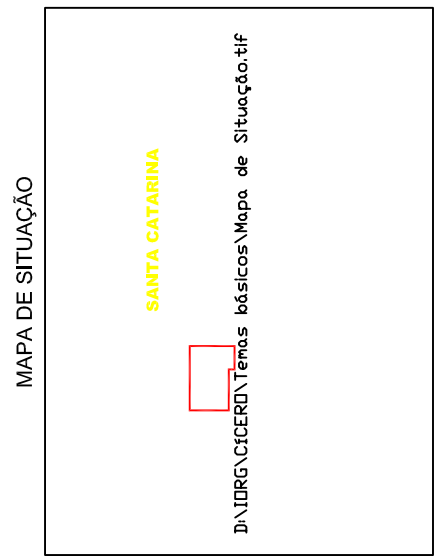
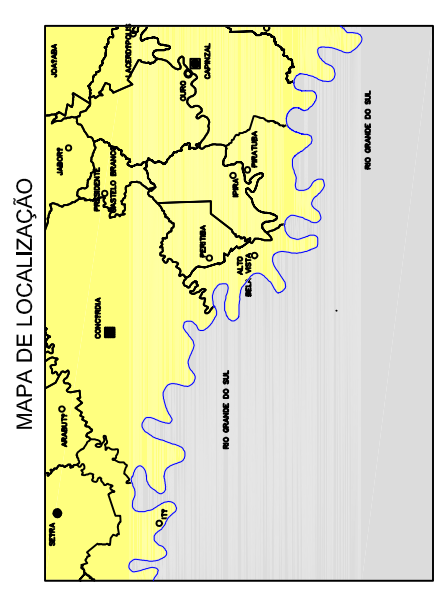
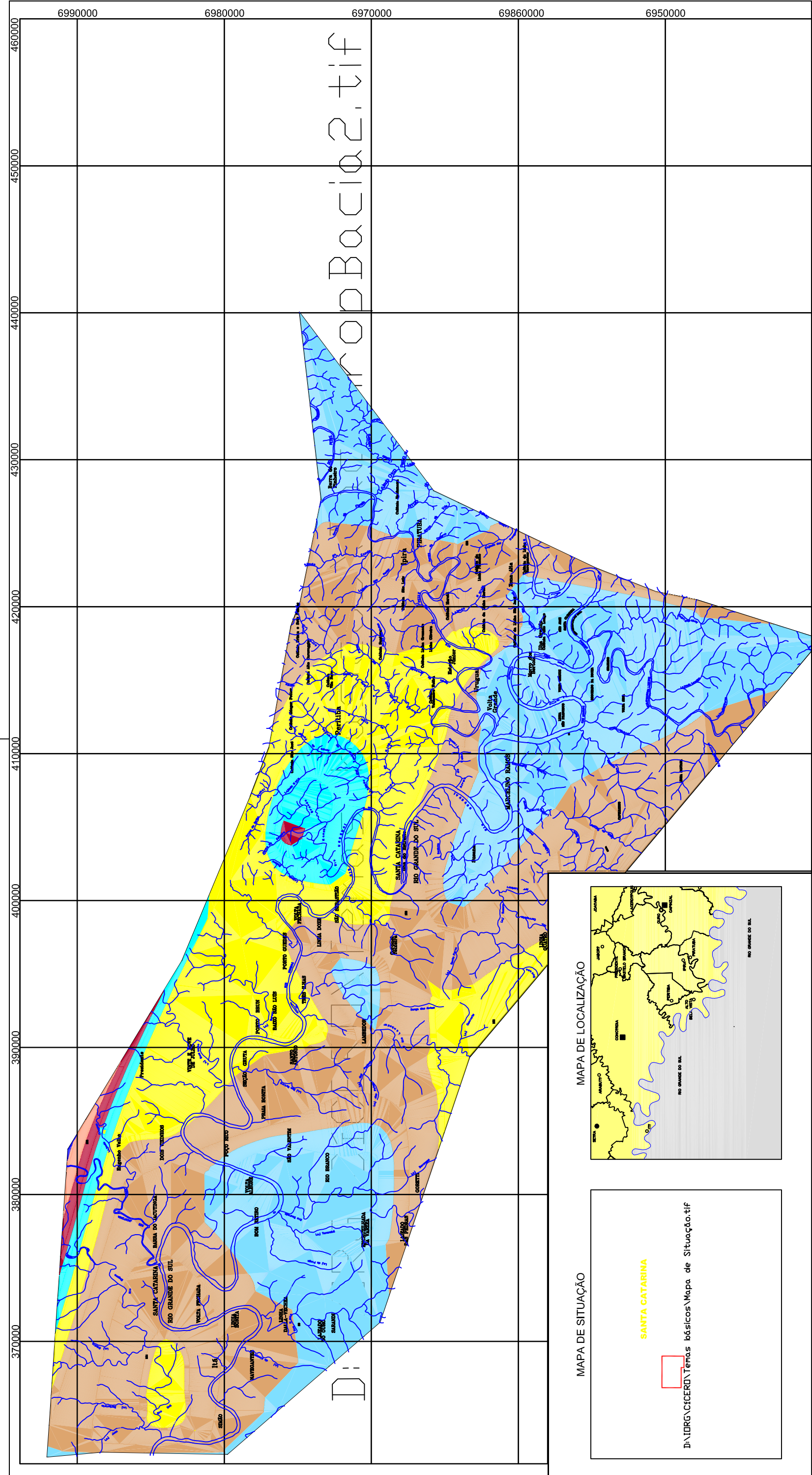
As auréolas representam uma contaminação por ortofosfatos, desenvolvida justamente em áreas onde a suinocultura é intensa e realizada sob a forma de confinamento, a NW e SE da cidade de Concórdia. A contaminação também se reflete a partir de cargas de esgotos que são lançadas diariamente nas áreas abrangidas pelo município através das principais drenagens, as quais estão inseridas pelas curvas de isoteores.

10. ASPECTOS TECTÔNICOS DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS DAS UHE'S ITÁ E MACHADINHO

10.1. Generalidades

A prospecção de águas subterrâneas em aquíferos fissurais requer o levantamento de dados, principalmente de traços de fraturas, o que preliminarmente pode ser executado em laboratório, utilizando-se de técnicas como: interpretação de fotografias aéreas, imagens de radar, imagens de satélites.

Dados de perfilagem geofísica de poços da área de estudo, e levantamentos geofísicos regionais são excelentes ferramentas recomendadas. O estudo expedito de campo poderá comprovar os dados apurados inicialmente, eventualmente, fornecendo outros não extraídos de técnicas de laboratório.



INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente

Escala
 1:350.000

MAPA DE LOCALIZAÇÃO

MAPA DE SITUAÇÃO

VALORES DE ORTOFOSFATOS (mg/L)

0,04 a 0,30
0,30 a 0,57
0,57 a 0,84
0,84 a 1,11
1,11 a 1,38
1,38 a 1,65
1,65 a 1,92

LEGENDA

- Divisas Oficiais Municipais
- Área de Interesse
- Estradas Principais
- Estradas secundárias
- Hidrografia

HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE DOS AQUIFEROS SERRA GERAL E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO, SC - RS

Cícero A. S. Almeida
 FIGURA 52
 MAPA DE ORTOFOSFATOS
 OUTUBRO DE 2003

Para se obter uma visualização dos lineamentos regionais da Formação Serra Geral, na área estudada numa escala menor, 1:250.000, foi utilizado imageamento de radar, e posteriormente, imagens de satélite Landsat 7.

Mas, esses estudos visavam acima de tudo, o estabelecimento eventual de correlação entre os lineamentos estruturais e a produtividade aquífera dos poços tubulares, todos georreferenciados, constituindo assim um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

10.2. Análise Estrutural

Em laboratório, os azimutes e o comprimento dos traços de fraturas regionais foram medidos com relação ao norte verdadeiro, com auxílio de um *protractor* (transferidor) de navegação e um escalímetro.

Todos os lineamentos estruturais resultantes da interpretação da imagem de radar, das fotografias aéreas e imagens de satélite Landsat 7 foram plotados e representados em Diagramas de Setores.

Os lineamentos (Figura 53) interpretados em imagem de satélite formam dois grupos principais de *trends* de orientação NE, um variando entre N 20° - 40° E, e outro entre N 60° - 70° E. O *trend* NW apresentou menor densidade de lineamentos no mapa interpretativo de lineamentos, escala 1:175.000, destacando-se apenas um grupo, mostrando variações entre N 60° - 70° W.

O trend NE mais representativo (com maior densidade) dos lineamentos identificado está entre N20° - 30° E. A extensão observada desses lineamentos é variável, desde 875 m até 27 km de comprimento.

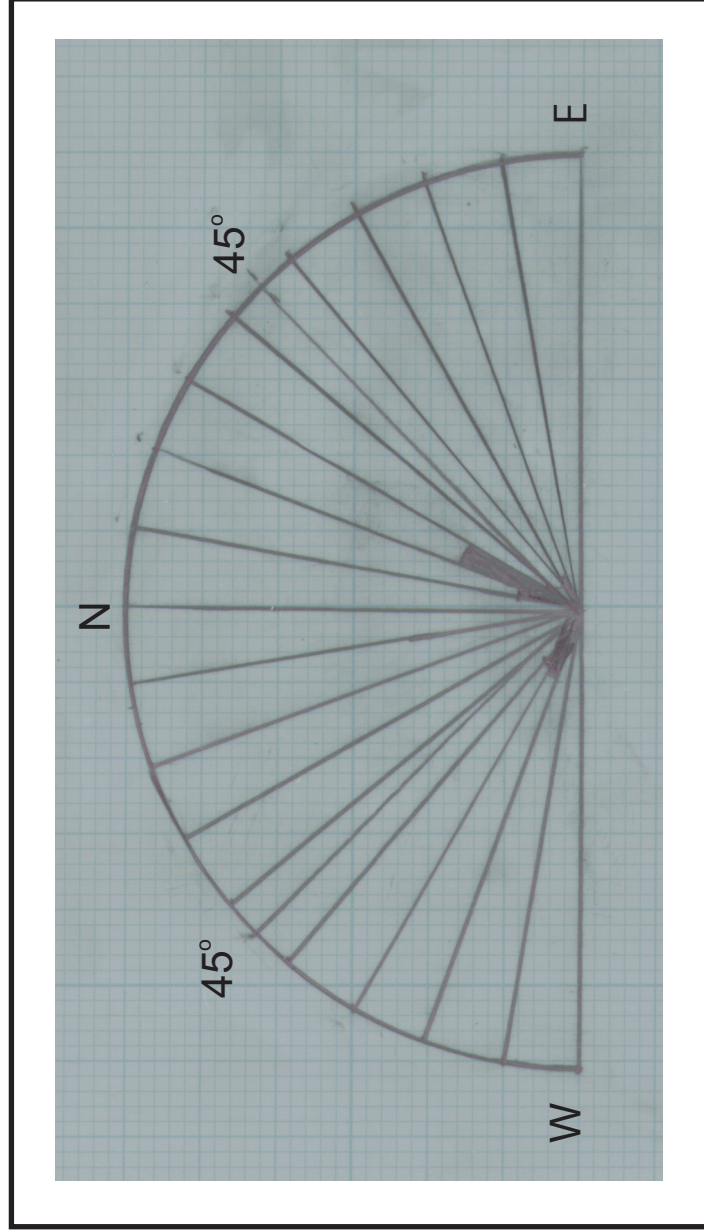


Figura (53) -Diagrama de setores, representação dos lineamentos interpretados em imagem de satélite Landsat - 7 .

Os lineamentos interpretados na imagem de radar, na escala 1:250.000, estão melhor distribuídos por setores no Diagrama de Traços de Fraturas (Figura 54). Podem ser claramente definidos quatro *trends* NE, variando entre:

- N60° E - 65° E;
- N35° E - 55° E;
- N25° E - 30° E;
- N5° E - 20° E.

O segundo grupo, N35° - 55° E, (maior densidade de lineamentos de lineamentos) aparece com maior frequência sobre os demais.

O trend NW está representado por três grupos principais:

- N 20° - 30° W;
- N 35° - 50° W;
- N 55° - 60° W.

O segundo grupo do trend NW representado por N35° - 50° W é mais freqüente sobre os outros dois grupos.

Na área da Ilha do Estreito do Rio Uruguai, atualmente submersa pelo reservatório da UHE Itá, feições tectônicas impressas em rochas vulcânicas de caráter básico foram interpretadas em fotografias aéreas, escala 1:25.000, e apresentaram padrões com orientações aproximadamente NS e EW, sendo esta última também a orientação do rio nessa área.

Para o IPT (2000), os basaltos da região de Itá e Machadinho apresentam notadamente juntas subverticais persistentes, tanto em feixes como isoladas com superfícies curvas e planas. Essas juntas freqüentemente mostram-se estriadas caracterizando-se então como falhas

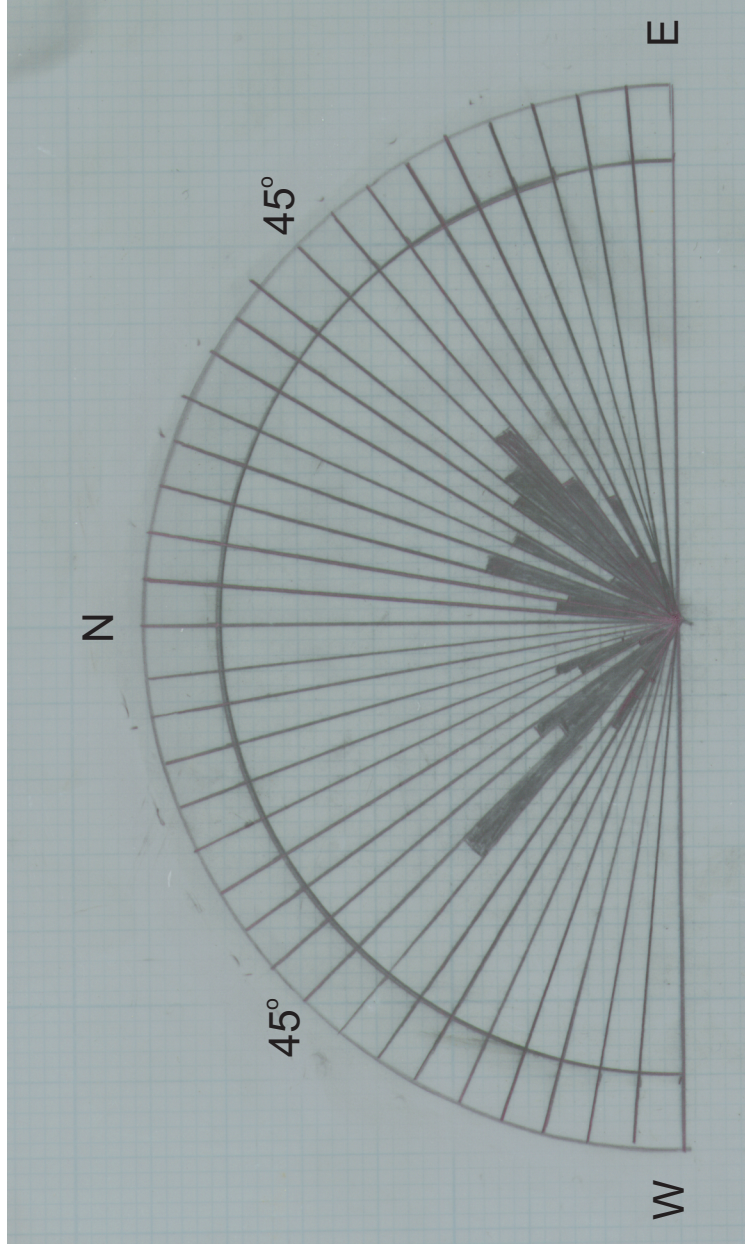


Figura (54) - Diagrama de setores com traços de fraturas interpretados em imagem de radar.

Nos afloramentos de basaltos tanto as juntas quanto as falhas são sub-verticais, sendo que na análise estrutural executada pelo IPT das falhas em estereogramas verificou-se uma predominância de estruturas com direções no quadrante NE-SW. As orientações encontradas são similares às concentrações de estruturas indicadas nas imagens de radar e/ou Landsat 5, descritas nos parágrafos precedentes.

Alguns autores classificam essas falhas como transcorrentes, inclusive o IPT, que identificou estrias posicionadas sub-horizontamente nelas e movimentos dextrais e sinistrais com estruturas de direções preferenciais.

Para Hasui (1990) apud Magalhães (2000); Magalhães (1999) apud Magalhães (2000), essas juntas freqüentemente estriadas caracterizam falhas e denunciam movimentação tectônica posterior ao resfriamento dos derrames. Para estes autores essas falhas têm sido atribuídas a movimentos neotectônicos, ou seja, movimentos atuais ligados à deriva continental da Placa Sul Americana.

Hasui (1990) apud Suguio (1999), considera que, no Brasil, a neotectônica deva abranger o intervalo de tempo geológico a partir da intensificação dos processos de deriva continental (após meados de Terciário) até hoje, como manifestações geológicas restritas ao ambiente tectônico intraplaca.

Suguio (1999), quando traça um perfil entre a Neotectônica e as bacias marginais menciona que na evolução da costa brasileira, deve-se, em termos cronológicos, recuar no tempo geológico, no mínimo ao fim do Jurássico (cerca de 150 Ma), para uma melhor compreensão dessas bacias.

Uma correlação estabelecida com este estudo é que os derrames de lavas vulcânicas do sul do Brasil datam deste período, e uma análise dos eventos geológicos associados que propiciaram esse vulcanismo fissural deva ser abordada neste espaço.

Neste mesmo período, quando as grandes bacias intracratônicas ainda persistiam, iniciou-se um evento tectono-magmático de grande magnitude, chamado de evento Sul-Atlântico por Schobbenhaus (1984), e anteriormente definido por Almeida (1966, 1967), como reativação Wealdeniana.

A partir do Jurássico, e possivelmente mesmo do Triássico em algumas regiões, desenvolve-se um intenso processo tectono-magmático. Este evento tectono-magmático manifestou-se por toda a parte na plataforma, tendo sido preservados os derrames vulcânicos, sobretudo na grande bacia do Paraná (Schobbenhaus et al., 1984).

