

## FONDO DE UNIVERSIDADES

**“Caracterización de Áreas de recarga y descarga del SAG en  
Rivera - Livramento y Quaraí – Artigas.**

**Estudio de vulnerabilidad en el área de influencia de Artigas -  
Quaraí”**



### INFORME FINAL

Instituciones Participantes:

Univerdidad Federal de Santa Maria/Centro de Ciencias Naturais e exactasDepartamento de  
Quimica/LAQIA/Brasil

Universidad de la República – Facultad de Ingeniería – Instituto de Mecánica de los Fluidos e  
Ingeniería Ambiental – Uruguay



La ejecución del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní es posible gracias al acuerdo de cooperación alcanzado entre los gobiernos de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, el aporte financiero del Global Environment Facility (GEF) y otros donantes, y la cooperación técnica y financiera del Banco Mundial que es la agencia implementadora de los Fondos GEF y la Secretaría General de la Organización de Estados Americanos (SG/OEA) en su condición de agencia ejecutora regional.

El proyecto "Caracterización de áreas de recarga y descarga del SAG en Rivera-Livramento y Quaraí - Artigas. Estudio de Vulnerabilidad en el área de influencia de Artigas - Quaraí" fue realizado en el marco del Proyecto Acuífero Guaraní y con el apoyo económico previsto en la donación proveniente del Programa "Bank Netherlands Partnership Program Environmental Window" (BNPPW), destinado a apoyar a las Universidades de la región en proyectos de investigación y capacitación académica, vinculados a temas de protección de los recursos hídricos, las aguas subterráneas y el Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní (PSAG).

Las Instituciones Participantes son:

**"Universidade Federal de Santa María - Departamento de Geociencias"**

**"Campus universitario Camobí - Predio 17 - Sala 1605, Cp: 97119-900, Santa María, Brasil"**

**"55 55 32208638, 55 55 32208247, Silverio@base.ufsm.br"**

**"www.ufsm.br"**

**"Grupo de Hidrología Subterránea, Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Universidad de la República"**

**"Julio Herrera y Reisig 565, CP: 11300, Montevideo, Uruguay"**

**"598 2 7115276 int 113, 598 2 7115278, cbessouat@fing.edu.uy-marting@fing.edu.uy"**

**"www.fing.edu.uy/imfia"**

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresadas en este documento son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la OEA, otras instituciones cooperantes, ni de los países en él presentados.

**"Montevideo, junio, 2006"**



## **“Caracterización de Áreas de recarga y descarga del SAG en Rivera - Livramento y Quaraí – Artigas.**

### **Estudio de vulnerabilidad en el área de influencia de Artigas - Quaraí”**

#### **Resumen Ejecutivo**

O projeto “Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera-Livramento (R-L) e Quaraí-Artigas (Q-A). Estudo da vulnerabilidade na área de influência de Quaraí-Artigas” foi financiado pela OEA/GEF, Nº10, Fundo das Universidades. Esta pesquisa foi desenvolvida na fronteira sudoeste do Brasil com o noroeste do Uruguai. Foi executado em parceria entre a Universidade Federal de Santa Maria/Departamento de Geociências (Rio Grande do Sul/Brasil) e a co-executora Faculdade de Engenharia da Universidade da República do Uruguai/ Instituto de Mecânica dos Fluidos. Executou-se um cadastro de poços tubulares/escavados e nascentes na cidade de Quaraí 76, em Artigas 95, em Livramento 05 e em Rivera 18. Inicialmente executou-se a digitalização de cartas topográficas da Diretoria de Serviços Geográficos (DSG) na escala de 1:25.000, com curvas de nível de 10m, Datum Horizontal SAD 69 e Vertical, o Porto de Imbituba (Santa Catarina/BR), em Coordenadas UTM, meridiano 57º W Greenwich. Confeccionou-se o mapa base, o geológico e o clinográfico utilizando-se o Programa SPRING 4.2/INPE/BRASIL. As áreas mapeadas em (R-L) compreendem 210,13 km<sup>2</sup> e em (Q-A) com 244,80 km<sup>2</sup>. Foram executadas duas campanhas de coletas de águas em vinte e dois poços, nos períodos de verão (março/2005) e de inverno (julho/2005): 03 Livramento, 02 Rivera, 08 Quaraí e 09 Artigas. Realizaram-se análises de parâmetros de campo: pH, C.E., O.D., temperatura da água e do ar e, alcalinidade total. No Laboratório de Química Industrial e Ambiental/UFSM determinou-se a concentração de cátions e ânions maiores, metais em traços e Elementos Terras Raras/ETRs. Também foram realizados análises de isótopos ambientais ( $\delta^{2}H$ ,  $\delta^{18}O$ ) e trítio ( $\delta^3H$ ).

Complementarmente realizou-se uma análise de água de superfície do Rio Quaraí e foram realizadas coletas de águas de chuvas em pluviômetro instalado em Rivera.

A faixa de variação da profundidade dos poços foi entre zero (nascente) até 400m, no poço 410 da Obras Sanitárias del Estado/OSE em Artigas. Os poços pertencem às companhias de distribuição OSE, a Companhia Riograndense de Saneamento/CORSAN/QUARAI, ao Departamento de Águas e Esgotos DAE/Livramento, a indústrias, a consumidores domésticos e a clubes. A faixa de variação do pH foi de 5,16 a 7,52, dos STD entre 40 a 714 mg/L e da alcalinidade total 9,26 a 267,27 mg/L. As águas foram consideradas doces (conteúdo em STD < 1000 mg/L Portaria Nº357/2005), com baixas concentrações de flúor inferior ao Valor Máximo Permissível (VMP de 0,6 a 0,9 (mg/L) Portaria 10/99) no estado do Rio Grande do Sul e Portaria Nº 518/2004 1,5 (mg/L) de flúor. Sua composição é principalmente bicarbonatadas cálcicas e magnesianas, como já havia sido avaliado por Pérez et al. (2000) para a cidade de Artigas e também bicarbonatadas cálcicas e magnesianas Pérez et al. (2002) para Rivera. No estudo dos pontos potenciais de contaminação avaliou-se a existência de 01 Lixão em Rivera e 01 em Quaraí, 02 em Artigas. Em Livramento o lixão está desativado. Cadastrou-se 23 postos de combustíveis em Livramento, 03 Rivera, 08 em Quaraí e 03 em Artigas. Com relação aos cemitérios existem 03 Livramento e 03 Rivera em áreas de afloramentos do SAG, enquanto nas cidades de Quaraí 01 e em Artigas 01, ambos

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



localizados sobre os derrames vulcânicos da Fm. Serra Geral. Observou-se que houve variações nas concentrações de diversos parâmetros entre as coletas de verão e de inverno, inclusive com variação da temperatura das águas, de 17,3 a 26,2 °C. Foram realizados 04 ensaios de salinização em poços tubulares para avaliar a existência de fluxos.

Executaram-se ensaios de Geofísica sendo 10 Sondagens Elétricas Verticais/SEVs, em Quarai/Artigas, além 09 Áudio Magnetotelúricos/AMTs: 04 em Quarai e 05 em Artigas, cruzados a perfis geológicos de poços, georreferenciados em SIG. Avaliou-se a vulnerabilidade das águas subterrâneas em (A-Q), para tanto foi executado um mapa de solos e um clinográfico. Foram avaliados os níveis estáticos e/ou dinâmicos de 29 poços, incluindo fontes/nascentes com uso de medidores de cabo (apito e/ou multímetro) nos poços onde foi possível a introdução do cabo medidor. As referências de nível na boca do poço para a avaliação da piezometria foi executada com uso do GPS Diferencial em 46 poços em A-Q.

Gerando-se um do Modelo Numérico Digital do Terreno/MNT em SIG. Geologicamente nas áreas de (R/L) há um predomínio de rochas sedimentares arenosas aflorante, do SAG (Formações Rosário do Sul 14,43 km<sup>2</sup> e Botucatu/Rivera 135,71 km<sup>2</sup>), representando áreas de recarga. As rochas vulcânicas são de composição (basálticas a andesíticas) da Formação Serra Geral/Arapey apresentam cerca de 48,90 km<sup>2</sup>. Nas áreas em (A-Q) há um predomínio de rochas vulcânicas 230,84 km<sup>2</sup>, formando aquíferos confinados sobre os arenitos da Fm. Botucatu 5,01 km<sup>2</sup>, os quais afloram em janelas (ventanas) formando aquíferos livres. A Formação Rosário do Sul/Yaguari/Tacuarembó não aflora em A-Q. Os Sedimentos Cenozóicos ocupam em (L-R) 11,09 km<sup>2</sup> ocorrem principalmente em Rivera no leito do Arroyo Cuñapiru em Santana no Arroio Carolina. Ocupam uma área de 8,95 km<sup>2</sup> em (Q-A), no leito do Rio Quarai apresentam textura limosa à argilosa, com cascalhos e blocos. Os arenitos da Fm. Botucatu também ocorrem em profundidades variadas, superiores a 40m, como interderrames, identificados nos perfis geológicos e na Geofísica (SEVs e AMTs).

Os resultados das coletas para isótopos ambientais indicaram que todas as amostras analisadas corresponderam a águas recentes, não se encontrando água de fluxo regional, e em alguns casos evidenciando influência das urbanizações na qualidade da água subterrânea.

Este projeto proporcionou a formação de recursos humanos 02 dissertações de mestrado de acadêmicos brasileiros, um em Engenharia Civil e outro em Geografia, e 02 bolsas de iniciação científica (CNPq/PIBIC e outra UFSM/PROLICEM). E ainda uma a nível de Mestrado, ainda em execução, no Mestrado em Integração Latino Americano/MILA/UFSM. Do lado uruguaio existem duas dissertações de mestrado em execução na UDELAR. Agradecimentos aos agentes financiadores OEA/GEF/SG-GUARANI e colaboradores OSE/ CORSAN/ DAE/UdelaR/UFSM, perfuradores, COTRAGUA, Dirección Nacional de Hidrografía/UY, Secretaria de Recursos Hídricos/MMA/BR, EMATER/Quaraí, Intendencia Municipal de Artigas, Intendencia Municipal de Rivera, Prefeitura Municipal de Quarai, Prefeitura Municipal de Santana do Livramento. As ONGs RAIKATU e Institutopatulus, UNEP do Uruguai e UNEP do Rio Grande do Sul, ao Departamento de Recursos Hídricos/DRH/SEMA/RS, CPRM/RS, SOPS/Programa de Açudes e Poços/RS.



## Equipo de trabajo

|  | Trabajo de campo   | Trabajo de gabinete  |
|--|--|--|
| Catastro de perforaciones                | Ing. Civil H/A Claudia Bessouat<br>José Luiz Silverio da Silva<br>Msc. Isabel Camponogara<br>Msc. Luis Carlos Frantz<br>Ing. Civil H/A Martín Guimaraens<br>Ing. Civil H/A Pablo Gamazo<br>Ing. Civil H/A Leonardo Failache<br>Bach. Gabriel Bianchi | Ing. Civil H/A Claudia Bessouat<br>José Luiz Silverio da Silva                   |
| Digitalización de las cartas geográficas |  | MSc. Isabel Camponogara<br>Msc. Luis Carlos Frantz<br>Acadêmica Fabíula da Silva |
| Geología                                 | José Luiz Silverio da Silva<br>Msc. Isabel Camponogara<br>Msc. Luis Carlos Frantz  | José Luiz Silverio da Silva  |
| Prospección Geofísica en AQ              | Ing. Civil H/A Martín Guimaraens<br>Ing. Civil H/A Pablo Gamazo<br>Ing. Civil H/A Leonardo Failache<br>Bach. Gabriel Bianchi   | Ing. Civil H/A Martín Guimaraens   |
| Piezometría local en AQ                  | Ing. Civil H/A Pablo Gamazo<br>Ing. Civil H/A Leonardo Failache  | Ing. Civil H/A Pablo Gamazo<br>Ing. Civil H/A Martín Guimaraens                  |
| Ensayos con trazadores                   | Ing. Civil H/A Martín Guimaraens<br>Ing. Civil H/A Pablo Gamazo<br>Ing. Civil H/A Leonardo Failache<br>Ing. Civil H/A Claudia Bessouat<br>José Luiz Silverio da Silva<br>Msc. Isabel Camponogara   | Ing. Civil H/A Pablo Gamazo<br>Ing. Civil H/A Claudia Bessouat                   |
| Hidroquímica                             | Ing. Civil H/A Claudia Bessouat<br>José Luiz Silverio da Silva<br>Msc. Isabel Camponogara<br>Msc. Luis Carlos Frantz<br>Msc. Éder Marlon Flores  | José Luiz Silverio da Silva  |



|  | Trabajo de campo   | Trabajo de gabinete   |
|--|--|---|
|  | Dr. Valderi Luis Dressler<br>Dr. Érico Marlon Moraes Flores<br>Ing. Civil H/A Martín Guimaraens<br>Ing. Civil H/A Pablo Gamazo                               |   |
| Análisis Isotópico   | Ing. Civil H/A Claudia Bessouat<br>José Luiz Silverio da Silva<br>Msc. Isabel Camponogara<br>Ing. Civil H/A Martín Guimaraens<br>Ing. Civil H/A Pablo Gamazo | Ing. Civil H/A Claudia Bessouat   |
| Vulnerabilidad en AQ   | José Luiz Silverio da Silva<br>Isabel Msc. Camponogara   | José Luiz Silverio da Silva<br>Isabel Msc. Camponogara<br>Msc. Luis Carlos Frantz                                     |
| Actividades contaminantes y vías preferenciales de contaminación | José Luiz Silverio da Silva<br>Msc. Isabel Camponogara<br>Msc. Luis Carlos Frantz  | José Luiz Silverio da Silva<br>Msc. Isabel Camponogara<br>Msc. Luis Carlos Frantz<br>Ing. Civil H/A Leonardo Failache |
| Estudio de Riesgo  |  | José Luiz Silverio da Silva   |
| Usos del agua  |  | Ing. Civil H/A Leonardo Failache  |
| Determinación de la conductividad hidráulica                     |  | Ing. Civil H/A Leonardo Failache  |
| Relevamiento con GPS   | Ing. Agrim Jorge Faure<br>Ing. Civil H/A Pablo Gamazo  | Ing. Agrim Jorge Faure  |



|  |      |
|--|------|
| Resumen Ejecutivo .....                        | 1-3  |
| 1 Agradecimientos .....                        | 1-14 |
| 2 Introducción .....                           | 2-15 |
| 3 catastro de perforaciones .....              | 3-18 |
| 3.1 Artigas – Quaraí .....                     | 3-18 |
| 3.2 Rivera - Santana .....                     | 3-19 |
| 3.3 Geoposicionamiento de perforaciones .....  | 3-19 |
| 3.3.1 Instrumental utilizado.- .....           | 3-20 |
| 3.3.2 Software utilizado.- .....               | 3-20 |
| 3.3.3 Procedimiento .....                      | 3-20 |
| 3.3.4 Resultados en AQ.- .....                 | 3-21 |
| 3.3.5 Resultados en RL .....                   | 3-24 |
| 4 Digitalización de cartas geográficas .....   | 4-27 |
| 4.1 Sistema de coordenadas adoptado .....      | 4-27 |
| 4.2 Tareas realizadas .....                    | 4-27 |
| 4.3 Mapas obtenidos .....                      | 4-27 |
| 5 Geología .....                               | 5-30 |
| 5.1 Geología de superficie .....               | 5-30 |
| 5.2 Artigas – Quaraí .....                     | 5-32 |
| 5.3 Rivera – Livramento .....                  | 5-44 |
| 5.4 Conclusões parciais: .....                 | 5-46 |
| 6 Prospección geofísica en A-Q .....           | 6-47 |
| 6.1 Sondeos AMT .....                          | 6-48 |
| 6.1.1 Equipamiento .....                       | 6-49 |
| 6.1.2 Resultados obtenidos .....               | 6-51 |
| 6.2 Sondeos Eléctricos Verticales .....        | 6-60 |
| 6.2.1 Descripción del método .....             | 6-61 |
| 6.2.2 Configuración utilizada .....            | 6-62 |
| 6.2.3 Valores de resistividad .....            | 6-63 |
| 6.2.4 Datos obtenidos .....                    | 6-64 |
| 6.2.5 Interpretación de los resultados. ....   | 6-64 |
| 6.3 Conclusiones .....                         | 6-71 |
| 7 Ensayos con trazadores .....                 | 7-72 |
| 7.1 Descripción del procedimiento .....        | 7-72 |
| 7.2 Selección de perforaciones a ensayar ..... | 7-73 |



|       |   |        |
|-------|---|--------|
| 7.3   | Ensayos realizados .....  | 7-73   |
| 7.3.1 | Pozo EM 814.....  | 7-73   |
| 7.3.2 | Perforación EM 813 (17/12/4).....   | 7-79   |
| 7.3.3 | Perforación OSE-1.4.010 (predio oficinas) .....   | 7-81   |
| 7.4   | Conclusiones .....  | 7-83   |
| 8     | Hidroquímica .....  | 8-84   |
| 8.1   | Obtención de parámetros de campo .....  | 8-85   |
| 8.2   | Resultados de análisis físico-químicas de A-Q a R-L .....                               | 8-85   |
| 8.3   | Resultados de parámetros de campo .....   | 8-97   |
| 8.3.1 | Artigas-Quaraí: .....   | 8-97   |
| 8.3.2 | Rivera-Livramento: .....  | 8-106  |
| 9     | Análisis Isotópico .....  | 9-108  |
| 9.1   | Isótopos Ambientales .....  | 9-111  |
| 9.1.1 | Primera campaña de muestreo.....  | 9-111  |
| 9.1.2 | Conclusiones de la primera campaña de muestreo.....                                     | 9-114  |
| 9.1.3 | Segunda campaña de muestreo .....   | 9-116  |
| 9.1.4 | Conclusiones de la segunda campaña .....  | 9-119  |
| 9.2   | Tritio .....  | 9-122  |
| 9.2.1 | Campañas de muestreo .....  | 9-122  |
| 9.2.2 | Análisis de la información recogida .....   | 9-127  |
| 9.3   | Conclusión final .....  | 9-129  |
| 10    | Hidráulica.....   | 10-130 |
| 10.1  | Relevamiento de nuevas perforaciones en Artigas -Quaraí.....                            | 10-131 |
| 10.2  | Selección de perforaciones para elaborar el mapa piezométrico en Artigas - Quaraí ..... | 10-132 |
| 10.3  | Mapa piezométrico de Artigas - Quaraí.....  | 10-133 |
| 10.4  | Mapa de profundidades en Artigas - Quaraí .....   | 10-136 |
| 10.5  | Vinculación del Rio Cuareim con el acuífero .....                                       | 10-137 |
| 10.6  | Flujo regional .....  | 10-138 |
| 11    | Vulnerabilidad en A-Q.....  | 11-140 |
| 11.1  | Metodología da vulnerabilidade natural de aquíferos.....                                | 11-140 |
| 11.2  | Estudo da vulnerabilidade natural dos aquíferos.....                                    | 11-145 |
| 11.3  | Considerações finais .....  | 11-158 |
| 12    | Riesgo, Fuentes y vías potenciales de contaminación .....                               | 12-160 |
| 13    | Usos del agua .....   | 13-174 |
| 13.1  | Diagnóstico de la situación actual de explotación .....                                 | 13-174 |



|        |   |        |
|--------|---|--------|
| 13.1.1 | Consideraciones referentes a los cálculos realizados..... | 13-177 |
| 13.1.2 | Análisis y discusiones .....                              | 13-178 |
| 14     | Recomendaciones .....                                     | 14-179 |
| 15     | Otras Actividades realizadas durante el proyecto.....     | 15-183 |
| 15.1   | Difusión .....  | 15-183 |
| 15.2   | Capacitación.....   | 15-184 |
| 16     | Referencias Bibliográficas.....                           | 16-185 |
| 17     | Actores .....   | 17-191 |

### INDICE DE FIGURAS

|              |   |      |
|--------------|---|------|
| Figura 2-1:  | Localización general del área de proyecto .....                                     | 2-17 |
| Figura 3-1:  | Ubicación de las perforaciones catastradas .....                                    | 3-19 |
| Figura 4-1:  | Mapa de área Artigas Quaraí .....   | 4-28 |
| Figura 4-2:  | Mapa de área Rivera Santa Ana de Livramento.....                                    | 4-29 |
| Figura 5-1:  | Secções onde avaliou-se os cortes geológicos realizados .....                       | 5-33 |
| Figura 5-2:  | Corte 1, poços com perfil geológico NW-SE Quaraí-Artigas, secciona Rio Quaraí. .... | 5-38 |
| Figura 5-3:  | Corte 2: poços com perfil litológico NW-SE .....                                    | 5-39 |
| Figura 5-4:  | Corte 3: poços com perfil litológico NW-SE .....                                    | 5-40 |
| Figura 5-5:  | Corte 4: poços com perfil litológico SW-NE .....                                    | 5-41 |
| Figura 5-6:  | Corte 5: poços com perfil litológico SW-NE, seccionando Rio Quaraí.....             | 5-41 |
| Figura 5-7:  | Corte 6: poços com perfil litológico NW-SE .....                                    | 5-42 |
| Figura 5-8:  | Geologia de superfície em Artigas - Quaraí.....                                     | 5-44 |
| Figura 5-9:  | Geología de superficie en Rivera - Sant' Ana.....                                   | 5-45 |
| Figura 6-1:  | Ubicación de los sondeos AMT y SEV .....  | 6-48 |
| Figura 6-2:  | Configuración del equipo de mediciones para sondeo AMT .....                        | 6-49 |
| Figura 6-3:  | Equipamiento utilizado en campo para realización de los sondeos AMT. ....           | 6-50 |
| Figura 6-4:  | Curvas de los AMT realizados .....  | 6-52 |
| Figura 6-5:  | Distribución del campo eléctrico en un medio isótropo y homogéneo.....              | 6-61 |
| Figura 6-6:  | Curvas de resistividad aparente para los sondeos obtenidos.....                     | 6-64 |
| Figura 6-7:  | Curvas de campo de los SEVs A01 y A02 .....   | 6-65 |
| Figura 6-8:  | Interpretación del SEV A01 .....  | 6-65 |
| Figura 6-9:  | Interpretación del SEV A02 .....  | 6-66 |
| Figura 6-10: | Interpretación del SEV A03 .....  | 6-67 |



|  |       |
|--|-------|
| Figura 6-11: Interpretación del SEV A04 – primera interpretación .....                         | 6-67  |
| Figura 6-12: Interpretación del SEV A04 segunda interpretación .....                           | 6-68  |
| Figura 6-13: Interpretación del SEV A05 .....  | 6-68  |
| Figura 6-14: Interpretación del SEV Q01 .....  | 6-69  |
| Figura 6-15: Interpretación del SEV Q02 .....  | 6-69  |
| Figura 6-16: Interpretación del SEV Q03 .....  | 6-70  |
| Figura 6-17: Interpretación del SEV Q04 .....  | 6-70  |
| Figura 6-18: Interpretación del SEV Q05 – modelo de 3 capas .....                              | 6-71  |
| Figura 6-19: Interpretación del SEV Q05 – modelo de 4 capas .....                              | 6-71  |
| Figura 7-1: Preparación del ensayo .....   | 7-72  |
| Figura 7-2: Ubicación de los pozos donde se realizaron los ensayos .....                       | 7-73  |
| Figura 7-3: Marcado de columna en la perforación EM 814 .....                                  | 7-75  |
| Figura 7-4: Marcado puntual de la perforación EM 814 .....                                     | 7-77  |
| Figura 7-5: Primer pulso del ensayo de inyección puntual .....                                 | 7-78  |
| Figura 7-6: Segundo pulso del ensayo de inyección puntual .....                                | 7-79  |
| Figura 7-7: Boca de la perforación EM 813 .....  | 7-80  |
| Figura 7-8: Resultados del ensayo de marcado de columna en la perforación EM 813 .....         | 7-81  |
| Figura 7-9: Ensayo de marcado de columna en la perforación OSE-1.4.010 .....                   | 7-82  |
| Figura 8-1: Ubicación de puntos de muestreo hidroquímico e isotópico en Artigas – Quaraí ..... | 8-84  |
| Figura 8-2: Diagrama de Piper das amostras coletadas em Artigas-Quarai .....                   | 8-86  |
| Figura 8-3: Diagramas de Stiff para as águas coletadas nos poços de Artigas - Quaraí .....     | 8-89  |
| Figura 8-4: Diagramas de Stiff para as águas coletadas nos poços de Artigas-Quaraí .....       | 8-90  |
| Figura 8-5: Diagrama de Stiff para alguns poços de Artigas Quaraí .....                        | 8-91  |
| Figura 8-6: Diagramas de Stiff para alguns poços de Santana-Rivera .....                       | 8-92  |
| Figura 8-7: Conductividad eléctrica vs Profundidad .....                                       | 8-98  |
| Figura 8-8: Comportamiento del pH con la profundidad .....                                     | 8-99  |
| Figura 8-9: Comportamiento de la alcalinidad con la profundidad .....                          | 8-99  |
| Figura 8-10: Conductividad eléctrica - primera campaña .....                                   | 8-101 |
| Figura 8-11: Oxígeno disuelto – primera campaña .....  | 8-102 |
| Figura 8-12: ph – primera campaña .....  | 8-103 |
| Figura 8-13: Conductividad eléctrica – segunda campaña .....                                   | 8-104 |
| Figura 8-14: Oxígeno disuelto – segunda campaña .....  | 8-105 |
| Figura 8-15: ph – segunda campaña .....  | 8-106 |



|              |   |        |
|--------------|---|--------|
| Figura 9-1:  | Recolector de agua de lluvia.....   | 9-108  |
| Figura 9-2:  | Ubicación de los pozos de los pozos considerados en A-Q .....   | 9-110  |
| Figura 9-3:  | Ubicación de los pozos de los pozos considerados en R-L.....  | 9-110  |
| Figura 9-4:  | Isótopos ambientales, campaña de marzo de 2005 y lluvia de abril.                                       | 9-114  |
| Figura 9-5:  | Isótopos ambientales identificación de los pozos, marzo de 2005 ...                                     | 9-114  |
| Figura 9-6:  | Isótopos ambientales, campaña de julio y lluvia de mayo y junio de 2005 .....                           | 9-119  |
| Figura 9-7:  | Identificación de los pozos, julio de 2005 y lluvia de junio .....                                      | 9-120  |
| Figura 9-8:  | Valores de tritio de campaña de marzo 2005 vs. profundidad de pozos.....                                | 9-127  |
| Figura 9-9:  | Valores de tritio de campaña de julio 2005 vs. profundidad de pozos.....                                | 9-128  |
| Figura 9-10: | Valores de tritio vs. 180 de perforaciones en campaña de julio 2005.....                                | 9-128  |
| Figura 10-1: | Piezometría preliminar del área de estudio (valores referidos al cero oficial uruguayo) .....           | 10-131 |
| Figura 10-2: | Perforaciones relevadas en la segunda campaña piezométrica .  | 10-132 |
| Figura 10-3: | Perforaciones utilizadas para realizar la piezometría final.....  | 10-133 |
| Figura 10-4: | Mapa piezométrico en la zona de Artigas – Quaraí .....  | 10-136 |
| Figura 10-5: | Mapa de profundidades al nivel piezométrico.....  | 10-137 |
| Figura 11-1: | Mapa da profundidade do Nível Estático dos poços.....   | 11-147 |
| Figura 11-2: | Mapa das formações geológicas da área de estudo .....   | 11-150 |
| Figura 11-3: | Aspectos das unidades texturais de solos: Areia Franca fina (A), Franca (B) e Franco Siltosa (C). ..... | 11-151 |
| Figura 11-4: | Mapa das unidades texturais de solos .....  | 11-153 |
| Figura 11-5: | Mapa clinográfico da área de estudo .....   | 11-155 |
| Figura 11-6: | Mapa da vulnerabilidade natural dos aquíferos .....   | 11-158 |
| Figura 12-1: | Cobertura de saneamiento en la ciudad de Rivera (Fuente: ONG Raikatú año 2004) .....                    | 12-166 |
| Figura 12-2: | Cobertura de agua potable en la ciudad de Rivera (Fuente: ONG Raikatú año 2004) .....                   | 12-167 |
| Figura 12-3: | Asentamientos y vertedero en la ciudad de Rivera (Fuente: ONG Raikatú año 2004) .....                   | 12-168 |
| Figura 12-4: | Ubicación de fuentes potenciales de contaminación (Artigas-Quaraí).....                                 | 12-171 |
| Figura 12-5: | Ubicación de 36 fuentes potenciales de contaminación (Rivera-Livramento) .....                          | 12-173 |



## INDICE DE TABLAS

|              |  |        |
|--------------|--|--------|
| Tabla 5-1:   | Correlação dos nomes das formações geológicas no Brasil e no Uruguay .....   | 5-30   |
| Tabla 5-2:   | Columna estratigráfica simplificada .....  | 5-34   |
| Tabla 6-1:   | Coordenadas de los Sondeos AMT.....  | 6-47   |
| Tabla 6-2:   | Coordenadas de los Sondeos SEVs.....   | 6-47   |
| Tabla 6-3:   | Valores de resistividad eléctrica.....   | 6-64   |
| Tabla 8-1:   | Parámetros físico-químicos 1ª campaña 15 coletas agua A- Q ....  | 8-88   |
| Tabla 8-2:   | Parámetros físico - químicos 1ª campaña 15 coletas águas A - Q concentrações em (mg/l).....                        | 8-88   |
| Tabla 9-1:   | Meses con muestras en laboratorio .....  | 9-109  |
| Tabla 9-2:   | Precipitación de los períodos de recolección de las muestras .....   | 9-109  |
| Tabla 9-3:   | Resultados para 2H y 18O de la campaña de marzo de 2005 y lluvia de abril .....                                    | 9-112  |
| Tabla 9-4:   | Resultados para 2H y 18O de la campaña de julio de 2005 y lluvia de mayo y junio.....                              | 9-117  |
| Tabla 9-5:   | Resultados para 3H de la campaña de marzo y lluvia de abril de 2005 .....  | 9-123  |
| Tabla 9-6:   | Resultados para 3H de la campaña de julio y lluvia de mayo y junio de 2005 .....                                   | 9-124  |
| Tabla 10-1:  | Perforaciones, ubicación y nivel piezométrico utilizados para piezometría final.....                               | 10-134 |
| Tabla 11-1:  | Fatores DRASTIC e seus respectivos pesos (Peso= p) .....   | 11-140 |
| Tabla 11-2:  | Classes Faixas de profundidade da água subterrânea e respectivas cargas (Dc). (Peso: Dp=5).....                    | 11-140 |
| Tabla 11-3:  | Recarga total durante o ano (Peso: Rp= 4).....   | 11-141 |
| Tabla 11-4:  | Tipos de meio aquíferos e suas respectivas cargas (Ac). (Peso: Ap=3).....  | 11-141 |
| Tabla 11-5:  | Solos e suas respectivas cargas (Sc), (Peso: Sp=2).....  | 11-142 |
| Tabla 11-6:  | Classes de declividade e suas respectivas cargas (Tc). (Peso: Tp=1).....   | 11-143 |
| Tabla 11-7:  | Impacto da Zona Vadosa e suas respectivas cargas (Ic). (Peso: Ip=5).....   | 11-143 |
| Tabla 11-8:  | Condutividade hidráulica, cargas (Cc). (Peso: Cp=3).....   | 11-144 |
| Tabla 11-9:  | Classes de vulnerabilidade e seus respectivos intervalos, segundo Aller et al. (1987) .....                        | 11-144 |
| Tabla 11-10: | Classificação do Nível estático dos poços nos intervalos e suas respectivas cargas .....                           | 11-146 |
| Tabla 11-11: | Recarga total durante o ano (Peso: Rp= 4).....   | 11-148 |
| Tabla 11-12: | Tipos de meio aquíferos e suas respectivas cargas (Ac) e distribuição dos poços em cada unidade. (Peso: Ap=3)..... | 11-149 |

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



|              |   |        |
|--------------|---|--------|
| Tabla 11-13: | Granulometria dos solos e suas respectivas cargas (Sc), distribuição dos poços (Peso: Sp=2). Fonte: Pesquisa de campo e Lab. Sedimentologia – Departamento de Geociências/UFSM (2005)   | 11-152 |
| Tabla 11-14: | Classes de declividade da área de estudo com a distribuição dos poços e cargas sugeridas no modelo DRASTIC (Tc). Fonte: Lab. Hidrogeologia – Departamento de Geociências/UFSM (2005)... | 11-154 |
| Tabla 11-15: | Impacto da Zona Vadosa e suas respectivas cargas (Ic). (Peso: Ip=5).Fonte: Pesquisa de campo e Lab. Sedimentologia – Departamento de Geociências/UFSM (2005) .....                      | 11-156 |
| Tabla 11-16: | Condutividade hidráulica, cargas (Cc). (Peso: Cp=3).....  | 11-157 |
| Tabla 12-1:  | Industrias con trámite de SADI en el Departamento de Artigas  | 12-164 |
| Tabla 12-2:  | Industrias con trámite de SADI en el Departamento de Rivera   | 12-164 |
| Tabla 12-3:  | Declaración Jurada de Efluentes (DJE), Departamento de Artigas...   | 12-165 |
| Tabla 12-4:  | Declaración Jurada de Efluentes (DJE), Departamento de Rivera....   | 12-165 |
| Tabla 12-5:  | Referencia para el código de colores .....  | 12-165 |
| Tabla 12-6:  | Identificación de las fuentes potenciales de contaminación (Artigas-Quaraí) .....   | 12-169 |
| Tabla 12-7:  | Identificación de las fuentes potenciales de contaminación (Rivera-Livramento) .....  | 12-172 |
| Tabla 13-1:  | Caudales anuales de extracción en Artigas – Quaraí y en Rivera – Sant’Ana do Livramento.....  | 13-175 |
| Tabla 13-2:  | Caudales mensuales (Julio y enero de 2005) de extracción en pozos de CORSAN (Quaraí).....   | 13-176 |



## 1 AGRADECIMIENTOS

Ao ex-diretor do DAE Sr. Achylles Bassedas Costa (Bimbo) e ao atual Diretor Geral do DAE Advogado Edison Silva Da Silva. Ao químico Julio Campos e ao chefe da manutenção Sr. Adao. Ao Eng. Civil Pedra. Dae.liv@terra.com.br

A CORSAN, Gerente de Quarai Sr. Nilvo Enegrir, aos funcionários Adriano Bitencourt, Salvador. Ao Superintendente de recursos hídricos e Meio Ambiente/SURHMA/Porto Alegre Geólogo Carlos Alvin Heine. Aos geólogos da Surhma Francisco da Tolla Goulart e Marcio Klein.