Zalán et al. (1987) comentam que a Bacia do Paraná exibe um marcante padrão de feições lineares em forma de X. Estas feições podem ser divididas em três grupos, de acordo com suas orientações (NW-SE, NE-SW, E – W), os quais são apresentados na Figura (55). Uma síntese interpretativa segundo esses autores revela que as duas mais importantes orientações NW – SE e NE – SW podem constituir falhas simples, ou extensas zonas de falhas (centenas de quilômetros de comprimento e poucas dezenas de quilômetros de largura). Estes dois grupos de elementos tectônicos são interpretados como zonas de fraqueza antigas que foram recorrentemente ativas durante a evolução da bacia.

A importância na determinação dos elementos tectônicos daquela região reside no fato de que ambos os *trends* NE e NW, para alguns autores entre os quais, Soares et al. (1982) apud Zalán (1987), representam zonas de fraqueza do embasamento, que vários deles controlaram a sedimentação durante a evolução da bacia e que as zonas de *trends* NW estão intensivamente intrudidas por diques de diabásio, enquanto os *trends* NE são notavelmente carentes destas feições.

As falhas com orientação NW, segundo esses autores foram fortemente reativadas durante o quebraamento juro-cretáceo do Gondwana, enquanto as de direção NE não o foram.

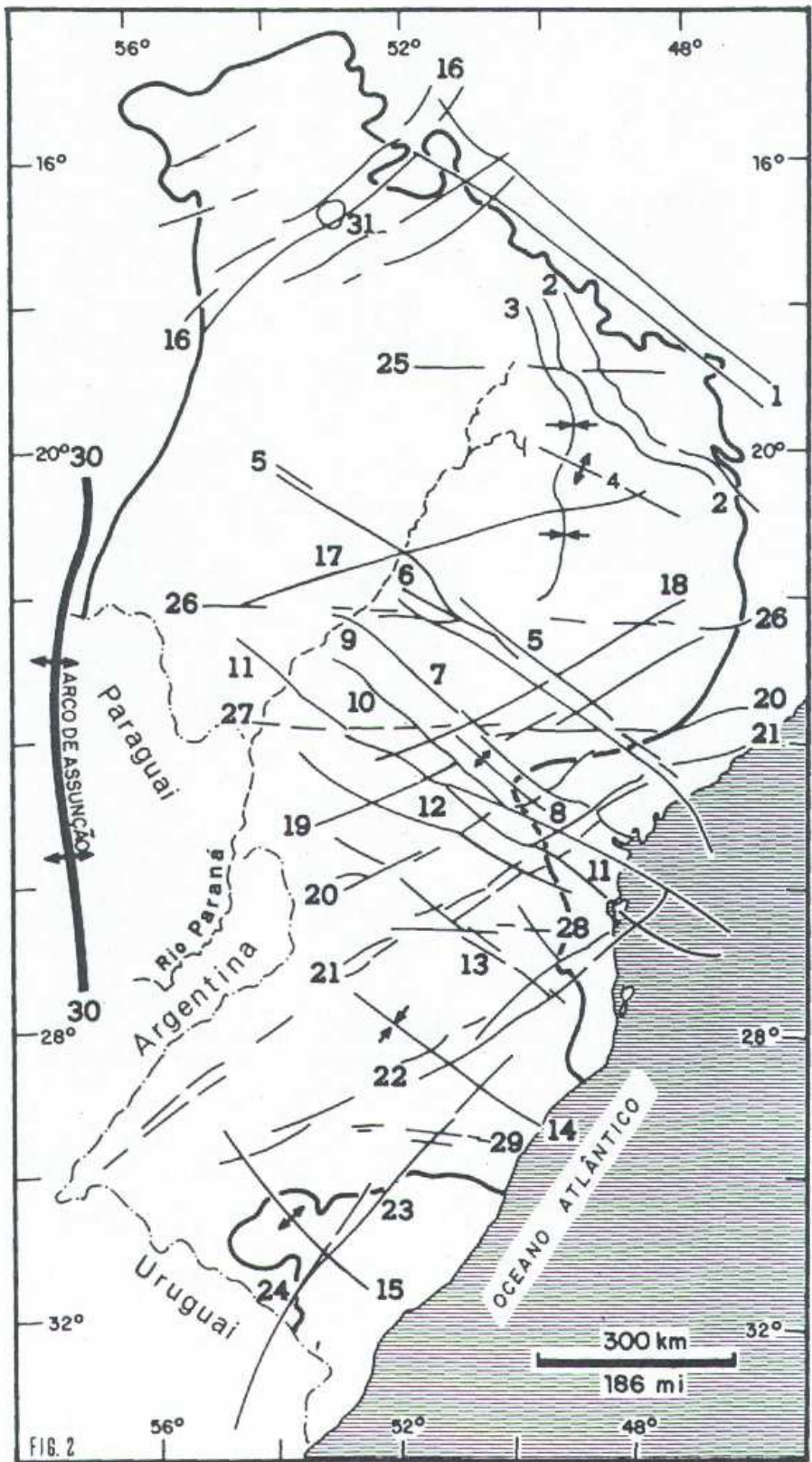


FIG. 2

Figura (55) – Mapa do arcabouço estrutural da Bacia do Paraná. A bacia é dominada por elementos tectônicos lineares que se orientam em três direções principais: NW-SE, NE-SW e E-W. Apenas os mais importantes são mostrados aqui. Com direção NW: 1 – arco do Alto Paranaíba, 2 – flexura de Goiânia, 3 – baixo de Ipiacú/Campina Verde, 4 – alto de Cardos, 5 – zona de falha de Guapiara, 6 – falha de Santo Anastácio, 7 – falha de São Jerônimo/Curiúva, 8 – arco de Ponta Grossa, 9 – zona de falha Curitiba/Maringá, 10 – falha do Rio Alonzo, 11 – zona de falha Cândido de Abreu/Campo Mourão, 12 – lineamento do Rio Piquiri, 13 – zona de Falha Caçador, 14 – sinclinal de Torres, 15 – arco do Rio Grande. Com direção NE: 16 – zona de falha Transbrasiliano (também conhecido por lineamento Transbrasiliano), 17 – lineamento de Araçatuba, 18 – falha de Guaxupé, 19 – falha de Jacutinga, 20 – zona de falha de Taxaquara, 21 – zona de falha Lancinha/Cubatão, 22 – zona de falha Blumenau/Soledade, 23 – falha do Leão, 24 – falha de Açotea. Com direção E-W: 25 – lineamento de Cassilândia, 26 – lineamento Moji-Guaçu/Dourados, 27 – lineamento de São Sebastião, 28 – lineamento de Taquara Verde, 29 – lineamento de Bento Gonçalves. A única estrutura importante com direção N-S é o arco de Assunção (30). O domo de Araguinha (31) é o maior astroblema conhecido do mundo. Fonte: Zalán et al. (1987).

Padrões nas orientações NS e EW não foram identificados nas imagens de radar e Landsat 5, mas somente em par estereoscópico de fotografias aéreas, na escala 1:25.000 e 1:45.000, embora com menor ocorrência comparativamente com os outros dois principais.

Considera-se os lineamentos NE do embasamento, que aparecem com maior frequência na área pesquisada associados às efusivas, como de idade brasileira (Zalan, 1987), mais antigos que os de orientação NW. Algumas ressalvas são feitas, podendo, eventualmente, que o padrão NW seja tão antigo quanto os de idade brasileira. A faixa Uruaçu de orientação NW-SE é citada por aquele autor como sendo mais antiga que o Brasileiro.

As extensas zonas de falhas, com as duas orientações NE e NW, consideradas por aquele autor com centenas de quilômetros de comprimento e poucas dezenas de quilômetros de largura ocorrem na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho, e estendem-se pela bacia do rio Uruguai, com prolongamentos nas direções opostas, para o Rio Grande do Sul e Paraná.

Soares et. al (1982) apud Zalan (1987) também reconhecem os padrões tectônicos NW e NE representam *zonas de fraqueza do embasamento, que vários deles controlaram a sedimentação durante a evolução da bacia e que as zonas de trendes NW estão intensivamente intrudidas por diques de diabásio, enquanto os trendes NE são notavelmente carente dessas feições.*

Os lineamentos E – W interpretados na área da Ilha do Rio Uruguai não são muito freqüentes, e a sua extensão deveria ser pesquisada com maior detalhamento, pois a orientação coincidentemente é paralela às zonas de fraturas oceânicas. Vários autores têm buscado essas correlações, entre os quais, Zalan (1987). O fato de importância é que tenham sido observados na área de pesquisa, embora merecendo estudos mais apurados.

10.3 A Relação entre os Lineamentos e a Produtividade dos Poços Tubulares

Procurou-se estabelecer uma metodologia que pudesse correlacionar a presença de sistemas de fraturas e falhas com a produção aquífera dos poços tubulares da área de influência dos reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Itá e Machadinho.

Um estudo conduzido pela SUDESUL (1970) estabelecendo correlações entre o comportamento da água subterrânea e a conceituação de fratura fotogeológica cita numa análise de perfis geológicos de três poços tubulares no estado do Rio Grande do Sul, que um deles apresentando uma espessura de apenas 4 m de camada arenítica, armazenadora de água subterrânea, a menor dentre os demais poços, era mais produtivo. Um outro poço possuindo uma camada arenítica (aquiífera) com 55 m de espessura, apresentava uma capacidade específica 8,5 vezes inferior à do primeiro. A maior capacidade específica neste poço, como ficou constatado, era devido à sua localização

justamente sobre uma fratura, enquanto que os outros dois foram perfurados afastados da mesma.

A densidade de fraturas e falhas do aquífero fissural Serra Geral é bastante alta em toda a bacia hidrográfica do rio Uruguai, conforme demonstrou a interpretação das feições tectônicas realizada em imagens de radar e Landsat 7.

Como é do conhecimento geral, este aquífero é dos mais solicitados para o abastecimento de águas subterrâneas na região do rio Uruguai compreendida pelos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e é natural que se busque estabelecer correlações hidrogeológicas quanto à produtividade aquífera. Como já foi esclarecido em parágrafos prévios, uma das razões das baixas vazões encontradas neste sistema aquífero é que, poucos estudos prévios de geologia, hidrogeologia ou geofísica têm sido realizados preliminarmente à perfuração dos poços nessa região. Este técnico esteve em contato com empresas de perfuração da região durante muito tempo, inclusive trabalhando em parceria, e é notório que esses estudos ainda não vêm sendo executados.

Arvino et al. (1970), citam um número significativo de trabalhos, os quais apontam que os poços tubulares locados sobre ou nas proximidades de fraturas fornecem, para qualquer rocha tectonizada, aproximadamente 10 vezes mais água que poços afastados de tais feições. Situações em cruzamentos de fraturas caracterizam duas a três vezes mais potencialidade aquífera que locações em fraturas simples.

Buscando-se essas correlações, inicialmente, tomou-se por base um inventário de 228 poços tubulares, todos conectados ao Aquífero Serra Geral, e situados na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho, concluindo-se, via de regra, que o Aquífero Serra Geral caracterizava-se pelas baixas vazões.

As maiores vazões encontradas estavam concentradas em 43 poços tubulares, considerando-se um valor de vazão médio de 14,50 m³/h. O valor mínimo de vazão encontrado foi de 9,8 m³/h, e o maior de 56 m³/h.

Um patamar de vazões mínimas em torno de 10 m³/h foi estabelecido para os poços seccionando o Aqüífero Serra Geral.

A interpretação feita a partir do mapa de lineamentos demonstrou uma predominância de 81% do *trend* NE mantendo proximidade com os poços mais produtivos da região. Como foi abordado previamente neste texto, o *trend* NW normalmente apresenta o conjunto de lineamentos preenchidos por diques de diabásio, geralmente, distribuídos por toda a Bacia Sedimentar do Paraná, enquanto que o *trend* NE encontra os seus espaços vazios. Naturalmente, os lineamentos NW preenchidos por diques não seriam reservatórios verdadeiros.

No levantamento estatístico verificou-se que os cruzamentos de fraturas estiveram associados a poços produtivos em apenas 33% sobre o total.

O comprimento desses sistemas de lineamentos estruturais podem chegar a mais de 30,6 km, o que os torna atrativos sob o enfoque da prospecção das águas subterrâneas.

É claro que precauções devem ser tomadas neste tipo de estudo, que no presente momento se apresenta apenas como um indicativo de situações tectônicas e hidrogeológicas favoráveis a esse tipo de condicionamento.

Uma das principais dificuldades no emprego de técnicas fotointerpretativas reside na qualidade das fotografias aéreas manuseadas e na data do respectivo levantamento aerofotogramétrico, pois sabe-se que as mais antigas apresentam distorções sobre as quais têm-se maiores dificuldades para corrigir, enquanto que as fotos mais recentes permitem correções precisas. A identificação de uma fratura em determinada posição geográfica numa fotografia aérea certamente

apresentará deslocamentos quando for transferida para uma imagem de satélite, ou vice-versa.

Todos os pares da faixa fotográfica não apresentam a perfeição desejada, motivada por problemas técnicos de várias ordens. Por exemplo, um vôo de avião pode ser perturbado por três motivos principais:

- a) Falha em acompanhar a linha de vôo predeterminada (deriva);
- b) Inclinação do avião em relação à linha longitudinal, modificando a altura (tip);
- c) Inclinação do avião segundo a linha transversal (tilt). Os efeitos serão perceptíveis nas fotografias (Mesquita, 1975). As ortofotografias mais recentes permitem correções nas próprias fotografias, individualmente.

Todos os problemas supracitados foram encontrados, de modo geral, quando houve o manuseio de fotografias aéreas de levantamentos aerofotogramétricos datados de 1979.

11. VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS AQUÍFEROS SERRA GERAL E GUARANI

11.1. Generalidades

Há no mundo atualmente uma demanda cada vez maior por água potável, decorrente em parte pelo crescimento da população nas várias regiões do planeta. O crescimento urbano e industrial implica em riscos maiores de contaminação dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos. Tem-se observado de uma forma geral nos países em desenvolvimento o comprometimento das águas superficiais. A importância das águas subterrâneas cresce nos locais onde as águas superficiais já se encontram deterioradas, ou onde há uma escassez desses mananciais.

Planos estratégicos de gestão e conservação dos recursos hídricos devem ser implementados pelas autoridades governamentais setoriais objetivando o enfrentamento da situação.

A água vem sendo tratada cada vez mais, do ponto de vista da sua utilização setorial, como um recurso econômico, em detrimento de uma visão holística - de que esse elemento pertence ao meio natural e que deve ser pensado e analisado considerando todos os fatores que nele interferem e que dele dependem. O zoneamento das águas e o zoneamento do território guardam relação direta, pois seria impossível manter as águas que se prestam a usos mais nobres com a liberalização do uso do território, havendo, ao contrário, necessidade do controle permanente da ocupação permitida (IBAMA, 2002).

Este mesmo documento aponta que no Brasil, o gerenciamento de recursos hídricos está sendo desenvolvido, segundo três linhas referenciais básicas, que abordam as questões técnicas, o ordenamento jurídico e a organização institucional ordenada. Essas questões estão intrinsecamente ligadas à vulnerabilidade dos aquíferos, uma vez que estudos pertinentes devem complementar o plano de gestão dos recursos hídricos.

Guiguer & Wolfgang (2002) empregam a definição de vulnerabilidade da ASTM (*American Society for Testing Materials*), agência reguladora norte-americana, como *a facilidade com a qual um dado contaminante pode migrar para as águas subterrâneas ou para um aquífero de interesse em determinadas situações de uso do solo, características do contaminante e condições da área*. Para eles, a vulnerabilidade depende tanto das características do aquífero (litologias, porosidade, etc.), da área (uso do solo, topografia, etc.) e do contaminante (mobilidade, densidade, etc.).

Para Foster (1987), o termo vulnerabilidade aplicado à contaminação do aquífero é usado para representar as características intrínsecas que determinam a

susceptibilidade de um aquífero de ser adversamente afetado por uma carga contaminante. Este mesmo autor entende que a vulnerabilidade do aquífero é função da

- inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes;
- capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante. Por sua vez, esses dois componentes da vulnerabilidade do aquífero interagem com os seguintes componentes da carga contaminante no subsolo;
- o modo de disposição do contaminante no subsolo e em particular a magnitude de qualquer carga hidráulica associada;
- a classe do contaminante, em termos de sua mobilidade e persistência.

Esta interação é determinante para o tempo de residência na zona não saturada e a demora na chegada do contaminante ao aquífero. Estabelecerá igualmente o grau de atenuação, retenção ou eliminação, antes da chegada à zona saturada. Este autor afirma que a melhor representatividade da vulnerabilidade é feita através de mapas.

Várias são as metodologias para se determinar a vulnerabilidade de aquíferos, sendo a **DRASTIC**, **AVI** e **GOD** as mais usadas.

Segundo Guiguer & Wolfgang (2002), as duas primeiras metodologias requerem uma abundância de dados (geologia, profundidade do lençol freático, condutividade hidráulica, porosidade, recarga, uso do solo, entre outros), que muitas vezes não se encontram disponíveis, principalmente em países em desenvolvimento.

O método **GOD** (*Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table*) foi justamente desenvolvido pela Organização Mundial da Saúde – OMS, tendo como finalidade o atendimento às informações disponíveis de países em desenvolvimento. As informações que são disponibilizadas neste método incluem:

- a) Ocorrência do lençol freático (livre, confinado, semi-confinado), com índices variando de 0,00 até 1,0, caso o aquífero seja do tipo livre;

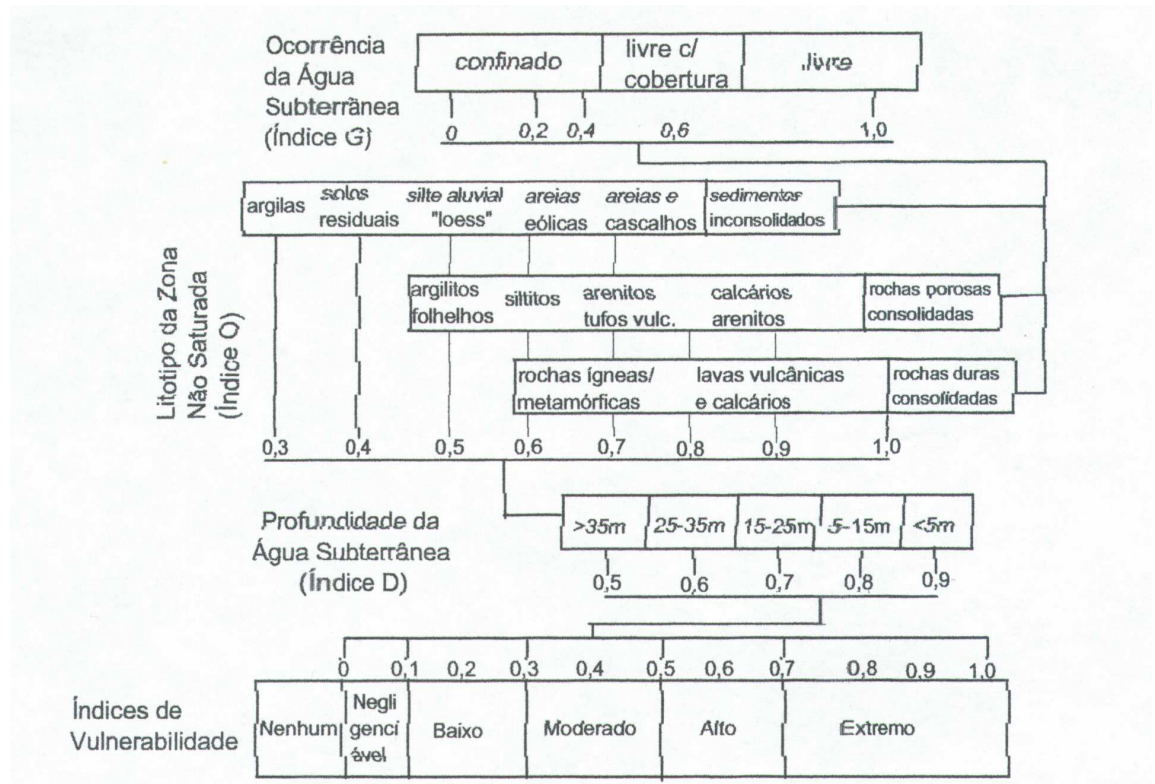


Figura (56) – Metodologia GOD para Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero. Fonte: modificado de Foster 1987.

- b) Litologia da zona vadosa e camadas confinantes, com o índice encontrando-se entre 0,3 e 1,0, sendo este último índice maior atribuído às rochas duras consolidadas;
- c) Profundidade do lençol freático (espessura da zona vadosa), com índices entre 0,5 e 0,9, este último índice correspondente a profundidades menores que 5 m.

O produto dos três parâmetros acima especificados, numa escala de 0,00 a 1,0 permite definir os índices relativos de vulnerabilidade dos aquíferos, sejam confinados, semi-confinados, livres, etc. (Figura 56).

Devido à maior quantidade de informações exigidas na aplicação das outras duas metodologias supracitadas, apenas a metodologia **GOD** será tratada nesta pesquisa, na determinação do índice de vulnerabilidade.

Foster & Hirata (1993) afirmam que um problema adicional surge quando a cartografia de vulnerabilidade é estendida a áreas de aquíferos fraturados. A grande heterogeneidade do meio dificulta o estabelecimento de mapas de profundidade da água, sobretudo quando não se dispõe de boas informações e densidade apropriada.

11.2. Aquífero Fissural Serra Geral

Na aplicação da metodologia GOD foram utilizados 228 poços tubulares localizados na área de influência das UHE's Itá e Machadinho. Todos os parâmetros utilizados na aplicação da metodologia GOD basearam-se no Sistema de Informações Geo-referenciadas (SIGs) aqui organizado.

Para se gerar o modelo do relevo no terreno utilizou-se o software *Civil Survey* interpolado com as curvas de nível, na escala 1:10.000, obtidas do levantamento aerofotogramétrico realizado pela empresa Aero Consult para as usinas hidrelétricas UHE Chapecó e UHE Barra Grande.

As cotas piezométricas foram determinadas individualmente, tomando-se como referencial a medição do NA dos poços de cadastramentos existentes; muitas das quais medidas e confirmadas por este técnico, com medidor de nível para poços artesianos, nas ocasiões em que participou desses inventários e monitoramentos.

Na avaliação dos índices de vulnerabilidade à contaminação, utilizou-se a metodologia **GOD**, assim fundamentado:

O parâmetro *Groundwater occurrence*, que se reporta ao tipo de aquífero, foi considerado para aquelas condições regionais como livre e coberto, ou eventualmente, somente livre, com índices que variaram entre 0,6 e 1,0.

O segundo parâmetro *Overall lithology of the unsaturated zone* especifica a litologia e o grau de consolidação da zona vadosa ou das camadas confinantes. Praticamente constante, o índice ateu-se às lavas vulcânicas, com o valor de 0,8.

O terceiro parâmetro, *Depth to the water table*, define a profundidade do lençol freático para aquífero livre ou o topo de aquífero confinado, sendo o índice mais variável, dentre os outros dois, com os valores situando-se entre 0,6 e 1,0.

A multiplicação dos índices entre si possibilitou a determinação dos índices finais de vulnerabilidade encontrados nos valores situados entre 0,30 e mais 0,40; expressando, respectivamente, uma vulnerabilidade à contaminação de baixa a moderada para o Aquífero Fraturado Serra Geral.

Com a adição de mais uma variável representada por lineamentos estruturais, existirão zonas nas quais esses índices finais de vulnerabilidade obtidos preliminarmente poderão ser modificados, que dependerá da densidade, de lineamentos/área quadrada, em diferentes locais da área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho, como pode ser visto no Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero Serra Geral (figura 57).

Por caracterizar-se como um aquífero fissural, maiores densidades de lineamentos/área quadrada certamente indicarão zonas de maior susceptibilidade à contaminação do aquífero, e o contrário, onde esta densidade for menor. Evidentemente, outras condicionantes deverão ser julgadas no exame da vulnerabilidade, como a extensão e tipo das feições tectônicas, a quantidade de fraturamentos preenchidos e o tipo de material de preenchimento, abertura das fissuras, rugosidade das paredes, etc.

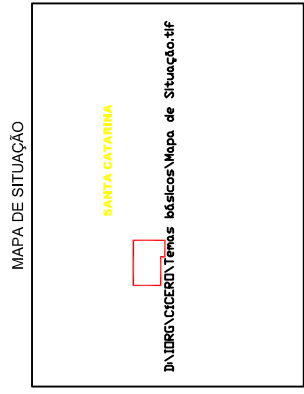
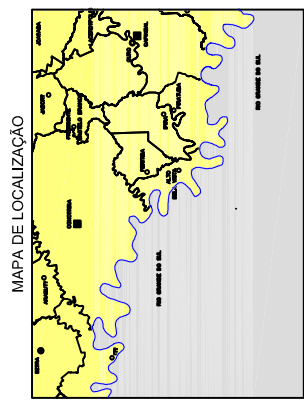
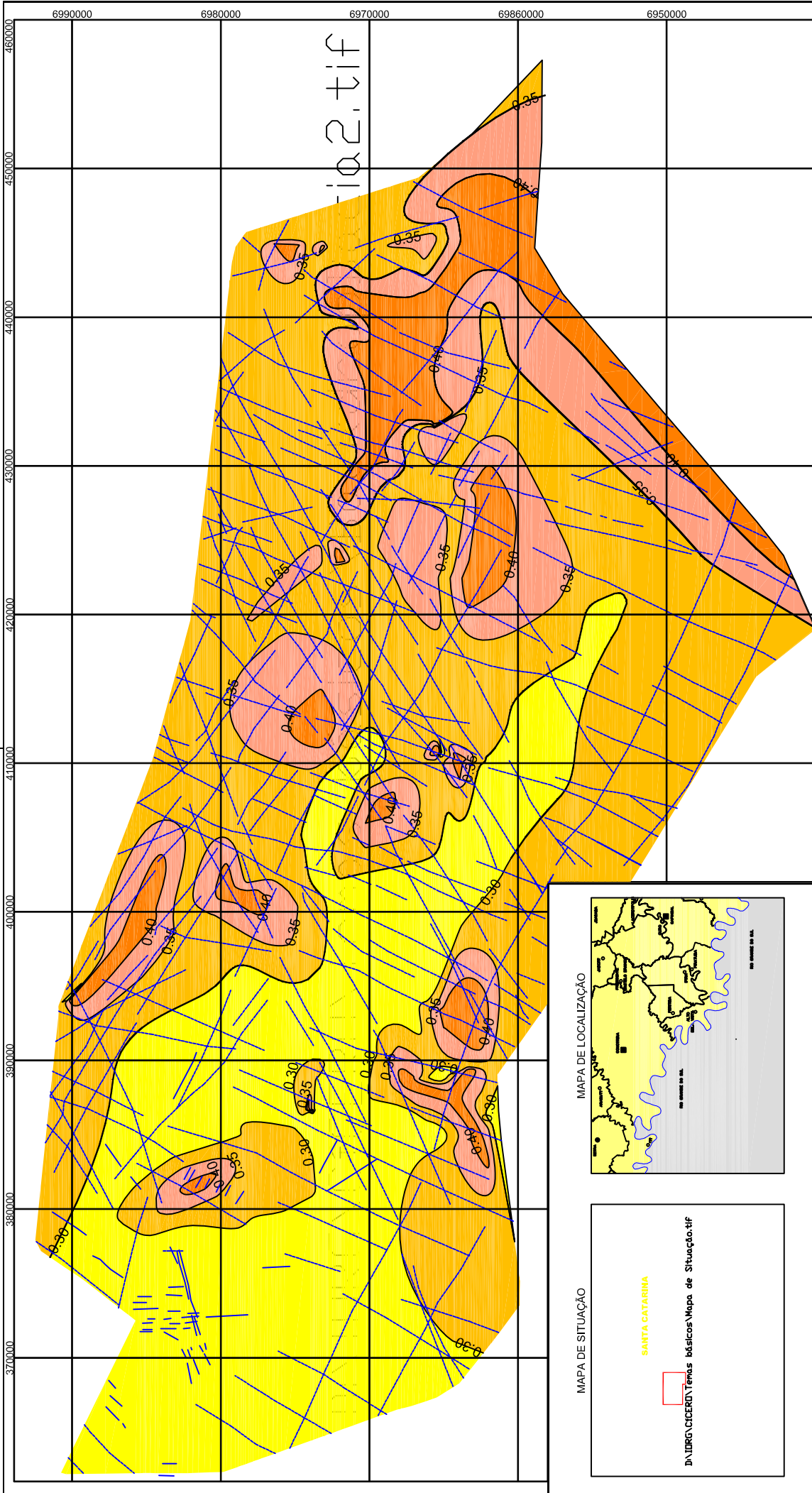
Considerando que a metodologia **GOD** foi empregada para apenas um aquífero, na região em apreço, cuja litologia constituída de basaltos da Formação Serra Geral encontra-se exposta na maioria da superfície do território estudado, não houve grandes variações nos índices de vulnerabilidade, mas ao contrário, apenas uma vulnerabilidade de baixa a moderada (0,30-0,40).

As áreas que apresentaram os maiores índices de vulnerabilidade à contaminação, com valor de 0,40, estão concentradas na porção norte do rio Uruguai, na sua margem direita, no estado de Santa Catarina, e orientadas segundo os sistemas de lineamentos $N60^{\circ} - 65^{\circ} W$ do rio Uruguai (Mapa de Lineamentos e Poços Tubulares Profundos Frios e Termominerais).

Essas zonas de vulnerabilidade devido à presença de sistemas de lineamentos com direção $N55^{\circ} - 60^{\circ} E$, juntamente com o primeiro sistema apresentam uma maior susceptibilidade à contaminação perante as demais.

Pode-se perceber através do Mapa Potenciométrico (figura 45) que as áreas de significativa vulnerabilidade estão associadas com maior frequência às zonas de cotas potenciométricas inferiores, que representam as zonas de descarga, como se comprova neste mapa, e raramente às zonas de recarga (quadrantes SE, SW e NNW, no Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero Serra Geral, figura 57).

O IPT (2000) reportou que orientações aeromagnéticas foram sugeridas em padrão alinhado ao curso do rio Uruguai, numa possível conexão ao lineamento oceânico de Florianópolis; anomalias gravimétricas mostram possíveis descontinuidades secundárias; indicações de fluxo geotérmico nas imediações dos projetos hidrelétricos Itá e Machadinho são próximas de valores de áreas de embasamento cristalino.



LEGENDA

- Divisas Oficiais Municipais
- Área de Interesse
- Estradas Principais
- Estradas secundárias
- Hidrografia
- Referência de Nivel

CONVENÇÕES

ÍNDICES DE VULNERABILIDADE

Baixo	Médio	Alto
0.30	0.35	0.40

Lineamentos

INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente

Escala
 1:500.000

HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE DOS AQUIFEROS SERRA GERAL E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO.
 SC - RS
 Cícero A. S. Almeida
 Figura 57

MAPA DE VULNERABILIDADE DO AQUIFERO SERRA GERAL

OUTUBRO DE 2003

Artes Final - Jorge Fernandes

Na parte do sul do rio Uruguai apenas duas zonas de vulnerabilidade moderada aparecem no quadrante SW do Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero Serra Geral.

Farjallat (1974) apud Raul et. al (1995) comenta que as entradas de d'água nesse aquífero correspondem às zonas profusamente vesiculares, que possuem um comportamento de um meio isotrópico, enquanto que os demais fluxos nesse sistema aquífero possuem uma condutividade hidráulica muito variável e complexa, em razão de toda a circulação da água subterrânea ocorrer ao longo de planos de fraturas verticais interconectadas com os planos de fraturas horizontais, com valor médio da condutividade da ordem de 10^{-9} m/s.¹¹

Em um meio isotrópico a condutividade hidráulica pode ser definida como a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário. Refere-se à facilidade da formação aquífera de exercer a função de um condutor hidráulico. A condutividade hidráulica depende das características do meio poroso e das propriedades do fluido. (Feitosa et al., 2000).

Este valor para condutividade hidráulica, mesmo em se tratando de aquífero fissural é bastante pequeno, sendo equivalente à condutividade hidráulica das argilas apresentada na Tabela (17).

A camada não saturada do Aquífero Serra Geral possui uma espessura em média de 16,55 m, na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho, dos quais, em torno de 3,50 m são constituídos de solo argiloso pouco arenoso, conforme os dados obtidos no tratamento estatístico.

Os solos de origem basáltica, como já foi comentado nos parágrafos prévios, são férteis e bem drenados, com valores de permeabilidade variáveis entre 10^{-4} a 10^{-7} m/s (Raul et al., 1995). Devido às suas características estruturais, o valor de permeabilidade encontrado para os solos derivados de basaltos é

¹¹ ou 10^{-7} cm/seg

elevado e corresponde à permeabilidade de um cascalho bem selecionado, conforme mostra a Tabela (17).

Material	Permeabilidade Intrínseca (darcys)	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Argila	$10^{-6} - 10^{-3}$	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte, silte arenoso, areia argilosa, til	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia siltosa, areia fina	$10^{-2} - 1$	$10^{-5} - 10^{-3}$
Areias bem selecionadas, <i>glacial outwash</i> ¹¹	$1 - 10^2$	$10^{-3} - 10^{-1}$
Cascalho bem selecionado	$10 - 10^3$	$10^{-2} - 1$

Tabela (17) – Faixas de Valores de Permeabilidade Intrínseca e Condutividade Hidráulica para Sedimentos Inconsolidados. Fonte: tradução de Fetter (1982).

A transmissibilidade de um aquífero (T) caracteriza a sua capacidade em transmitir um determinado volume de água, por unidade de tempo e de comprimento (Fenzl, 1986).

A transmissibilidade ou capacidade específica do Aquífero Serra Geral é discutida por alguns hidrogeólogos. Raul (1995) reporta que em um inventário de centenas de poços do estado do Rio Grande do Sul, Hausmann (1966) apresenta os seguintes dados:

- os níveis estáticos situaram-se entre 0,32 m e 130 m;
- as profundidades dos poços entre 130 a 190 m;
- as capacidades específicas variaram de $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ a $38 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

¹¹ Depósito de areia e cascalho transportado por água corrente a partir do derretimento do gelo de uma geleira e previstos nos depósitos estratificados. Um *outwash* pode atingir uma espessura de 100 m no eixo de uma geleira, embora esta espessura normalmente bem seja menor, esta possa se estender por muitos quilômetros na sua extensão.

Este poço forneceria em uma semana, pela primeira condutividade específica, $0,756 \text{ m}^3 / \text{h}/\text{m}$, analisando-se o primeiro valor de condutividade específica.

Um Relatório da Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul – SUDESUL (1970), apresenta uma série de dados interessantes sobre poços tubulares do Rio Grande do Sul, entre os quais, três dados de capacidade específica de rochas basálticas em contato com o arenito Botucatu: $1,35 \text{ m}^3 / \text{h}/\text{m}$; $3,61 \text{ m}^3 / \text{h}/\text{m}$ e $3,63 \text{ m}^3 / \text{h}/\text{m}$. As profundidades registradas desses poços foram de 100 m, 141,40 m e 149 m.

Resumidamente pode-se afirmar que a permeabilidade encontrada na cobertura residual do Aquífero Serra Geral é elevada, enquanto que a condutividade hidráulica é baixa para os planos de fraturas da litologia basáltica, considerando-se os valores apurados. Esses são valores importantes quando se relaciona a aplicação de cargas contaminantes na superfície do terreno e o seu transporte na zona saturada do subsolo.

11.3. Sistema Aquífero Guarani

Para se determinar a vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Guarani, a exemplo do Aquífero Serra Geral aplicou-se a metodologia **GOD**.