A Prefeitura Municipal de Quarai, Secretaria de Gestão Ambiental Geol Rachel Cardoso Barcellos.

A EMATER na pessoa da ASSISTENTE SOCIAL Betinha. Eng. Agr. Jorge Eduardo Hamilton Torres jeht@zaz.com.br

Ao Institutopatulus Sr. Erick Maciel.

A ONG RAIKATU Sra Silvana Marin [raikatu@adinet.com.uy](mailto:raikatu@adinet.com.uy)

Ao Coordenador Nacional do Projeto Aqüífero Guaraní Eng. Civil Julio Thadeu Silva Kettelhut. Aos geólogos Fabricio Bueno DA Fonseca Cardoso, Fancis Priscilla Vargas Hager e Claudia Lima. Brasília/ DF.

Ao colega Prof. Edson Wendland por ter participado da comissão examinadora de Mestrado do aluno Luis Carlos Frantz /UFSM. [ew@sc.usp.br](mailto:ew@sc.usp.br)

Al Licenciado en Geología Alejandro Schivilov del Facultad de Agronomía de la UdelaR

Al Ms Ing Alejandro Oleaga, y Msc Ing. Jorge de los Santos

Al Licenciado en Geología Andres Pérez, Ing Hardy de OSE.

Al Qco. Farmacéutico Alejandro Bertón de la Intendencia Municipal de Rivera.



## 2 INTRODUCCIÓN

A concepção deste projeto foi no sentido de contribuir-se para trazer novas informações as já existentes a nível de escala local e regional. Contribuindo com novos dados que ocupassem os vazios de informações e as dúvidas existentes sobre a região transfronteiriça entre o Norte do Uruguai e o sudoeste do Brasil.

Com a proposta de um Projeto de Proteção Ambiental e Manejo Sustentável do Sistema Aqüífero Guaraní houve a possibilidade de integração entre pesquisadores de diferentes países que já compartilhavam este recurso natural subterrâneo em períodos de estiagens, com trocas de abastecimento local entre OSE e DAE.

A troca de experiências entre pesquisadores dos quatro países, ou localmente entre o Uruguai e Brasil na fronteira seca entre Rivera e Santana do Livramento, ou através de um rio internacional, o Rio Quaraí entre Artigas e Quaraí, como no caso do Projeto N°10 do Fundo das Universidades.

Inicialmente foi necessário um entendimento com relação as metodologias e as técnicas que poderiam ser empregadas visando um conhecimento mais detalhado das duas regiões, bem como avaliar em modelos numéricos as direções preferenciais de fluxos subterâneos locais e regionais.

Do lado uruguaio haviam várias informações disponíveis com relação a geologia e a hidrogeologia Bossi (1966), Montañó e Pessi (1985), Ferrando et al. (1987), Bossi e Navarro (1988), Pessi e Hardy (1988), Perez et al. (2000), de los Santos (2001), Pérez e Rocha (2002). de los Santos (2001) foi um dos pioneiros a pensar em estudos que avaliassem a possibilidade de existência de condutividade hidráulica entre S-R e Q-A. Uma vez que a equipe do IMFIA/UR composto por engenheiros civis com amplo conhecimento nas áreas de Geofísica e Hidrogeologia a UFSM/BR contava com grupos como o do Departamento de Geociências da UFSM, que dispunha de Geólogo-Geoquímico, Geógrafos e um Departamento de Química que poderia apoiar os estudos físico-químicos o LAQIA. Ainda com a possibilidade de apoio ao projeto SAG da AIEA com relação ao uso e financiamento de análises de isótopos ambientais. Integrando-se estas técnicas poder-se-ia avaliar melhor algumas hipóteses de trabalho, como por exemplo "as águas de infiltração atual da Formação Serra Geral contribuem para a recarga do SAG?".

Do lado brasileiro havia um estudo pioneiro Hidrogeológico da CPRM realizado por Presotto et al. (1973) na fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul incluindo Santana do Livramento e Quaraí. Diversos trabalhos orientados pelo geólogo argentino Renato Rodolfo Andreis que buscou a integração dos conhecimentos geológicos nos três países (Uruguai, Argentina e Brasil). Os trabalhos de Eckert e Caye (1995), Lisboa (1996), Silvério da Silva et al. (2004) dentre outros.

Com a criação do sistema on-line Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais/CPRM houve um grande avanço das informações disponíveis, complementadas neste ano de 2006 com o mapeamento hidrogeológico do Rio Grande do Sul.

Inicialmente o problema iniciava nas informações das Cartas Topográficas dos países que como eram de áreas de fronteira, sempre continham informações sigilosas (secretas), com o advento do MERCOSUL iniciou-se algumas possibilidades de pesquisas conjuntas.



O Uruguai utilizava como datum horizontal das cartas topográficas do exército o Yacaré e o vertical o Porto de Montevideu. No Brasil se tinha informações das cartas topográficas da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército com datums SAD 69, WGS 84, Córrego Alegre e o vertical o Porto de Imbituba em Santa Catarina. Para que as informações referentes ao nível das águas dos poços fossem padronizadas, foi necessário encontrar-se um datum comum.

Portanto havia informações topográficas na escala de 1:25.000 que adentravam tanto em Rivera (Santana do Livramento) quanto em Artigas (Quaraí). Portanto adotou-se o Sistema de Coordenada Universal Transversa de Mercator/UTM com uso do Datum South America Datum/SAD 69 como padrão neste projeto, e o datum vertical Porto de Imbituba (SC). Adotou-se como origem da quilometragem UTM o "Equador e o Meridiano 57° W GR", com uma equidistância das curvas de nível de 10m.

Os conhecimentos de geologia também estavam restritos as fronteiras dos países o que seria uma possibilidade de ampliar os conhecimentos nas duas fronteiras. Uma vez que a divisa seca entre Santana do Livramento e Rivera ocorre em alguns locais em áreas de afloramento do SAG e em outras através dos derrames de rochas vulcânicas. Assim todo e qualquer impacto que ocorra em um país poderia vir a afetar o outro e vice-versa. Desta maneira os estudos de vulnerabilidade tornaram-se indispensáveis para os zoneamentos e uso e ocupação dos solos.

A gestão compartilhada deste manancial subterrâneo que abastece a maior parte das duas cidades (R-L) recebeu um enfoque especial, tornou-se uma das quatro áreas piloto para estudos do Projeto SAG.

Uma vez que vários estudos estavam previstos para avaliarem a área de Rivera e Santana do Livramento, optou-se também por estudar em maior detalhe a vulnerabilidade na área de influência de Artigas e Quaraí.

A possibilidade de acesso às informações sobre a localização de perfurações, seus projetos construtivos, projetos executivos, informações litológicas e/ou seus perfis geológicos obtidos dos perfuradores, poderiam trazer uma integração dos resultados tornando uma metodologia padrão.

A visita de técnicos brasileiros aos poços no Uruguai e dos técnicos uruguaios aos poços brasileiros contribuiu enormemente para a realização dos levantamentos de campo geológicos, hidrogeológicos, geofísicos e das coletas hidroquímicas de águas de fontes, poços, chuva e do Rio Quaraí.

Com o início dos levantamentos houve também um grande interesse da mídia na divulgação de alguns resultados projetando em muitos atores locais e regionais o sentimento de preservação e compartilhamento das águas do SAG.

A troca de experiências entre técnicos dos dois países ampliou as possibilidades de obtenção e a integração de resultados no projeto SAG, além de fomentar-se a capacitação de pesquisadores em nível de pós-graduação. Estes conhecimentos estão sendo utilizados na integração dos recursos hídricos subterrâneos com os superficiais, incluindo-os nos Planos de Bacias Hidrográficas e na Gestão destes recursos.

Desta maneira os estudos realizados no Projeto N°10, tiveram como pressuposto também na avaliação de metodologias em dissertações de mestrado de estudos de cunho acadêmico.



Figura 2-1: Localización general del área de proyecto





### 3 CATASTRO DE PERFORACIONES

#### 3.1 Artigas – Quaraí

El catastro del proyecto comprende un total de 173 perforaciones en Artigas – Quaraí y fue generado a partir de las siguientes fuentes de información:

- OSE (Obras Sanitarias del Estado)
- CORSAN (Compañía Riograndense de Saneamiento)
- PMQ (Prefectura Municipal de Quaraí)
- CPRM (Compañía de Pesquisas de Recursos Minerales)
- PRENADER (Programa Recursos Naturales y Desarrollo del Riego)
- SIAGAS (Sistema de Informaciones de Aguas Subterráneas de CPRM)
- El Molino perforaciones
- Salidas y relevamiento de campo
- IMA (Intendencia Municipal de Artigas)

La calidad y confiabilidad de los datos relevados es variable así como es heterogénea la información de cada perforación en cuanto a los datos que se tiene de cada una de ellas.

La tabla completa se encuentra adjunta en el archivo "catastroAQ.xls" con la información relevada de cada una de las perforaciones siendo ésta la que se enumera a continuación.

Código adoptado para el proyecto

Código SIAGAS 430000

Código CPRM

Otros códigos

UTM E UTM N Altit. (m) (Proyección UTM Zona 21, Datum Horizontal SAD 69-Minas Gerais, Datum vertical Imbituba-Santa Catarina)

Método de geoposicionamiento.

País

Ubicación

Propietario

Prof. (m)

N.E. (m) fecha de medición origen del dato

N.D. (m) Q (m<sup>3</sup>/h) Q. Esp. (m<sup>3</sup>/h/m) Fecha origen del dato

Tipo Aquíf.

Litol. Tipo Form. Tipo perforación

C.E. (µS/cm)

Temp. (°C)

Ph

OD

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



Fecha de medición

Situación de la perforación

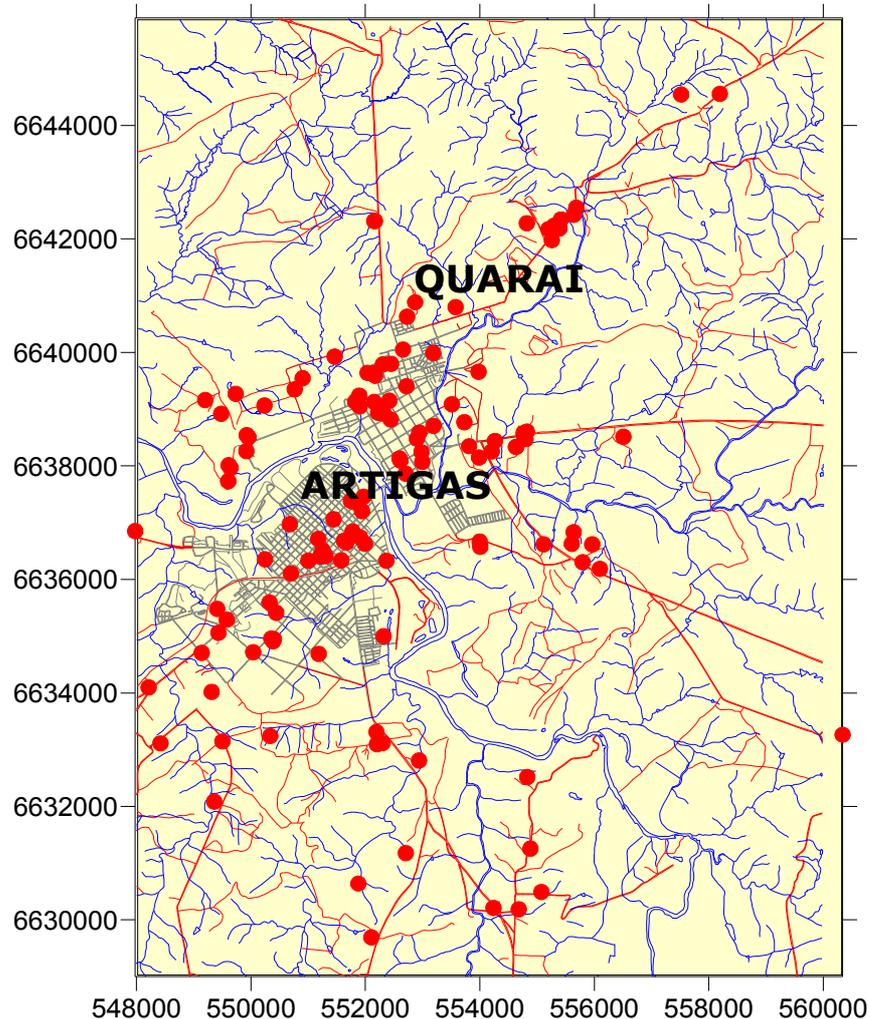
Tratamiento en perforación

Uso del Agua

Posteriormente, esta información fue digitalizada e ingresada al programa GWW la cual es presentada adjunta en el archivo "bombylit.gww"

La siguiente figura muestra la distribución espacial de las perforaciones catastradas en área de Artigas – Quaraí.

Figura 3-1: Ubicación de las perforaciones catastradas



Se adoptaron los códigos existentes siempre que los hubiera, sólo se crearon cuando no se conocía id anterior

### 3.2 Rivera - Santana

### 3.3 Geoposicionamiento de perforaciones

Para tener una precisión adecuada en la determinación de nivel piezométrico, se realizó una campaña de geoposicionamiento de perforaciones para



eliminar el error en determinación de la cota de boca de pozo a través de la carta geográfica.

### 3.3.1 Instrumental utilizado.-

Se trabajó con receptores GPS, marca ASHTECH, modelo Z-SURVEYOR. Los mismos permiten trabajar con 7 observables a saber:

- Fase en L1
- Fase en L2
- Código C/A en L1
- Código P en L1
- Código P en L2
- Doppler en L1
- Doppler en L2

Los equipos se identifican de la siguiente forma:

Controladores:       UZ01253  
                              UZ01265

Antenas:                Marine III Antenna – L1/L2 GPS (ASH 700700.C)  
                              Nº 14.125  
                              Ashtech L1/L2 "Whopper" Antenna (ASH 700718.B)  
                              Nº 15.130

Nivel óptico de línea Wild

### 3.3.2 Software utilizado.-

Software de procesamiento de datos GPS, Ski 2.3, de Leica.

Software de modelamiento geoidal MAPGEO2004, del IBGE, Brasil.

### 3.3.3 Procedimiento

Se realizó un relevamiento GPS diferencial, modo estático rápido, a tales efectos se consideró como punto de referencia el vértice 1946V (91939) del IBGE (Brasil), para el cual se dispone de coordenadas en el Sistema SIRGAS.

A los efectos de determinar las alturas de los puntos, se utilizó el modelo geoidal desarrollado por el IBGE, asimismo se efectuaron observaciones en vértices de nivelación pertenecientes a las redes de nivelación de ambos países.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



Las transformaciones de coordenadas a los sistemas locales, uruguayo y brasilero, se efectuaron utilizando los parámetros de transformación calculados por el IBGE (Brasil) y los desarrollados por el Ing. Roberto Pérez Rodino (Facultad de Ingeniería, UDELAR) para el Uruguay.

#### 3.3.4 Resultados en AQ.-

##### A\_ Sistema Uruguayo.

Sistema de coordenadas ROU-USSAMS

Elipsoide: Internacional de 1924

Datum horizontal: Yacaré

Datum vertical: Nivel medio en el Puerto de Montevideo (Decreto 20/5/1949)

Proyección cartográfica: Transversa Mercator

Meridiano de contacto: 55° 48' W

Latitud de origen: 90° S

Falso Este: 500.000

Falso Norte: 0

Factor de escala en el meridiano central: 1

##### B\_ Sistema Brasileiro.

Sistema de coordenadas SAD69

Elipsoide: Sudamericano de 1969

Datum horizontal: SAD-69

Datum vertical: Imbituba

Proyección cartográfica: UTM

Zona: 21

**SISTEMA ROU-USSAMS**

|           | <b>PUNTO</b>  | <b>E</b>  | <b>N</b>   | <b>Z</b> |
|-----------|---------------|-----------|------------|----------|
| <b>1</b>  | A-120         | 431843,66 | 6637664,82 | 120,514  |
| <b>3</b>  | A-112         | 439829,08 | 6631304,58 | 132,547  |
| <b>4</b>  | A-111         | 439561,07 | 6633328,15 | 104,965  |
| <b>5</b>  | A-115         | 436865,31 | 6630474,29 | 154,512  |
| <b>6</b>  | A-114         | 437450,81 | 6631967,59 | 124,773  |
| <b>7</b>  | A-122         | 437664,71 | 6633600,24 | 99,550   |
| <b>8</b>  | A-118         | 434092,32 | 6632838,97 | 119,530  |
| <b>9</b>  | PRE 1346      | 431901,02 | 6634008,62 | 143,210  |
| <b>10</b> | A-107         | 431303,47 | 6634029,48 | 136,973  |
| <b>11</b> | A-109         | 428924,21 | 6634226,08 | 141,974  |
| <b>12</b> | PRE 458       | 428682,13 | 6635105,38 | 163,710  |
| <b>13</b> | PRE 1243      | 429574,55 | 6637530,82 | 121,807  |
| <b>14</b> | PRE 1242      | 430013,63 | 6638819,47 | 100,406  |
| <b>15</b> | A-101         | 429131,99 | 6639430,50 | 111,141  |
| <b>16</b> | A-7           | 438994,45 | 6631015,33 | 101,823  |
| <b>19</b> | A-127         | 440790,05 | 6637015,50 | 121,506  |
| <b>20</b> | A-126         | 440652,53 | 6637445,01 | 115,827  |
| <b>21</b> | PMQ 17        | 438932,42 | 6639249,12 | 102,212  |
| <b>22</b> | Q-5           | 434282,60 | 6638768,97 | 105,961  |
| <b>23</b> | PMQ 23        | 435422,18 | 6640122,03 | 105,789  |
| <b>24</b> | PMQ 21        | 434898,85 | 6639831,12 | 105,374  |
| <b>25</b> | A-119         | 435058,84 | 6634004,73 | 132,061  |
| <b>27</b> | OSE 410       | 437023,33 | 6635785,24 | 101,439  |
| <b>28</b> | OSE 14.003    | 435891,21 | 6635461,02 | 112,471  |
| <b>34</b> | A-129         | 438218,98 | 6641596,29 | 117,981  |
| <b>35</b> | A-128         | 436793,33 | 6643104,06 | 139,934  |
| <b>36</b> | Q-1           | 440324,74 | 6637655,44 | 102,453  |
| <b>37</b> | EM 814        | 436650,18 | 6638240,46 | 96,771   |
| <b>39</b> | PRE 517       | 427060,33 | 6636828,86 | 145,348  |
| <b>40</b> | QUA 1A        | 438683,99 | 6637472,68 | 129,749  |
| <b>41</b> | QUA 5B        | 439489,42 | 6639421,40 | 111,979  |
| <b>42</b> | QUA 6         | 436800,32 | 6640418,52 | 121,325  |
| <b>43</b> | QUA 3         | 437309,20 | 6640842,48 | 130,107  |
| <b>44</b> | QUA 8         | 437371,93 | 6641419,59 | 118,545  |
| <b>45</b> | QUA 2A        | 436942,70 | 6639753,35 | 120,201  |
| <b>46</b> | PMQ 04        | 437266,96 | 6638918,38 | 115,429  |
| <b>48</b> | OSE-PINTADITO | 436915,02 | 6634095,78 | 105,819  |
| <b>49</b> | A-105         | 428148,40 | 6633527,30 | 155,715  |
| <b>50</b> | A-116         | 434026,84 | 6634772,88 | 113,367  |
| <b>51</b> | A-1           | 435058,26 | 6635721,33 | 111,301  |
| <b>52</b> | OSE 14.001    | 437058,70 | 6637118,03 | 102,871  |
|           | OSE 14.016    |           |            | 111,224  |
|           | A-3           |           |            | 111,006  |
|           | QUA 1         |           |            | 131,902  |

**SISTEMA SAD-69**

| <b>PUNTO</b>            | <b>E</b>   | <b>N</b>   | <b>Z</b> |
|-------------------------|------------|------------|----------|
| <b>1</b> A-120          | 547161,45  | 6636931,60 | 121,165  |
| <b>3</b> A-112          | 555075,64  | 6630489,73 | 133,198  |
| <b>4</b> A-111          | 554829,21  | 6632515,19 | 105,616  |
| <b>5</b> A-115          | 552104,44  | 6629691,28 | 155,163  |
| <b>6</b> A-114          | 552705,51  | 6631177,66 | 125,424  |
| <b>7</b> A-122          | 552936,62  | 6632807,28 | 100,201  |
| <b>8</b> A-118          | 549357,87  | 6632084,25 | 120,181  |
| <b>9</b> PRE 1346       | 547180,03  | 6633276,58 | 143,861  |
| <b>10</b> A-107         | 546582,99  | 6633303,77 | 137,624  |
| <b>11</b> A-109         | 544206,99  | 6633525,50 | 142,625  |
| <b>12</b> PRE 458       | 543974,36  | 6634406,92 | 164,361  |
| <b>13</b> PRE 1243      | 544892,03  | 6636821,71 | 122,458  |
| <b>14</b> PRE 1242      | 545344,55  | 6638105,08 | 101,057  |
| <b>15</b> A-101         | 544469,81  | 6638725,13 | 111,792  |
| <b>16</b> A-7           | 554238,32  | 6630209,47 | 102,474  |
| <b>19</b> Q-127         | 556096,71  | 6636187,81 | 122,157  |
| <b>20</b> Q-126         | 555963,81  | 6636618,58 | 116,478  |
| <b>21</b> PMQ 17        | 554263,61  | 6638440,07 | 102,863  |
| <b>22</b> Q-5           | 549610,91  | 6638009,39 | 106,612  |
| <b>23</b> PMQ 23        | 550764,26  | 6639349,73 | 106,440  |
| <b>24</b> PMQ 21        | 550238,11  | 6639064,50 | 106,025  |
| <b>25</b> A-119         | 550336,28  | 6633239,21 | 132,712  |
| <b>27</b> OSE 410       | 552318,72  | 6634998,04 | 102,090  |
| <b>28</b> OSE 14.003    | 551183,70  | 6634685,97 | 113,122  |
| <b>34</b> Q-129         | 553575,35  | 6640793,70 | 118,632  |
| <b>35</b> Q-128         | 552166,32  | 6642315,84 | 140,585  |
| <b>36</b> Q-1           | 555638,40  | 6636832,39 | 103,104  |
| <b>37</b> EM 814        | 551971,76  | 6637456,06 | 97,422   |
| <b>39</b> PRE 517       | 542371,63  | 6636146,73 | 145,999  |
| <b>40</b> QUA 1A        | 553996,48  | 6636667,09 | 130,400  |
| <b>41</b> QUA 5B        | 554822,17  | 6638606,37 | 112,630  |
| <b>42</b> QUA 6         | 552144,89  | 6639631,49 | 121,976  |
| <b>43</b> QUA 3         | 552658,02  | 6640049,86 | 130,758  |
| <b>44</b> QUA 8         | 552726,82  | 6640626,04 | 119,196  |
| <b>45</b> QUA 2A        | 552280,16  | 6638965,13 | 120,852  |
| <b>46</b> PMQ 04        | 552595,43  | 6638127,12 | 116,080  |
| <b>48</b> OSE-PINTADITO | 552192,54  | 6633310,53 | 106,470  |
| <b>49</b> A-105         | 543424,16  | 6632835,29 | 156,366  |
| <b>50</b> A-116         | 549312,93  | 6634017,93 | 114,018  |
| <b>51</b> A-1           | 550353,90  | 6634955,00 | 111,952  |
| <b>52</b> OSE 14.001    | 552368,20  | 6636329,83 | 103,522  |
|                         | OSE 14.016 |            | 111,875  |
|                         | A-3        |            | 111,657  |
|                         | QUA 1      |            | 132,553  |



Con respecto al punto Rincón del Pintadito, se disponen de coordenadas planas con una precisión del orden del metro.

Coordenadas en el Sistema Uruguayo

Este 439.600

Norte 6.632.108

Coordenadas en el Sistema Brasileiro

Este 554.856

Norte 6.631.295

En los casos de los puntos: OSE 14.002 y OSE 14.016, se disponen de coordenadas planas con una precisión del orden de los 5 metros.

Punto OSE 14.002

Coordenadas en el Sistema Uruguayo

Este 434.908

Norte 6.637.145

Coordenadas en el Sistema Brasileiro

Este 550.219

Norte 6.636.379

Punto OSE 14.016

Coordenadas en el Sistema Uruguayo

Este 435.082

Norte 6.635.746

Coordenadas en el Sistema Brasileiro

Este 550.378

Norte 6.634.980

### 3.3.5 Resultados en RL

#### **SISTEMA ROU-USSAMS**

|          | <b>PUNTO</b> | <b>ESTE</b> | <b>NORTE</b> | <b>Z</b> |
|----------|--------------|-------------|--------------|----------|
| <b>1</b> | 10.4.003     | 523132,25   | 6583832,05   | 203,13   |
| <b>2</b> | 10.4.001     | 521874,66   | 6584459,10   | 204,93   |
| <b>3</b> | 10.4.002     | 521138,52   | 6584721,19   | 217,20   |
| <b>4</b> | 10.4.025     | 519363,21   | 6585029,67   | 212,55   |
| <b>5</b> | 10.4.018     | 519147,17   | 6585364,11   | 212,52   |
| <b>6</b> | 10.4.023     | 519596,62   | 6585867,92   | 221,31   |
| <b>7</b> | P4           | 518684,32   | 6585579,90   | 216,16   |
| <b>8</b> | POLO FONDO   | 518742,24   | 6584934,91   | 212,79   |



|           |             |           |            |        |
|-----------|-------------|-----------|------------|--------|
| <b>9</b>  | MATADERO    | 519773,75 | 6585390,01 | 223,69 |
| <b>10</b> | DEPURADORA  | 524984,07 | 6579107,51 | 199,09 |
| <b>11</b> | LA PEDRERA  | 524483,90 | 6578514,83 | 223,95 |
| <b>12</b> | 10.4.009    | 524432,68 | 6578344,39 | 232,25 |
| <b>13</b> | 10.4.015    | 524198,21 | 6578017,95 | 240,36 |
| <b>14</b> | 10.4.030    | 524217,26 | 6578861,39 | 209,91 |
| <b>15</b> | 10.4.032    | 524416,69 | 6577594,91 | 243,18 |
| <b>16</b> | 10.4.027    | 523196,59 | 6578630,44 | 210,34 |
| <b>17</b> | 10.4.035    | 527362,43 | 6581820,15 | 218,23 |
| <b>20</b> | 10.4.028    | 526504,63 | 6581555,74 | 202,58 |
| <b>24</b> | REPRESA     | 517663,88 | 6586170,95 | 264,17 |
| <b>25</b> | 10.4.031    | 523491,75 | 6585265,53 | 266,47 |
| <b>26</b> | 10.4.021    | 521284,29 | 6579245,63 | 230,58 |
| <b>27</b> | 10.4.029    | 527645,94 | 6581546,29 | 221,22 |
| <b>28</b> | H10         | 526420,12 | 6582793,65 | 201,82 |
| <b>29</b> | JARDIN      | 527407,97 | 6582599,81 | 201,12 |
| <b>31</b> | AC1         | 530303,08 | 6585298,71 | 193,65 |
| <b>32</b> | WILSON3     | 529413,31 | 6586307,38 | 194,55 |
| <b>33</b> | PANADERIA 1 | 524941,43 | 6581668,69 | 217,56 |
| <b>37</b> | LAVADERO    | 525578,19 | 6582031,15 | 247,59 |
| <b>38</b> | BRASILIA    | 528675,23 | 6584891,18 | 160,89 |
| <b>39</b> | BR2         | 528492,25 | 6585016,72 | 162,46 |
| <b>40</b> | REGISTRO 3  | 524310,34 | 6586357,03 | 180,77 |
| <b>41</b> | AC2         | 524661,92 | 6583906,70 | 197,44 |
| <b>42</b> | OMBU        | 526447,07 | 6582609,48 | 221,15 |
| <b>43</b> | PRADO 1     | 524589,55 | 6585967,26 | 193,69 |
| <b>44</b> | BOLIVAR     | 528082,27 | 6587013,48 | 182,05 |
| <b>45</b> | KENNEDY 2   | 527380,88 | 6584986,15 | 167,21 |
| <b>46</b> | BERON       | 521906,78 | 6589433,60 | 266,72 |
| <b>47</b> | CAMINERA    | 522704,17 | 6575648,48 | 243,32 |
| <b>48</b> | MONTEPAZ    | 523950,55 | 6575772,01 | 236,39 |
| <b>49</b> | RELLENO     | 525605,52 | 6578184,87 | 213,96 |
| <b>50</b> | NIEVES      | 517640,22 | 6577351,19 | 244,68 |
| <b>52</b> | LEITES      | 521701,22 | 6589022,30 | 256,26 |

**POZOS****NIVELADOS**

|             |        |
|-------------|--------|
| P1          | 216,55 |
| P2          | 215,86 |
| P3          | 216,85 |
| 10.4.007    | 216,91 |
| PANADERIA 2 | 217,41 |
| REGISTRO 1  | 179,55 |
| UPA         | 262,43 |
| NIEVES      | 245,07 |



PORSCHÉ  
NIEVES POZO  
NEGRO

245,00



## **4 DIGITALIZACIÓN DE CARTAS GEOGRÁFICAS**

### **4.1 Sistema de coordenadas adoptado**

Neste trabalho visando padronizar as informações de ambos os países se adotou o Sistema Brasileiro de Coordenadas na escala de 1:25.000 dos mapas topográficos realizados pelo Servicio Geográfico del Ejército/ DSG del año de 1988, Hojas SH.21-Z-A-II 3-NO, MI-2977/3-NO (Quarai-N) y SH.21-Z-A-II 3-SO (Quarai), MI-2977/3-SO, equidistancia de las curvas de nivel de 10m, Proyección Universal Transversa de Mercator, Datum vertical: Imbituba Santa Catarina y Datum Horizontal SAD 69- Minas Gerais, origen de la quilometragem UTM "Ecuador y Meridiano 57° W de Greenwich" acrescidas de lãs constantes 10.000 km y 500 km, respectivamente. Para las ciudades de Rivera y Santana do Livramento se adotou las Hojas del año de 1988, Hojas SH.21-Z-A-VI-NE, MI-2991/4-NE (Santana do Livramento) y SH.21-Z-A-VI 3-SO, MI-2991/4-SE, equidistancia de las curvas de nivel de 10m, Proyección Universal Transversa de Mercator. Complementar foram utilizadas también las Hojas Palomas SH.21-Z-B-IV-3, MI-2992/3 y SH.21-Z-A-VI-4, MI-2991/4 del año de 1975 y curvas de nivel de 20m na escala de 1:50.000.