O tipo de ocorrência da água subterrânea em aquífero confinado forneceu o valor de 0,2 para o parâmetro **G**. O Sistema Aquífero Guarani é confinado no topo através de um espesso derrame de lavas vulcânicas que se encontra sobreposto à Formação Botucatu, e na base por rochas Permo-Triássicas.

Na zona saturada predominam sedimentos consolidados, arenitos típicos, subarredondados, granulometria fina a muito fina e porosidade média de 24%, fornecendo índices entre 0,6 e 07 para o parâmetro **O**.

No tocante à profundidade das águas, o topo do aquífero confinado pode ser encontrado a uma profundidade entre 535 e 582 m, na região de influência dos reservatórios de Machadinho, produzindo um índice com um valor de 0,3 para o parâmetro **D**.

Com base nos dados apresentados nos parágrafos anteriores, determinou-se os índices de vulnerabilidade do aquífero poroso. O índice final de vulnerabilidade obtido para o Sistema Aquífero Guarani foi de 0,042, que pode ser considerado desprezível.

12 RESULTADOS E DISCUSSÃO

12.1 Diagnóstico Ambiental das Águas Subterrâneas e a Contaminação por Nutrientes

Este tópico traça um diagnóstico ambiental das águas subterrâneas dos dois sistemas aquíferos. É feita uma abordagem ao conteúdo geoquímico e microbiológico das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos já pesquisados previamente, dando-se ênfase às concentrações físico-químicas e à contagem dos coliformes (totais e fecais) presentes nas águas subterrâneas que se mantiveram fora dos padrões de qualidade ambiental propostos pela legislação sanitária e ambiental, investigando-se as suas causas.

A partir de um diagnóstico ambiental dessas águas, inclusive revelando estágios de contaminação, notadamente, por nutrientes, há intenção justamente de se prognosticar os cenários tendenciais da área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho. Macedo (1995) in Sâmia reporta que cenário tendencial se refere ao prognóstico do cenário atual sem considerar a implementação de medidas de otimização da qualidade ambiental e de vida, mas apenas as transformações a que a região estará propensa, decorrência da ação

natural e/ou de interferências ambientais provenientes de atividades antrópicas existentes na região.

12.2. Diagnóstico Ambiental das Águas Subterrâneas do Aquífero Serra Geral e a Contaminação por Nutrientes

A qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral na área de influência das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho, pode ser considerada num contexto global como de boa qualidade, conforme atestam os teores médios dos constituintes iônicos principais e de alguns menores, geralmente dentro de padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira, e principalmente daquela mais recente, a Portaria MS nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000.

A excelência na qualidade das águas para o mesmo aquífero têm sido reconhecida por vários pesquisadores e hidrogeólogos: Abrão Hausmann (1966); Marcos Alexandre de Freitas (2002), Ernani Francisco da Rosa Filho (1987), André Virmond Lima Bittencourt (1978), Carlos Gilberto Fraga (1986), Aldo da Cunha Rebouças (1978), Dorothy (2002), e outros. Os trabalhos científicos desses autores estão publicados nos respectivos estados de origem (Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, etc), considerados como porções territoriais onde também ocorrem os derrames de lavas ácidas e básicas da Serra Geral.

À exceção de alguns teores anômalos isolados para os constituintes iônicos menores, constantes dos laudos analíticos laboratoriais, por exemplo, fluoretos e fenóis, o padrão de qualidade das águas da formação aquífera Serra Geral na área pesquisada não se modifica. Algumas causas são apontadas para essas anomalias, mas outras amostras mais recentes devem ser coletadas e comparadas com esses resultados.

A origem dos fluoretos tanto no Aquífero Serra Geral quanto no Sistema Aquífero Guarani é bastante controversa e tem sido alvo de intensas e acaloradas discussões técnicas.

A hipótese mais discutida é de que ele provém da lixiviação dos basaltos da Formação Serra Geral, que cobre as Formações Botucatu-Pirambóia (Cetesb, 1997), muito embora outras hipóteses existam e têm sido pesquisadas.

As águas do Aquífero Serra Geral revelaram em 31% das análises um teor médio de fenol de 0,13 mg/L, resultado este significativamente elevado. Este teor está acima do padrão de qualidade de um corpo receptor nas Classes 1 e 2, que determina 0,001 mg/L, pela Resolução CONAMA nº 20, de 18/06/86. Apesar desses teores elevados, nos outros 69% de representatividade não houve a detecção de quaisquer índices de fenóis. A presença do fenol nas águas do Aquífero Serra Geral pode ser atribuída a causas diversas, como se constatou numa análise *in loco* à região estudada.

Pelo menos cinco dos poços contendo teores detectáveis de fenol acham-se distribuídos na bacia hidrográfica do rio do Peixe, junto do leito principal. Em dois dos poços constatou-se a utilização da água para em posto de abastecimento de combustíveis, além de serviços de lavagem de veículos, limpeza, etc.

Um terceiro poço funcionava junto de uma oficina e, também, com posto de combustíveis local, utilizado no abastecimento de veículos e máquinas agrícolas pesadas. Na área do entorno desse poço, geralmente, nas áreas do terreno com as cotas topográficas mais elevadas haviam cultivos de milho sazonais e adubação através de dejetos de suínos.

A procedência desse fenol nos três casos relatados acima, certamente está relacionada a derivados de petróleo e/ou agrotóxicos que se infiltraram misturando-se às águas subterrâneas. Além disso, ficou constatado que em dois desses poços, as águas subterrâneas estavam contaminadas por um número

expressivo de coliformes totais e fecais. Ou seja, havia material orgânico, cuja decomposição, pode igualmente gerar fenól.

Na bacia do rio do Peixe são comuns indústrias de papel e celulose, dentre outras poluentes, produzindo resíduos de fenóis nos seus efluentes. Outros poços tubulares com altos teores de fenóis estavam localizados em meio a áreas típicas de cultivos de milho, e outros próximos de cursos d' água correndo ao largo de núcleos urbanos, certamente contaminados por esgotos. Finalmente, uma origem para esses fenóis estaria relacionada ao emprego de biocidas, largamente utilizados nos municípios gaúchos e catarinenses localizados na área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho, bem como das águas residuárias domésticas lançadas na rede fluvial.

Alguns metais pesados, reconhecidamente constituintes tóxicos e carcinogênicos químicos, entre estes, o cádmio, o cobre e o chumbo, foram analisados em laboratório, sendo que em um percentual deles se obtiveram concentrações abaixo dos Limites de Detecção – LD, enquanto que outros revelaram algumas concentrações superiores às determinadas pela legislação vigente.

Teores de chumbo de até 0,018 mg/L, acima do VMP que é de 0,01, estabelecido pela Portaria MS nº 1.469 de 29/12/2000, encontrados nos poços P-143, localizado em Pinheiro Preto, P-14, de Engenho Velho, ambos no município de Concórdia, e em outros, podem ser provenientes do manejo animal (suinocultura de confinamento) de dejetos de suínos aplicados como adubo orgânico nos solos locais.

O poço tubular de Pinheiro Preto fica localizado em meio a plantações de milho que se renovam anualmente. O poço de Engenho Velho localiza-se às margens do leito do rio Jacutinga, hoje parcialmente inundado pelo reservatório de Itá, e num dos vales junto com o de Lajeado Fragosos, onde a suinocultura de confinamento é das mais ativas do estado. O solo ao redor do poço também é utilizado para cultivos de milho e pecuária. O excesso de nutrientes do solo provenientes da aplicação de dejetos de suínos infiltra-se na camada insaturada,

até atingir o lençol freático, sendo facilitado pela percolação através do sistema de fraturas da Formação Serra Geral.

O poço tubular P-66 que abastece a comunidade de Passo do Uvá, no município de Itá-SC, localiza-se em uma parte do terreno de topografia baixa, enquanto que a área de entorno é descrita por uma encosta natural de forte declividade, sendo que nas elevações se encontram *chiqueirões*, havendo cultivos sazonais de milho que chegam no entorno do poço. Um pequeno curso d' água a menos de 10 m corre no entorno e deságua no rio do Uvá, próximo dali. O ruído da queda d' água nas entradas de água do poço tubular pode ser ouvido da superfície do terreno.

Cabe observar que os chiqueirões haviam sido construídos no período compreendido das amostragens, entre 1999 e 2000. Resultados microbiológicos de uma amostragem realizada em julho/2000 nas águas desse poço revelaram 1.100 UFC¹² de coliformes fecais (NMP¹³) por 100 ml.

A contaminação das águas deste poço é bem provável dá-se provavelmente pela migração da água subterrânea por diferença de potencial hidráulico, cuja vertente maior está voltada para aquele poço. A contaminação dessas águas por dejetos de suínos líquido ocorre próxima dos *chiqueirões*, nas zonas de cotas potenciométricas mais elevadas e que, assim, percolam através do sistema de juntas (identificado *in locos*) dos basaltos para o interior do poço. Uma outra possibilidade são as enxurradas que carregam as águas residuárias dos chiqueirões, e os remanescentes de adubos orgânicos utilizados nas plantações de milho para as áreas mais abaixo.

Por outro lado, também se verificou que nenhuma ocorrência ou jazimento mineral de chumbo, tal como a galena ou outro qualquer é conhecido na região, e

¹² UFC têm o significado de Unidade Formadora de Colônias.

¹³ NMP significa Número Mais Provável.

A crescente demanda na economia da agroindústria exigiu maior implementação agrícola em todos os setores de suporte, havendo expansões na terra de plantio, necessidades maiores por fertilizantes, aumento da ração animal, etc. Para assegurar a monocultura do milho o adubo orgânico de dejetos suínos tornou-se uma opção barata, viável ao agricultor.

Como os sistemas de produções de suínos geram elevada produção de dejetos líquidos acarretando problemas de manejo, de armazenamento, distribuição e poluição ambiental (Emater, 1998), esses dejetos transformaram-se em adubo orgânico.

Com isso, cargas de adubos não balanceadas contendo concentrações de nutrientes, alguns com teores elevados, de cálcio, magnésio, potássio, cobre, zinco, manganês, com destaque para o nitrogênio e o fósforo, vão sendo adicionados ao solo em dosagens altas, via de regra, acima da composição mineral elencada. Esses nutrientes são constituintes dos dejetos líquidos de suínos, empregados em larga escala nos solos dessas regiões, notadamente da área pesquisada.

A Embrapa (2000) reporta uma série de efeitos negativos que os fertilizantes de dejetos suínos provocam como: desequilíbrios iônicos, fitotoxicidade às plantas, poluição da atmosfera por volatilização, contaminação das águas de superfície e subsuperfície por lixiviação.

Os dejetos suínos são preferencialmente utilizados para adubagem pelos produtores/criadores locais, embora os fertilizantes químicos também tenham os mesmos usos.

A região de Flandres na Bélgica, reconhecida pela alta densidade suinícola produz 50 t/ha/ano (Vlassak ,1998 apud Seganfredo) de dejetos de suínos, uma

quantidade inferior àquela verificada em algumas micro-regiões de SC, considerando-se apenas os dejetos de suínos.

A *Federal Environmental Agency* (1998) e Molen et al. (1998) informam, ainda, segundo esse autor que nesses países, alguns dos principais problemas hoje existentes, como o acúmulo de nutrientes no solo e o excesso de nitratos nas águas, são de difícil solução, pois advêm, em grande parte, do efeito retardado da aplicação de grandes quantidades de dejetos por longos períodos (Bloxham & Svoboda, 1996 apud Seganfredo 2000).

Nessas circunstâncias, a remoção do excesso de nutrientes, de maneira a se retornar aos teores originalmente existentes é praticamente inatingível (Kabata-Pendias, 1995 apud Seganfredo, 2000)

Os teores de nitrogênio para nitratos encontrados e avaliados foram considerados baixos, mas a sua distribuição geoquímica na área de pesquisa (índice de detecção de 95,23%), fortemente induz a uma contaminação incipiente em nível regional. Auréolas geoquímicas bem definidas de compostos a base de nitratos foram mapeadas (figura 51) ao longo de vales e bacias hidrográficas (rios tributários do rio Uruguai), como do rio Novo, no município de Aratiba-RS, rio Lambedor, no município de Severiano de Almeida-RS, rio Suzana, no município de Marcelino Ramos-RS, rio do Peixe, nos municípios de Ipira-SC, Piratuba-SC e Alto Bela Vista-SC.

Nesses halos geoquímicos os teores de nitratos variam entre 0,25 e 0,84 mg/L, constituindo percentuais da ordem de 24% dos elementos totais.

São teores seguramente significativos para águas subterrâneas, principalmente pela detecção do nitrato em 95,23% do total de amostras de água subterrâneas, seguido pelo nitrito com 16,7% e pela amônia com 9,52%.

As transformações biogeoquímicas influenciam a ocorrência e a distribuição das espécies de nitrogênio na água subterrânea, conforme relata Nolan (1995). Amônia e as formas orgânicas de nitrogênio são rapidamente transformadas em

meio constituído por água subterrânea. Formas orgânicas de nitrogênio tais como a da uréia são mineralizadas para amônia sob condições, ambas, anaeróbicas e aeróbicas, quando a matéria orgânica se decompõe. A amônia é solúvel na água, mas é convertida em gás de nitrogênio em sistemas anaeróbicos e para hidróxido de amônio em sistemas aeróbicos. A maioria do hidróxido de amônio é ionizado, respectivamente para íons de amônio e hidróxido. Sob condições aeróbicas, o íon amônio é convertido para nitrito e nitrato por nitrificação, um processo assistido por microrganismos. Enquanto que nitrito é instável sob condições aeróbicas, o nitrato pode persistir na água subterrânea por décadas.

A Tabela (18) apresenta valores elevados para a amônia, em condições redutoras verificadas nas águas subterrâneas dos poços especificados da área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho. Chama a atenção o poço P-135 com uma concentração bastante elevada de amônia com 1,51 mg/L.

Os poços tubulares assinalados por P-135 e P-215 localizam-se, respectivamente, na Linha Sanga Funda, e Linha Napoleão, no município de Severiano de Almeida-RS.

Poço	Amônia mg/L	Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	pH
P-135	1,51	ND	0,17	6,95
P-215	0,52	ND	0,02	7,83
P-154	0,04	ND	0,02	7,35

Tabela (18) – Valores de amônia, nitrato, nitrito e pH nas águas subterrâneas.

O poço P-154 está situado na localidade de Barra do Pinheiro, às margens do rio Peixe, e pertence à Prefeitura Municipal de Capinzal-RS. Este poço apresentou contaminações por coliformes fecais reiteradas vezes nas análises microbiológicas realizadas em períodos que vão de 1999 a 2000.

Os valores de pH apresentam uma tendência de valor fracamente ácido a levemente alcalino. As medições de oxigênio dissolvido não são conhecidas para esses poços em geral, mas sistemas anaeróbios indicam valores bem baixos, principalmente para o poço P-154.

Ocorrências anômalas foram também detectadas para ortofosfatos e amônia. Observou-se que os poços que bombeavam as águas com teores elevados de ortofosfatos (mg/L) estavam juntos a cultivos de milho, em cujos solos é sabido há uma aplicação excessiva de dejetos suínos como fertilizantes.

Além das áreas intensivamente ocupadas pelos cultivos de milho por mini-fúndios (em torno de 17 ha), que é destinado ao fabrico de ração animal suína, há um número bastante grande de *chiqueirões*, locais de criação de suínos sob condições de confinamento. Tanques de captação artificial desses dejetos denominadas esterqueiras podem propiciar a infiltração do fósforo no subsolo através de vazamentos nas fraturas do concreto e/ou para as águas de superfície, normalmente nos períodos de intensa atividade pluviométrica.

As causas atribuídas aos valores mais elevados encontrados para os ortofosfatos nas águas subterrâneas nas amostragens que se sucederam nos poços especificados (Mapa de Lineamentos e Poços Tubulares Profundos Frios e Termominerais) estão sucintamente relacionadas abaixo, via de regra, associadas às atividades desenvolvidas no entorno dos poços:

- P-6: 0,67 mg/L - Linha Volta Grande, Alto Bela Vista-SC – cultivo de milho;
- P-19: 0,60 mg/L- Linha 8 de Maio, Concórdia-SC – confinamento de suínos, cultivo de milho, proximidade do Lajeado Fragosos;
- P-14: 0,37 mg/L – Engenho Velho, Concórdia-SC – pecuária, cultivo de milho, proximidade do rio Jacutinga/Lajeado Fragosos;
- P-28: 0,70 mg/L – L. Tamanduá, Concórdia-SC – área urbana, cultivo de milho, confinamento de suínos;
- P-29: 1,71mg/L – Lajeado Crescêncio, Concórdia-SC – confinamento de suínos, cultivo de milho, proximidade do rio Jacutinga;
- P-39: 1,20 mg/L – Rancho Grande, Concórdia-SC – cultivo de milho, confinamento de suínos, proximidade do rio Rancho Grande/reservatório da UHE Itá;
- P-48: 0,72 mg/L – Esteves Júnior, Ipira-SC – floricultura e jardinagem, fruticultura, confinamento de suínos, cultivo de milho;

- P-58: 0,73 mg/L – Linha Fátima, Itá-SC – confinamento de suínos, cultivo de milho;
- P-66: 0,68 mg/L – Passo do Uvã, Itá-SC - confinamento de suínos, cultivo de milho;
- P-73: 0,25 mg/L – Sede, Aratiba-SC – área urbana (Corsan);
- P-90: 0,51 mg/L – Cel. Teixeira, Marcelino Ramos-RS – cultivo de milho, oficina mecânica, armazenamento de combustível;
- P-89: 0,21 mg/L – Balneário, Marcelino Ramos-SC – área urbana (Corsan);
- P-94: 0,15 mg/L – Linha Suzana, Marcelino Ramos-SC- área urbana, madeireira, (cultivo de milho, confinamento de suínos);
- P-99: 0,21 mg/L – Sede, Marcelino Ramos-SC – área urbana (Corsan);
- P-108: 0,47 mg/L – Linha Três Pinheiros, Mariano Moro-RS – esterqueira e confinamento de suínos próximos, cultivo de milho (contaminação por coliformes fecais);
- P-109: 0,42 mg/L – Linha Vitalina, Mariano Moro-RS, cultivo de milho;
- P-112: 0,30 mg/L – Linha Lambedor, Severiano de Almeida-RS – cultivo de milho, proximidade do rio Lambedor;
- P-134: 0,26 mg/L – Núcleo Três Barras, Aratiba-RS – cultivo de milho;
- P-135: 0,58 mg/L, Porto Brum, Mariano Moro-RS, cultivo de milho próximo, (confinamento de suínos);
- P-137: 0,64 mg/L – Linha Sanga Funda, Severiano de Almeida-RS – cultivo de milho;
- P-143: 0,62 mg/L – Núcleo Pinheiro Preto, Concórdia-SC – cultivo de milho;
- P-154: 0,25 mg/L – Barra do Pinheiro, Capinzal-SC – cultivo de milho, (contaminação por coliformes fecais), águas bombeadas do rio do Peixe;
- P-195: 0,36mg/L - Sede, Piratuba-SC – área urbana;
- P-208: 0,24 mg/L- Linha Navegantes, Maximiliano de Almeida-RS – cultivo de milho;
- P-215: 0,74 mg/L – Linha Napoleão, Severiano de Almeida-RS – cultivos de soja, milho, fábrica de embutidos, (confinamento de suínos);
- P-222: 0,53 mg/L – UHE Machadinho, Piratuba – SC – proximidade com canteiro de obras da usina hidrelétrica na época da construção e com o rio Uruguai.

Pela análise dos dados acima fica bastante evidenciado que a contaminação por fósforo das águas subterrâneas do Aqüífero Serra Geral está relacionada às atividades antrópicas que são desenvolvidas, sobretudo, na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho. Os agentes de contaminação pelo ortofosfato estão enumerados por ordem seqüencial de importância:

- manejo animal (confinamento de suínos);
- derivado dos adubos orgânicos de dejetos de suínos aplicados maciçamente nos solos em cultivos de milho, (soja);

- águas residuárias infiltradas que contaminam o lençol freático.

Este ânion conforme já foi amplamente detalhado encontra-se no solo da área pesquisada em quantidades excepcionais acima das concentrações requeridas para as plantas e é lixiviado através do manto de intemperismo e do sistema de fraturas/falhas do aquífero fissural para as águas subterrâneas, e por sua vez podem precipitar nas áreas de descarga aos reservatórios, acabando por formar verdadeiros depósitos de fósforo nesses meios. São na realidade reservatórios de fosfato precipitado ou sorvido formados às expensas de cargas de fósforo provenientes de fontes antrópicas (Charles Pitz, 2003).

12.3. Diagnóstico Ambiental das Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani

São consideradas águas de excelente qualidade por vários hidrogeólogos, entre os quais: Rebouças (1978), Ernani (1987). Na área pesquisada essas águas tendem a uma concentração elevada de STD, alguns dos poços, como o de Marcelino Ramos-RS, também apresentaram teores pouco elevados para fluoretos. Mas, na composição geoquímica em geral estão inseridas nos padrões de qualidade vigente, inclusive o poço termal, P-236, de Itá-SC abastece parte do município.

A temperatura das águas termominerais do Sistema Aquífero Guarani variou entre 30 e 39°C, sendo registradas em cinco poços localizados na área pesquisada. A principal origem da temperatura das águas termominerais como já foi acentuado é o gradiente geotérmico.

Um dado único de turbidez pode ser constatado nessas águas e correspondeu a 1 µT, especificamente no poço termal da empresa Sadia em Concórdia.

O valor de condutividade elétrica encontrado no Sistema Aquífero Guarani é igual a 3.028 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tornando-se bastante elevado se comparado àquela encontrada no Aquífero Serra Geral (182,54 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Adicionalmente, o valor mínimo de condutividade elétrica no SAG correspondeu a 635 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto que o máximo, a 18.230 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Estes valores de condutividade significativamente elevados encontrados nas águas do SAG mantêm uma correspondência de proporcionalidade direta com os teores de STD respectivos para cada amostra, e demonstram que essas águas são intensamente mineralizadas.

As águas do Aquífero Guarani apresentaram um valor de pH médio de 8,54 nas três amostragens consecutivas, situando-se entre um valor mínimo de 7,50 e um máximo de 9,15. Os valores de pH do SAG são mais alcalinos e nitidamente superiores aos encontrados no Aquífero Serra Geral.

Para a determinação do resíduo total a 105° C nas águas do Sistema Aquífero Guarani apenas uma amostra pode ser analisada, coletada no antigo poço da empresa Sadia de Concórdia-SC, e correspondeu a 330 mg/L, valor este muito superior à média (151,94 mg/L) encontrada nas águas subterrâneas do aquífero fissural.

Como já foi mencionado anteriormente, as águas do SAG possuem um valor médio para STD de 652,77 mg/L, proporcional ao valor de condutividade elétrica, e que foi obtido em três amostragens seqüenciais, com variação de um teor mínimo de 361 mg/L e um máximo de 828 mg/L. Esses valores também se sobressaem àqueles presentes no Aquífero Serra Geral.

O ânion bicarbonato é um dos constituintes principais a exemplo das águas do Aquífero Serra Geral, também do Sistema Aquífero Guarani. O teor médio foi equivalente a 243,16mg/L, variando entre um mínimo de 106 e 350mg/L; valores estes bem mais elevados que àqueles presentes nas águas do Aquífero Serra Geral (teor médio de 83,36 mg/L).

A concentração média de carbonatos no SAG foi de 40 mg/L, cuja variação ficou entre 16 e 52 mg/L. Os resultados para os carbonatos nessas águas são inferiores às do Aqüífero Serra Geral, cuja média ficou em 32 mg/L, variando entre 2 e 90 mg/L.

As concentrações extremas de sódio estiveram entre 173,72 mg/L e 395,92 mg/L. Sendo que o seu valor médio correspondeu a 295,59 mg/L, valor este superior à média de 32,40 mg/L para o sódio presente no Aqüífero Serra Geral.

Um teor médio de cálcio de 5,80 mg/L foi encontrado nessas águas do SAG com variações entre 0,81 mg/L, valor mínimo, e um máximo de 41,21 mg/L. O teor médio do Aqüífero Serra Geral é um pouco mais elevado que o Guarani.

As águas desse sistema aqüífero apresentaram um teor de magnésio de 3,16 mg/L, embora não tenha sido considerada na estatística uma concentração anômala deste cátion de 154,38 mg/L, em um poço de Marcelino Ramos-RS. Diante desse fato, os teores de magnésio do SAG situaram-se um pouco abaixo dos do aqüífero fissural.

A concentração média de cloreto nas águas do SAG é bem maior que a do aqüífero fissural, encontrando-se 125,40 mg/L de cloreto, entre um mínimo de 57,43 mg/L e um máximo de 173 mg/L. A concentração média de cloreto nas águas do Aqüífero Serra Geral foi de 17,38 mg/L, situando-se entre 5,67 e 126,20 mg/L.

O ânion sulfato está presente nas águas do SAG com um teor médio de 90 mg/L, com variação entre 10 e 360 mg/L. Esta Formação Aqüífera comparativamente apresenta concentrações de sulfatos bem superiores às aquelas mostradas pelo Aqüífero Serra Geral (teor médio de 11,09 mg/L).

As concentrações médias de sulfetos entre o SAG e o aqüífero fissural são muito próximas, ficando a primeira com 0,0085 mg/L, com um mínimo de 0,006 mg/L e um máximo de 0,014 mg/L. A diferença entre os teores médios para

sulfetos é de 0,0195 mg/L, sendo que a média encontrada para o Aquífero Serra Geral foi de 0,028 mg/L.

O sistema Aquífero Guarani apresentou um teor médio de 0,55 mg/L de potássio, valor este bastante próximo daquele encontrado para águas do Aquífero Serra Geral (0,60 mg/L).

O teor médio do fluoreto encontrado para as águas do SAG foi de 1,39 mg/L, o qual variou entre 0,70 e 1,86 mg/L. Pela Portaria nº 1.469, de 29/12/2000 este teor médio está somente um pouco abaixo do VMP¹⁴ determinado que é de 1,50 mg/L. Embora, este valor represente a média de uma amostragem de somente 13 poços, o mesmo deve ser considerado, pois resultados analíticos das águas de alguns desses poços mostraram teores de fluoreto acima do padrão de potabilidade estabelecido, entre os quais se pode citar: o poço termal de Marcelino Ramos-SC, com 1,86 mg/L de fluoreto; o poço do Thermas Park Hotel, com 1,72 mg/L de fluoretos; o poço da Estância Hidrotermal de Piratuba-SC, com 1,68 mg/L de fluoreto.

As águas do Aquífero Serra Geral têm um teor médio de 0,40 mg/l de fluoreto, comparativamente bem abaixo das águas do SAG, e por conseguinte dentro dos padrões da Portaria referenciada. Contudo, há de se destacar alguns valores elevados de fluoretos encontrados nas águas desse aquífero fissural, os quais devem analisados quanto a sua possível gênese.

Os teores de ferro encontrados nas águas do Sistema Aquífero Guarani são muito raros, sendo que somente em um poço, da Sadia, de Concórdia-SC, constatou-se a presença do metal, com 0,15 mg/L.

¹⁴ Valor Máximo Permitido

Nenhuma concentração de CO₂ pode ser confirmada nas águas do SAG. Da mesma forma, essas águas apresentaram resultados não detectáveis para o Índice de Fenol.

A amostragem para a detecção de metais pesados em águas do SAG foi realizada em somente um poço termal. Teores de cádmio nem de chumbo não foram detectáveis nas águas desse aquífero. Um baixo teor de cobre de 0,005 mg/L pode ser detectado no SAG, mas mostrou-se abaixo do padrão de potabilidade determinado pela Portaria nº 1.469, de 29/12/2000, que é de 2 mg/L.

Os teores de nitratos na sua grande maioria não foram detectados nas águas do Sistema Aquífero Guarani. Apenas em duas amostras o nitrato pode ser detectado, respectivamente, com 0,03 e 0,05 mg/L, ambos abaixo do VMP para o nitrato que é de 10 mg/L, praticamente padronizado na legislação nacional e internacional.

Nenhum resultado analítico positivo foi detectado para o nitrito nas águas do SAG.

As águas do SAG à semelhança do Aquífero Serra Geral apresentaram 58,3% dos resultados analíticos nulos para os teores de amônia. Um valor mínimo de amônia detectado foi de 0,13 mg/L como (NH₃). As concentrações de amônia na maioria, a exceção de uma, encontram-se dentro do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria nº 1.469, de 29/12/2000, que é de 1mg/L como (NH₃).

No Sistema Aquífero Guarani confinado pelo pacote de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, embora com um número bem menor de amostras de água analisadas, apresentou cerca de 50 % das amostras com valores não detectados para o ortofosfato e uma concentração média de apenas 0,06 mg/L. Este valor de concentração média para ortofosfatos é atribuído às águas subterrâneas sem contaminações aparentes.

De um total de 142 amostras analisadas, 71 revelaram resultados positivos na identificação de coliformes totais, o que correspondeu exatamente a 50% de toda a população. O maior número de coliformes totais presentes no aquífero fissural correspondeu a 770,10 NMP/100 ml, enquanto que o menor a 0,06 NMP/100 ml.

Das análises obtidas nas 142 amostras foram caracterizados somente 20 resultados positivos para coliformes fecais, equivalentes a 14% daquele total. O menor número de coliformes fecais encontrado nas águas do aquífero fissural foi de 1 NMP/100 ml, enquanto que o maior correspondeu a 191,80 NMP/100 ml.

Nas águas do Sistema Aquífero Guarani foi identificada uma quantidade não muito significativa de coliformes totais e um número bastante pequeno de coliformes fecais que não superou 3,0 NMP/100 ml em alguns dos poços termais amostrados. Esses números alcançados para os coliformes não estão muito fora do padrão de potabilidade em vigência, principalmente levando-se em consideração os argumentos tecidos no parágrafo seguinte. Essa amostragem ocorreu durante três períodos consecutivos entre 1999 e 2000.

12.4. CLASSIFICAÇÃO E ZONEAMENTO GEOQUÍMICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA PESQUISADA

Este segundo tema visa aprofundar uma discussão em torno da classificação geoquímica das águas, que se baseou no emprego de metodologia gráfica, ou seja, na aplicação do diagrama triangular de Piper. Este estudo da classificação das águas ainda inacabado propiciou um zoneamento geoquímico baseado numa classificação preliminar das águas subterrâneas somente parcial, ou seja, para determinadas porções da área de pesquisa, mas que poderá ser estendido integralmente para todo o seu recobrimento geográfico. O tratamento completo desses dados geoquímicos resultará em um produto final que será um

mapa de zoneamento hidrogeoquímico com uma classificação final das águas subterrâneas.

12.4.1. Classificação e Zoneamento Geoquímico das Águas Subterrâneas do Sistema Aqüífero Serra Geral

A hidrogeoquímica do Sistema Aqüífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho está assim representada:

- bicarbonatada magnesiana sódica, com 35,29% sobre o total;
- bicarbonatada magnesiana cálcica – 20%;
- bicarbonatada sódica magnesiana – 13%;
- cloretada magnesiana cálcica – 2,35%;
- cloretada magnesiana sódica – 2,35%;
- bicarbonatada sódica – 27,05%.

Águas de composição bicarbonatada sódica e cloretadas magnesianas com predominância sódica ou mesmo cálcica, são consideradas atípicas para águas genuinamente representativas do Aqüífero Serra Geral. Considerando a incompatibilização geoquímica dessas águas os dois tipos composicionais acima representam somente misturas de águas do Aqüífero Serra Geral com águas do Sistema Aqüífero Guarani.

Águas com valores de pH acima de 8 provenientes de poços do Aqüífero Serra Geral localizados na área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho, quando têm os seus ânions e cátions maiores representados no diagrama triangular de Piper expressam composições de água típicas do Sistema Aqüífero Guarani. A mistura dessas águas têm igualmente sido identificada no mesmo aqüífero com características geoquímicas regionais específicas em outros estados, e a afirmação é corroborada por hidrogeólogos e pesquisadores citados em parágrafos prévios.

As zonas de recarga ascendentes do SAG interconectadas a fraturamentos subverticais do pacote vulcânico sobreposto promovem a mistura das águas. Pressões hidráulicas de confinamento extremas na presença de zonas tectônicas

favoráveis servem como condutos de alívio para a ascensão dessas águas. A superfície piezométrica do Sistema Aquífero Guarani em contato com essas zonas de fraturamentos/falamentos do rio Uruguai faz com haja uma contaminação natural dessas águas.

12.4.2. Classificação e Zoneamento Geoquímico das Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani

A composição das águas do SAG apresentou a seguinte configuração geoquímica na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho:

- bicarbonatada sódica;
- cloretada sódica;
- cloretada sódica bicarbonatada.

Um zoneamento hidrogeoquímico preliminar do SAG indica águas de composição bicarbonatada sódica predominando na região de Piratuba-SC, as quais são bombeadas por dois poços de águas termominerais ali existentes, e em Concórdia-SC, pelo poço da empresa Sadia. No entorno de Itá-SC e Marcelino Ramos-RS, a composição dessas águas tornam-se, respectivamente, cloretada sódica bicarbonatada e cloretada sódica.

O cloro é considerado um elemento de alta mobilidade geoquímica, segundo já foi comentado, por isso pode ser rapidamente lixiviado das rochas e sedimentos permeáveis, como os arenitos da Formação Botucatu.

O cloro também é um constituinte das rochas magmáticas com 305 mg/kg, quantidade bem expressiva segundo Fenzl (1986).

A gênese das águas cloretadas pode ser atribuída à lixiviação das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral sobrejacente, e em menor extensão dos arenitos da Formação Botucatu a partir de fluxos ascendentes, que percolariam este elemento. A migração do cloreto a partir da Formação Aquífera Rio do Rasto (de origem marinha), intercalada ao Grupo Passa Dois subjacente à Formação

Botucatu, não deve ser descartada, propiciada pelas oscilações da superfície piezométrica.

A composição hidrogeoquímica das águas do Membro Morro Pelado, encontradas no andar superior da Formação Rio do Rasto é caracteristicamente de cloretada e bicarbonatada-magnesiana, segundo arquivo da Petrbrás (1995).

Um rebaixamento constante da superfície piezométrica através do bombeamento de poços pode ocasionar a mistura das águas de diferentes composições ou aquíferos, o que reforça as hipóteses expressas pelo autor no parágrafo acima.

12.5. Análise Estrutural dos Lineamentos versus Produtividade dos Poços Tubulares

As principais feições tectônicas da Formação Serra Geral na área de pesquisa estão representadas por dois grupos principais de *trends* com orientação nos quadrantes NE e NW. O *trend* NE dos lineamentos apresentou dois tipos de variações azimutais, um entre N 20° – 40° E, e um outro N 60° – 70° E. O *trend* NW é, sem dúvida, o que possui menor densidade de lineamentos/área, cabendo destaque para apenas um grupo, com variações entre N 60° – 70° W, conforme demonstra o mapa interpretativo de lineamentos, na escala 1:175.000.

O *trend* NE mais representativo ou com maior densidade de lineamentos está entre N 20° – 30° E. A extensão desenvolvida por esses lineamentos é muito variável, mas, geralmente, são bastante extensos, encontrando-se os menores em torno dos 875 m, e os maiores alcançando mais de 27 km de comprimento.

Deve ser entendido que esses lineamentos podem atingir dimensões bem maiores do que essas interpretadas e descritas no presente trabalho, pois essas estruturas tectônicas possuem prolongamentos lineares em direção aos estados

do Rio Grande do Sul e do Paraná, bastando para isto que haja o recobrimento e a interpretação das imagens de satélite e/ou de radar, contíguas àquelas utilizadas para esta pesquisa.

Uma outra interpretação estrutural da área em apreço tomando por base o imageamento de radar, na escala 1:250.000, representou com maior clareza os padrões de lineamentos da região. Puderam ser extraídos quatro *trends* NE principais, de direções:

- N60° – 65°E;
- N35° – 55°E;
- N25° – 30°E;
- N5° – 20°E.