### **4.2 Tareas realizadas**

Para delimitar a área de estudo elaborou-se o mapa base, utilizando cartas topográficas da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico), sendo as cartas de Quaraí N, folha SH.21-Z-A-II/3-NO (MI-2977/NO) e Quaraí SO folha SH.21-Z-A-II/3-SO (MI-2977/SO) em escala 1:25.000. Para obter as informações cartográficas para elaborar os mapas necessários nesta pesquisa foram digitalizadas e inseridas no banco de dados, sendo que se fez o mosaico das cartas e após o registro (georreferenciamento) desta imagem. Como critério para delimitar a área, considerou-se a distribuição espacial dos poços na área urbana e adjacências, os quais exercem grande influência no abastecimento das cidades, bem como na exploração do aquífero.

Assim, para se obter o mapa base, as cartas topográficas foram convertidas do modo analógico para digital *raster* via *scanner*. Em meio digital fez-se o mosaico das cartas topográficas com o Aplicativo Computacional ADOBE PHOTOSHOP. No Aplicativo Computacional IMPIMA fez-se a mudança do arquivo TIFF para GRIB e importou-se para o Aplicativo Computacional SPRING 4.1 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), onde realizou-se o registro (georreferenciamento) da imagem para posteriormente iniciar sua digitalização em tela do computador dos seguintes planos de informação: limite da área, estradas, rede de drenagem e vias urbanas. A edição do mapa foi realizada por meio do Aplicativo Computacional SCARTA na versão 4.1, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e seu acabamento no Corel DRAW.

### **4.3 Mapas obtenidos**



Figura 4-1: Mapa de área Artigas Quaraí

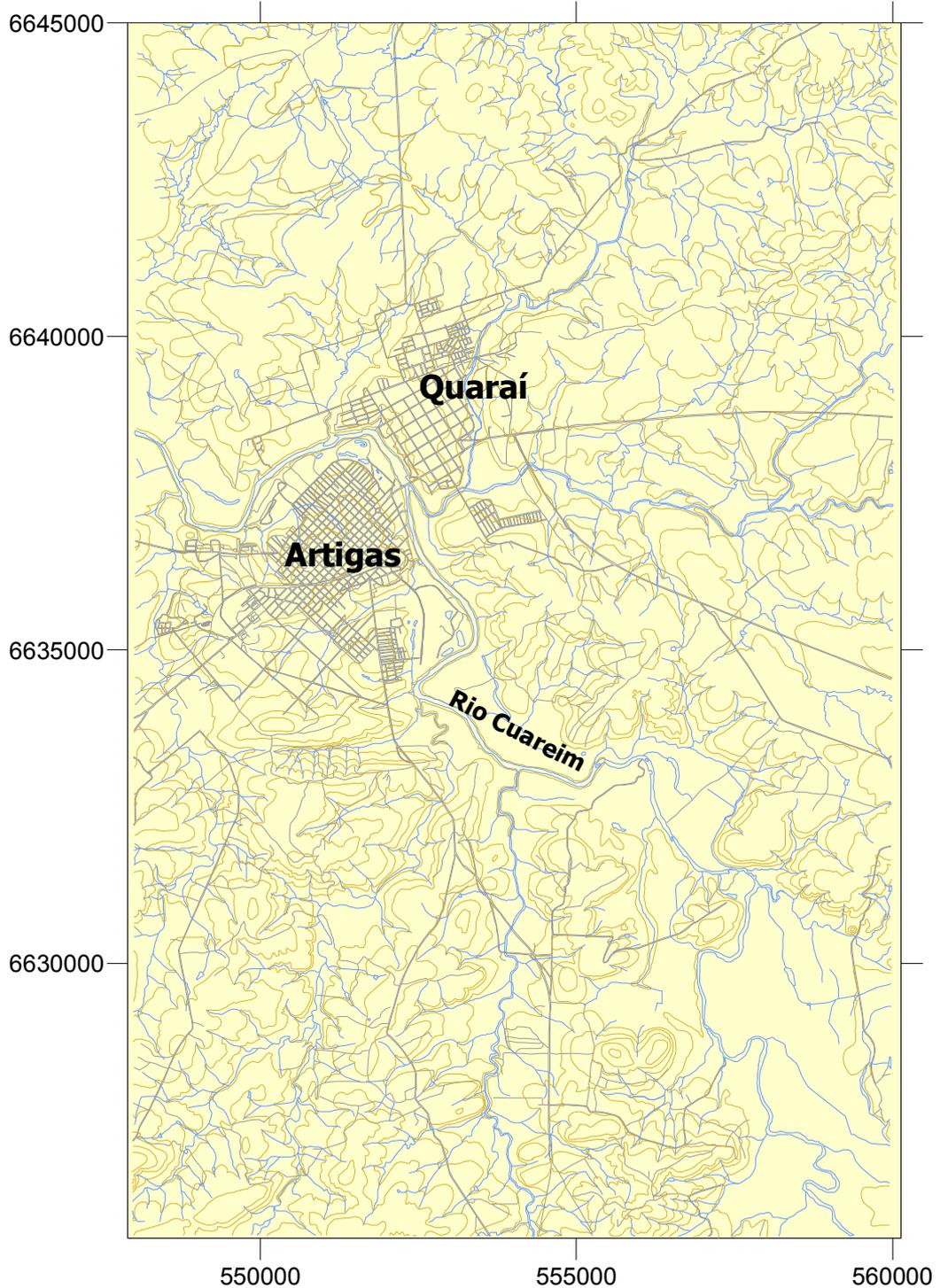
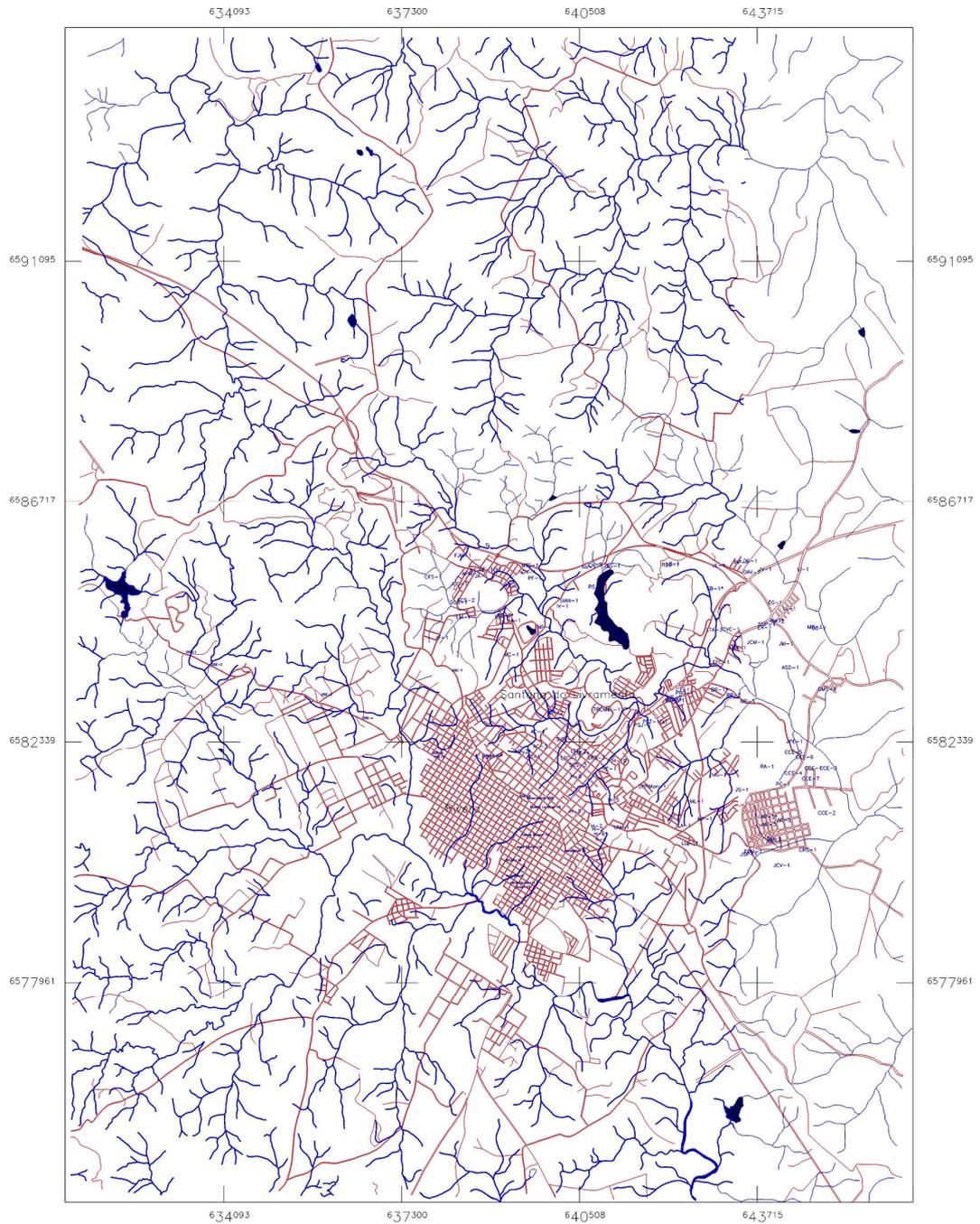




Figura 4-2: Mapa de área Rivera Santa Ana de Livramento





## 5 GEOLOGÍA

Os estudos de geologia da área de Artigas Quaraí foram realizados levando-se em conta as seguintes fontes de informação:

- Fotos aéreas na escala de 1: 20.000 do Uruguai
- Mapa topográfico do Brasil escala de 1: 25.000 realizado pelo Serviço Geográfico do Exército/ DSG do ano de 1988, Folhas SH.21-Z-A-II 3-NO, MI-2977/3-NO (Quarai-N) e SH.21-Z-A-II 3-SO, MI-2977/3-SO, equidistância de curvas de nível de 10m, Projeção Universal Transversa de Mercator/UTM, Datum vertical: Imbituba Porto de Santa Catarina (SC) y Datum Horizontal SAD 69 *South America Datum*- Minas Gerais (MG), com origem da quilometragem UTM "Equador e Meridiano 57° W de Greenwich" acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.
- Saídas de campo (dezembro/2004, março e julho de 2005).
- Descrição litológica das perfurações obtidas dos perfuradores (OSE, CORSAN/Quarai, El Molino e DAE/Santana do Livramento).

### 5.1 Geología de superficie

A Tabla 5-1 correlaciona as formações geológicas equivalentes nos dois países onde foi avaliada.

Tabla 5-1: Correlação dos nomes das formações geológicas no Brasil e no Uruguay

| Constituição Litológica (rochas)                      | Uruguai            | Brasil         |
|---|--------------------|----------------|
| Sedimentos recentes                                   | Cenozóico          |                |
| Lavas vulcânicas                                      | Arapey             | Serra Geral    |
| Arenitos médios a finos                               | Rivera             | Botucatu       |
| Arenitos médios a finos mais pelitos (silte+ argilas) | Yaguari/Tacuarembó | Rosario do SuL |

Na classe dos Arenitos Cenozóicos (sedimentos recentes) foram incluídas rochas sedimentares de constituição variável em termos de conteúdo de frações areias, siltes, argilas e localmente cascalhos e grânulos constituindo os Sedimentos Aluvionares. Também podem formar pacotes de espessura variável em torno 10 a 30m. Formam aquíferos livres. Podem apresentar-se com estruturas de sets de alto ângulo, eólicos ou sem estrutura interna constituídos por dunas. As dunas móveis ocorrem principalmente fora da área do estudo e somente do lado brasileiro, na região de Quarai, Alegrete. Na calha do Rio Quaraí apresentam constituição silto-argilosa, podendo ocorrer blocos, seixos e grânulos, sua espessura não deve ser superior a 10m.

Na Formação Serra Geral, Cretáceo inferior Montaña et al. (1998), são incluídas as rochas de composição basáltica, formando derrames de espessuras variáveis, cada derrame apresenta uma potência que varia entre 10 e 60m. Entre os derrames de lavas vulcânicas se reconhecem delgados níveis de arenitos eólicos finos a médios interestratificados (interderrames) podendo apresentar espessuras superiores a 20m. De acordo com Silvério da Silva (2005) na área de Quarai e



Artigas os derrames são predominantemente maciços, localmente apresentam diáclases horizontais e verticais, também podem formar vacúolos e amígdalas. Estas estruturas, quando presentes podem facilitar a circulação de águas de formação alterando os materiais constituintes, plagioclásios (fonte de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Na}^{+}$ ); os piroxênios augita e pigeonita silicatos aluminosos de ferro (fontes de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+2}$ ) para as águas subterrâneas. Não foram executadas lâminas delgadas no projeto N° 10 fundo das Universidades.

Localmente são identificadas brechas de falhas, onde os arenitos interderrames são silicificados, como exemplo na localidade Saladeiro na porção oeste, em Quarai. Forma aquíferos cristalinos fissurais. A composição das águas é Bicarbonatada Cálcica concordando com estudos realizados em outras porções da Bacia do Paraná por Rosa da Silva (1983), Bittencourt et al. (2003), Lisboa e Menegotto (1999), Pérez et al. (2000), Perez e Rocha (2002) e Bittencourt et al. (2003) as águas deste aquífero são águas doces (<500mg/L) normalmente com baixo STD.

A Formação Botucatu é constituída por arenitos médios a finos, com estratificação cruzada de alto ângulo, com baixo conteúdo de siltes e argilas, porosidade de 18 a 30% Araújo et al. (1999). As estruturas internas são cuneiformes, planares e raras tangenciais, formando paleodunas eólicas. Formam aquíferos livres quando aflorantes. Formam aquíferos confinados quando sotopostos pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. Constituem águas normalmente doces com baixo conteúdo de STD, mas podem localmente conter sais, tendo em vista o tempo de residência na formação, associação com diques básicos Bittencourt et al. (2003) e Silvério da Silva (2000). Pode misturar-se com águas de aquíferos de idade Permiana conferindo valores anômalos em sais e nas concentrações de flúor. Valores anômalos ocorrem no SAG na Depressão Central do Estado do Rio Grande do SUL, na região de Venâncio Aires, Santa Cruz do Sul, Restinga Seca e outras cidades, fora da área de estudo Silvério da Silva et al. (2000 e 2002).

A Formação Rosário do Sul (=Pirambóia) é constituída por arenitos médios a finos, com pelitos (silte + argilas) intraformacionais, apresentam estruturas marcadamente tabulares, com finas laminações (*flaser*) características de paleoambientes fluviais. Esta formação é caracterizada como um paleoambiente flúvio-eólico. Quando aflorantes formam aquíferos livres com baixo teor em STD, quando confinadas pela Formação Serra Geral, podem apresentar elevadas concentrações de STD. Afloram em Santana do Livramento e Rivera. Em Quarai somente aparecem em perfis litológicos de poços em subsuperfície.

De acordo com proposições de Machado (2006) o SAG é constituído na fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, onde estão inseridas as áreas do estudo Projeto N°10, por diferentes formações geológicas, dispostas em camadas, que têm como característica comum serem constituídas por rochas porosas, constituídas por areia, siltes e argilas.

Machado sugeriu para o compartimento Oeste, seccionado pelo Sistema de Falhas Jaguari-Mata (SFJM), de direção SE-NW, a ocorrência de cinco aquíferos.

O Aquífero Serra Geral, o Aquífero Botucatu, o Aquífero Guará, o Aquífero Sanga do Cabral e o Aquífero Pirambóia. Uma vez que estas denominações não são ainda utilizadas como consenso entre pesquisadores e também por serem mais bem identificadas em afloramentos, ainda não foram adotadas pela própria CPRM/SIAGAS, para as descrições litológicas dos poços tubulares ([www.cprm.gov.br/siagas](http://www.cprm.gov.br/siagas)), também não foram adotadas pela CORSAN. Tanto para a região de Santana do Livramento quanto na região de Quarai, no Brasil.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**



Afloramentos possivelmente pertencentes à Formação Guará ocorrem no Cerro do Jaraú distante cerca de 25 km da área central de Quaraí, portanto fora da área do estudo do Projeto N°10.

Desta forma neste trabalho preferiu-se utilizar as denominações mais conhecidas para as formações geológicas constituintes dos afloramentos ou em subsuperfície do Sistema Aquífero Guaraní, deixando-se as discussões acadêmicas para os fóruns científicos.

## 5.2 Artigas – Quaraí

O mapa geológico foi executado com base nas litologias da área, será apresentado no final deste capítulo, foi inferido em pesquisa de campo em áreas de afloramentos, onde através de observações no local de estudo podem-se identificar os parâmetros geológicos, tais como: textura, petrofábrica, estruturas sedimentares primárias, tipos de cimentações, variações laterais e verticais, bem como se inferir os contatos entre as formações rochosas. Assim, demarcou-se a extensão dos distintos substratos geológicos sobre as cartas topográficas observando-se as coordenadas geográficas com GPS manual de cada ocorrência, associando-se as cotas altimétricas do terreno e também as características verificadas em vários pontos percorridos na área de estudo. Posteriormente os estudos tiveram apoio em fotografias aéreas e nas prospecções geofísicas.

Em laboratório converteram-se as cartas topográficas analógicas para digital, juntando-se esta informação ao banco de dados já criado no Aplicativo Computacional SPRING 4.1. Iniciou-se o processo de digitalização dos distintos planos de informação até se obter o mapa geológico da área em escala de 1: 25.000. Para comprovar a veracidade fizeram-se coletas de amostras em diferentes litologias, que foram analisadas em Lupa monocular e binocular no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências da UFSM. Não foram realizadas nem descritas lâminas petrográficas delgadas neste projeto. Este estudo será realizado pela Geóloga Paula Collazo.

A Figura 5-1 mostra as secções que contém os cortes geológicos agregados em subsuperfície, corresponde a área de estudo em Artigas – Quaraí. Esta área foi mais bem estudada devido ao interesse do grupo de pesquisas nas avaliações de vulnerabilidade na área de Artigas-Quaraí Projeto N°10 Fundo das Universidades. Já as áreas de Rivera-Santana serão alvo de estudos no projeto piloto bem como no trabalho de Mestrado da Geóloga Paula Collazo.

Uma vez concluídos os estudos de geologia de superfície para determinarem-se os contatos entre as formações geológicas, buscou-se avaliar a paleotopografia do subsolo.

Realizaram-se distintos cortes geológicos a partir de sondagens e de estudos de geofísica.

Buscou-se estimar a espessura das capas de rochas vulcânicas, bem como se avaliar a direção do mergulho das camadas dos arenitos, inclusive inferir-se a existência ou não, de conexão hidráulica entre as formações geológicas.

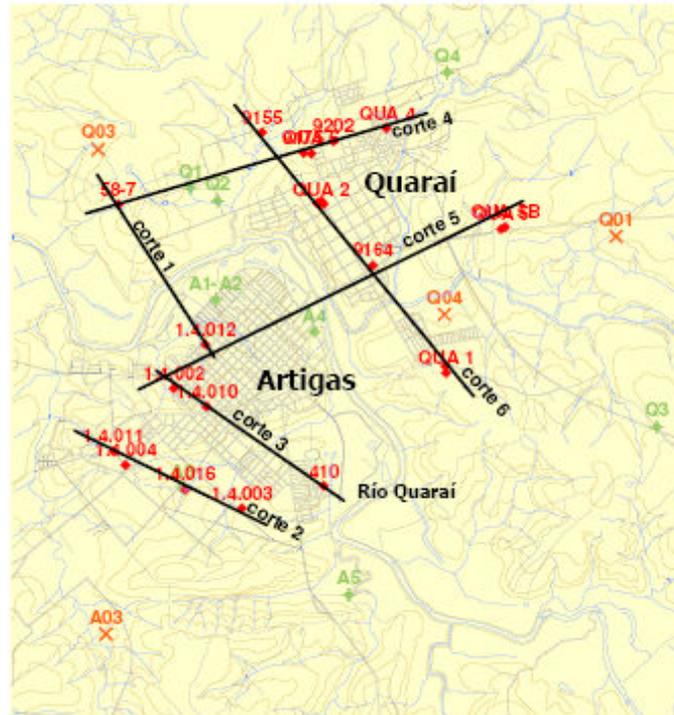
Estas formações foram espacializadas em mapas geológicos levando-se em consideração as áreas de afloramentos bem como as informações obtidas de poços tubulares e escavados, em subsuperfície nas cidades Rivera – Santana e Quaraí – Artigas. Estas observações foram apoiadas em estudos da composição físico-químicos (caracterização dos cátions e ânions maiores) também buscou-se detalhamentos dos fluxos em ensaios de salinização e uso de isótopos ambientais mais o trítio.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



Figura 5-1: Seções onde avaliou-se os cortes geológicos realizados



Primeiramente procedeu-se a um levantamento das perfurações que contavam com descrição litológica.

A coordenada vertical foi obtida em vários poços por levantamentos realizados com GPS diferencial (cerca de 16 poços em Quaraí e 25 em Artigas) os restantes foram obtidos com uso GPS de mão Garmim Etrex Legend ou ainda, das informações contidas no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais SIAGAS (CPRM), bem como de cartas topográficas do exército.

Informa-se que a escala horizontal utilizada nas figuras 5-3, 5-4, 5-5, 5-6, 5-7 e 5-8 foi de 1: 25.000, enquanto a escala vertical esta representada por 1: 2.500, resultando num exagero vertical de 10X (vezes).

Utilizou-se o ábaco ou transferidor de mergulhos (buzamientos) proporcionais (segundo Rosa *et al.*, 1968, Departamento de Exploração da Petrobrás apud Loczy e Ladeira (1976), p.478) para avaliar-se o mergulho das camadas sedimentares ou ainda para estimar a espessura de capa de rochas vulcânicas. A intenção era de busca da paleotopografia do topo dos arenitos e/ou a base dos derrames de rochas vulcânicas associada à tectônica regional.

A Tabla 5-2 representa a coluna estratigráfica simplificada para toda a área de estudo com base nas concepções de pesquisadores Uruguaios, brasileiros e argentinos. De acordo com Pérez et al. (2000) o SAG no Uruguai esta, conformado por arenitos pertencentes ao Grupo Batoví-Dorado (Ferrando y Montana, 1987) de idade Jurássica; e em sua maior parte encontra-se sotoposto por sucessivos derrames de lavas basálticas da Fm. Arapey. Neste trabalho baseado em Morales (1996) sugere que a Formação Rivera apresenta uma espessura de até 50m, constituída por arenitos finos a médios, de grãos bem arredondados e bem selecionados por tamanho, compostos por quartzo, feldspatos e pouco cimento



argiloso (caolinítico), apresentam estratificação cruzada do tipo planar, com cores predominantes roxo e laranja.

Tabla 5-2: Columna estratigráfica simplificada

| Rocas   | Formación<br>BR                                | Formación<br>UY | Acuífero            | Estruturas  | Paleo-ambiente  |
|---|--|-----------------|---------------------|---|---|
| Sedimentitas  | Quaternario                                    | Aluviones       | poroso              | Macizas, inconsistentes   | Aluvial   |
| Derrames basálticos (coladas)   | Serra Geral                                    | Arapey          | Cristalino/fractura | Lavas macizas, cavidades vacuolares (vesículas) + amígdalas + (Areniscas Silicificadas brechas de fallas) | Múltiples derrames basálticos + areniscas interderrames |
| Areniscas medias a finas  | Botucatu                                       | Rivera          | poroso              | Cuneiforme planar artesas, Raras tangenciais  | Dunas eólicas   |
| Areniscas finas y muy finas, a lo sumo medias, con intraclastos terminando con pelitas + intraconglomerados | Rosário do Sul ou Sanga do Cabral ou Pirambóia | Tacuarembó      | poroso              | Tabularidad Marcante Ondulitas (flaser, linsen, ondulosas)  | Fluvial + eólico  |

Fonte Montañó et al. 1998 e Faccini (1989)

De acordo com propostas recentemente realizadas por De Sant Ana, Fernández e Fúlfaro (2006) grandes estruturas de direção NW, tais como o Arco de Rivera e seu prolongamento para E e W; os Arcos de Paguera e Artigas e o próprio Alto de Biasini relacionado com o lineamento do Rio Arapey-Tambores o que seguramente condicionou a sedimentação das unidades do SAG, são fortes evidências da ocorrência de uma tectônica cenozóica com sistema transpressivos noroeste, e um conjunto sincrônico de estruturas distensivas de direção N-S de significativa importância hidrogeológica. Estes lineamentos também devem ter importância na formação da calha do Rio Quarai e dos arroios que estão encaixados em rochas vulcânicas tanto do lado de Artigas quanto em Quarai.

Foram utilizados perfis geológicos de poços tubulares fornecidos pelos perfuradores (OSE, CORSAN, DAE) para a confecção de cortes geológicos

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**



detalhados para a região de Quaraí-Artigas como subsidio para estudos de geometria das camadas e derrames vulcânicos, bem como da vulnerabilidade natural do terreno.

Foram realizados os cortes geológicos de números **1, 2, 3 e 6** de direção **SE-NW** já os cortes **4 e 5** são de direção **SW-NE**.

As Figura 5-2 a Figura 5-7 mostram a localização dos poços estudados em Artigas Quaraí os quais contam com o respectivo perfil geológico, a partir de informações obtidas da CORSAN/QUARAÍ, OSE/ARTIGAS, *El Molinos* e CPRM/SIAGAS.

Posteriormente fez-se uma comparação dos resultados obtidos até a presente data, apoiados em fotografias aéreas, obtendo-se informações sobre as linhas de fraqueza do terreno onde estão inseridas as falhas tectônicas e inclusive vários cursos de águas, sangas, arroios e o Rio Quaraí.

A tectônica regional indicou a ocorrência de um sistema de falhas de direção preferencial NW, NE e N-S, neste setor da Bacia do Paraná, e esta, ilustrada na Figura 5-9, juntamente com o mapa geológico.

Estimou-se com o uso do ábaco de mergulhos um rejeito de 24m no corte 5 Figura 5-6

No corte número 6 (Figura 5-8) estimou-se um rejeito entre 30 e 56m estimado para esta área do estudo, considerando-se os mergulhos das camadas de arenitos entre os perfis geológicos dos poços estudados (Figura 5-2).

Avaliando-se o lado uruguaio (Artigas):

O Rio Pintado Grande encontra-se encaixado (apresenta seu curso adaptado) em um sistema de falhas de direção preferencial NS e secundariamente NW. Na sua calha não apresenta importantes depósitos aluvionares.

O Arroio Pintado encontra-se encaixado em um sistema de falhas de direção preferencial NS. Na sua calha não apresenta importantes depósitos aluvionares fazendo parte da Planície Aluvial do Rio Quaraí, que apresenta maior expressão do lado Uruguaio em Artigas.

O Arroio Tamanduá está encaixado em um sistema de falhas de direção preferencial NW e NE.

O Rio Quaraí na área estudada está encaixado em um sistema de falhas de direção preferencial NW e secundariamente NS e NE. Segue a direção preferencial do caimento (pendente) da *Cuesta do Haedo* (Hausman, 1995 e Silvério et al., 2004), apresentando cotas altimétricas mais elevadas, na ordem de 300m em Santana do Livramento - Rivera em direção ao Rio Uruguai em áreas ocupadas pela Formação Serra Geral, com denominação local de Coxilha de Santana. Este rio forma depósitos aluvionares, inconsolidados, de constituição e espessura variada.

Do lado Brasileiro avaliou-se que:

A Sanga da Divisa está encaixada em um sistema de falhas de direção preferencial NE e secundariamente NS. Seu curso esta encaixado em rochas vulcânicas e muitas vezes forma depósitos aluvionares de constituição arenosa, a Norte da Cidade de Quaraí, na localidade de Serrinha.

A sanga do Lajeado está encaixada em um sistema de falhas de direção preferencial NE e secundariamente NW.



A Sanga do Caturra está encaixada em um sistema de falhas de direção preferencial EW e secundariamente NW.