O segundo grupo identificado acima com orientação N35°-55°E possui uma maior densidade de lineamentos, e aparece com maior freqüência sobre os demais.

O *trend* NW está representado por três grupos principais:

- a) N20° – 30°W;
- b) N35° – 50°W;
- c) N55° – 60°W.

O segundo grupo do *trend* NW representado por N 35°W – 50° W, é o mais freqüente sobre os outros dois grupos.

A relação da produtividade aquífera da totalidade de poços com os lineamentos demonstrou que 81% do *trend* NE está associado aos mais produtivos. A Bacia do Paraná apresenta a maioria dos lineamentos representativos do *trend* NW preenchidos por diques de diábasio, enquanto que o *trend* NE encontra os seus espaços vazios.

Poços produtivos associados a lineamentos com interseções de fraturas corresponderam a 33% do total. O comprimento dos lineamentos com até 30,6 km torna essas feições tectônicas atrativas sob o ponto de vista prospectivo para as águas subterrâneas.

12.6. Vulnerabilidade dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani

Para uma avaliação dos índices de vulnerabilidade à contaminação do Aquífero Serra Geral, utilizou-se a metodologia **GOD**, dentre duas outras técnicas, que são o **DRASTIC** e o **AVI**, ambos mais exigentes quanto à aplicação dos parâmetros elegíveis já detalhados previamente.

Os índices finais de vulnerabilidade estão situados entre 0,30 e 0,40, e expressam uma vulnerabilidade à contaminação de baixa a média para o Aquífero Serra Geral.

A característica fissural do aquífero determina que mais uma variável seja acrescentada e analisada quanto à susceptibilidade à contaminação referidas às zonas de fraturamentos/falhamentos. Assim, a densidade de lineamentos/área quadrada nos diferentes locais da área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho deverá influenciar modificando os índices de vulnerabilidade inicialmente obtidos com a aplicação do **GOD**.

A relação densidade lineamentos/área quadrada sobre o mapeamento da vulnerabilidade será diretamente proporcional à susceptibilidade à contaminação do aquífero, ou seja, terrenos com maiores densidades de lineamentos/área quadrada apresentarão uma maior susceptibilidade natural, que poderá se acentuar caso estejam localizadas nos zoneamentos definidos pelo **GOD**.

A camada não saturada do Aquífero Serra Geral possui uma espessura em média de 16,55 m, na região de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho, sendo que desta metragem, aproximadamente 3,50 m constituem-se de coberturas de solos (eluvionar e/ou coluvionar).

Os valores de permeabilidade dos solos basálticos da região em apreço, notadamente argilosos pouco arenosos, férteis, e bem drenados, variam entre 10^{-4} e 10^{-7} m/s, segundo dados já referenciados. O valor corresponde à permeabilidade de um cascalho bem selecionado e é considerada elevada.

A condutividade hidráulica do aquífero fissural, considerada como possuindo um comportamento isotrópico nas zonas vesiculares, e complexa e variável ao longo das zonas de fraturas horizontais e verticais, é representada em média por 10^{-7} cm/s, que se traduz por uma condutividade hidráulica equivalente às argilas, e portanto, muito baixa.

Dependendo do tipo e das características de carga de contaminante a ser aplicada neste aquífero fissural em subsuperfície, este possui algumas características positivas com relação à vulnerabilidade à contaminação, que são uma relativamente espessa camada insaturada de proteção e uma condutividade hidráulica bastante baixa. A camada residual de solo, todavia, apresenta uma permeabilidade alta.

Por sua vez, a transmissibilidade (T) deste aquífero (fissural), que pode se exprimir como a capacidade em transmitir um determinado volume de água, por unidade de tempo e de comprimento, apresenta grande variação numérica, entre $0,756 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (valor recalculado por um período equivalente a uma semana) e $38 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, característica que é intrínseca a um aquífero anisotrópico. Em caso de águas contaminadas na camada saturada, o bombeamento poderia acelerar a sua migração para outros locais do aquífero, na hipótese de se ter os valores mais elevados de transmissibilidade, ou seja, o último reportado acima.

A metodologia **GOD** foi também aplicada para se avaliar a vulnerabilidade à contaminação do aquífero poroso. O índice final de vulnerabilidade obtido para o Sistema Aquífero Guarani foi de 0,042, que é considerado desprezível.

13. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As águas do Aquífero Serra Geral na área de influência das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho apresentam o bicarbonato HCO_3^- como ânion dissolvido mais freqüente, com um teor médio de 83,36 mg/L. A temperatura média é de $18,66^\circ \text{C}$. O valor de turbidez média correspondeu a $1,62 \mu\text{T}$. O pH

médio é de 7,55. A média registrada para o STD foi de 164 mg/L. O resíduo total a 110° C tem em média 151,94 mg/L. A condutividade elétrica possui valor médio de 182,54 µS/cm. A dureza média é 65,14 mg/L (água moderadamente branda). O sódio possui teor médio de 32,40 mg/L. O cálcio ocorre com um teor médio de 8,79 mg/L. O magnésio está presente com um teor médio de 7,91 mg/L. O teor médio de cloreto foi de 17,38 mg/L. O sulfato possui teor médio de 11,09 mg/L. O sulfeto têm teor médio de 0,0085 mg/L (36,36% da totalidade de análises químicas). O teor médio do potássio é de 0,60 mg/L. A média encontrada para o fluoreto correspondeu a 0,40 mg/L. O teor médio de ferro em duas análises distintas correspondeu a: 0,28 mg/L (17% das análises químicas), e a 0,20 mg/L (100% das análises químicas). O gás carbônico possui uma concentração média de 3,90 mg/L. O teor médio do fenol é de 0,13 mg/L (30,95% das análises químicas). O teor médio de cádmio é de 0,001143 mg/L (25,93% das análises químicas). O chumbo possui teor médio de 0,0004889 mg/L (33,33% das análises químicas). O teor médio de cobre é de 0,01125 mg/L. O nitrato possui teor médio de 0,052 mg/L (95,23% das análises químicas). O nitrito têm teor médio de 0,017 mg/L (16,66% das análises químicas). A amônia possui um teor médio de 0,54 mg/L (9,52% das análises químicas). O ortofosfato têm teor médio de 0,43 mg/L (90,47% das análises químicas). O percentual de coliformes totais correspondeu a 50% de toda população amostrada, enquanto que os coliformes fecais ficaram em torno de 14% do total. O maior número de coliformes fecais foi de 191,80 NMP/100 ml e o menor igual a 1 NMP/100 ml.

A qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral na área de influência das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho, pode ser considerada no contexto global como de boa qualidade para consumo humano à exceção de alguns constituintes iônicos secundários, representados por nutrientes como o ortofosfato e o nitrato. A presença de coliformes fecais em poços isolados não deve alterar a qualidade das águas do SASG.

A distribuição geoquímica desses nutrientes nas águas subterrâneas do aquífero fissural, principalmente pelos ortofosfatos e em menor escala pelos nitratos parece evidenciar uma zona de contaminação localizada na área pesquisada. Esta contaminação por nutrientes do manancial hídrico subterrâneo, atualmente em curso, poderá se acirrar com a elevação do nível das águas propiciada pelo enchimento dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

Os teores médios dos constituintes iônicos principais e dos outros menores presentes nas águas do Aquífero Serra Geral encontram-se, na maioria, inseridos nos padrões de potabilidade da legislação brasileira, como a Portaria MS nº 1.469, de 29/12/2000.

A hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Serra Geral na área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho está caracterizada pelos seguintes tipos composicionais:

- a) bicarbonatada magnesiana sódica, representam 35,29% do total das amostras;
- b) bicarbonatada magnesiana cálcica – contribuem com 20% do total das amostras;
- c) bicarbonatada sódica magnesiana – representam 13% do total das amostras;
- d) cloretada magnesiana cálcica – 2,35% do total das amostras, refletem a mistura com águas de aquíferos sotopostos;
- e) cloretada magnesiana sódica – representam 2,35% do total das amostras, sendo também interpretadas como de natureza mista, das águas de aquíferos subjacentes;
- f) bicarbonatada sódica – contribuem com 27,05% do total das amostras, reconhecidas como mistura de águas devido às conexões tectônicas e hidráulicas existentes com o Sistema Aquífero Guarani.

As águas dos poços do Sistema Aquífero Guarani localizados na área pesquisada têm demonstrado estarem de acordo com os usos conferidos no abastecimento público (Casan, Itá-SC) ou na agroindústria (Sadia, Concórdia-SC), já que possuem qualidades além daquelas normalmente requeridas para consumo humano, que é a perspectiva de um manancial hídrico inesgotável se bem explorado.

Concentrações normalmente elevadas de STD (próximas de 1.000 mg/L) nessas águas requerem ajustes iônicos, que são conseguidos por essas empresas pela simples diluição com águas de superfície, as quais podem ser estocadas em represas construídas e destinadas para esta finalidade.

A temperatura das águas termominerais do Sistema Aqüífero Guarani, função principalmente do seu grau geotérmico, varia entre 30 e 39° C, nos poços da área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho. O valor de turbidez registrado para um único poço tubular profundo pertencente a agroindústria Sadia foi de 1 µT. O valor de condutividade elétrica é igual a 3.028 µS/cm, comparativamente elevado em relação às águas do aqüífero fissural (182,54 µS/cm). O STD possui um teor médio de 652,77 mg/L, correlacionável com o valor médio de condutividade elétrica acima. O resíduo total a 105° C para uma única análise correspondeu a 330 mg/L. O ânion bicarbonato é um dos constituintes principais junto com o sódio, e tem um teor médio de 243,16 mg/L. O carbonato possui um teor médio de 40mg/L. O teor médio do sódio é de 295,59 mg/L. O cálcio tem um teor médio de 5,80 mg/L. O magnésio possui um teor médio de 3,16 mg/L (desconsiderando um teor anômalo de 154,38mg/L para Mg). O cloreto têm um teor médio de 125,40 mg/L. O sulfato possui um teor médio de 90 mg/L. O sulfeto está presente com um teor médio de 0,0085 mg/L. O teor médio de fluoreto é de 1,39 mg/L, notadamente pouco abaixo do VMP, que é de 1,50 mg/L da Portaria nº 1.469, de 29/12/2000. Alguns poços de águas termominerais apresentaram teores de fluoretos acima do VMP proposto pela legislação vigente. Apenas um teor de ferro foi detectado com 0,15 mg/L. Valores de gás carbônico não foram detectados. Teores para o índice de fenol não foram detectados. Teores de metais pesados para o cádmio e o chumbo não foram detectados. O cobre apresentou um teor de 0,005 mg/L. Teores de nitrato foram identificados em somente duas análises químicas com teores, respectivamente, de 0,03 e 0,05 mg/L. Teores de nitrito não foram detectados. A amônia possui um teor mínimo de 0,13 mg/L. O teor médio de ortofosfato é de 0,06 mg/L. A quantidade de coliformes totais encontrada é pouco significativa, enquanto que a

de coliformes fecais não superou 3,0 NMP/100 ml em alguns poços termais amostrados.

A classificação geoquímica das águas do Sistema Aquífero Guarani na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho está representada do seguinte modo:

- a) bicarbonatada sódica;
- b) cloretada sódica;
- c) cloretada sódica bicarbonatada

A gênese das águas cloretadas pode ser atribuída à lixiviação das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral sobrejacente, e em menor extensão dos arenitos da Formação Botucatu a partir de fluxo ascendentes, que podem percolar este elemento.

Uma outra hipótese admitida neste trabalho é da migração do cloreto a partir da Formação Aquífera Rio do Rasto, intercalada ao Grupo Passa Dois subjacente à Formação Botucatu, sendo propiciada pelas oscilações da superfície potenciométrica.

As atividades agroindustriais intensamente exercidas nas regiões oeste e extremo-oeste do estado de Santa Catarina, parte da região NE do estado do Rio Grande do Sul, e mais especificamente na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho têm provocando uma série de impactos ao ambiente, sobretudo de caráter hidrogeológico.

Pesquisas científicas versando sobre a contaminação dos solos e das águas subterrâneas por nutrientes sob o enfoque da hidrogeologia, de certa forma, são recentes no Brasil.

Muitos dos efeitos ambientais supracitados adversos ainda não foram sentidos e/ou transmitidos na integridade, pois é sabido que os processos

hidrogeológicos são muito lentos temporalmente, além do que carregam consigo o que se denominou de cumulatividade do evento. Para Macedo (1995), a cumulatividade caracteriza a propriedade de um fenômeno ambiental tornar-se mais ou menos intenso pela continuidade de ação das mesmas fontes que lhe deram origem.

Não fosse somente esse passivo ambiental gerado com a intensificação da agroindústria naquelas regiões; a entrada em operação das usinas hidrelétricas de Itá (1.450 MW) e Machadinho (1.140 MW) com o enchimento dos reservatórios, a partir de 2000, provocava fenômenos ambientais sinérgicos, potencializado por impactos de conotação sobretudo biótica, os quais têm causado uma série de desequilíbrios nos ecossistemas (perda de biodiversidade da fauna e flora, perda dos corredores ecológicos, modificações de espécies da ictiofauna, etc.) da região catarinense, além dos hidrogeológicos, objeto desta pesquisa.

A imposição de tais impactos caracterizados pela irreversibilidade ao meio ambiente têm inundado grandes extensões de áreas, algumas férteis, substituídas pelos reservatórios de Itá com 103 km², e o de Machadinho com 79 km² de extensão, além daqueles aproveitamentos hidrelétricos que se implantaram na bacia hidrográfica do rio Uruguai desde então, como a UHE Campos Novos, UHE Quebra-Queixo, além de outros já inventariados, atualmente em fases de Projeto Básico/Executivo, como UHE Barra Grande, UHE Foz de Chapecó, UHE Pai-Querê.

Impactos hidrogeológicos tais como a elevação da superfície potenciométrica, alterações na qualidade hidroquímica das águas, contaminação do aquífero fissural, entre outros; quando implementados são imprevisíveis ao meio ambiente e difíceis de serem detectados, caso não hajam medidas de prevenção e/ou atenuantes.

Logo após o enchimento do reservatório da UHE Itá em 2000, os efeitos da elevação do lençol freático do Aquífero Serra Geral puderam ser percebidos

através de medições hidráulicas sazonais do NE que aumentou em média, entre 9 e 18,50 m nos poços tubulares de monitoramento localizados às margens daquele reservatório, inclusive com dados do autor.

O poço tubular P-14 localizado no distrito de Engenho Velho, município de Concórdia-SC, nas margens do rio Jacutinga, agora transformado em lago, apresentou nítidas elevações do NE. Alterações no sabor da água subterrânea bombeada pelo poço também foram comprovadas pela comunidade local e por este técnico. O poço P-136 da Linha Tamanduá, município de Aratiba-RS, registrou um aumento médio em torno de 18 m. Em outros poços tubulares de Mariano Moro-RS, verificaram-se aumentos elevados do NE, e os mesmos estavam situados igualmente nas margens do reservatório de Itá-RS.

Nas proximidades desse poço, em Concórdia-SC, e em algumas propriedades do município de Marcelino Ramos-RS foram reportados sismos durante o enchimento do reservatório de Itá, na mesma ocasião, de pequena magnitude na Escala Richter, os quais afetaram parte das paredes (rachaduras) e pisos (rebaixamento) de algumas residências (documentados com fotos pelo autor), decorrentes da pressão hidrostática exercida pelo reservatório sobre o terreno, cuja origem sugerida foi acomodação de camadas geológicas.

Um programa ambiental de monitoramento dos aquíferos localizados na área de influência das UHE's Itá e Machadinho está sendo conduzido pela Tractebel *Electricity & Gás International* desde o pré-enchimento do reservatório de Itá. A própria empresa divulgou através de palestra e uma publicação curta sobre a empresa que há uma elevação progressiva do lençol freático do Aquífero Serra Geral em andamento desde então.

Pesquisas geoquímicas realizadas em águas subterrâneas naturais e termominerais de 47 poços tubulares profundos e rasos, baseadas nos resultados analíticos de duas campanhas de amostragens distintas (1999-2000) e (2000) têm

caracterizado uma zona anômala de água subterrânea contaminada por fósforo e mais incipiente por nitrato.

A contaminação por fósforo nas águas subterrâneas da área de influência dos reservatórios de Itá e Machadinho é mais evidente que a de nitratos, e é em parte atribuída a menor mobilidade do fósforo comparativamente com o nitrato. É claro que outros parâmetros de conotação geoquímica devam também ser analisados.

Resultados de análises químicas de amostras de águas subterrâneas realizados em dois laboratórios distintos apontaram igualmente valores anômalos para ortofosfatos, nitratos com teores similares. O que confirma a avaliação da área de pesquisa.

Poderá já haver sido desencadeado o efeito da cumulatividade e persistência deste ânion (nitrato) nos solos e nas águas subterrâneas nas áreas onde é intensificada a atividade da suinocultura, a exemplo, do que já ocorreu em zonas rurais tipificadas pela suinocultura em países como a Bélgica e Alemanha.

Recomenda-se uma reamostragem geoquímica dando-se ênfase às formas de fósforo e nitrogênio e de outros constituintes iônicos, representativos das águas residuárias para se avaliar as condições reais de contaminação do meio na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho.

Programas de amostragem geoquímica de qualidade da água junto com monitoramento de parâmetros hidrodinâmicos (NE, ND, vazões, etc.) dos poços tubulares notadamente em terrenos de topografia baixa, localizados junto às áreas de influência direta e indireta de empreendimentos hidrelétricos, no intuito de se prognosticar alagamentos decorrentes da elevação do nível freático, com o enchimento dos reservatórios de usinas hidrelétricas de porte.

Os EIA's e respectivos RIMA's ou Avaliação Ambiental Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai para usinas hidrelétricas devem considerar este tipo de impacto hidrogeológico nos seus estudos, monitoramentos e programas ambientais.

Os órgãos ambientais estaduais e federais também estar cientes dos impactos hidrogeológicos em suas análises dos estudos ambientais efetivados para usinas hidrelétricas na bacia hidrográfica do rio Uruguai.

Áreas topograficamente baixas e deprimidas poderão vir a se tornarem alagadiças, pantanosas com a elevação progressiva do Nível das Águas-NA. Um zoneamento dessas áreas localizadas no entorno da área de inundação dos empreendimentos hidrelétricos deveria ser conduzido preliminarmente ainda na fase de EIA/RIMA do aproveitamento, destinando-se desde então usos de solo como: cultivos de arroz, piscicultura, etc.

O cenário tendencial para a área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho e outras micro-regiões da região oeste e extremo-oeste catarinense, que têm a sua economia baseada no sistema de integração das agroindústrias (indústrias de processamento, confinamento de suínos, terras adubadas com fertilizantes orgânicos de dejetos de suínos, etc.), gerando grandes quantidades de dejetos de suínos é um tanto preocupante, indicando a necessidade de que sejam tomadas medidas preventivas e mitigadoras.

A prevalecer esta contaminação, seus efeitos poderão ser estendidos para o Sistema Guarani através das conexões hidráulicas e tectônicas que os unem. Salienta-se que a baixa vulnerabilidade (modelagem) do SAG não leva em conta os aspectos tectônicos!

Este cenário tendencial para essas regiões do sul do Brasil é o mesmo que fora projetado para países europeus (Bélgica, Alemanha, Holanda) conhecidos pela pujança da agroindústria, observando-se que há uma geração de dejetos de suínos e de adubos orgânicos bem maior ali que a desses países.

Um outro cenário tendencial é a possibilidade da existência de um reservatório de fosfato precipitado ou adsorvido já formado ou em vias de formação em subsuperfície, na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho, e em outras micro-regiões já especificadas do estado, a partir de fontes antrópicas como as que foram amplamente apresentadas nesta pesquisa.

Nolan (1995) afirma que a dissolução ou a desorção (oposto à sorção) de um reservatório de fósforo já em curso poderia sustentar elevadas concentrações de fosfatos nas descargas de águas subterrâneas por muitos anos, mesmo após o completo cessar dessas cargas. Ainda segundo o autor, em águas subterrâneas com cargas de fósforo derivadas antropicamente, e que são transferidas para o lago (*Mosses Lake*), não devem ser fontes controladas por um gerenciamento de curto período.

As fontes antrópicas que deram origem à contaminação por fósforo de *Mosses Lake* e *Ashumet Pond, Cape Cod*, nos estados de *Washington* e *Massachusetts*, dos Estados Unidos foram provenientes de cargas de fósforo de áreas rurais adubadas com fertilizantes químicos, e em parte, de águas residuárias domésticas, de esgotos municipais, os quais, inicialmente, contaminaram o aquífero no primeiro caso. Na outra situação, houve a infiltração de águas residuárias através de uma seqüência litológica constituída de areias, provenientes de uma estação de tratamento de esgotos, que percolaram até o aquífero local e dali para a lagoa *Ashumet Pond*, em *Cape Cod*.

As duas situações da contaminação por fósforo são muito semelhantes àquela encontrada para a área pesquisada, principalmente porque numa delas (*Mosses Lake*), este nutriente era originário de fertilizantes químicos, que possuem composição química-mineral balanceada quanto aos constituintes, o oposto do adubo orgânico de dejetos de suínos, que apresenta desequilíbrio iônico, e por isso também é mais enriquecido de fósforo. A contaminação de águas servidas por fosfato, oriundas do confinamento de suínos, para as águas subterrâneas mantém semelhanças com a situação de *Ashumet Pond*.

Os níveis de nitratos detectados nas águas subterrâneas da área de pesquisa são ainda baixos, apesar da implicação do contaminante ali encontrado de modo extensivo regionalmente, por isso a sua importância no contexto geoquímico. Mas de qualquer maneira é indicativo de uma contaminação incipiente por nitrato na região estudada que poderá vir a ser expandida, conforme mais levantamentos hidrogeoquímicos sejam realizados por ali.

Os cenários de sucessão para uma contaminação descontrolada por nitratos, com exemplos internacionais exaustivamente citados no decorrer desta monografia, claramente acenam para esta possibilidade, também vir a se suceder na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho. Outras micro-regiões catarinenses e gaúchas desenvolvidas às expensas da agroindústria estariam em situação idêntica. Esta situação ambiental requer rígido controle através de ações conjuntas demandadas pelas autoridades competentes cujos atores são, dentre outros: governos estaduais e federal, órgãos ambientais estaduais e federais, universidades públicas e regionais, e organizações não governamentais. Os comitês de bacias hidrográficas terão participação fundamental na busca de soluções para o problema em tela.

Águas subterrâneas contaminadas por nitratos que se destinem ao abastecimento público com concentrações acima de 10 mg//L encontram-se fora dos padrões de potabilidade exigidos, e podem acarretar vários problemas de saúde para quem vier a fazer uso, conforme já foi amplamente detalhado no item sobre nitrato. As águas dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Itá e Machadinho que, porventura, estivessem com padrões elegíveis para águas de abastecimento anormais, poderiam vir a contaminar as águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral nas áreas com maior vulnerabilidade à contaminação, já referenciadas nesta pesquisa. Por exemplo, a localidade denominada, a Ilha do Rio Uruguai, município de Alto Bela Vista-SC, atualmente submersa, encontra-se alinhada por profundos falhamentos de orientação E-W.

Um outro fator complicador da contaminação e mistura de águas do reservatório e das águas subterrâneas é a elevação progressiva do lençol freático, iniciada com o enchimento dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho

Uma relação preliminar entre a produtividade aquífera dos poços e os lineamentos (caracterizados em estereograma de juntas) indicou que 81% do *trend* NE são os mais produtivos. Os poços produtivos associados com interseções de fraturas corresponderam a 33% do total. O comprimento dos lineamentos pode chegar a mais de 30,6 km, tornando essas feições tectônicas atrativas para a prospecção das águas subterrâneas.

Os índices finais de vulnerabilidade encontrados para o Aquífero Serra Geral com a aplicação da metodologia **GOD** ficaram situados entre 0,30 e 0,40, que têm significado de uma vulnerabilidade de baixa a média. Contudo, por se tratar de um aquífero fissural, nas zonas em que apresentar uma maior densidade de juntas/área quadrada, somam-se aí as características intrínsecas dessas feições tectônicas e dos parâmetros hidrogeológicos que lhe são pertinentes, esses índices iniciais poderão ser aumentados para vulnerabilidade alta ou até mesmo extrema. Esse estudo também demonstrou que o aquífero fissural é susceptível às recargas de água e aos contaminantes químicos provenientes da superfície.

Os fatores positivos encontrados que reduzem a vulnerabilidade do aquífero fissural à contaminação são a relativamente espessa camada insaturada, com média de 16,55 m na área pesquisada e a sua condutividade hidráulica, equivalente à das argilas, considerada muito baixa.

Por outro lado, por mostrar características de meio anisotrópico, este aquífero pode apresentar uma transmissibilidade considerada boa, como já foi verificada previamente, e, assim, aumentar os índices de vulnerabilidade à contaminação, seja por bombeamentos do poço, seja por facilidades de fluxos migratórios subterrâneos, etc.

O valor de permeabilidade encontrado para o solo residual de cobertura dos basaltos é considerado elevado pela equivalência com a de um cascalho bem selecionado. Esses solos apresentaram em média uma espessura de 3,50 m na área de influência dos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho. Este fator aumenta os índices de vulnerabilidade à contaminação, inicialmente encontrados para o aquífero fissural.

O índice final de vulnerabilidade de 0,042 obtido para o Sistema Aquífero Guarani com o emprego da metodologia **GOD** é considerado desprezível. Apesar disso, a preservação da qualidade ambiental das águas do Aquífero Serra Geral que lhe sobrepõe deve ser considerada fundamental, visto que interconexões hidráulicas entre os dois sistemas aquíferos coexistem, como ficou comprovado no decorrer desta pesquisa.

As descargas de águas subterrâneas com cargas de fósforo podem se dar diretamente nos reservatórios das UHE's Itá e Machadinho provocando explosões de florescências de algas nas águas superficiais (eutrofização) dos lagos, podendo eventualmente vir a se tornar um problema incontrolável, pelas razões acima expostas.

Os órgãos ambientais estaduais dos estados do sul do Brasil como a FATMA, FEPAM e o IAP (Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná) deveriam dar início, imediatamente, a programas ambientais visando o zoneamento ambiental e o monitoramento dos solos, das águas superficiais e subterrâneas dessas áreas já contaminadas por nutrientes, ou em vias de se tornar a ser.

Em se tratando de uma contaminação por nutrientes que se estende por toda a região sul, o Paraná, inclusive, apresenta problemas semelhantes, pois há sistemas de integração de agroindústrias como a Sadia também por lá, o próprio IBAMA deveria participar e conduzir esses levantamentos ambientais em conjunto com os órgãos ambientais de cada estado envolvido.

Para Straskraba e Tundisi (2000), *o gerenciamento dos recursos hídricos é um componente indispensável de um gerenciamento regional inteligente: um elemento que integra o gerenciamento dos recursos hídricos é àquele que visa a qualidade da água dos reservatórios.*

Parcerias de pesquisa de hidrogeologia e de monitoramento ambiental sobre os Sistemas Aqüíferos Serra Geral e Guarani deveriam ser feitas entre a Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC e a Tractbel *Electricity & Gás International* e/ou o Consórcio Maesa, nas áreas de influência das UHE's Itá e Machadinho, viabilizando o conhecimento técnico-científico, reportando todos eventos e fases relacionados aos impactos de caráter hidrogeológico, para que haja a publicação efetiva desses resultados.

14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS Informa – Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – Março/2002 - N° 124. São Paulo.

ABAS Informa – Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – Março/2002 - N° 138. São Paulo.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - **Projeto de Poço para Captação de Água Subterrânea - NB 588.** Rio de Janeiro - RJ - 1990.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - **Construção e Captação de Água Subterrânea - NB 1290.** Rio de Janeiro - RJ - 1990.

Absy, M. L.; Assunção, F. N.; Faria, S. C. **Avaliação de Impacto Ambiental: Agentes Sociais, Procedimentos e Ferramentas.** Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995. 124p.

Agência Nacional de Águas - ANA. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil.** Brasília; ANA, 2002.

Anuário Mineral Brasileiro – 2001. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Brasília. Ano XXX. 2001

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Mais Energia Elétrica - PCH's.** www.aneel.gov.br. 2002.

Aguabrás Poços Artesianos Ltda. **Relatório Técnico de Poços Tubulares Profundos.** Rua Maria Celina, 78 - Vila Gumercindo. São Paulo. Capital.

Ávila, Edson Luis - **Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica da Formação Rio Bonito na Região de Siderópolis e Adjacências, Vol. 1 e Vol. 2.** Dissertação de Mestrado. UFSC. Florianópolis, janeiro, 1992.

Baggio, S. B. - **Água Subterrânea em Joinville - SC Avaliação hidrogeológica do aquífero fraturado.** Dissertação de Mestrado. USP - Instituto de Geociências. São Paulo. 1997.

Bates, Robert L.; Jackson, Juli A. **Dictionary of Geological Terms.** Third Edition. Prepared by the American Geological Institute. 1984.

Borges, S. F. **Características Hidroquímicas do Aquífero Freático do Balneário Campeche, Ilha de Santa Catarina - SC.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geografia, UFSC. Florianópolis, 1996.

Botoluzzi, C. A, Awdziej, J.; Zardo, S. M.; Silva, L. C. **Geologia da Bacia do**

Paraná em Santa Catarina. In: Texto explicativo pra o Mapa Geológico de Santa Catarina. 11º Distrito DNPM; Coordenadoria de Recursos Minerais da Secretaria de Ciências e Tecnologia, Minas e Energia. Florianópolis, 1987.

Branco, S. Murgel; Rocha, Aristides **Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas**, São Paulo 1977. Ed. Edgar Blücher e Cetesb. 185p.

Branco, S. Murgel. **Energia e Meio Ambiente**. Ed. Moderna Ltda. São Paulo, 1990.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME / DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Mapa Hidrogeológico do Brasil**. Escala: 1 : 5.000.000. Brasília. 1983.

Caruso, F. G. Jr. Extração de Areia no rio Itapocu - Estudo de Impacto Ambiental - EIA.

Caruso, F. G. Jr. **Geologia do Cenozóico de Santa Catarina**. In: DNPM/CRM - Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina. nº 1. Texto Explicativo e Mapa. Florianópolis, 1987.

Carvalho E. T. **Geologia Urbana para Todos: Uma Visão de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 1999. 176 p.

Carvalho N. O. [et al.] **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. 132p.

Carvalho N. O. [et al.] **Guia de Práticas Sedimentométricas**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. 154p.

Castro, Joel Carneiro; Bortolozzi, Carlos A.. **Textos Básicos de Geologia Recursos Minerais de Santa Catarina**. nº 4. Texto explicativo. Florianópolis, 1994.

Cederstrom, D. J. **Água Subterrânea – Uma Introdução**. Centro de Publicações Técnicas da Aliança para o Progresso. Missão Norte-Americana de Cooperação Econômica e Técnica no Brasil – USAID. Rio de Janeiro . 1964.

Center for Educational Technologies and the Cotf. Whealing Jesuit University Teaches pages. Exploring the Environment Modules & Activities. **Water Quality Assessment: Chemical: Nitrates, Nitrites, and Ammonia**. 2002.www.cotf.edu/ete/modules/waterq3/Wqassess3e.html.

Center for Educational Technologies and the Cotf. Whealing Jesuit University Teaches pages. Exploring the Environment Modules & Activities. **Water Quality Assessment: Chemical: Ortho and Total Phosphate**. 2002.www.cotf.edu/ete/modules/waterq3/Wqassess3e.html.

Centrais Elétricas do Sul do Brasil -ELETROSUL. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA Usina Hidrelétrica Machadinho**. Outubro, 1987.

Centrais Elétricas do Sul do Brasil -ELETROSUL. Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S. A. - CNEC. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA Usina Hidrelétrica Itá**. Março, 1990.

Chiang, Liu Chan. **Análise Estrutural de Lineamentos em Imagens de Sensoriamento Remoto: Aplicação ao Estado do Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado. USP - Instituto de Geociências. São Paulo, 1984.

Coitinho, João Batista Lins - **Águas Minerais de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. UFSC - Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2000.

Custodio, E. e LLamas, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. 2ª edição. 2v. il. Ed. Omega, Barcelomna, 1983.

C. W. Fetter, Jr., **Applied Hydrogeology**, University fo Wisconsin - Oshkosh, New Jersey, 1994.

Centrais Elétricas Brasileiras s. A. - Eletrobrás. **Processos de Interação do Setor Elétrico Brasileiro com a Sociedade**. COMASE Comitê Coordenador das Atividades de Meio Ambiente do Setor Elétrico. Rio de Janeiro, Novembro de 1994.

Centrais Elétricas do Sul do Brasil S. A. - Eletrosul, Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S. A. - CNEC, **Usina Elétrica Itá** - Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, março, 1990.

Centrais Elétricas do Sul do Brasil S. A. - Eletrosul. **Programas**. www.eletrabras.gov.br.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Cetesb, Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. **Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1997.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Cetesb, Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo - 1997. Série Relatórios. São Paulo, 1997.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Cetesb. **CETESB** Fascículo. Curso de Hidrogeologia. Poços Tubulares. São Paulo. 1977.

Contep S. A., Empresa Técnica de Perfurações. Relatório Técnico: **"Reavaliação da Vazão de Exploração do Poço Tubular Profundo da Cia Hidrotermal de Piratuba - SC**. Piratuba, 1995.

Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro – 2001**. DNPM. Brasília. 2001.

Duarte, W. C.; & Menegasse, Leila N.; Franco, R. D. **Contaminação da Água Subterrânea relacionada com os Cemitérios da Paz e da Saudade no Município de Belo Horizonte, Minas Gerais**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Setembro/2002. Florianópolis-SC.

DVWK. Manuais para Gerenciamento de Recursos Hídricos 222/1993. **Relevância de Parâmetros de Qualidade das Águas Aplicados às Águas Correntes**. Parte I. Gluckstrasse 2, 53115 Bonn – Alemanha.

DVWK. Manuais para Gerenciamento de Recursos Hídricos 222/1995. **Relevância de Parâmetros de Qualidade das Águas Aplicados às Águas Correntes**. Parte II. Gluckstrasse 2, 53115 Bonn – Alemanha.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **A Questão Ambiental na Utilização de Dejetos de Suínos como Fertilizante do Solo**. Milton Antônio Seganfredo. Concórdia. 2000.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINAS. A. – EPAGRI. **Programas ambientais de fomento às atividades agropecuárias, conservação do solo e saneamento rural, no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itá – UHE Itá. Acompanhamento da qualidade da água. Boletim Informativo**. Convênio Epagri e Gerasul. Chapecó. Março/1999.

Ernani Francisco da Rosa. Bittencourt, André, V.L; Hindi, Eduardo, C. Buchmann Filho, A. C. Nadal, C. A.; Ferreira, J. , Fonseca. **Aspectos da Química da Água Subterrânea da Formação Serra Geral no âmbito da Bacia Hidrográfica do Rio Piquiri – PR**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis-SC. 2003

Ernani Francisco da Rosa. Bittencourt, André, V.L; Hindi, Eduardo, C.; Buchmann Filho, A. C. A Influência dos Basaltos e de Misturas com Águas de Aqüíferos Sotopostos nas Águas Subterrâneas do Sistema Aqüífero Serra Geral na Bacia do Rio Piquiri, Paraná – PR. ABAS. Águas Subterrâneas. N° 17 – Maio/2003. Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.

Emater - RS, Embrapa. **Manejo de Dejetos de Suínos**. Boletim Informativo, Pesquisa e Extensão Bipers, março, 1998.

ENGENHARIA SÓCIO-AMBIENTAL S/C LTDA. – ECSA - Consultoria – Gerenciamento – Execução. **Relatório Interno**. Florianópolis. 1999.

Engevix - **UHE Foz de Chapecó** - Estudo de Impacto Ambiental - EIA-Florianópolis, 2000.

Engevix, PCH Santa Laura - Estudo de Impacto Ambiental - EIA Florianópolis, 16 Julho 2001.