A Sanga do Salso está encaixada em um sistema de falhas de direção preferencial NW e NE e recebe contribuição das águas oriundas das Sangas do Caturra e do Lajeado.

Os rejeitos das falhas estimados no corte 5 Figura 5-6 foram de 24m entre as camadas de arenitos enquanto que no corte 6 Figura 5-7 estimou-se uma espessura de 56m.

A partir do corte geológico 5 Figura 5-6 estimou-se que a espessura dos derrames de lavas vulcânicas (basaltos) abaixo do Rio Quaraí devem ter uma espessura mínima de 60m, portanto, funcionando como uma camada confinante ou semiconfinante como proposto por Pérez et al. (2000) a partir da execução de ensaios de bombeamento, para a área aflorante e profundidades entre 60 a 90m.

A partir do corte geológico 1 Figura 5-2 estimou-se uma espessura dos derrames de lavas vulcânicas (basaltos) abaixo do Rio Quaraí, devem ter uma espessura mínima de 34m, portanto, funcionando provavelmente, como uma camada confinante ou semiconfinante Pérez et al. (2000) naquele ponto.

A partir das informações do mapa geológico de superfície (Figura 5-8) estimou-se que na área de estudo um dos únicos pontos em que os arenitos do SAG recebem contribuição direta em afloramentos, ou também influenciam na descarga do Rio Quaraí, ocorre no local conhecido como *Cerro Piedra Pintada* e na Planície Aluvial do Rio Quaraí em Artigas, na região entre o Arroio Pintado e o Arroio Pintado Grande.

A partir dos cortes geológicos 1, 2, 3 e 6 de direção NW para SE:

No poço OSE 1.4.002 observou-se a ocorrência de delgadas camadas de arenitos eólicos interestratificados (intertrápicos). De acordo com Montañó et al. (1998) *a Formação Arapey= Fm. Serra Geral entre os derrames de lava se reconhecem delgados níveis de arenitos eólicos interestratificados. A área basáltica divide-se em cinco zonas estruturais, em função do mergulho e da espessura do derrames de lava. Cada derrame apresenta uma potência que varia entre 10 e 60m. Observam-se distintos tipos de derrames de lava, que segundo Walter (1932) respondem as variações de viscosidade da erupção do magma.*

No poço OSE 410 existem duas ocorrências de rochas vulcânicas, a segunda estrutura vulcânica que ocorre no perfil, poderia ser constituída pela ocorrência de um dique ou sill de rochas vulcânicas na profundidade de 252m. Informa-se que nos afloramentos estudados não foram identificados diques de rochas vulcânicas seccionando os arenitos em nenhuma das quatro áreas S-R e Q-A. Informa-se que estas estruturas são importantes em diversas partes marginais da Bacia do Paraná, e foram estudadas por Machado (2006) no estado do Rio Grande do Sul. Estas estruturas são importantes nos estados do Paraná e São Paulo. Estudos realizados por Silvério da Silva (no prelo) indicam a ocorrência destes diques ou sills localizados entre os Municípios de Mata até Taquari na Depressão Periférica Gaúcha, seccionando o SAG e podendo ser uma barreira para a circulação das águas subterrâneas, aumentando o tempo de residência e possivelmente a concentração de Sólidos Totais Dissolvidos, bem como as concentrações de Flúor de até 11 mg/L no SAG em Venâncio Aires, no Estado do Rio Grande do Sul.

No corte 2 (Figura 5-3) do poço OSE 1.4.016 existe uma camada de composição argilosa indicando a ocorrência de um sistema paleodeposicional de menor energia pertencente a Fm. Taquarembó Montañó et al. (1998).

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



Nos cortes 4 e 5 foram realizado na direção SW-NE, estimou-se que:

No corte 4 (Figura 5-5) dos poços da CORSAN/Quaraí, Qua-4 e Qua-6, indicam a ocorrência de delgadas camadas de arenitos interderrames, respectivamente 14m (arenito grosso) na profundidade de 18 até 32m. No poço Qua-6 ocorrem 19m (arenito médio) na profundidade de 51 até 70m, sugerindo não haver continuidade hidráulica entre estas camadas arenosas do SAG. Elas encontram-se dispostas em níveis distintos em função de falhamentos, formando aquíferos, possivelmente, confinados devido à espessura da capa basáltica de topo. A capa vulcânica é delgada apresentando uma espessura entre 4 até 18 no poço Qua-4 m. Já no poço Qua-6 a espessura a espessura da capa vulcânica é 51m (CORSAN perfis geológicos e construtivos, disponíveis no sítio SIAGAS/CPRM).

No corte 5 (Figura 5-6) observou-se que somente no poço OSE 1.4.002 existe uma delgada camada de arenitos interderrames. Do lado de Artigas o mergulho das camadas arenosas parece ser na direção SE o que também parece coincidir com o lado brasileiro, estando o topo das camadas arenosas em profundidade distintas. A espessura da capa de derrames basálticos variou entre 90 até 123,5 m do lado brasileiro. Nos poços 9210 e Qua-5b distantes menos de 10m um do outro, nota-se que o topo da camada de arenito não é a mesma nos dois poços. No poço 9210 aparece na profundidade de 123,6m. No poço Qua- 5b aparece em 102m indicando que houve uma movimentação de bloco no plano de falha distensiva, com rejeito estimado em cerca de 21m.



Figura 5-2: Corte 1, pozos con perfil geológico NW-SE Quaraí-Artigas, secciona Rio Quaraí.

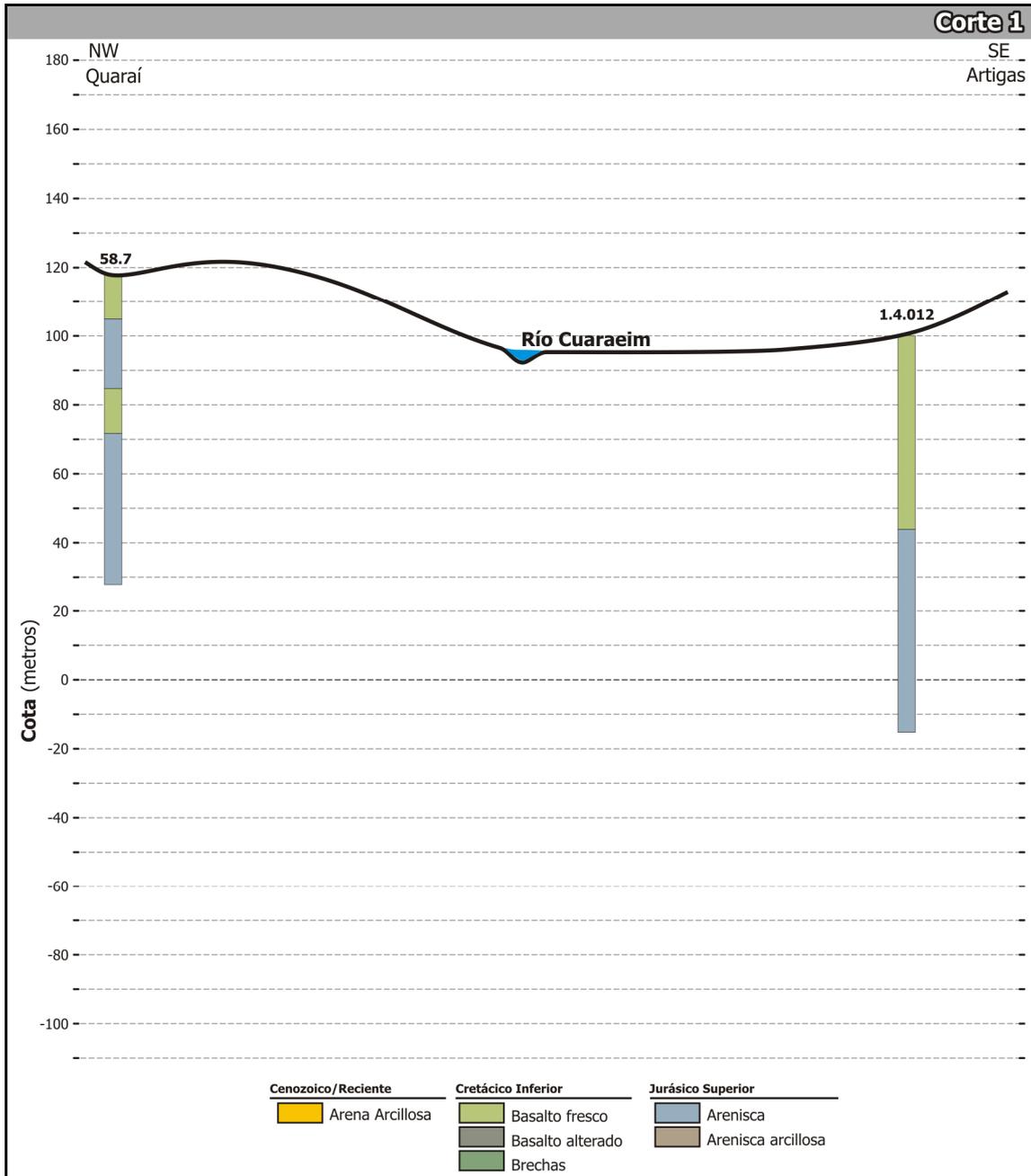




Figura 5-3: Corte 2: pozos con perfil litológico NW-SE

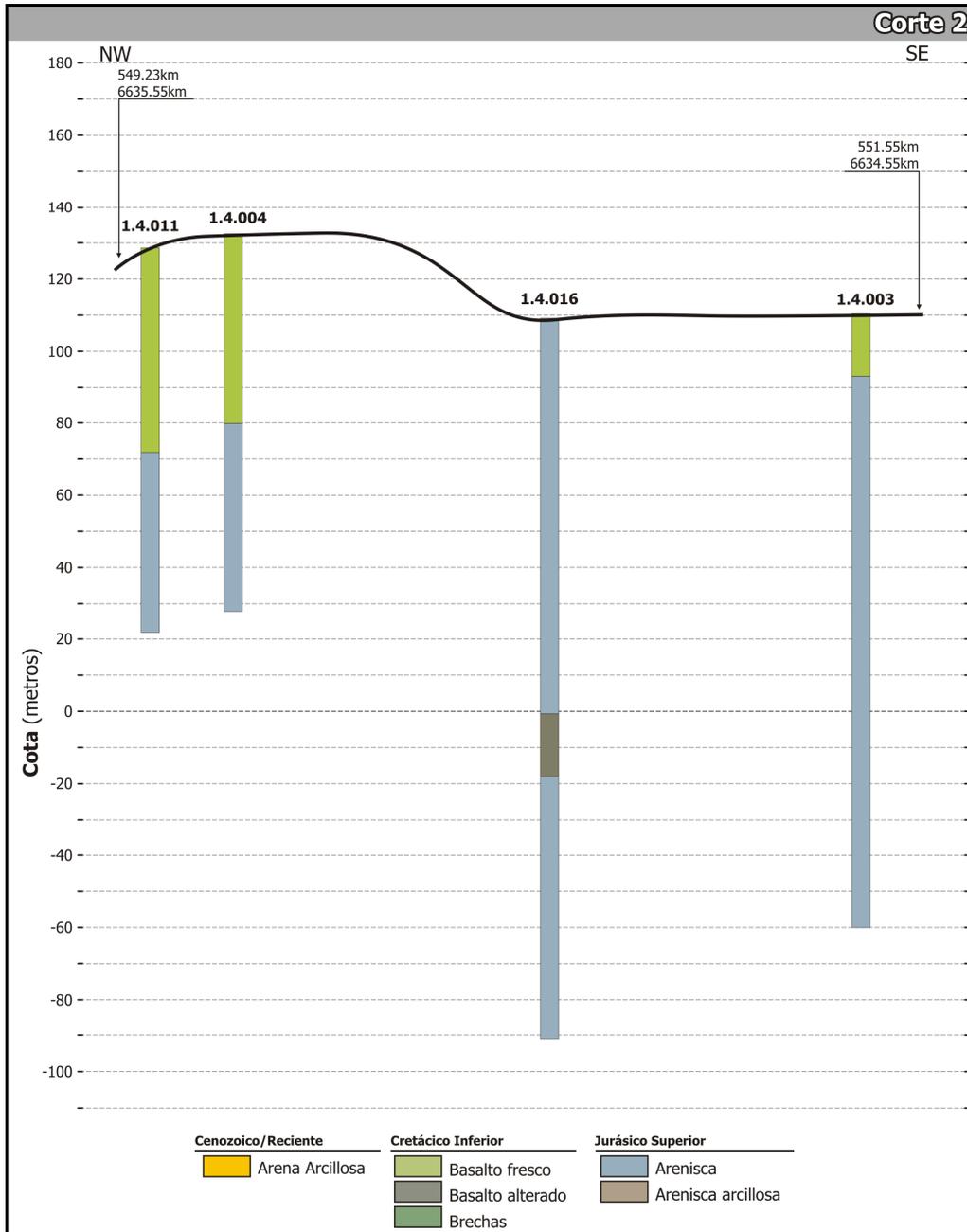




Figura 5-4: Corte 3: pozos con perfil litológico NW-SE

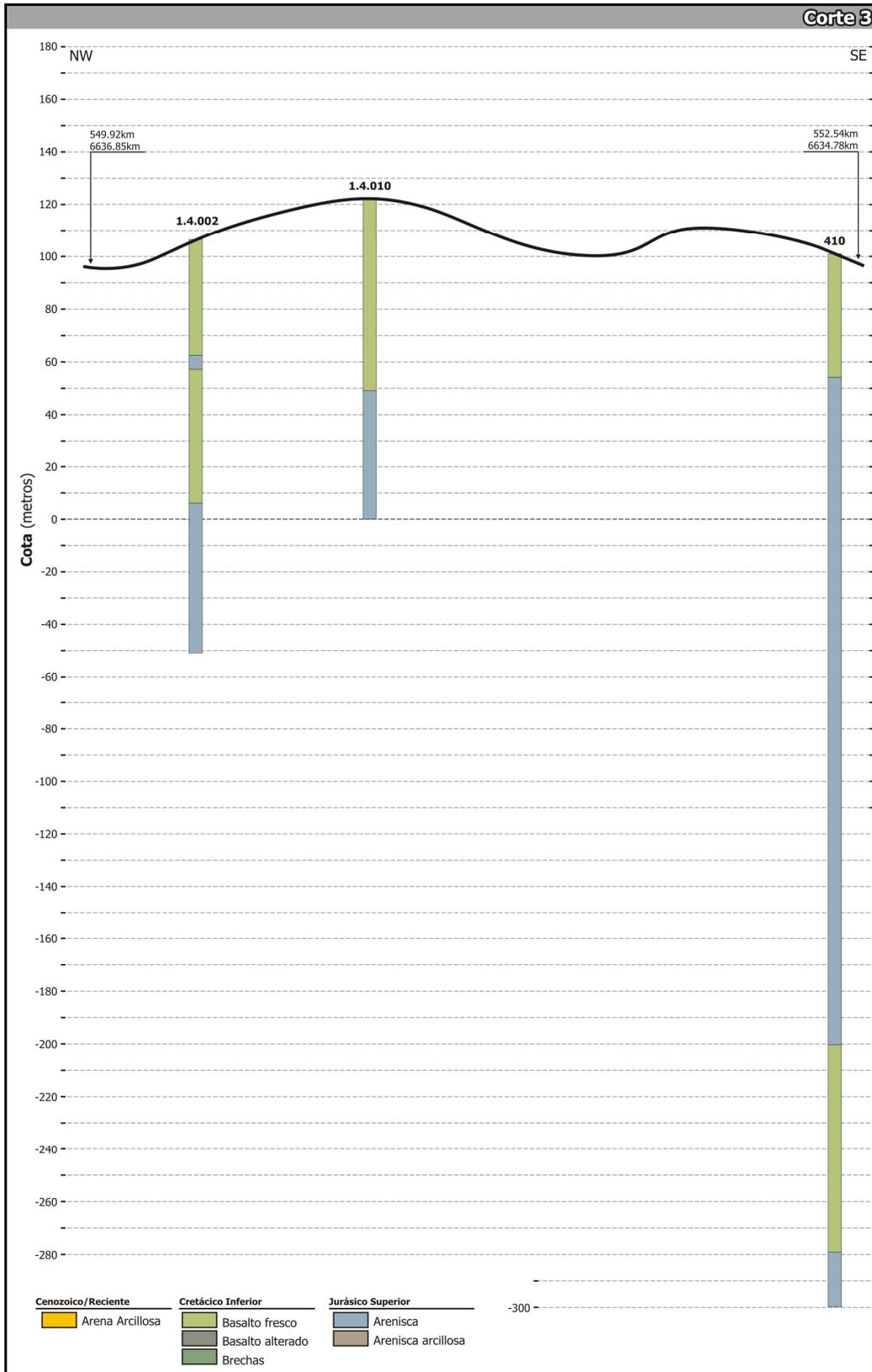




Figura 5-5: Corte 4: pozos con perfil litológico SW-NE

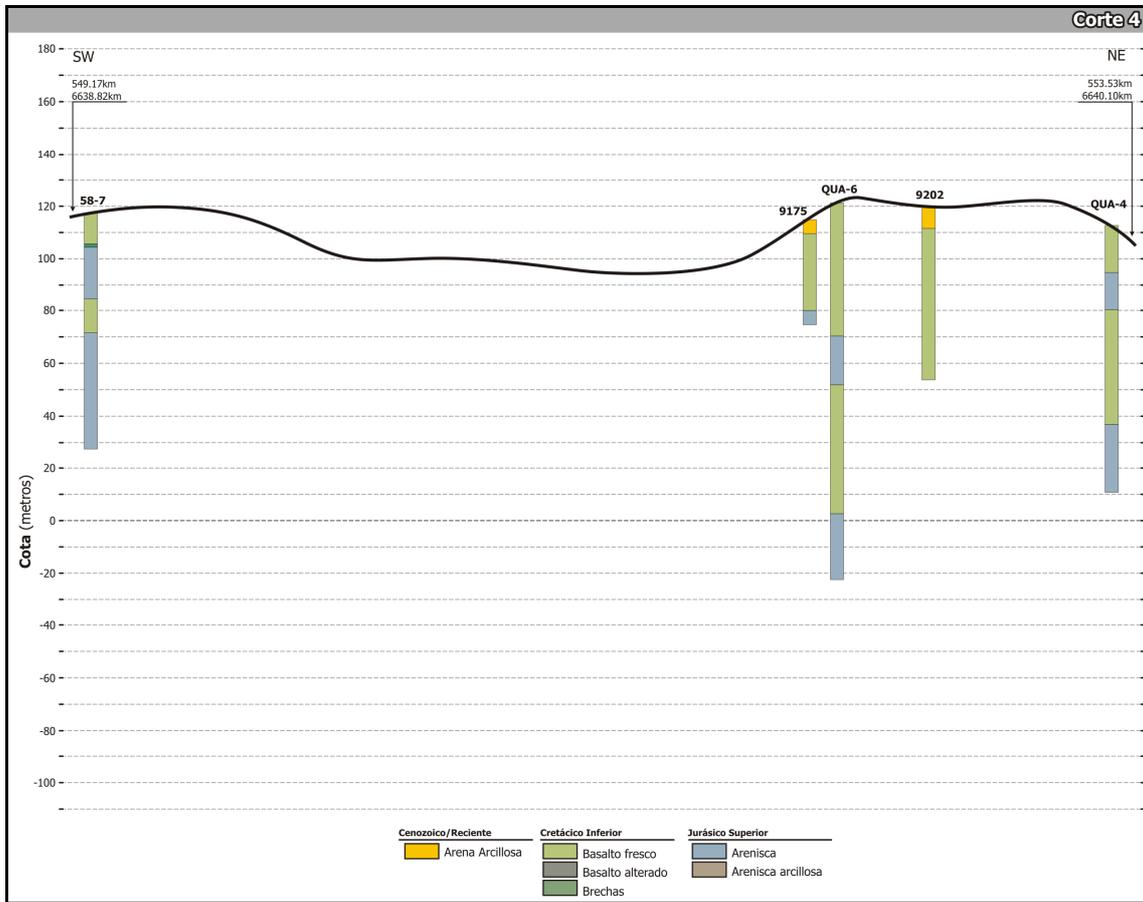


Figura 5-6: Corte 5: pozos con perfil litológico SW-NE, seccionando Río Quareí.

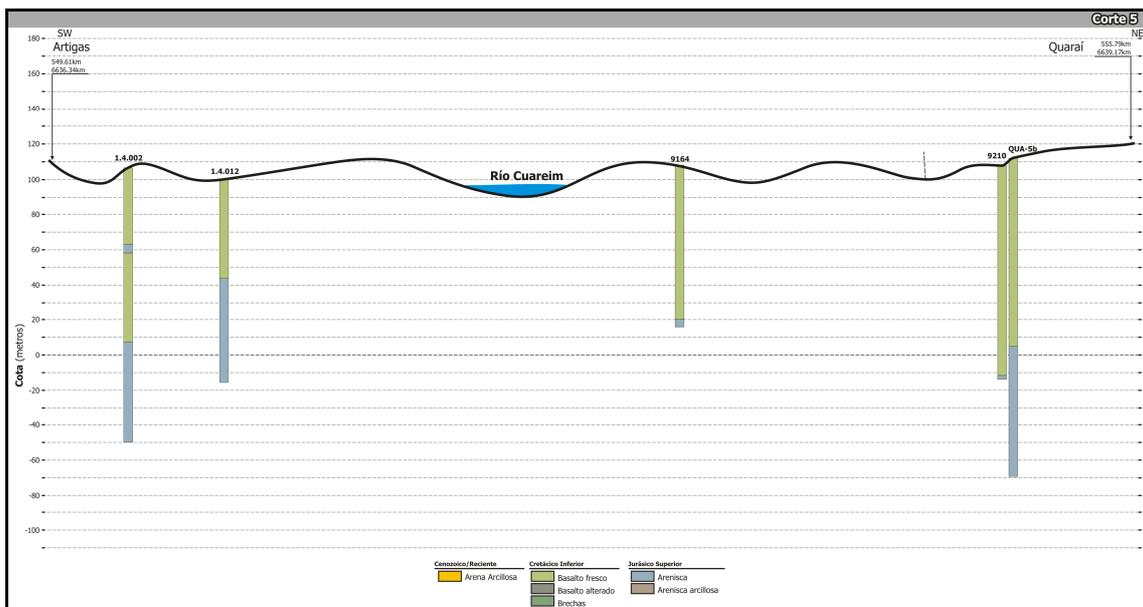
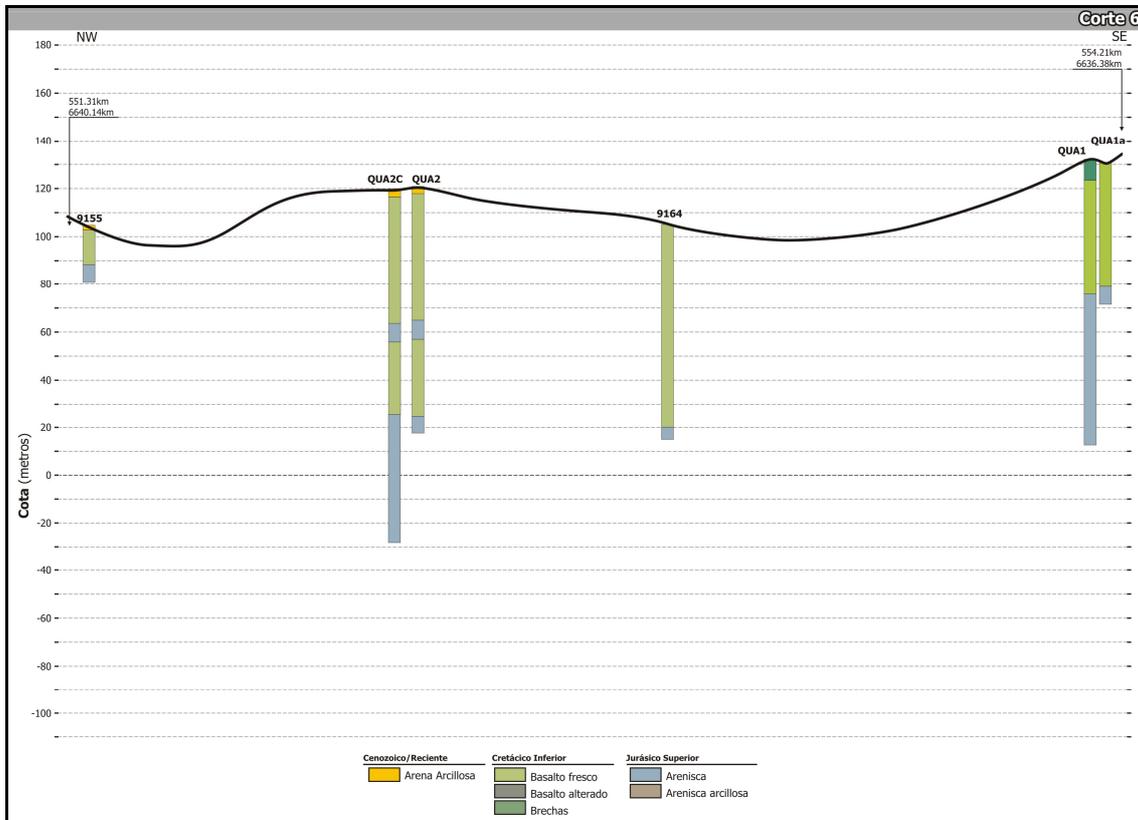




Figura 5-7: Corte 6: poços com perfil litológico NW-SE



A Figura 5-8 ilustra a geologia de superfície da área de estudo em Artigas-Quaraí com uma superfície de 244,80 km<sup>2</sup>. Com relação às áreas ocupadas por cada uma das formações, avaliou-se que 5,06 km<sup>2</sup> pertencem a Fm. Botucatu, 8,41 km<sup>2</sup> aos Aluviões associados aos Sedimentos Cenozóicos e a maior área, pertencente a Fm. Serra Geral com 231,33 km<sup>2</sup>.

A partir destas observações sugere-se que na área a tectônica rígida afetou os derrames vulcânicos sotopostos e as camadas de arenitos interderrames bem como as camadas de arenitos pertencentes ao SAG, gerando falhas de direções preferenciais NS; NE-SW e NW-SE. Estes alinhamentos foram afetados por deslocamento de blocos (basculamento) o que favoreceu a justaposição em superfície de arenitos e basaltos devido à formação de janelas (ventanas) ampliadas durante o intemperismo, numa escala de tempo geológico. De acordo com Pérez et al. (2000) Artigas esta situada no norte Uruguiaio sobre o SAG, em uma das bordas de contato entre a porção aflorante com a confinada (ventana).

Os cortes geológicos avaliados sugerem que não exista continuidade hidráulica entre camadas arenosas na área de Artigas-Quaraí relativas às porções superiores do terreno. Acredita-se que durante a fase erosiva as rochas vulcânicas teriam sido intemperizadas expondo as rochas sedimentares pertencentes ao SAG.

Estima-se que haja conexão hidráulica entre as fraturas/diáclases nos derrames vulcânicos de petrofábrica predominantemente maciça sobre os vacuolares e brechas. No estudo geológico realizado uma das únicas áreas onde se acredita que haja contribuição direta dos arenitos do SAG para as águas do Rio Quaraí, ou o contrário, dependendo do regime de chuvas. Localiza-se na região da *Piedra Pintada (Hoja K-5)*, atingindo uma cota de 170m, no seu topo. Este ponto



localiza-se no extremo sudeste desta folha (Colonia Pintado), fora da área de estudo.

No lado brasileiro, conforme ilustrado no mapa da Fig. 5-9 os sedimentos arenosos inconsolidados que formam os depósitos conhecidos como areais apresentam uma importante área de ocorrência na porção Leste da cidade de Quaraí. Estes depósitos têm importância, pois devem servir como áreas de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas para o SAG.

Como contribuições das Prospecções Geofísicas para entendimento da Geologia local e regional em Artigas-Quaraí:

O SEV AO5 realizado na margem esquerda do Rio Quaraí, próximo da desembocadura do Arroio Pintado e do Arroio Pintado Grande coordenadas (552662 E e 6633478 N) evidenciou a não existência de rochas vulcânicas neste setor, o que pode ser devido à formação de uma janela de afloramento de arenitos (ventana). O SEV indicou a presença de solos e/ou sedimentos Cenozóicos, com uma espessura entre zero até 3 metros, passando para rochas arenosas pertencentes ao SAG, com uma espessura estimada entre 40 até 100m.

Portanto neste setor (localidade próxima de Pintadito) acredita-se que haja conexão entre os arenitos do SAG, cobertos por uma pequena capa de solos e/ou sedimentos Cenozóicos com as águas do Rio Quaraí. O aporte do SAG para o Rio Quare ou recarga a partir deste, dependem do regime de chuvas neste ponto. Este mesmo tipo de observação pode-se fazer neste projeto, a partir da constatação de afloramentos de arenitos aflorantes, no extremo Sudeste da área no *Cerro da Piedra Pintada*. Estes materiais não foram representados no Mapa Geológico devido a sua pequena área de ocorrência.

Uma vez que ocorrem importantes áreas de afloramentos no lado brasileiro, identificados como sedimentos arenosos Cenozóicos, inconsolidados, formando areais aflorante, estas áreas podem ser importantes vias de infiltração de águas das chuvas para o SAG, representariam neste setor áreas de recarga direta. A área total avaliada para esta unidade geológica foi de 8,41 km<sup>2</sup>. Sugere-se que estudos futuros de mapeamentos geológicos e/ou geofísicos estudem melhor esta região, uma vez que não existe informações da existência de poços conhecidos buscando-se identificar conexões do SAG com o Rio Quaraí.

O AMTQ04 realizado a cerca de 740m do poço QUA 1A localizado na ETA da CORSAN, mostrou que na região onde foi realizada uma prospecção existem camadas de arenitos interderrames, com espessura avaliada em cerca de 24m. Em ambos os perfis geológicos QUA 1A (cota 124m) e QUA 1 (cota 121m) distantes cerca de 80m não foram constatados a ocorrência de arenitos interderrames até a profundidade de 134m. O poço QUA 1A apresenta uma capa de rochas vulcânicas de espessura de 52m e de arenitos de 74m. O poço QUA 1 apresenta uma espessura maior de rochas vulcânicas da ordem de 57m e de arenitos da ordem de 77m. Portanto numa escala de ordem de grandeza inferior a 800m mostrou-se que não há continuidade hidráulica entre arenitos e arenitos interderrames nas porções próximas a superfície do terreno. Fato anteriormente constatado por Pérez et al. (2000). Comportamentos semelhantes foram constatados nos SEVs realizados nas margens do Rio Quaraí, do lado de Artigas (A01, A02, A04).

O comportamento identificado nos SEVs Q01 e Q02, da ocorrência de uma delgada capa de rochas vulcânicas, associado a camadas de arenitos interderrames foi constatado, e retorno as rochas vulcânicas, foi evidenciado no Bairro Saladeiro em Quaraí. Estes SEVs foram localizados próximo do poço PMQ 23, pertencente ao Sr. Oli. No mapeamento geológico já haviam sido identificados em afloramentos, ou

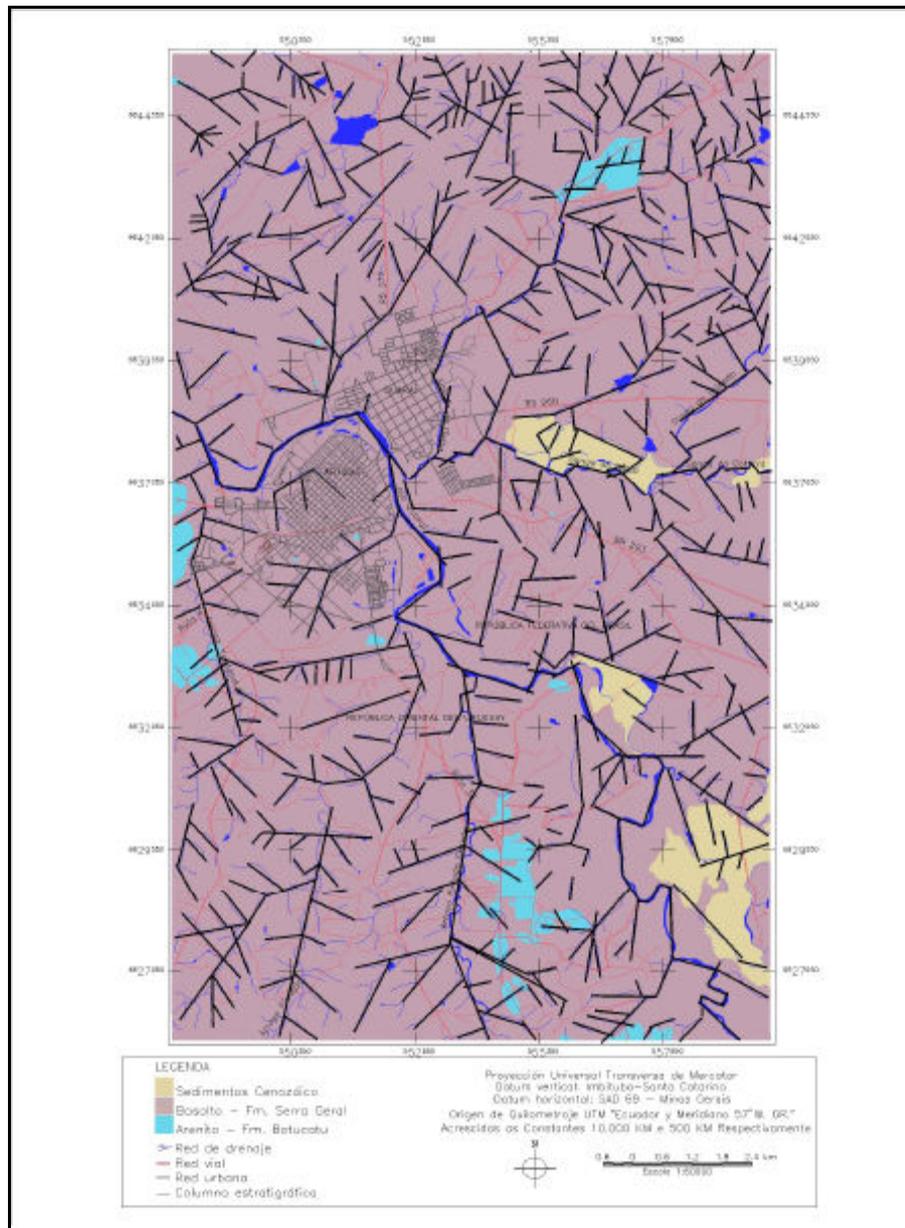
**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



seja, a ocorrência de uma pequena capa de rochas vulcânicas, com contatos brechóides a arenitos silicificados (de baixa permeabilidade), retornado a ocorrência de rochas vulcânicas com espessura avaliada em 55m. Daí a importância dos estudos conjuntos terem sido realizados em parceria IMFIA/UFMS.

Figura 5-8: Geologia de superfície em Artigas - Quaraí



### 5.3 Rivera - Livramento

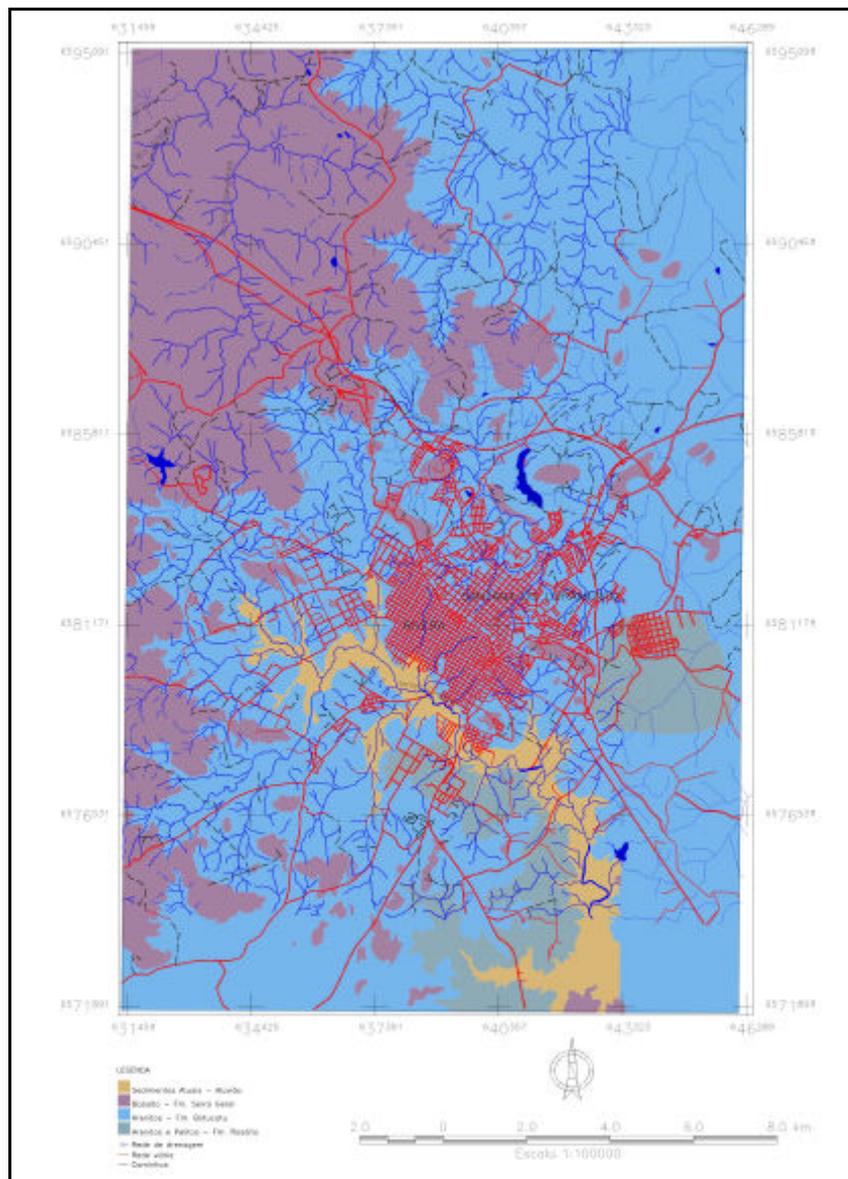
A Figura 5-10 ilustra o mapa geológico de superfície realizado na região de Rivera-Santana do Livramento, com uma área de afloramento estimada em 210,13 km<sup>2</sup>. Dois tipos de estruturas principais ocorrem nesta região, com o predomínio de áreas aflorantes dos arenitos eólicos da Formação Botucatu, com sets bem desenvolvidos constituindo arenitos altamente porosos e permeáveis, estima-se que 18-30% de porosidade de acordo com estimativas de Araújo et al. (1999). Por outro lado às formas de leito tabulares, mostrando arranjos amalgamados, contém materiais arenosos com 44% na fração areia, 38% na fração silte e ainda, cerca de

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**



18% de argilas, constituyendo a Formação Rosário do Sul. Deve-se salientar que atualmente já vem sendo denominada de Fm. Pirambóia de acordo com Machado (2006). Outra unidade de menor importância são os Aluviões Cenozóicos que ocorrem ao longo do Arroio Cuñapiru e em certas porções do Rio Quaraí entre as cidades de Artigas/Quaraí.

Figura 5-9: Geología de superficie en Rivera – Sant' Ana



Os derrames de rochas vulcânicas estão isolados em morros testemunhos e também formam a estrutura contínua denominada de *Cuesta* do HAEDO (Hausman 1995) e Silvério da Silva et al. (2004), com suas pendentes voltadas para a direção NW para o Rio Uruguai. Localmente é conhecida como Coxilha de Santana.

Estudos prévios de geologia e hidrogeologia foram desenvolvidos por Pérez e Rocha (2002), salientaram que a potência da Fm. Rivera era difícil de ser avaliada, mas de acordo com informações disponíveis de subsolo a partir de dados da OSE, não superaria uma espessura de 40m. Concluíram que a composição das águas

#### Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,

#### Estudio de vulnerabilidad en A-Q



avaliadas apresentavam um caráter bicarbonatado cálcico-magnésiano a bicarbonatado cálcico, com pHs ácidos entre 5 e 7.

#### **5.4 Conclusões parciais:**

As informações geológicas apresentadas neste relatório apresentam caráter informativo e sintético buscando servirem de referências nas interpretações dos diversos estudos realizados no Projeto Nº10, Fundo das Universidades.

Nas duas áreas de estudo avaliadas A-Q e S-R existem diferenças na distribuição lateral e vertical de litologia, que apresentam constituição predominantemente arenosas, formando aquíferos porosos, pertencentes ao SAG, ocorrendo em situações de afloramentos e também em subsuperfície, muitas vezes como interderrames. Estes arenitos apresentam texturas diferentes em termos de conteúdo de areia, silte e argila, bem como dos tipos de agentes cimentantes, o que se relaciona diretamente com sua condutividade hidráulica variável. Estes aquíferos porosos podem ser envelopados por uma seqüência de derrames de rochas vulcânicas de composição predominantemente basáltica a andesítica, os quais podem apresentar numa situação de Borda da Bacia do Paraná, diferentes graus de fraturamento e formação de diáclases, formando aquíferos cristalinos, fissurais.

A região de S-R situa-se na borda desta bacia, onde os eventos tectônicos foram mais sentidos com relação ao grau de fraturamento dos derrames de rochas vulcânicas, constituídos por petrofábricas: maciças, vacuolares, amigdalóides apresentando porosidade secundária. Estas fraturas/diáclases quando abertas facilitam a entrada de águas de precipitação pluviométrica, podendo desenvolver solos e intemperização destas rochas, possibilitando recargas indiretas. Estas estruturas foram mais bem visualizadas na área do *Cerro del Marco*, *Cerro del Estado*.

Na região de Q-A os efeitos da tectônica de borda da Bacia do Paraná, parecem ter sido mais importantes na geração de arenitos interderrames, depositados em antigos paleovales, indicando a contemporaneidade entre os dois eventos. A tectônica rígida de distensão gerou movimentação de blocos por basculamento possibilitando aos arenitos originalmente confinados a aflorarem, formando janelas (*ventanas*) na superfície ao longo de episódios erosivos, e servindo como área de recarga do SAG. As direções predominantes de linhas de falhas NW e NE deixaram camadas sedimentares, próximas da superfície do terreno até cerca de 90m, aproximadamente, sem continuidade lateral, formando aquíferos descontínuos.

Na região de A-Q inferiu-se que pode haver contribuição do SAG para a descarga do Rio Quarai ou infiltração de águas para o SAG em dois locais *Piedra Pintada*, afloramento do SAG, e na Planície Aluvial dos Arroios Pintado e Pintado Grande em Artigas.



## 6 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN A-Q

La prospección geofísica en el área citada fue realizada en dos etapas. La primera de ellas fue realizada en febrero de 2005 mediante sondeos AMT (Audio Magnetoteléuricos) mientras que en la segunda, en marzo 2005, los sondeos realizados correspondieron a SEVs (Sondeos Eléctricos Verticales).

En la siguiente tabla se presenta la identificación de los sondeos realizados y en el caso de los SEVs, el rumbo y apertura para cada uno de ellos. La

Figura 6-1 muestra la distribución en el área de estudio e identificación de los sondeos realizados, en relación a las perforaciones con perfil litológico

Tabla 6-1: Coordenadas de los Sondeos AMT

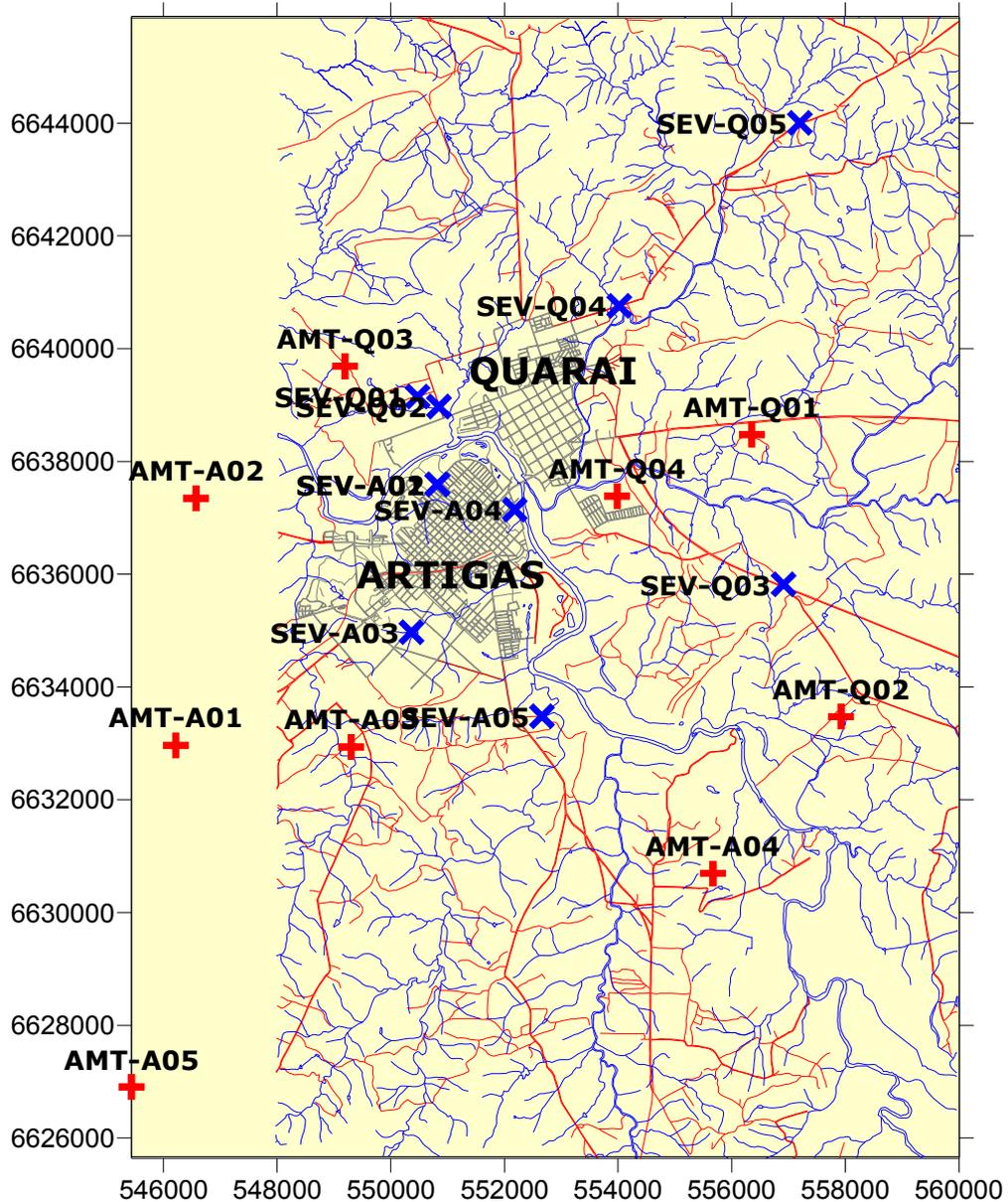
| Id punto | X (m)  | Y (m)   |
|----------|--------|---------|
| AMT-Q01  | 556354 | 6638476 |
| AMT-Q02  | 557926 | 6633472 |
| AMT-Q03  | 549197 | 6639686 |
| AMT-Q04  | 553984 | 6637387 |
| AMT-A01  | 546218 | 6632963 |
| AMT-A02  | 546576 | 6637347 |
| AMT-A03  | 549305 | 6632934 |
| AMT-A04  | 555668 | 6630691 |
| AMT-A05  | 545438 | 6626904 |

Tabla 6-2: Coordenadas de los Sondeos SEVs

| Identificación | Fecha     | X (m)  | Y (m)   | Rumbo | AB/2 (m) |
|----------------|-----------|--------|---------|-------|----------|
| SEV-Q01        | 7-mar-05  | 550472 | 6639150 | 70    | 250      |
| SEV-Q02        | 7-mar-05  | 550849 | 6638972 | 70    | 320      |
| SEV-Q03        | 8-mar-05  | 556914 | 6635820 | 330   | 450      |
| SEV-Q04        | 12-mar-05 | 554021 | 6640761 | 250   | 400      |
| SEV-Q05        | 11-mar-05 | 557198 | 6644005 | 90    | 150      |
| SEV-A01        | 8-mar-05  | 550822 | 6637594 | 150   | 320      |
| SEV-A02        | 8-mar-05  | 550822 | 6637594 | 60    | 250      |
| SEV-A03        | 9-mar-05  | 550366 | 6634972 | 45    | 110      |
| SEV-A04        | 10-mar-05 | 552183 | 6637148 | 350   | 450      |
| SEV-A05        | 9-mar-05  | 552662 | 6633478 | 340   | 320      |



Figura 6-1: Ubicación de los sondeos AMT y SEV



### 6.1 Sondeos AMT

Este método permite describir la estructura de una determinada porción de la corteza terrestre mediante la interpretación de las corrientes eléctricas y magnéticas naturales que por ella circulan por lo que no es necesaria la utilización de fuentes artificiales de energía en la realización de las medidas.

Existen numerosas fuentes de campos electromagnéticos naturales pero en el rango de medición de esta técnica ( $10^{-3}$  a  $10^4$  Hz.), éstos generados por tormentas eléctricas en la baja atmósfera (campos de 1 a 10 Hz) mientras aquellos de frecuencias menores a 1 Hz son generados principalmente por ondas hidromagnéticas en la magnetosfera.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



A los efectos de conductor eléctrico y magnético, la baja atmósfera puede ser considerada como un dieléctrico por lo que los campos que circulan en la corteza lo harán principalmente en forma paralela a la superficie de ésta. La presencia de campos con direcciones distintas a éstas responderá a anomalías ocasionadas por inducciones en la Tierra.

Dado que la amplitud, fase y la relación de las direcciones de los campos magnéticos y eléctricos dependen de la distribución de la conductividad eléctrica del medio, es a través de la interpretación de las mediciones realizadas que se determina la estructura de la corteza.

### 6.1.1 Equipamiento

- bobinas para medir el campo magnético
- 5 electrodos,
- Amplificadores
- Filtros
- Sistema de almacenamiento digital de las mediciones realizadas

El siguiente esquema muestra la configuración del sistema para realizar las mediciones en campo.

Figura 6-2: Configuración del equipo de mediciones para sondeo AMT

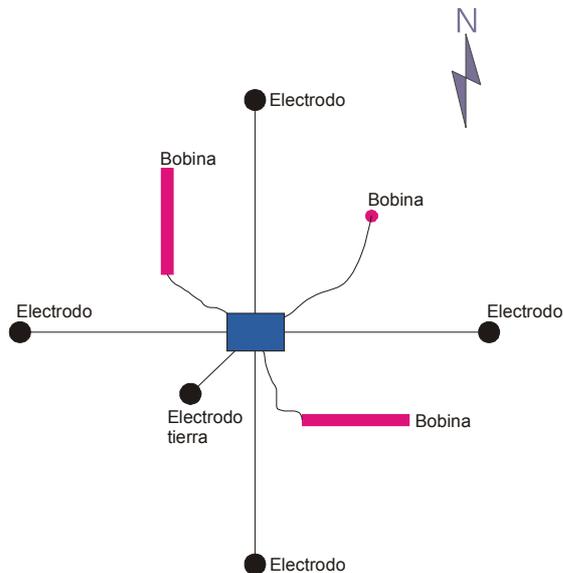




Figura 6-3: Equipamiento utilizado en campo para realización de los sondeos AMT



Se puede apreciar la bobina con orientada verticalmente



La figura muestra, el equipo de adquisición y almacenamiento de datos, batería de alimentación y GPS



Vista superior del equipo de adquisición y almacenamiento de datos



Caja con electrodos

Como podrá verse una de las dificultades del método es realizar mediciones en zonas que presenten niveles de ruido eléctrico.



Para minimizar la interferencia de corrientes artificiales, los sitios fueron elegidos tal que estuvieran lo más alejado posible de fuentes de este tipo de interferencias pero buscando distribuirlos de acuerdo a los objetivos planteados.

Además de determinar la estructura puntual del subsuelo en los lugares de realización de los sondeos y la posterior realización de cortes geológicos, se intentó determinar la existencia de variaciones importantes en cuanto a la existencia de desplazamientos estructurales significativos en el área.

Dada las limitaciones de tiempo, se optó por la realización de sondeos AMT con una duración mínima de cada sondeo de 2 horas.

#### 6.1.2 Resultados obtenidos

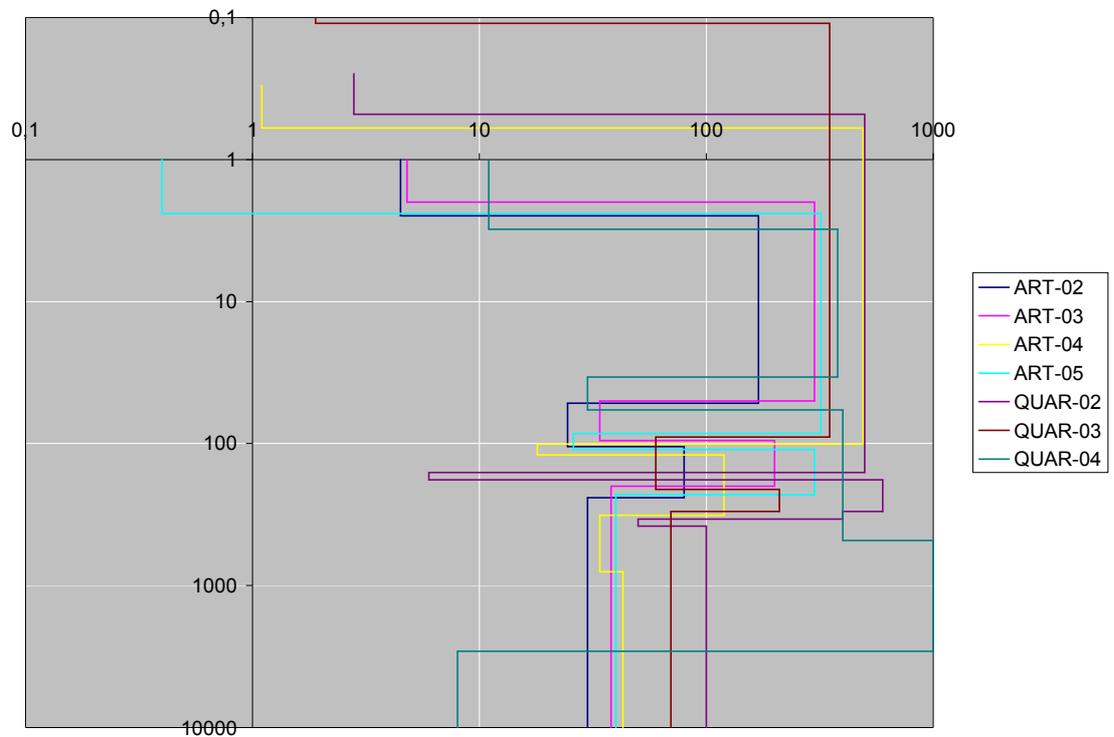
El sondeo AMT realiza medidas en dos direcciones perpendiculares y la curvas obtenidas pueden presentar un comportamiento distinto. Para realizar una interpretación en cada dirección hace falta conocer a priori, las principales características geológicas de lugar. Este conocimiento es fundamental para identificar cual es la curva que presentaría un mejor comportamiento e inclusive, ante la existencia de alguna anomalía, el arreglo del AMT se lleva a cabo orientando una dirección de éste, perpendicular y otra alineada con la anomalía. Caso contrario, ambas direcciones estarán cruzando la anomalía.

Por las razones expuestas, en este trabajo se realiza una interpretación unidimensional de los AMT realizados, que es, prácticamente, un promedio de ambas curvas.

La Figura 6-4 muestra la primera interpretación de los datos obtenidos en campo. Lamentablemente por la existencia de un ruido importante en los sondeos AMT-Q01 y AMT-Q04, éstos no pudieron ser interpretados y en el caso del sondeo AMT-A01, los datos no fueron registrados.

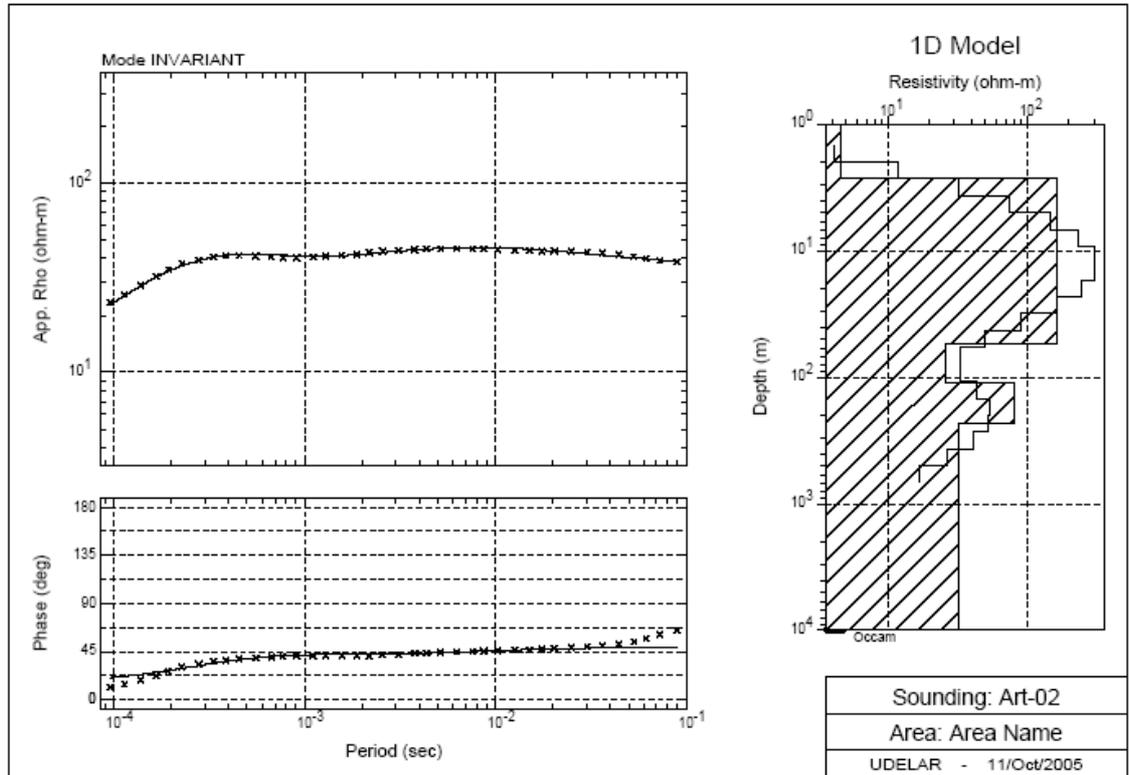


Figura 6-4: Curvas de los AMT realizados





**AMT – A02**



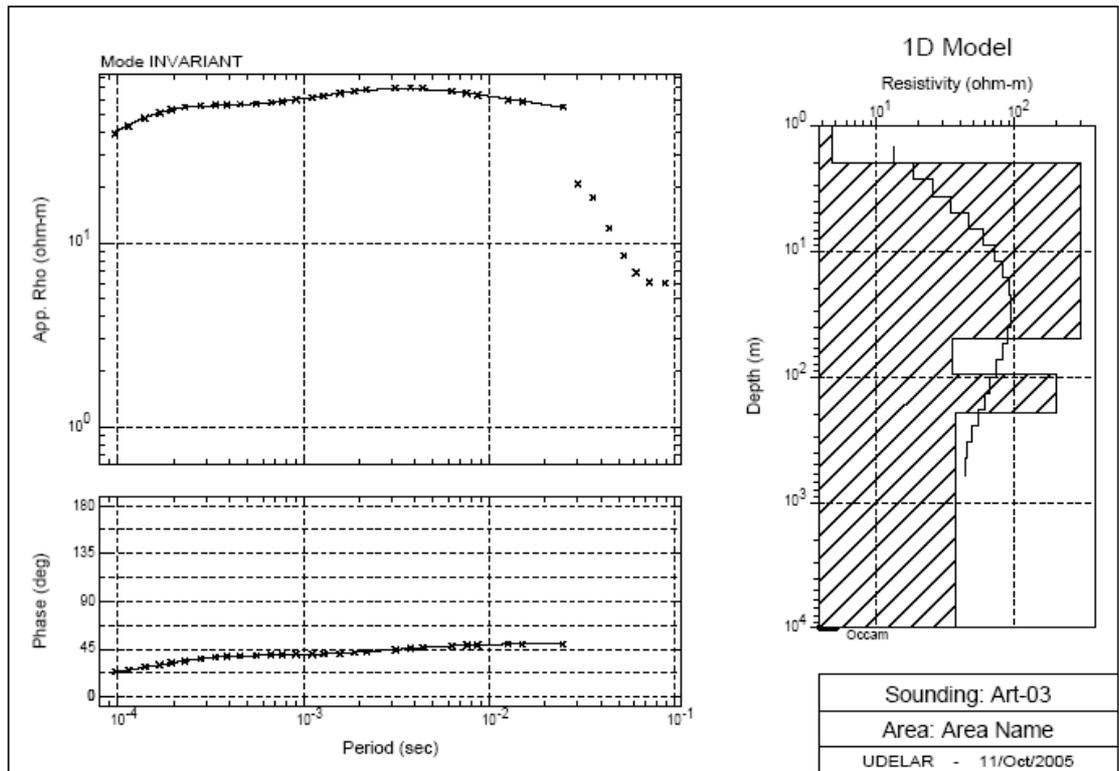
| ART-02          |                      |
|-----------------|----------------------|
| Profundidad (m) | Resistividad (Ohm/m) |
| 0 - 2,5         | 4,5                  |
| 2,5 - 52        | 170                  |
| 52 - 105        | 24,5                 |
| 105 - 240       | 80                   |
| 240 - 1000      | 30                   |

Los valores de resistividad indican la presencia de una primera capa de suelo seguida de basalto cuya potencia alcanza los 50 m.