Esteves, F. de Assis, 1950 - **Fundamentos de Limnologia**/Francisco de Assis Esteves. 2. ed. – Rio de Janeiro: Interciências, 1998.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – helping to build a world without hunger. www.fao.org. **Chapter 1: Introduction to Agricultural Water Pollution**. Paper FAO. 2003.

Farret F. A., **Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999.

Feitosa, F. A. C.; Filho, J. M. **HIDROGEOLOGIA Conceitos e Aplicações**. 2ª Ed. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza, 2000.

Fenzl, Norbert; Ramos, J. F. **Introdução à Geoquímica**. UFPA. Gráfica e Editora Universitária. Belém, 1988.

C. W. Fetter, Jr. **Applied Hydrogeology**. 3rd ed. Columbus. Charles E. Merrill Publishing Company. 1982.488 p.

Foster, Stephen; Hirata, R.; Ventura, Miguel. **Poluição das Águas Subterrâneas: Um documento executivo da situação da América Latina e Caribe com relação ao abastecimento de água potável**. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 1993.

Foster, Stephen; Hirata, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas. UM MÉTODO BASEADO EM DADOS EXISTENTES**. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Instituto Geológico Boletim N° 10. 1993.

Fraga, Carlos Gilberto. **Introdução ao Zoneamento do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. Dissertação de Mestrado. USP - Instituto de Geociências. São Paulo, 1986.

Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina - Fatma. **Relevância de Parâmetros de Qualidade das Águas Aplicados à Águas Correntes. Parte I** - Projeto Gerenciamento de Recursos Hídricos em Santa Catarina - Fatma/GTZ. Florianópolis, 1999.

Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina - Fatma. **Relevância de Parâmetros de Qualidade das Águas Aplicados à Águas Correntes. Parte II** - Projeto Gerenciamento de Recursos Hídricos em Santa Catarina - Fatma/GTZ. Florianópolis, 1999.

Galvão, Construtora Queiroz. **Estudo de Divisão de Queda do Rio Chapecó. Adendo.** Relatório Interno. Julho/1976.

Gaplan - Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral - **Atlas de Santa Catarina.** Rio de Janeiro - RJ. 1986.

Gonzáles, N.; Hernández, M. A. **El Conocimiento Del Acuífero Botucatu. Un Objetivo Para El Mercosur En El Manejo Sustentable Del Agua Subterránea Para Usos Múltiples.** Texto.

Guerra, A. J. T, Cunha, S. B.;. **Geomorfologia do Brasil.** Rio de Janeiro, 1998, 388p.

Guidicini G.; Nieble C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.** Ed. da Universidade de São Paulo, 1976.

Guiguer, Nilson & Wolfgang, Michael Kohnke. **Métodos para Determinação da Vulnerabilidade de Aquíferos.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterráneas. Florianópolis-SC. 2002.

GTZ – Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. **Relevância de Parâmetros de Qualidade de Águas Aplicados a Águas Corrente.** Curitiba-Pr.1995.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. **GEO Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil/Organizado por Thereza Christina Carvalho Santos e João Batista Drummond Câmara.** – Brasília: Edições IBAMA, 2002.

Horbach, R.; Marimon, R. G.; Kuck, H L.; Fuck, G.; Vivian, O.; Marinho, D. de A.; Pires, J. de L.; Marimon, M. P. G. e Moreira, M. L. O. Geologia. In: **Projeto RADAMBRASIL, Folhas Porto Alegre - SAH.22, Lagoa Mirim-SH.23 e Uruguaina - SH.21.** Salvador, 1983.

Impagross, Poços Artesianos, Bernardes & Bernardes Ltda. **Relatório Técnico de Poços Tubulares Profundos.** Rua Tancredo de Almeida Neves, 6655. Concórdia-SC.

Instituto de Estudios Extreños. **Características Geológicas, Hidrogeológicas e Hidroquímicas de Los Alrededores de Villanueva de La Serena Y Don Benito (BADAJOZ).** Departamento de Geologia Economica. Madrid, 1973.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Relatório Técnico N° 44371. Implantação da Rede Sismológica para o monitoramento na área dos Reservatórios de Itá e Machadinho, SC/RS.** São Paulo. 2000.

Fornasari, N. F. **Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. Publicação IPT. São Paulo, 1992.

Karanjac, J.; Braticevic, D. **Ground Water for Windows - GWW**. Manual para utilização do Software GWW. December, 1994.

Lafuente, J. Catalán. **Química Del Agua. Diccionario Tecnico del Agua**. Madrid, 1981.

Lancia, C. A.; Caetano, L. C.; Araguão, J. M. **Água Mineral do Brasil - Resumo Histórico da Indústria Engarrafadora**. ABINA/DNPM, 1995.

Leinz, V. **Contribuição à Geologia dos Derrames Basálticos do Sul do Brasil**. Tese para o concurso à cátedra de Geologia e Paleontologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Bol. Fac. Fil. Ciên. Letr.: Geologia. 103 (5): 1-61. São Paulo, 1949.

Leão Poços Artesianos Ltda. **Relatório Técnico de Poços Tubulares Profundos**. Rua Vitério Cella, 366-E. Chapecó-SC.

MAESA, Machadinho Energética S. A. UHE Machadinho. **Programas Ambientais - Aquíferos Frio e Termal**. Outubro, 2000.

Maciel F. C. L. **Introdução à Geologia de Engenharia**. 2ª Ed. Editora da UFSM. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1977.

Magalhães et al. (2000). IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Relatório Técnico Nº 44371. Implantação da Rede Sismológica para o monitoramento na área dos Reservatórios de Itá e Machadinho, SC/RS**. São Paulo. 2000.

Mccobb, Timothy D.; Leblanc, Denis R.; Walter, Donald A.; Hess, Kathryn M.; Kent, Douglas B.; Smith, Richard L. U.S. Department of the Interior. U. S. Geological Survey. **Phosphorus in a Ground – Water Contaminant Plume Discharging to Ashmet Pond, Cape Cod, Massachusetts, 1999**. Water – Resources Investigations Report 02-4306.

Mente et al. **Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**. 2ª Edição. CPRM. Fortaleza. 2000

Müller, Arnaldo Carlos. **Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995.

Ministério das Minas e Energia. **Fontes Alternativas de Energia**. Secretaria Geral. Secretaria de Tecnologia. Brasília, dezembro de 1984.

Ministério das Minas e Energia. **Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas**. Eletrobrás. 1991.

Moore, James W. **Inorganic Contaminants of Surface Water: Research and Monitoring Priorities**. Springer-Verlag New York Inc. 1991. Virginia. EUA.

Murck, Barbara; Skinner, B. J.; Porter, S. C.; **Environmental Geology**. John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1996.

Neto, R. **Levantamento de Dados Básicos Geológicos, Estratigráficos, Hidrogeológicos e Construtivo do Poço MR-SI-RS no Município de Marcelino Ramos**. Relatório a P.M.M. R. , Rio Grande do Sul, 1995.

Neves, Benjamim B. de B.; Silva, Adelbani B.; Albuquerque, J. do P. T.; Barros, C. A. F. **Geologia e Províncias Hidrogeológicas de Santa Catarina**. Relatório da Companhia Internacional de Engenharia - CIE para a CASAN. Revista Mineração Metalurgia.

Nolan, Bernard T.; Jeffrey D. Stoner. **Nutrients in Ground Waters of the Conterminous United States, 1992-1995**. Paper of the U.S. Geological Survey. USGS - Science for a Changing World. 2003. In: md.water.usgs.gov

O' Neill, P. (Peter). **Environmental Chemistry**. 2 nd ed. London:Chapman & Hall. 1985. 268 p.

O, Otto Alcides. **Química Analítica Quantitativa 1**. 2^a. Edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos 1976

Pacheco, A.; Matos, Bolívar. **Avaliação da Ocorrência e do Transporte de Microrganismos no Aquífero Freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Setembro/2002. Florianópolis-SC.

Pacheco, A.; Mendes, J. M. B.; Martins, T.; Hassuda, S.; Kimmelman, A.A. **Cemeteries – A Potential Risk to Groundwater**. Texto Científico. N^o 31.

Pacheco, A.; Matos, Bolívar. **Caracterização Hidrológica do Aquífero Freático no Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Setembro/2002. Florianópolis-SC.

Peixes, Z. I. **Utopias de Progresso. Ações e Dilemas na Localidade de Itá Frente a Uma Hidrelétrica**. Dissertação de Mestrado. Santa Catarina, UFSC, 1993.

PROSUL, Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda - **Estudo de Impacto Ambiental da Implantação da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos**

Industriais e Comerciais de Chapecó/SC, Cetric, Estudo de Impacto Ambiental - EIA., Florianópolis, 2001.

Rebouças, A. C. et. al. **Águas Doces no Brasil**. Editora Escrituras. São Paulo. 1999.

Roggeri, H. **Presas Africana Repercusiones Ambientales**. CEMA. Nairobi, Kenya, 1985.

Rosa, F. E.; Forlin, M., Xavier, J. M. **Informações Básicas sobre a Distribuição do Sistema Aquífero Guarany nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil**. Revista Ciência e Tecnologia. p.23.

Sanchez L. E., **Desengenharia; O Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE - SDM . **Projeto. Oeste de Santa Catarina - PROESC: Captação de Água Subterrânea no Oeste do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: SDM, 2002. 36 p.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE - SDM. **Bacias Hidrográficas de Santa Catarina: Diagnóstico Geral**. Florianópolis, 1997. 163 p.

Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Derze G. R.; Asmus, H. E. - **Geologia do Brasil**. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília. 1984.

Silva, Salomão Anselmo. Duncan, David, M. **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1979. Silva, Salomão Anselmo. Duncan, David, M. **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1979.

Soares J. B.; Maia A.C. F. **Água: Microbiologia e Tratamento**. Ed. Adjunta. Fortaleza, 1999.

Sperling, Eduardo Von. **Morfologia de Lagos e Represas**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais - DESA -UFMG. Belo Horizonte, 1999. 138 p.

Suguió, Kenitiro. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: (passado + presente = futuro?)**. São Paulo: Paulo 's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

Straskraba, M. e J. G. Tundisi. **Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos. Volume 9. Gerenciamento da Qualidade da água de represas.** Fundação do Comitê Internacional do Meio Ambiente Lacustre (ILEC). 2000.

Tauk-Tornisielo, Sâmia Maria. **Análise Ambiental: Uma visão multidisciplinar/** organizadores Sâmia Maria Tauk-Tornisielo, NivarGobbi, Harold Gordon Fowler. -2.ed. rev.

Villela, Swami Marcondes. Arthur Mattos. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

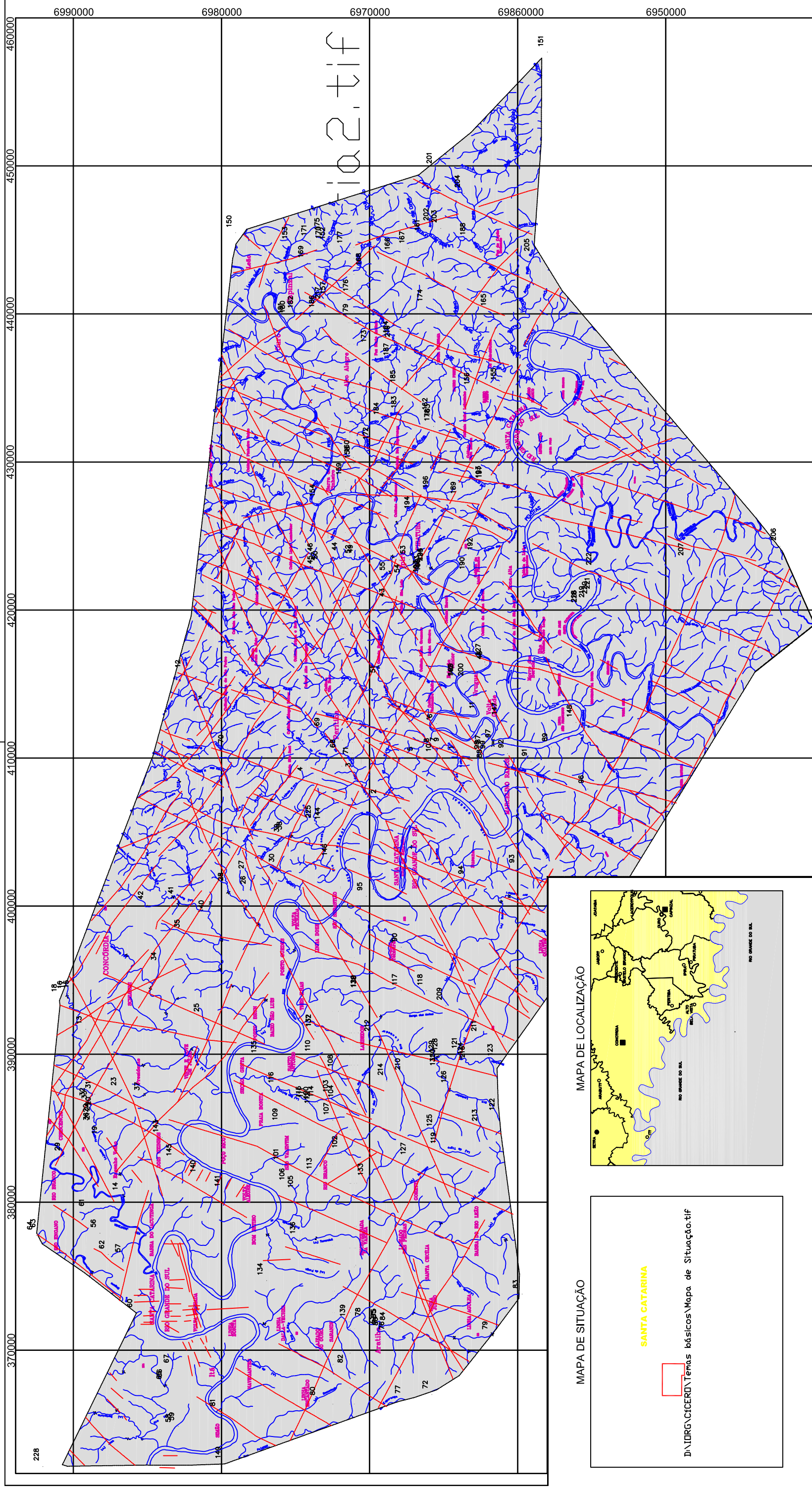
UNITED NATIONS. GWW. **Groundwater Software for Windows - User's Manual.** United Nations Department for Development Support and Managements Services. Natural Resources and Environmental Planning and Management Branch. New York, 1994.

USGS Science for a Changing World. Toxic Substances Hydrology Program. Headlines. **Phosphorus Doesn't Migrate in Ground Water? Better Think Again!** 2003. toxics.usgs.gov/highlights/phosphorus_migration.html.

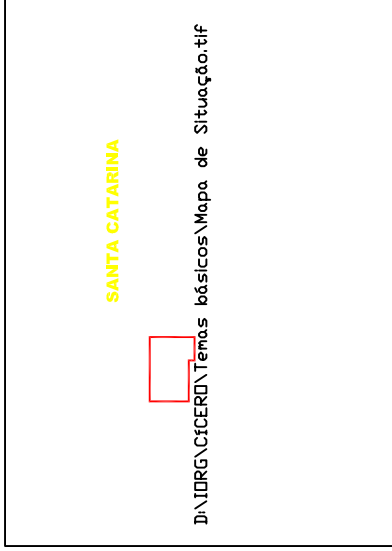
World Bank, Environmental Assessment Sourcebook, Volume III, Guidelines for Environmental Assessment of Energy and Industry Projects - Environmental Department, World Bank technical paper, Washington, D. C., 1991.

Von Sperling, M. **Introdução à Qualidade das Águas e Ao Tratamento de Esgotos.** 2 ed. Ver. Belo Horizonte. UFMG, 1996. 243 p.

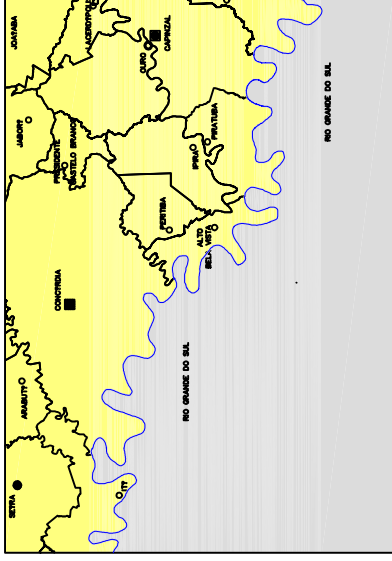
Zalán, et al. **Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná.** Atas do III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia. Curitiba. 1987. Petrobrás.



MAPA DE SITUAÇÃO



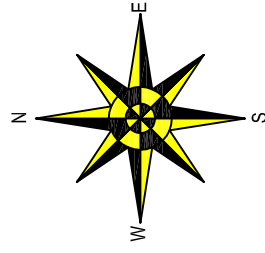
MAPA DE LOCALIZAÇÃO



INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator
 South America Datum 1969
 Sistema Geográfico Brasileiro - Fuso 22
 Origem da quilometragem UTM
 Equador Latitude 00°00'00"
 e Meridiano central 51° W GR
 Acrescidas as constantes
 10.000km e 500km respectivamente

Escala
 1:175.000



CONVENÇÕES

- Poço Tubular Profundo Frio
- Poço Tubular Profundo Termomineral

LEGENDA

- Divisas Oficiais Municipais
- Área de Interesse
- Estradas Principais
- Estradas secundárias
- Hidrografia
- Referência de Nível

HIDROGEOQUÍMICA E VULNERABILIDADE
 DOS AQUIFEROS SERRA GERAL
 E GUARANI NA ÁREA DE INFLUÊNCIA
 DOS RESERVATÓRIOS DE ITÁ E MACHADINHO,
 SC - RS
 Cicero A. S. Almeida
 ANEXO
 MAPA DE LINEAMENTOS E POÇOS TUBULARES
 FRIOS E TERMOMINERAIS

OUTUBRO DE 2003