De inmediato se observa una potente capa de areniscas interrumpida por un estrato de 135 m de espesor, cuya resistividad puede atribuirse a la presencia de una colada de basalto.



**AMT – A03**

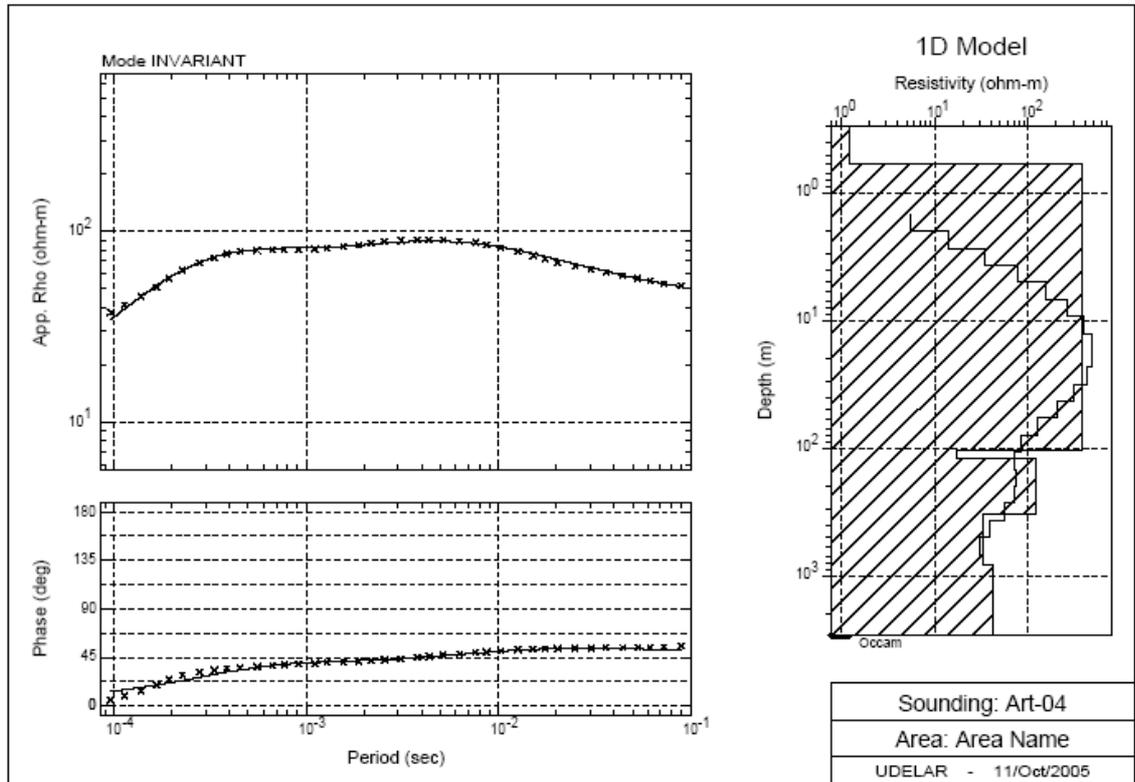


| ART-03          |                      |
|-----------------|----------------------|
| Profundidad (m) | Resistividad (Ohm/m) |
| 0 - 2           | 4,8                  |
| 2 - 50          | 300                  |
| 50 - 95         | 34                   |
| 95 - 200        | 200                  |
| 200 - 1000      | 48                   |

Luego de 2 m de suelo y hasta 200 m de espesor puede observarse un paquete basáltico (alta resistividad) con una intercalación sedimentaria de 45 m (baja resistividad). A posteriori, se insinúa el retorno de los sedimentos.



**AMT Art04**

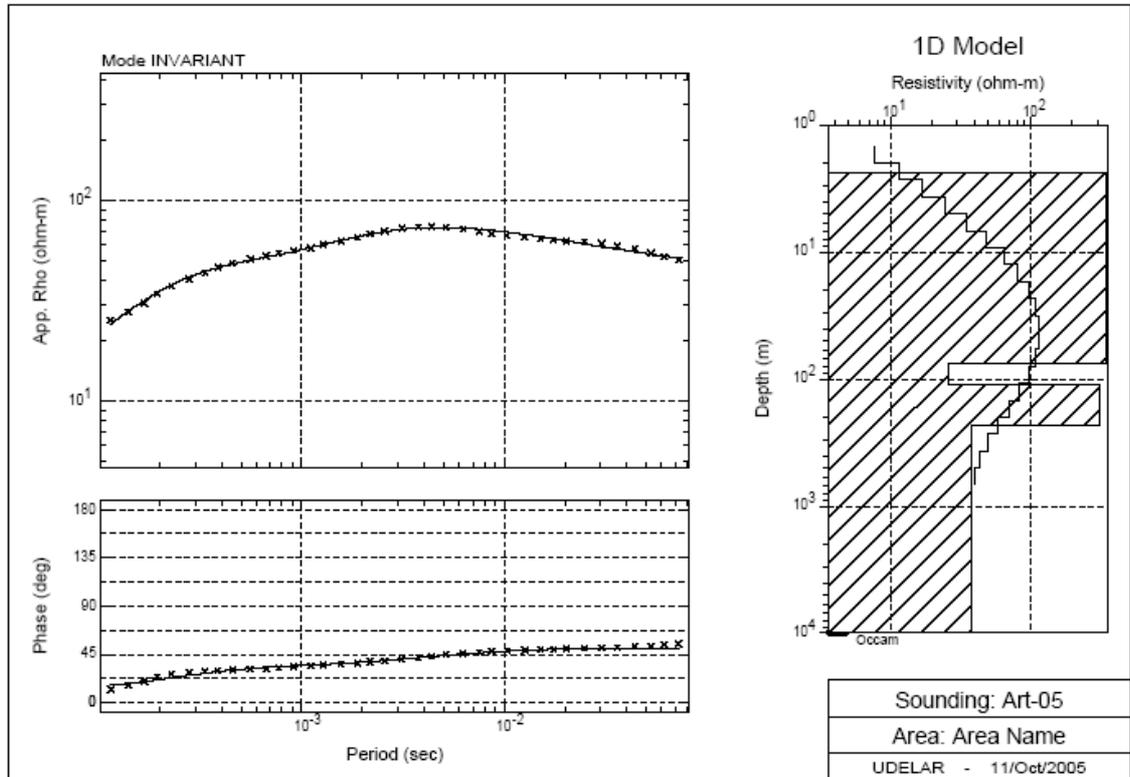


| ART-04          |                      |
|-----------------|----------------------|
| Profundidad (m) | Resistividad (Ohm/m) |
| 0,3 - 0,6       | 1,1                  |
| 0,6 - 101       | 490                  |
| 101 - 120       | 18                   |
| 120 - 320       | 120                  |
| 320 - 800       | 34                   |
| 800 - 1000      | 43                   |

Este AMT, luego de los primeros 100 de basalto, muestra una pequeña intercalación de 20m de areniscas para continuar luego con 200m de un basalto de resistividad menor, para continuar luego en areniscas nuevamente.



### AMT ART05



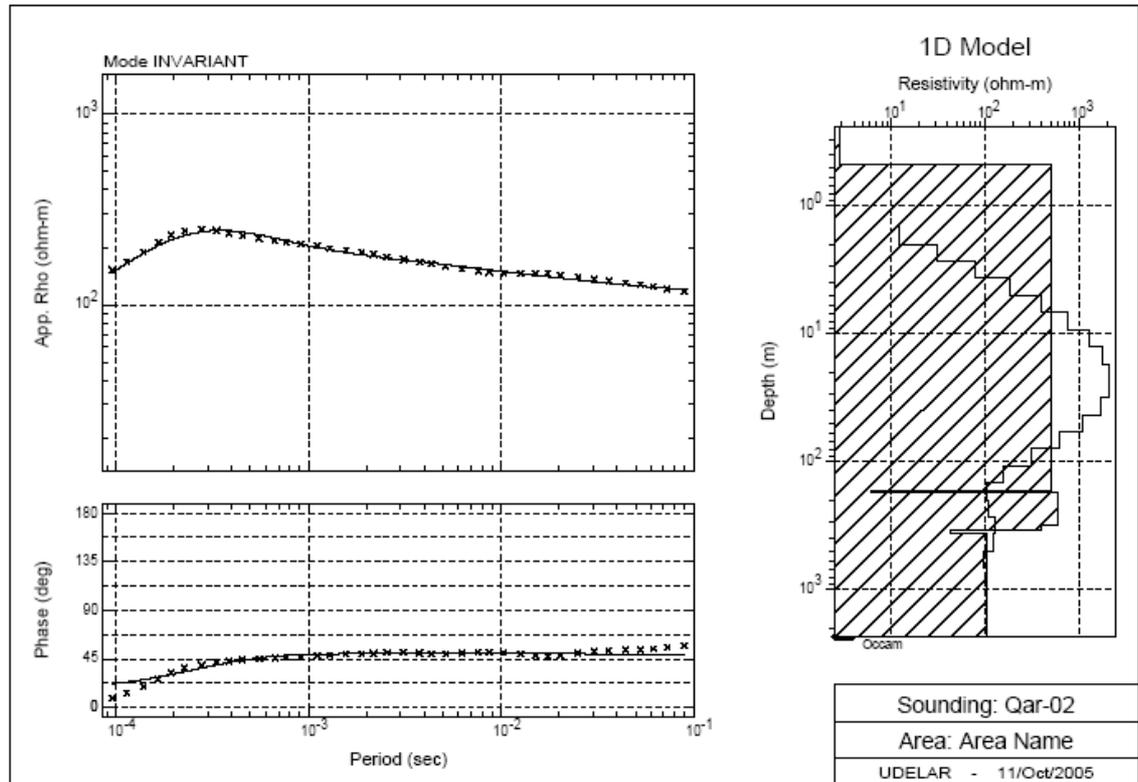
| ART-05          |                      |
|-----------------|----------------------|
| Profundidad (m) | Resistividad (Ohm/m) |
| 1 - 2,4         | 0,4                  |
| 2,4 - 85        | 320                  |
| 85 - 110        | 26                   |
| 110 - 230       | 300                  |
| 230 - 1000      | 40                   |

Se aprecia nuevamente la existencia de una capa de areniscas de 26m de espesor en un basalto cuya potencia alcanzaría los 220 m aproximadamente. Luego del basalto, el sondeo indica la existencia de areniscas Este sondeo es particularmente asimétrico en su comportamiento en las direcciones estudiadas. Se debe tener presente que existe una anomalía geológica próxima al lugar donde fue realizado.

La existencia de la anomalía geológica interfiere en la interpretación unidimensional. El promedio de ambas curvas no es una solución ortodoxa. La interpretación del paquete basáltico en la curva de 1D, próximo a una zona donde son visibles los afloramientos de areniscas es una consideración fuerte basada en un dato puntual y sería necesario realizar una interpretación en dos dimensiones con mayor cantidad de datos litológicos de perforaciones y sevs de apoyo.



### AMT Q02

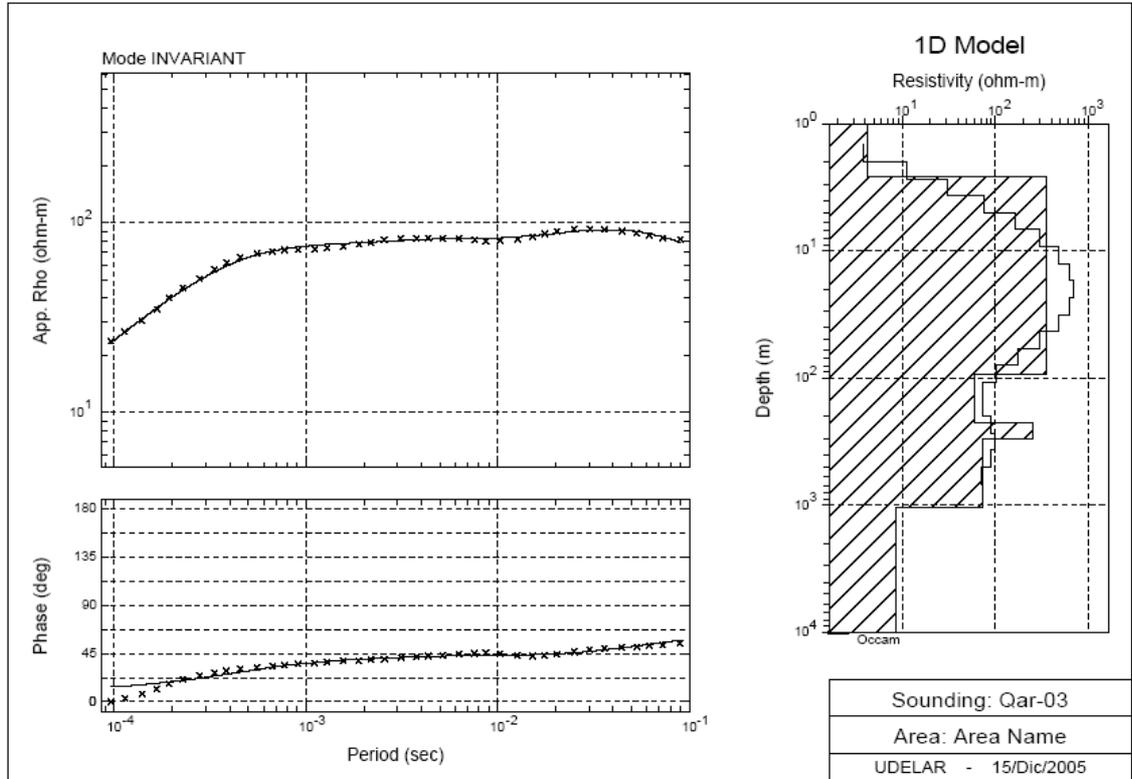


| QUAR-02         |                      |
|-----------------|----------------------|
| Profundidad (m) | Resistividad (Ohm/m) |
| 0,25 - 0,48     | 2,8                  |
| 0,48 - 160      | 500                  |
| 160 - 180       | 6                    |
| 180 - 300       | 600                  |
| 300 - 340       | 400                  |
| 340 - 380       | 50                   |
| 380 - 1000      | 100                  |

Este sondeo también presenta comportamientos distintos en ambas direcciones. Se identifica, sin embargo, una clara presencia de basaltos con importante potencia (resistividad de 400 a 500 ohm.m) seguidos de arenisca de potencia desconocida.



**AMT Q03**

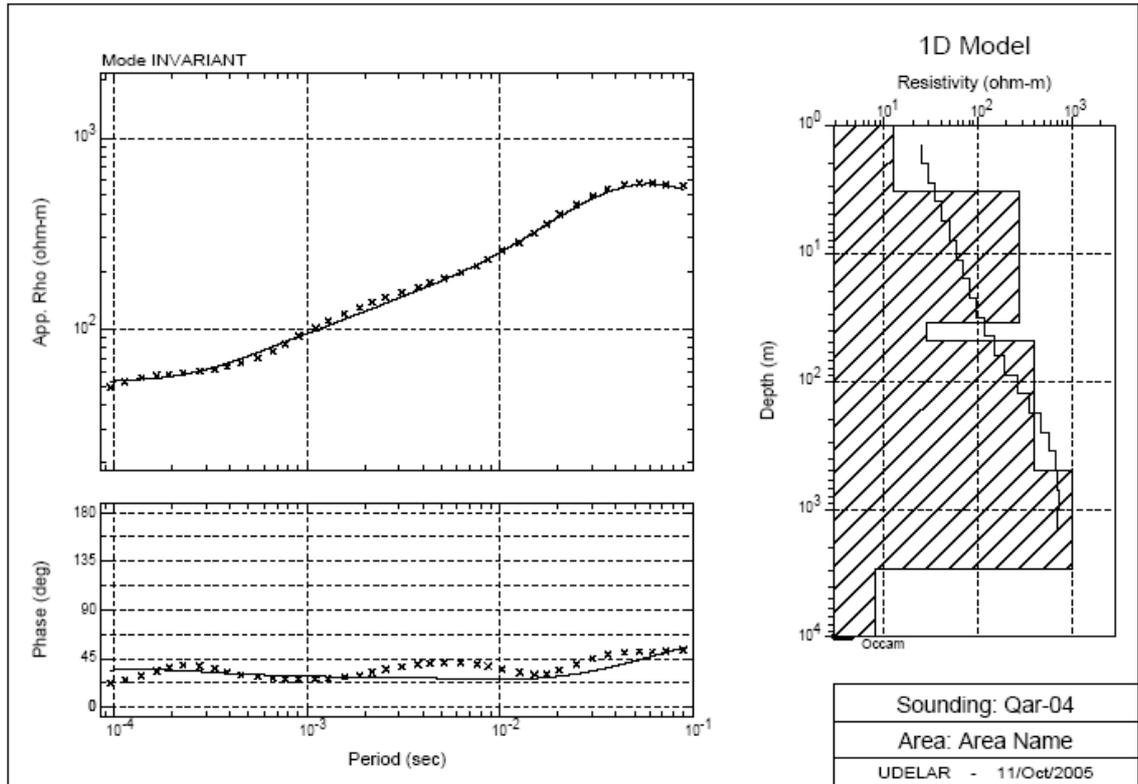


| QUAR-03         |                      |
|-----------------|----------------------|
| Profundidad (m) | Resistividad (Ohm/m) |
| 0,05 - 0,11     | 1,9                  |
| 0,11 - 90       | 350                  |
| 90 - 210        | 60                   |
| 210 - 300       | 210                  |
| 300 - 1000      | 70                   |

En un paquete de 300 m de espesor predominantemente basáltico se observa una intercalación de arenisca de aproximadamente 100m. posteriormente, reparecen las areniscas hasta una profundidad indefinida por el alcance del sondeo.



**AMT Q04**



| QUAR-04         |                      |
|-----------------|----------------------|
| Profundidad (m) | Resistividad (Ohm/m) |
| 1 - 3,1         | 11                   |
| 3,1 - 34        | 380                  |
| 34 - 58         | 30                   |
| 58 - 480        | 400                  |
| > 480           | 1000                 |

Próximo a este sondeo se cuenta con el perfil litológico de una perforación que acusa, tras el espesor basáltico, un estrato sedimentario de 60 m sin conocerse su continuidad.

La interpretación que aquí se presenta, quizás adolezca de una subestimación de la capa de arenisca intermedia (24 m). Cualitativamente, el sondeo muestra claramente (resistividad aparente - Período) la intercalación de estratos de menor resistividad en otro que probablemente sea basalto. No fue posible determinar la ubicación y espesores de estos intercalaciones.



## 6.2 Sondeos Eléctricos Verticales

Los métodos geofísicos son utilizados para distinguir o reconocer las formaciones geológicas en profundidad a través de un determinado parámetro físico que depende del método utilizado. En el caso del SEV el parámetro utilizado es la resistividad.

La ley de Ohm aplicada a un conductor lineal infinitesimal expresa:

$$I = -\frac{dV}{R} \quad (6-1)$$

Siendo  $dV$  = diferencia de potencial entre los extremos del conductor

$R$  = resistencia eléctrica del conductor

Por otro lado la resistencia ( $R$ ) es directamente proporcional a la longitud del conductor ( $L$ ) e inversamente proporcional a la sección de éste ( $s$ ) por lo que puede ser expresada mediante la siguiente fórmula:

$$R = \rho \frac{dL}{s} \quad (6-2)$$

donde  $\rho$  es la resistividad ( $\Omega m$ ) del material.

Es importante señalar la diferencia conceptual entre Resistencia ( $R$ ) y resistividad ( $\rho$ ). La primera es una característica de una determinada corriente eléctrica mientras que la resistividad es una propiedad física intrínseca de cada material conductor.

A partir de las ecuaciones anteriores se obtiene:

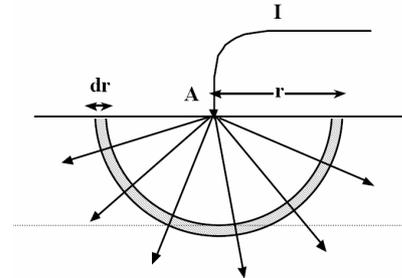
$$\frac{I}{s} = -\frac{1}{\rho} \frac{dV}{dL} \quad (6-3)$$



### 6.2.1 Descripción del método

Figura 6-5: Distribución del campo eléctrico en un medio isótropo y homogéneo

En un medio homogéneo e isótropico de resistividad  $\rho$ , se coloca un electrodo que introducen en dicho medio una corriente de intensidad  $I$  la distribución del campo eléctrico será la mostrada en la Figura 6-5



Por lo que, a partir de la ecuación ( 6-3) resulta:

$$dV = -\frac{I\rho dr}{2\pi r^2} \quad (6-4)$$

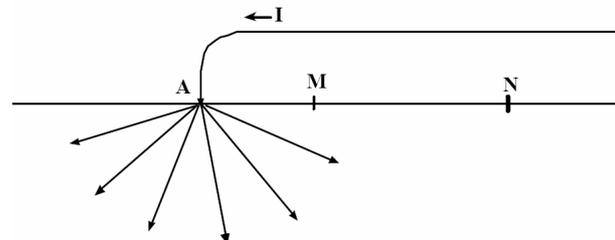
Integrando la ecuación anterior y asumiendo que  $V = 0$  en  $r = \infty$  obtenemos

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{r} \quad (6-5)$$

Por otro lado, siempre se cuenta con dos electrodos, A, positivo y otro B, negativo, que recoge la corriente enviada por A. Superponiendo los efectos de ambos electrodos en un punto M obtenemos que:

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{AM} - \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{BM} \quad (6-6)$$

Medir el potencial en un punto dado requeriría que el otro electrodo estuviera situado a una distancia muy significativa (infinito, teóricamente) del electrodo M. Naturalmente, por razones prácticas se determinará entonces la diferencia de potencial entre dos puntos MN





$$V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{AM} - \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{BM} - \left( \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{AN} - \frac{I\rho}{2\pi} \right) \quad (6-7)$$

Despejando la resistividad  $\rho$  se obtiene:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K \quad (6-8)$$

Siendo K:

$$K = \frac{2\pi}{I\rho \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad (6-9)$$

### 6.2.2 Configuración utilizada

Si bien en la deducción de las fórmulas, la disposición de los electrodos ha sido arbitraria, existen determinadas configuraciones caracterizadas por las distancias relativas entre AB y MN. Para la realización de los estudios de este proyecto la configuración adoptada es la de Schlumberger donde M y N son los electrodos de corriente mientras que A y B, los de potencial. Los electrodos M y N se sitúan entre A y B simétricamente desde el punto medio del segmento AB y en la recta que lo contiene.



Para esta configuración la resistividad aparente se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{2\pi}{I\rho \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad (6-10)$$

Para la deducción de las fórmulas se supuso que el medio donde se realiza la prospección es isótropo y homogéneo, estas dos hipótesis son difícilmente cumplidas, sólo en contadas ocasiones el medio es homogéneo y de ser así rara vez interesa su estudio dado que éstos se realizan para determinar los distintos materiales geológicos presentes en una determinada zona y sus espesores, así como la identificación de medios que contienen agua a partir de cambios en los valores de resistividad.

En base a lo expuesto, la resistividad determinada es un valor integrado de todas aquellas correspondientes a los distintos medios abarcados en el estudio la cual recibe el nombre de Resistividad Aparente.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



A medida que la distancia AB se incrementa, también lo hace la profundidad abarcada en la lectura realizada. Los valores de resistividad aparente obtenidos son graficados en función del valor de  $AB/2$  para el cual fueron obtenidos.

### 6.2.3 Valores de resistividad

Los valores de resistividad para distintos materiales varían principalmente debido a la porosidad, al agua que contienen y su salinidad, más que por la composición mineralógica, lo que hace que cada material presente una gran variabilidad en sus valores de resistividad, lo cual queda de manifiesto en la siguiente tabla.

|   | Resistividad ( $\Omega m$ ) |
|---|-----------------------------|
| Rocas ígneas y metamórficas inalteradas                         | > 1000                      |
| Rocas ígneas y metamórficas alteradas o fuertemente diaclasadas | 100 a 1000                  |
| Calizas y areniscas   | 100 a más de 1000           |
| Arcillas  | 1 a 10                      |
| Limos   | 10 a 100                    |
| Arenas  | 100 a 1000                  |
| Gravas  | 200 a más de 1000           |

Es importante notar que en materiales detríticos, la resistividad aumenta con el tamaño de grano, lo que mayores resistividades implicarán mayores permeabilidades, es decir, mayor posibilidad de conducir agua.

Además de los valores de referencia mostrados anteriormente, se consideraron los valores propuestos por Oleaga<sup>1</sup>, los cuales se muestran en la Tabla 6-3.

<sup>1</sup> Contribución a la Hidrogeología del Acuífero Guaraní en el sector Uruguay, un enfoque integral, Tesis de Maestría, México, 2002.



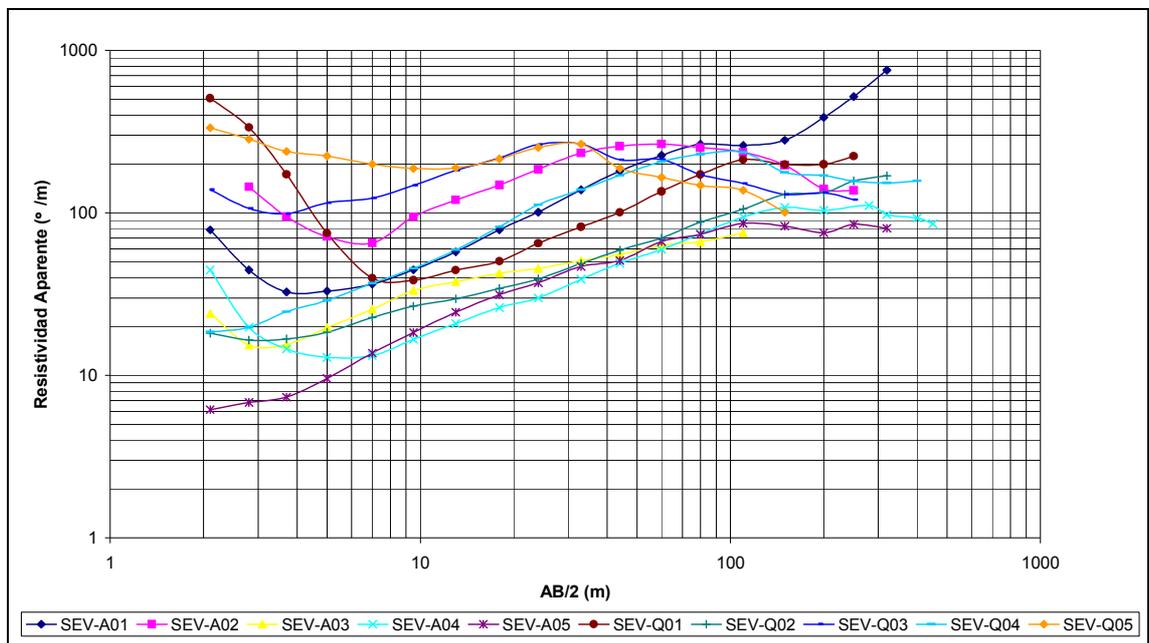
Tabla 6-3: Valores de resistividad eléctrica

| Litología           | Período                                     | Resistividad Eléctrica (Ohm-m) |             |
|---------------------|---|--------------------------------|-------------|
|                     |   | Intervalo de variación         | Valor medio |
| Sedimentos          | Cretácico Superior                          | 11 a 15                        | 12          |
| Basalto             | Cretácico Inferior                          | 50 a 650                       | 200         |
| Rocas sedimentarias | Jurásico - Triásico                         | 17 a 70                        | 30          |
| Diabasas            | Triásico<br>Cretácico Superior <sup>o</sup> | 450 a 600                      | 500         |
| Rocas sedimentarias | Devónico<br>Pérmico <sup>-</sup>            | 3 a 14                         | 9           |
| Basamento           | Precámbrico                                 | 480 a 520                      | 500         |

#### 6.2.4 Datos obtenidos

La campaña de SEVs fue realizada entre el 7 y 12 de marzo de 2005. En la Figura 6-6 se muestran las curvas de resistividad aparente obtenidas a partir de los sondeos realizados.

Figura 6-6: Curvas de resistividad aparente para los sondeos obtenidos



#### 6.2.5 Interpretación de los resultados.

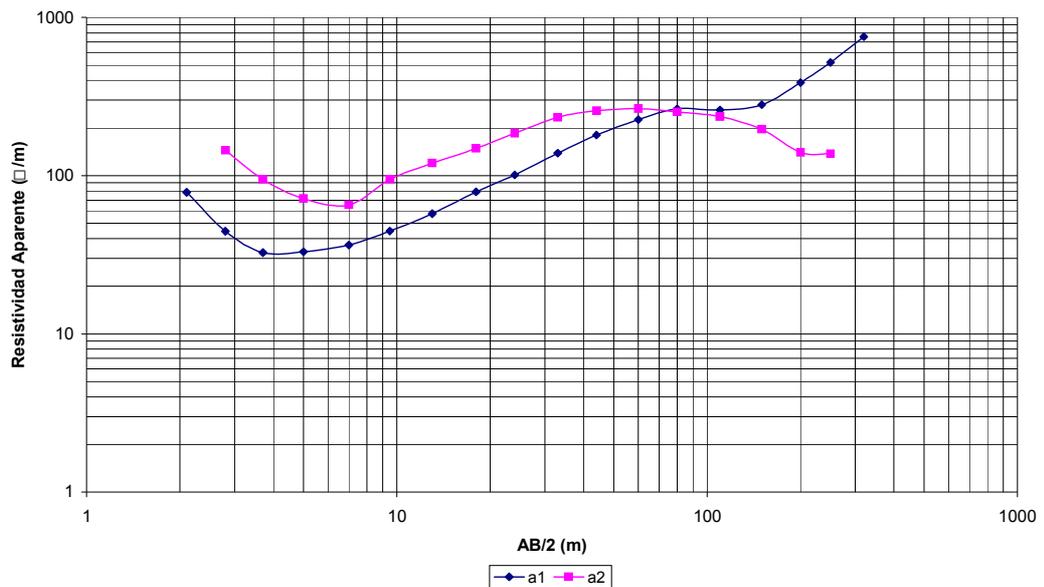
La interpretación de las curvas fue realizada teniendo en cuenta las perforaciones cercanas, el conocimiento del lugar adquirido en las salidas de campo y el software correspondiente.



## SEV-A01 y A02

Estos sevs fueron realizados en cruz, es decir, orientados perpendicularmente y con origen de aperturas en el mismo punto. Los resultados obtenidos, si bien muestran un comportamiento similar en sus tramos iniciales, presentan una variación en los valores de resistividad. Por otro, lado los tramos finales de las curvas presentan comportamientos disímiles, lo cual indica la existencia de un medio no homogéneo en la zona alcanzada por los SEVs..

Figura 6-7: Curvas de campo de los SEVs A01 y A02



Ambas curvas muestran la existencia de una capa de baja resistividad que en el sondeo A1 presenta una potencia menor y acotada entre dos formaciones de mayor resistividad. Contrariamente, el sondeo A2 muestra que esta capa de baja resistividad que precede a una de mayor resistividad, tiene una expresión, en cuanto a su espesor, no definida.

El primer tramo ascendente de ambas curvas muestra la presencia de una capa cuya resistividad es atribuible a la existencia de basaltos en el subsuelo lo cual es coherente con los cortes cercanos al área estudiada mediante estos SEVS

En el SEV A1, no fue posible ajustar el último tramo de la curva, pero con la comparación de los resultados puede verse la importante diferencia de espesores de basalto

Figura 6-8: Interpretación del SEV A01

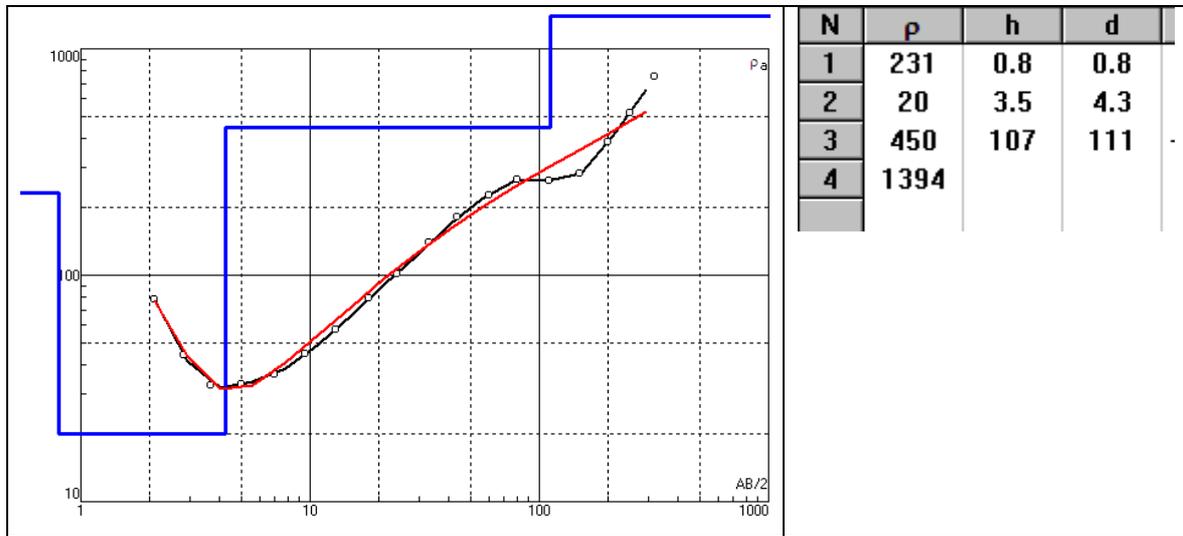
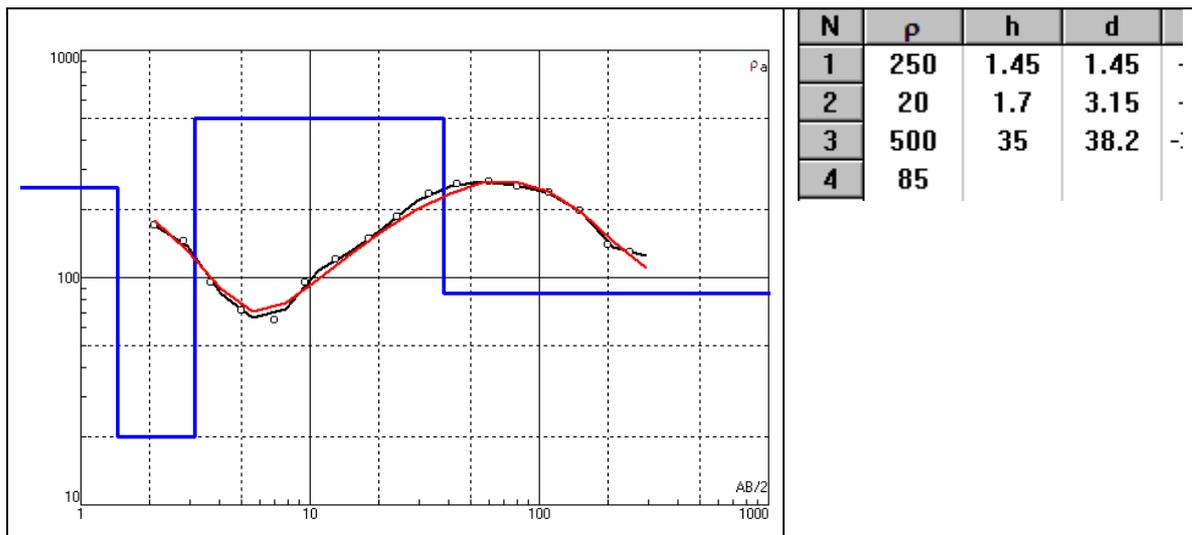


Figura 6-9: Interpretación del SEV A02



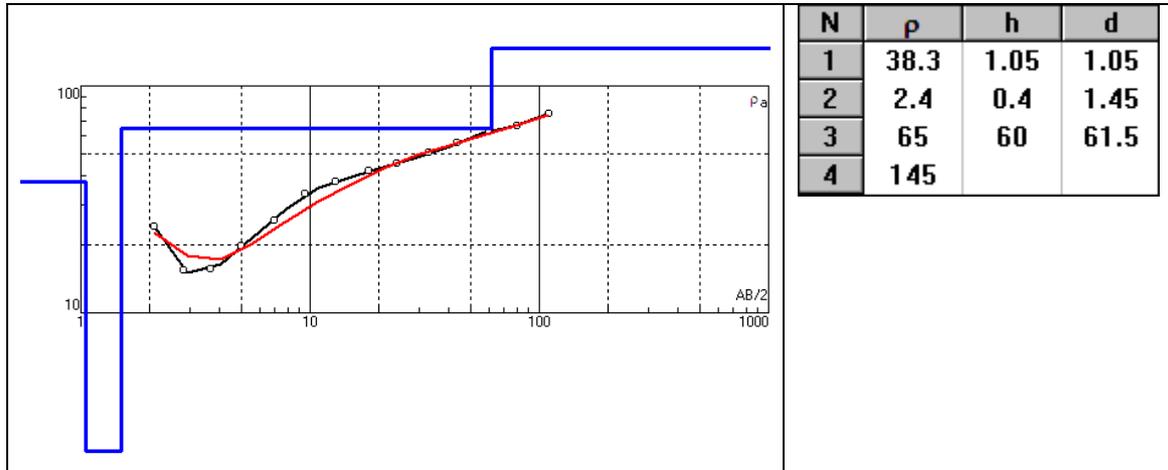
### SEV A03

El sondeo A3 fue realizado muy próximo a la perforación 1.4.016 la cual tiene una profundidad de 202 m. El perfil encontrado, corresponde a una arenisca con una intercalación de mayor arcillosidad.

Los bajos valores de resistividad del sondeo confirman lo identificado en la perforación. El cambio de pendiente en la curva de resistividad puede ser atribuible a la existencia de un espesor saturado. Esta hipótesis no es verificable mediante la interpretación del sondeo y deberá verificarse con datos de nivel de agua



Figura 6-10: Interpretación del SEV A03



### SEV A04

Este sev fue realizado muy próximo al Río Quareim, en una zona cuya geología de superficie indica existencia de basalto. Muestra una cobertura inicial de 3 capas de baja resistividad que en conjunto alcanzan aproximadamente 23 m. Luego se presenta una capa que puede tener entre 70 y 140 m con una resistividad de 360 a 200 ohm.m, respectivamente y que correspondería al basalto.

Figura 6-11: Interpretación del SEV A04 – primera interpretación

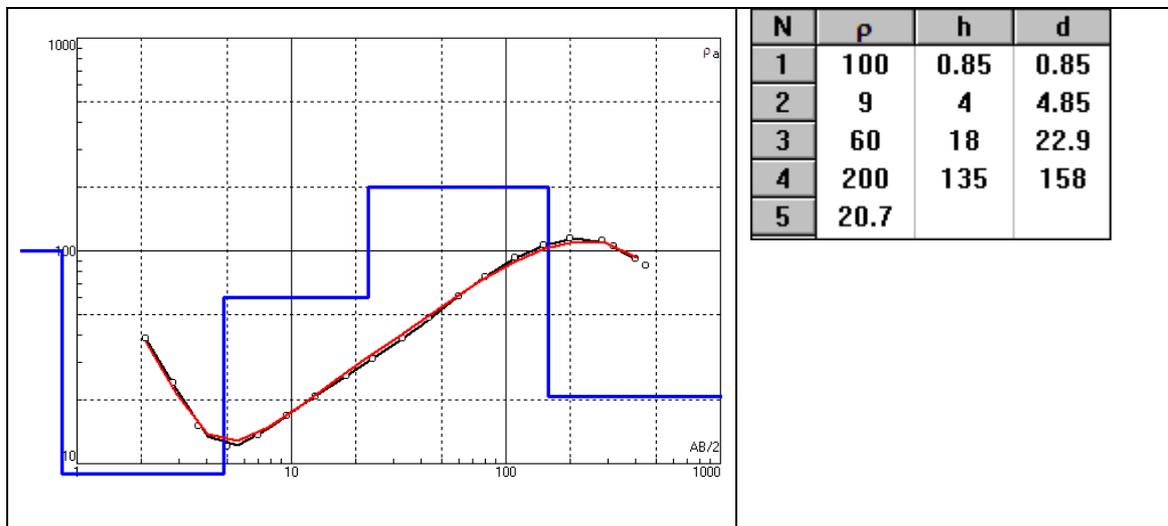
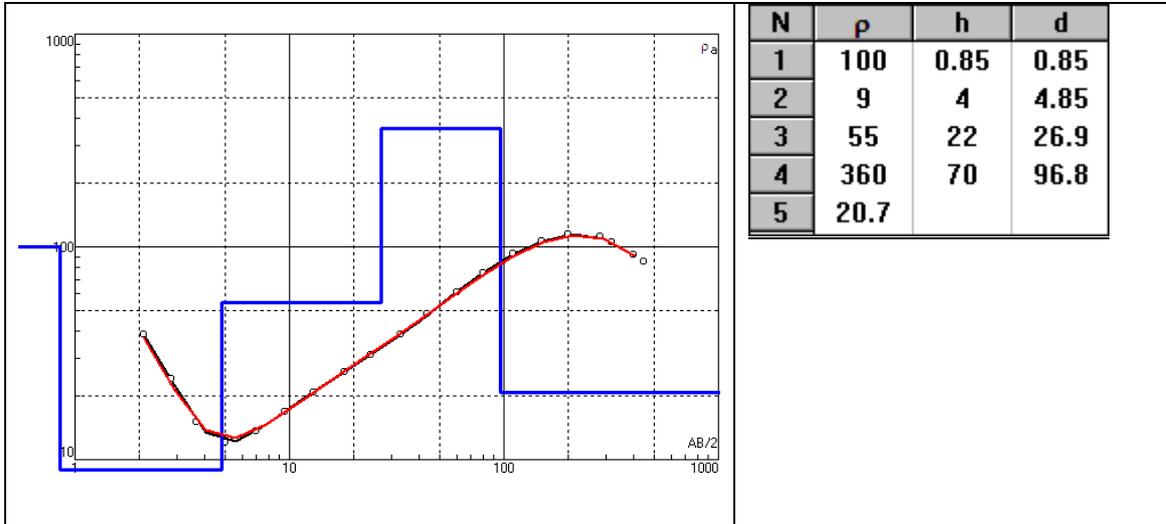




Figura 6-12: Interpretación del SEV A04 segunda interpretación

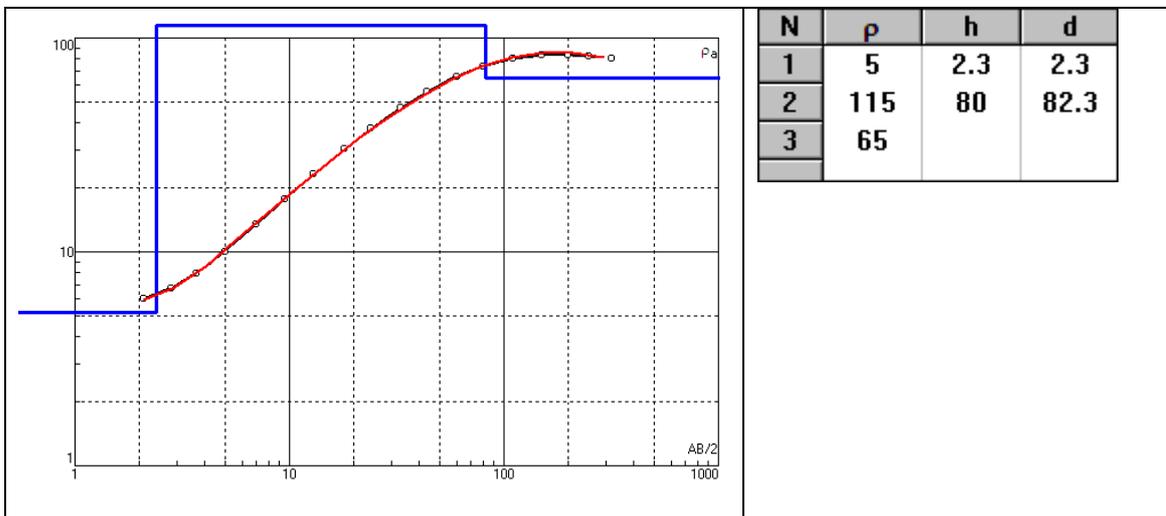


### SEV A05

Este SEV fue realizado en una zona baja, próxima al Río Quareim, probablemente su planicie de inundación.

A continuación se presenta la interpretación de la curva de resistividades aparentes.

Figura 6-13: Interpretación del SEV A05



La misma es ajustada identificando un suelo como primer estrato, cuyo espesor es de 2 a 3 m, seguido por una arenisca cuyo espesor podría variar entre los 40 y 100m. En este punto no se identifica la presencia de basalto.

### SEV Q1

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

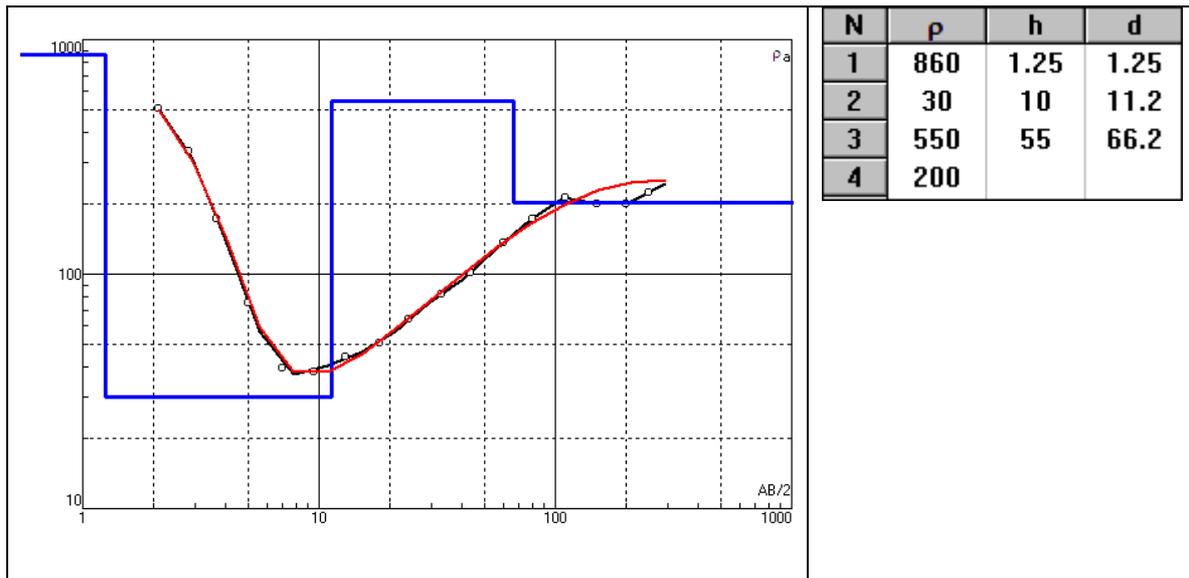
**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



De acuerdo a la curva obtenida y la interpretación realizada, se infiere la existencia de una primera capa altamente resistiva (830 ohm.m), de 1.2 m, seguida de una capa de muy baja resistividad (30 ohm.m). Posteriormente, se identifica una capa con una resistividad similar a la correspondiente a la primera capa y cuyo espesor tiene 55 m aproximadamente.

No es posible lograr un ajuste adecuado del último tramo de la curva.

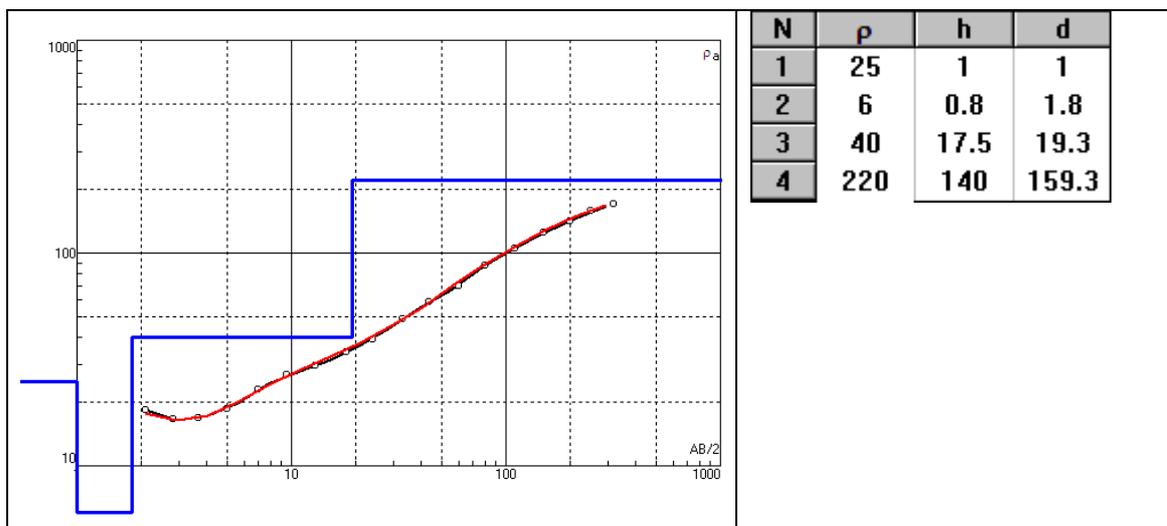
Figura 6-14: Interpretación del SEV Q01



### SEV Q02

Este sev se realizó a escasos 420 m del anterior. La interpretación sugiere la inexistencia de la primera capa altamente resistiva identificada en el SEV Q1, y de la tercera capa de iguales características. Los primeros estratos corresponden a suelo o areniscas seguidos por un capa importante de basalto.

Figura 6-15: Interpretación del SEV Q02



### SEV Q03

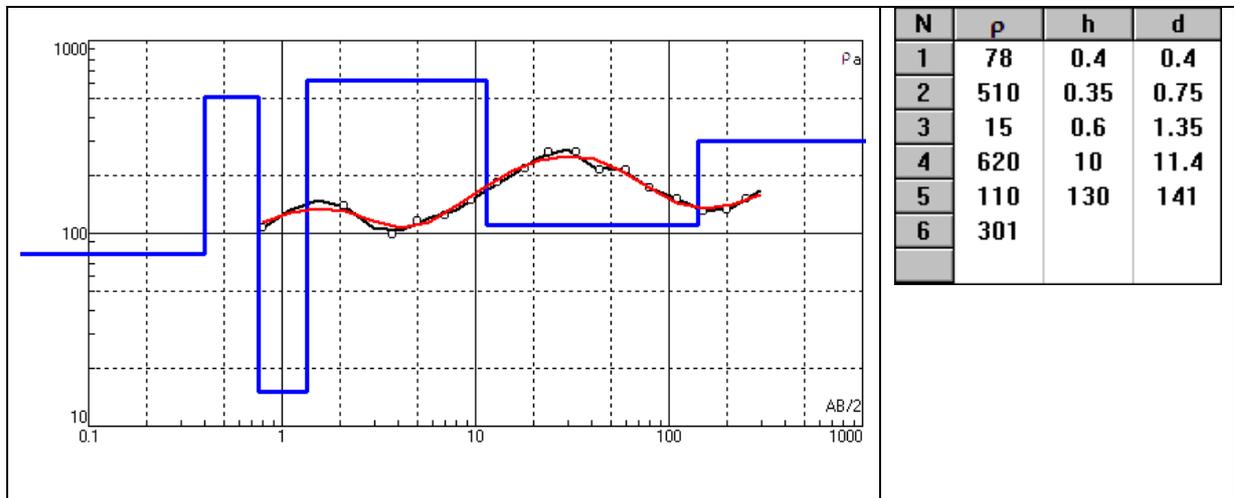
Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,

Estudio de vulnerabilidad en A-Q



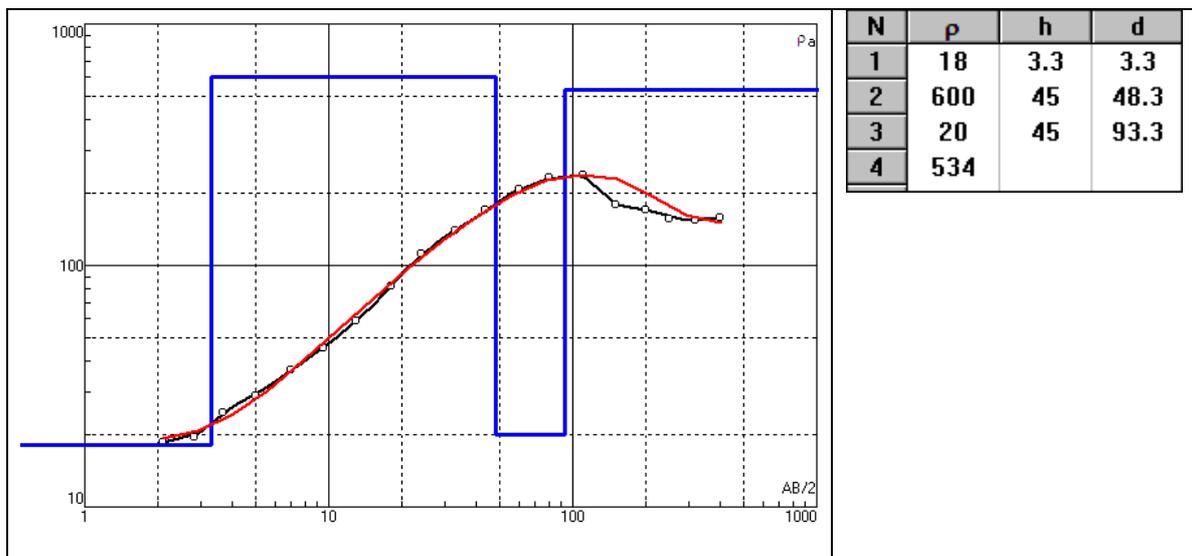
En este SEV se ve claramente la intercalación de estratos de resistividad contrastante. Es destacable la potencia de la arenisca (130m) al final del sondeo.

Figura 6-16: Interpretación del SEV Q03



#### SEV 04

Figura 6-17: Interpretación del SEV Q04



La curva indica 5 m de terreno de baja resistividad, luego 45 m de basalto seguido de areniscas de igual potencia, contrastando con la existencia posterior de un basalto.

#### SEV Q05

Este sev fue realizado sobre un afloramiento de arenisca. El perfil indica una alta resistividad en superficie, debido a la ausencia total de agua (1.5m). Luego se observan 7 m de un material de resistividad menor (150 ohm.m) y posteriormente con valores de resistividad semejantes a los de superficie, un estrato de unos 15m.



Finalmente, vuelve a encontrarse, aunque sin determinar su potencia, un terreno de resistividad similar al segundo estrato.

Figura 6-18: Interpretación del SEV Q05 – modelo de 3 capas

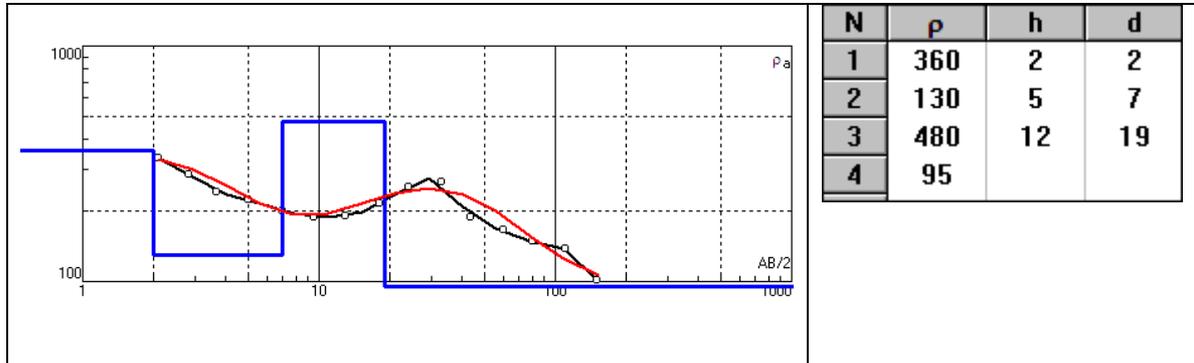
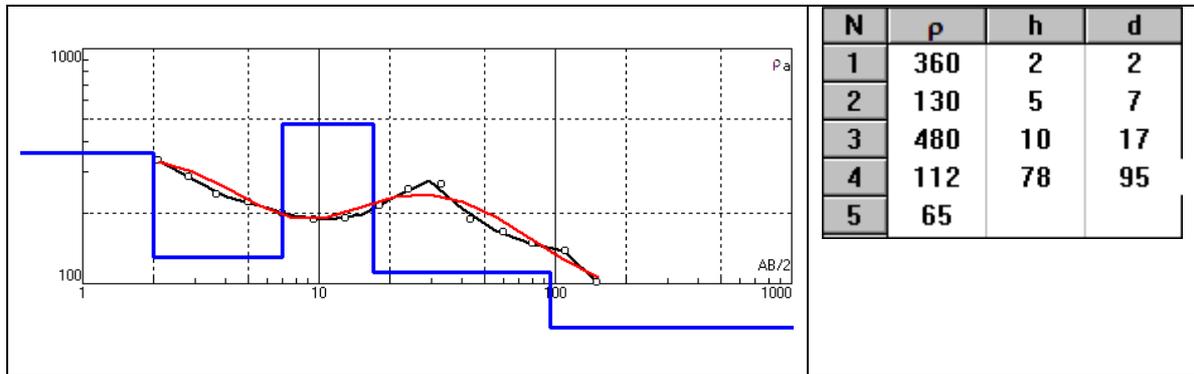


Figura 6-19: Interpretación del SEV Q05 – modelo de 4 capas



La interpretación con 4 capas permite realizar una estimación de la potencia de la última capa identificada en la interpretación con 3 capas.

### 6.3 Conclusiones

Los valores de resistividad interpretados corresponden a un análisis global de los sondeos realizados en el área de estudio.

Es satisfactoria la coherencia entre la litología observada en las perforaciones existentes con los SEVs y los sondeos AMT. Algunas indefiniciones o discordancias encontradas especialmente en la interpretación de la metodología audio magneto telúrica es atribuible al forzamiento que implica la construcción de un modelo unidimensional cuando las curvas de campo marcan diferentes comportamientos en direcciones ortogonales.

La metodología AMT, trabaja en una escala de un orden de magnitud superior a los SEVs realizados y las perforaciones existentes en el banco de datos. Esto permite inducir con aceptable seguridad la litología del subsuelo más allá de los primeros 200m donde se cuenta con información bien determinada mediante observación directa.

La conjunción de métodos geofísicos y mecánicos han permitido el reconocimiento de por lo menos 500 m de subsuelo.



## 7 ENSAYOS CON TRAZADORES

Para buscar elementos que pudieran ayudar a evaluar el comportamiento del flujo de agua subterránea se seleccionaron algunas perforaciones donde se aplicaron técnicas de pozo único, utilizando cloruro de sodio como trazador. Los ensayos realizados fueron de marcado de toda la columna de agua y en un caso, de inyección puntual.

El ensayo de marcado de columna, además de posibilitar la detección y evaluación de la magnitud de flujos verticales y horizontales, permite distinguir zonas de captación o de mayor conductividad hidráulica. Consiste en liberar el trazador a lo largo de toda la columna de agua de la perforación o en tramos determinados y estudiar la evolución temporal de la concentración del trazador en dicha columna.

El ensayo de inyección puntual consiste en liberar un pulso del trazador en una profundidad determinada, evaluando luego la evolución del pico de concentración a lo largo del tiempo.

Dada las características químicas del agua de la zona de estudio, se utilizó como trazador una solución saturada de sal común y su evolución se estudió midiendo la variación en el tiempo de la conductividad eléctrica en la columna de agua en la perforación.

### 7.1 Descripción del procedimiento

En primer lugar se realiza una medición discreta de la conductividad eléctrica y la temperatura del agua en toda la columna de agua de la perforación a estudiar.

Para liberar el trazador, se utiliza una manguera de diámetro conocido que se introduce dentro de la perforación. Conociendo el nivel piezométrico y la profundidad hasta la que desea marcar, puede calcularse el volumen de trazador necesario para lograr una concentración adecuada que permita estudiar su evolución mediante el seguimiento de la conductividad eléctrica a lo largo del perfil y del tiempo.

Figura 7-1: Preparación del ensayo



Una vez determinado el volumen, se prepara la solución saturada en cloruro de sodio y se vierte en la manguera que se encuentra dentro de la perforación. Luego se retira la manguera asegurando una distribución uniforme a lo largo de la columna de agua de la solución de agua y cloruro de sodio. Posteriormente, se



realizan mediciones periódicas en toda la columna o en las zonas de interés. A las medidas de conductividad obtenidas se las corrige restándole el valor inicial de dicho parámetro en cada punto.

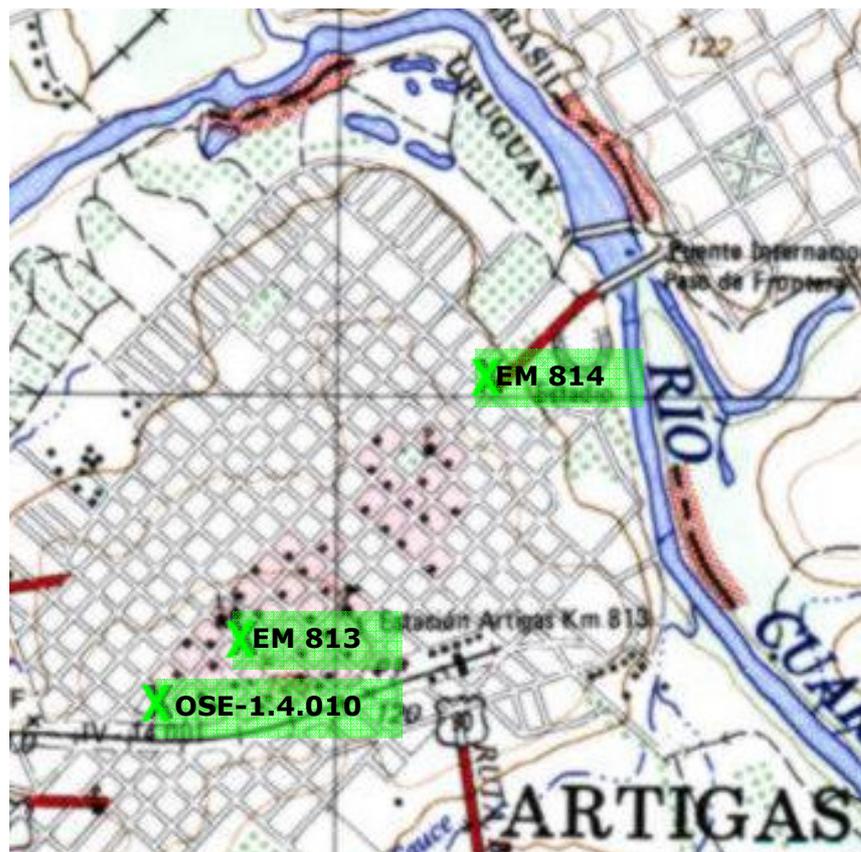
Para la medición de la conductividad eléctrica y la temperatura en la columna de agua de las perforaciones se utilizó una sonda Cond 197i de WTW.

## 7.2 Selección de perforaciones a ensayar

Este tipo de ensayo requiere que la perforación donde se desea realizar no cuente con el equipo de bombeo instalado, de modo de poder liberar el trazador y bajar el sensor de la sonda sin que exista riesgo de atascamiento. Por lo tanto, el número de pozos aptos para este ensayo suele ser limitado.

En el área de estudio correspondiente a la ciudad de Artigas se encontraron tres pozos accesibles y no equipados que se muestran en la Figura 7-2. Ellos son los pozos EM 813 en la Plaza Batlle del centro de la ciudad de Artigas, EM 814 sobre la calle Paseo 7 de setiembre de Artigas, ubicada en el área de parques de la planicie de inundación del río y OSE-1.4.010 ubicado en el predio de las oficinas de OSE en Artigas.

Figura 7-2: Ubicación de los pozos donde se realizaron los ensayos



## 7.3 Ensayos realizados

### 7.3.1 Pozo EM 814

Esta perforación está ubicada en la ciudad Artigas, próxima al río Cuareim, en una zona topográficamente baja de la zona de estudio. La cota de la boca de pozo en el sistema uruguayo de coordenadas (nivel medio del puerto de

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



Montevideo como datum vertical) es de 96.77 m, y en el sistema brasileiro (datum vertical Imbituba) es de 97.42 m. Pertenece a la Intendencia Municipal de Artigas y fue construido para regar los parques pero nunca se equipó. La boca del pozo tiene tapa roscada y se encuentra dentro de una cámara de hormigón.

Información sobre el pozo brindada por el perforista (El Molino):

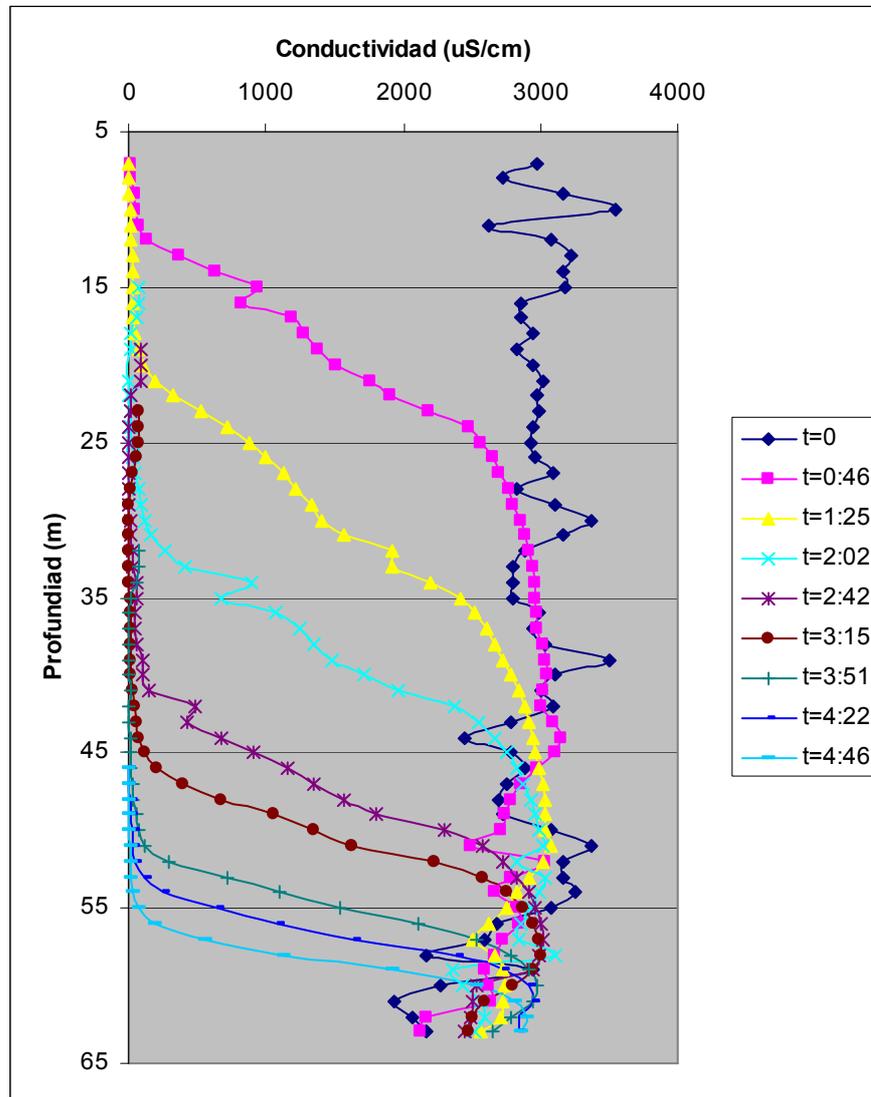
|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Profundidad:                  | 62m                                     |
| Entubamiento:                 | longitud = 6m<br>diámetro = 6" (hierro) |
| Caudal estimado:              | 15000 l/h                               |
| Profundidad a nivel estático: | 20 m                                    |
| Descripción litológica:       | basalto, tosca porosa, piedra de arena  |

#### Marcado de columna (17/12/04)

El perfil natural de conductividad eléctrica de la columna de agua de la perforación no mostró mucha variación obteniéndose valores cercanos a los  $800\mu\text{S}/\text{cm}$ . La Figura 7-3 presenta la evolución temporal del perfil de incremento (respecto del perfil inicial) de conductividades eléctricas. La misma permite observar la presencia de flujo y estimar velocidades a través del desplazamiento del frente salino y el tiempo transcurrido entre mediciones.



Figura 7-3: Marcado de columna en la perforación EM 814



De la evolución de los perfiles de conductividad eléctrica se observa que:

- existe flujo vertical, lo que implica que el pozo está conduciendo agua entre dos niveles de agua con distinta carga piezométrica. El flujo es descendente, por lo tanto hay un nivel superior de agua con mayor carga que el nivel inferior.
- hasta los 40 metros de profundidad existe un flujo descendente con una velocidad aproximada de 12 m/h (lo cual suponiendo un radio de pozo constante de 6" significa un caudal de 220 l/h aproximadamente)
- desde los 40 m la velocidad del flujo descendente se reduce a la mitad tomando un valor aproximado de 6 m/h.

Dada la profundidad de la perforación, la ocurrencia del flujo vertical descendente implica que un estrato conteniendo agua con cierta carga hidráulica está aportando agua a través del pozo a otro con menor carga que se encuentra sobre los 62 m de profundidad. Esto evidencia la presencia de un estrato impermeable o semipermeable entre ambos niveles de agua. Por la ubicación del pozo puede pensarse en agua contenida en el basalto superficial alterado, cuya



carga hidráulica esté gobernada principalmente por el nivel del río y que a través de la perforación encuentra su camino o un camino más fácil hacia las areniscas que subyacen al basalto y que contienen agua a menor carga.

El cambio en la velocidad del flujo descendente puede tener origen en dos causas posibles: a) aumento de la sección de la perforación (nótese que el tubo está presente sólo hasta los 6 m de profundidad) de modo duplicarse el área de circulación y así disminuir a la mitad la velocidad, suponiendo caudal constante, o b) disminución del caudal de agua que circula por la perforación, lo que implicaría un egreso de agua desde la perforación hacia el medio acuífero.

La breve descripción que se tiene de la perforación no contiene la información de las profundidades en que ocurren cambios de litología. De todos modos, postular que en el entorno de los 40 m de profundidad comienzan las areniscas es compatible con los cortes geológicos realizados a partir de perforaciones de las que sí se tiene descripción detallada. El cambio de medio podría ocasionar un cambio en el diámetro de la perforación, pero esto ocurriría en caso que la perforación estuviera en explotación y no sería esperable en este caso en que está ocurriendo una inyección de agua hacia la arenisca.

Por lo expuesto, y porque el agua inyectada tiene que salir de la perforación hacia el acuífero, se considera apropiado tomar la opción b) como la válida. Esto se refuerza en que, pese a lo irregular del marcado inicial, no puede apreciarse un cambio en la concentración inicial en torno a los 40 m que sugiera un cambio significativo de sección.

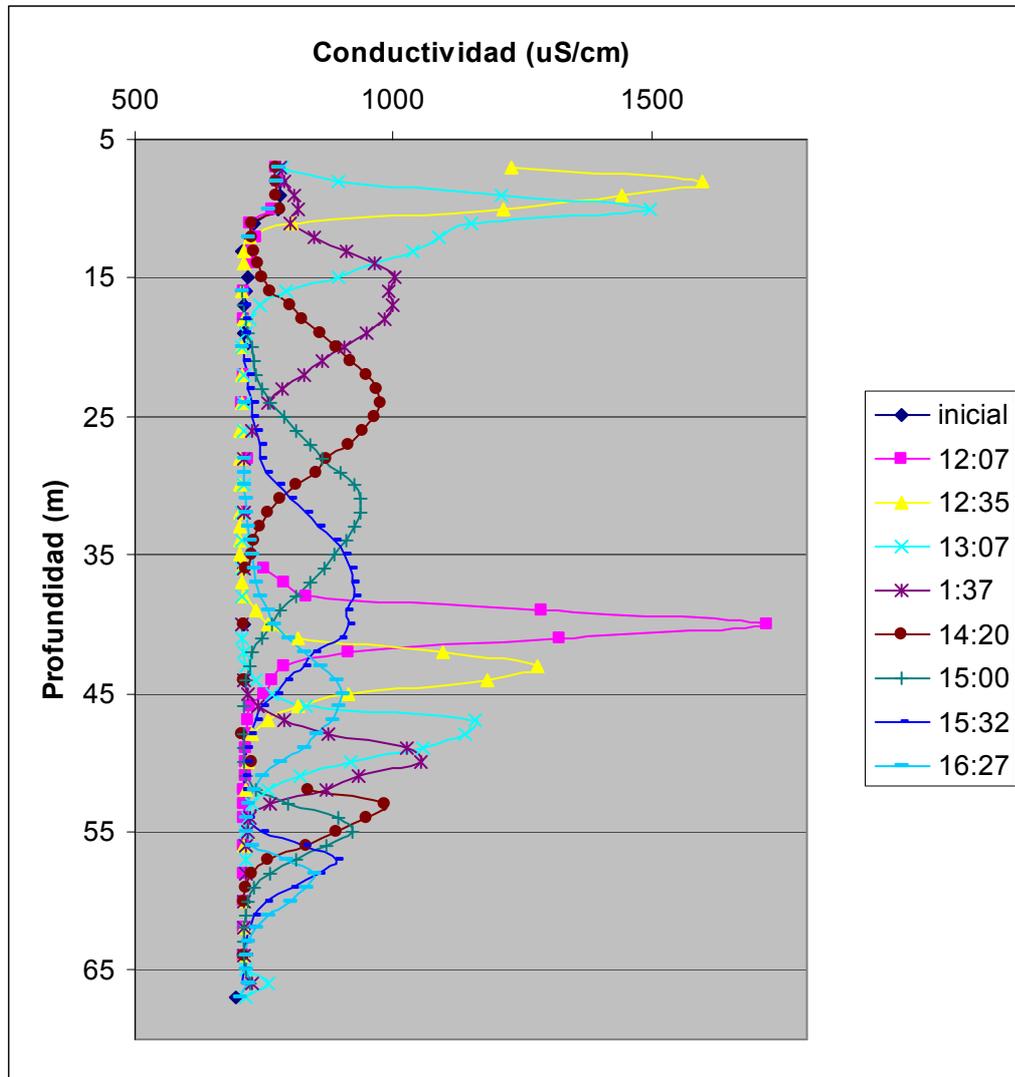
Así, a partir de este ensayo se concluye que existe un aporte de agua, al menos a través de la perforación del ensayo, desde un nivel superior hasta uno inferior donde se encuentran las areniscas, que ingresa a las mismas a partir de los 40 m de profundidad.

#### Inyección puntual (12/3/05)

Se procedió a marcar la columna de agua en dos puntos para obtener una mejor estimación de la velocidad vertical y de la ubicación de las capas que aportan y reciben caudal. La Figura 7-4 y las dos que le siguen muestran los resultados obtenidos en la medición de los perfiles de conductividad eléctrica luego de las inyecciones puntuales. Mediante este ensayo se confirmó lo concluido a partir del ensayo de marcado de toda la columna.



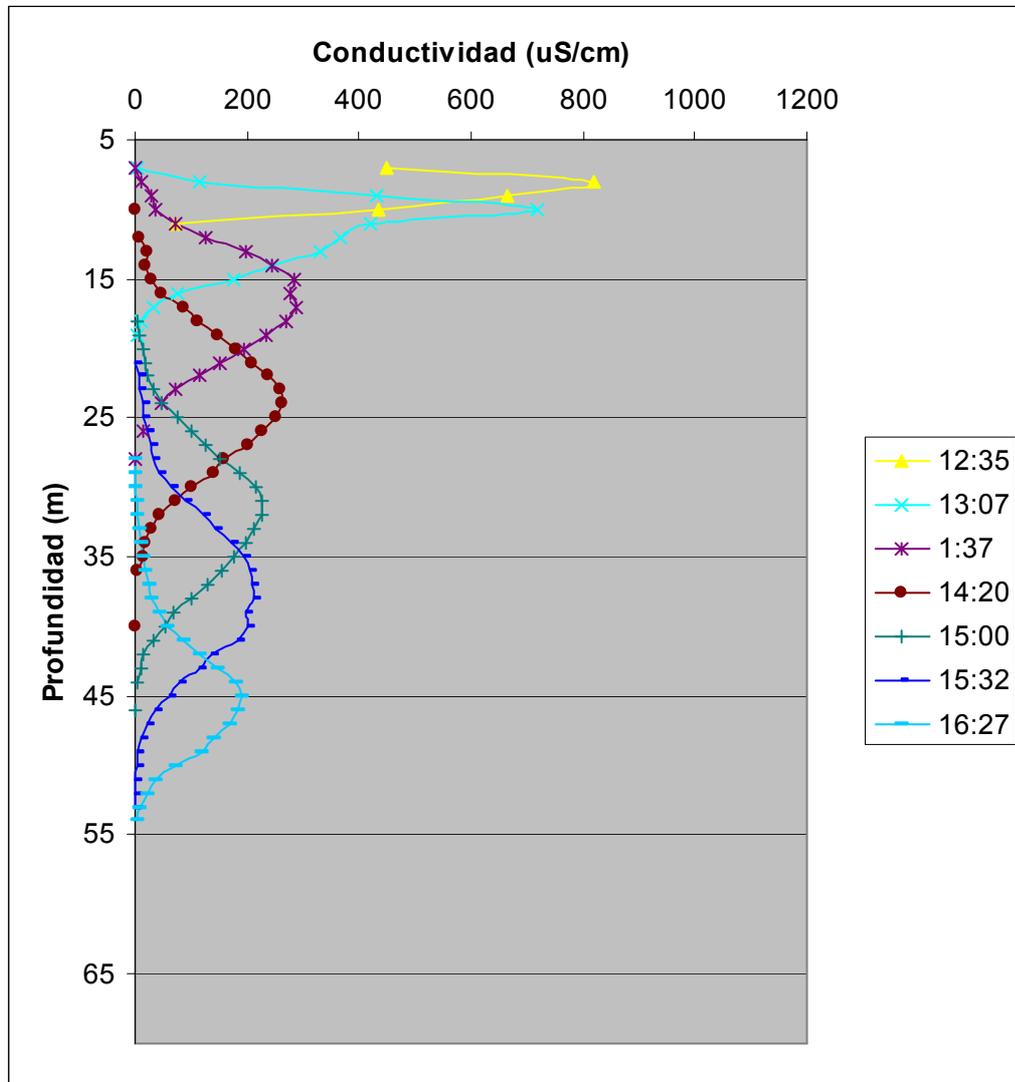
Figura 7-4: Marcado puntual de la perforación EM 814



Primer pulso



Figura 7-5: Primer pulso del ensayo de inyección puntual



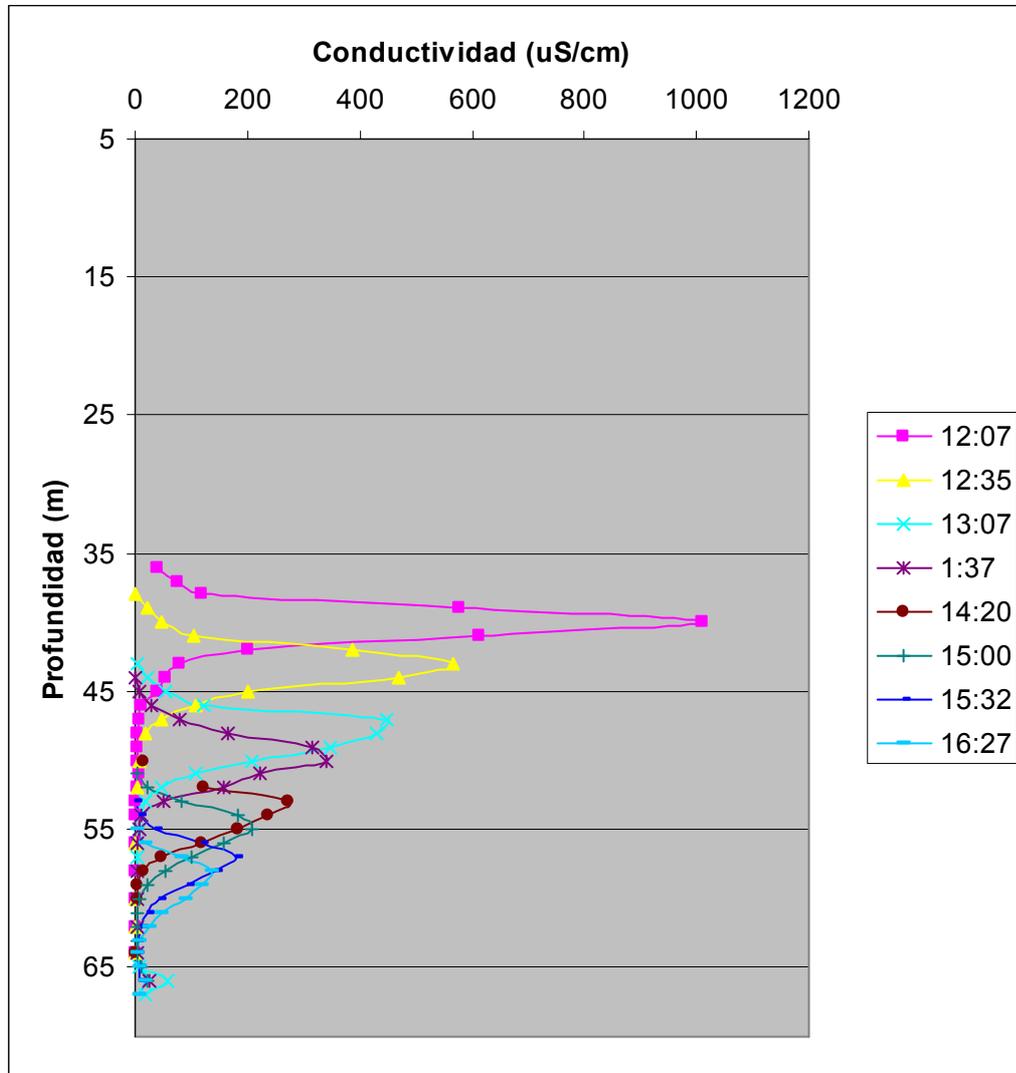
De la evolución del perfil de conductividad del primer pulso se concluye que:

- la velocidad de flujo vertical descendente es de 11m/h hasta los 40 m sin una pérdida significativa de masa de trazador (ya que se mantiene el área bajo la curva), lo cual indica que no hay tramos con salida de agua.



## Segundo pulso

Figura 7-6: Segundo pulso del ensayo de inyección puntual



De la evolución del perfil de conductividad del segundo pulso se concluye que:

- hay clara disminución de la masa del trazador a partir de los 40 metros, lo cual confirma la hipótesis de salida de agua del pozo hacia el medio.

### 7.3.2 Perforación EM 813 (17/12/4)

Esta perforación está ubicada en la plaza Batlle en el centro de la ciudad Artigas, en una zona topográficamente alta de la zona de estudio. También pertenece a la Intendencia Municipal de Artigas y fue construido para regar la plaza pero nunca se equipó. Al igual que la perforación EM 814 la boca del pozo tiene tapa roscada y se encuentra dentro de una cámara de hormigón.



Información de la perforación brindada por el perforista (El Molino):

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Profundidad:            | 102m  |
| Entubamiento:           | longitud 6m<br>Diámetro = 6" (plástico geomecánico) |
| Caudal estimado:        | 10000 l/h   |
| Nivel estático:         | 30 m  |
| Descripción litológica: | basalto   |

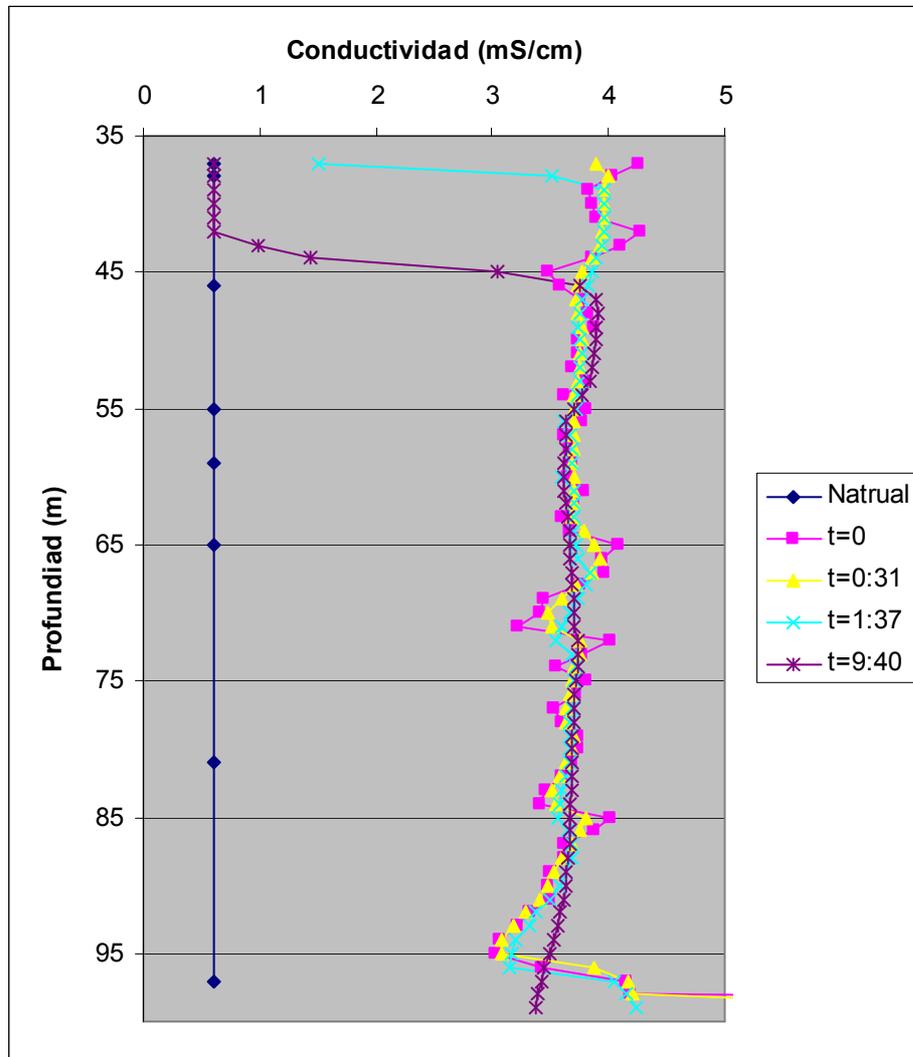
Figura 7-7: Boca de la perforación EM 813



Los gráficos de la Figura 7-8 muestran los datos obtenidos de la medición de los perfiles de conductividad eléctrica, antes (0,6 mS/cm) y luego de realizar el marcado de toda la columna.



Figura 7-8: Resultados del ensayo de marcado de columna en la perforación EM 813



A partir de este ensayo no se detectó la existencia de flujo natural en torno a esta perforación ni de ningún tipo de flujo. Cabe mencionar que según el perforista, esta perforación está construida totalmente en de basalto, no llegando a profundidades de ocurrencia de arenisca. Este ensayo podría estar indicando que la formación basáltica en este punto no integra un sistema de flujo.

Los picos que se distinguen en la gráfica en los primeros instantes se deben a un marcado inicial no uniforme y se puede apreciar como los mismos son suavizados conforme transcurre el tiempo.

### 7.3.3 Perforación OSE-1.4.010 (predio oficinas)

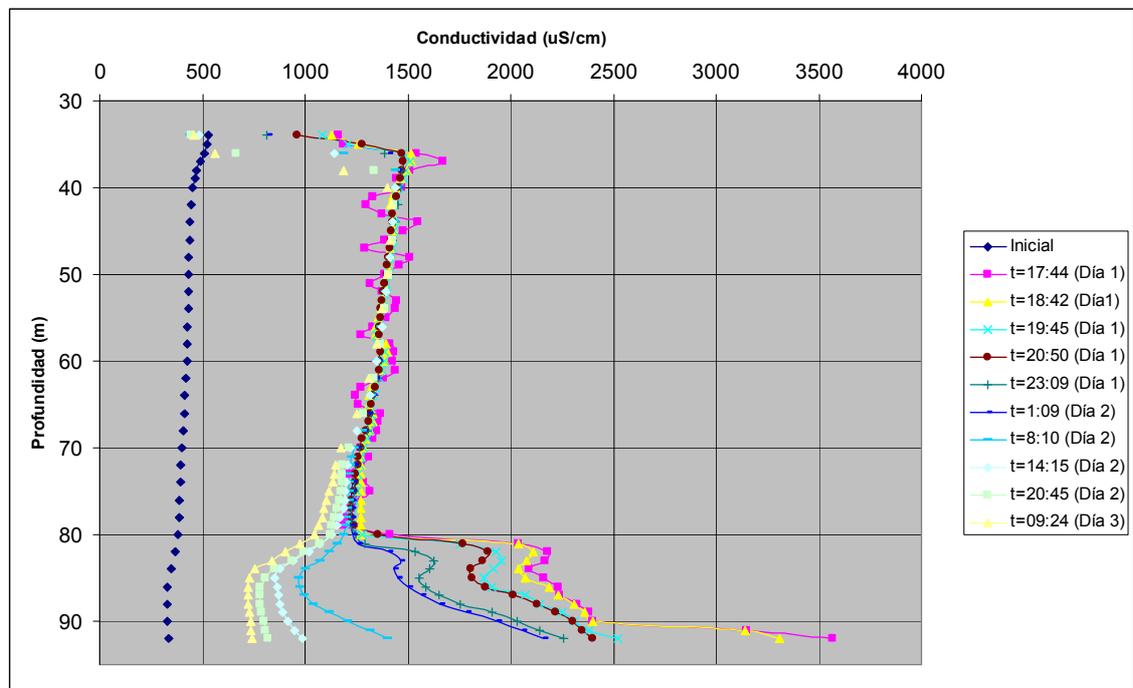
Esta perforación se encuentra también en una zona de cota alta de la ciudad de Artigas y estaba sin equipar en el momento del ensayo. La descripción constructiva y litológica se encuentra en el archivo "bombylit.gww". Algunos de los datos principales de la construcción del pozo son los siguientes:



Profundidad: 122 m  
Entubamiento: longitud 1m  
Diámetro = 8" (sello sanitario)  
Perforación 10" hasta los 80 m, 6" hasta los 122m  
Nivel estático: 30.1 m  
Descripción litológica: Basalto hasta los 73 m, arenisca hasta los 122 m

Debido al largo de cable de la sonda de medición se realizó el marcado de los primeros 100 m de columna cuyos resultados se muestran en la Figura 7-9.

Figura 7-9: Ensayo de marcado de columna en la perforación OSE-1.4.010.



El perfil natural de la columna de agua de la perforación muestra entre los 40 y 80 metros de profundidad una conductividad eléctrica aproximadamente uniforme con un valor medio de 420  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con una leve tendencia a disminuir con la profundidad.

A partir de los 80 metros se observa una zona con conductividades mayores en el marcado inicial, lo que confirma la disminución del diámetro de la perforación en esa profundidad y muestra el grado de sensibilidad del método.

Por otra parte, a partir de los 70 m se observa una disminución de la conductividad con el transcurso del tiempo, mucho más acusada a partir de los 80 m sugiriendo la presencia de una zona con flujo natural. Esto es absolutamente compatible con la descripción del pozo, ya que es una perforación sin tubo y la arenisca comienza a los 73 m de profundidad.



#### **7.4 Conclusiones**

El ensayo realizado en el pozo EM 814 donde se constató flujo vertical descendente permite identificar la presencia de por lo menos dos niveles acuíferos con diferente nivel piezométrico. El ensayo evidencia un flujo vertical a través de la perforación con una velocidad aproximada de 11 m/h desde el nivel superior hacia el inferior. Dada la ubicación de la perforación, este ensayo puede estar mostrando que el nivel piezométrico del acuífero constituido por las areniscas que subyacen al basalto es inferior al nivel del río Cuareim. Por lo tanto, de existir alguna conexión entre el río y el acuífero sería de aportes del río hacia el acuífero, al menos en este tramo de río.

En cuanto a la perforación EM 813 ubicada en la Plaza Batlle, donde no se detectó flujo alguno, el mismo fue realizado completamente en basalto y nunca se puso en funcionamiento. La inexistencia de flujos naturales puede ser indicativa de un basalto sano.

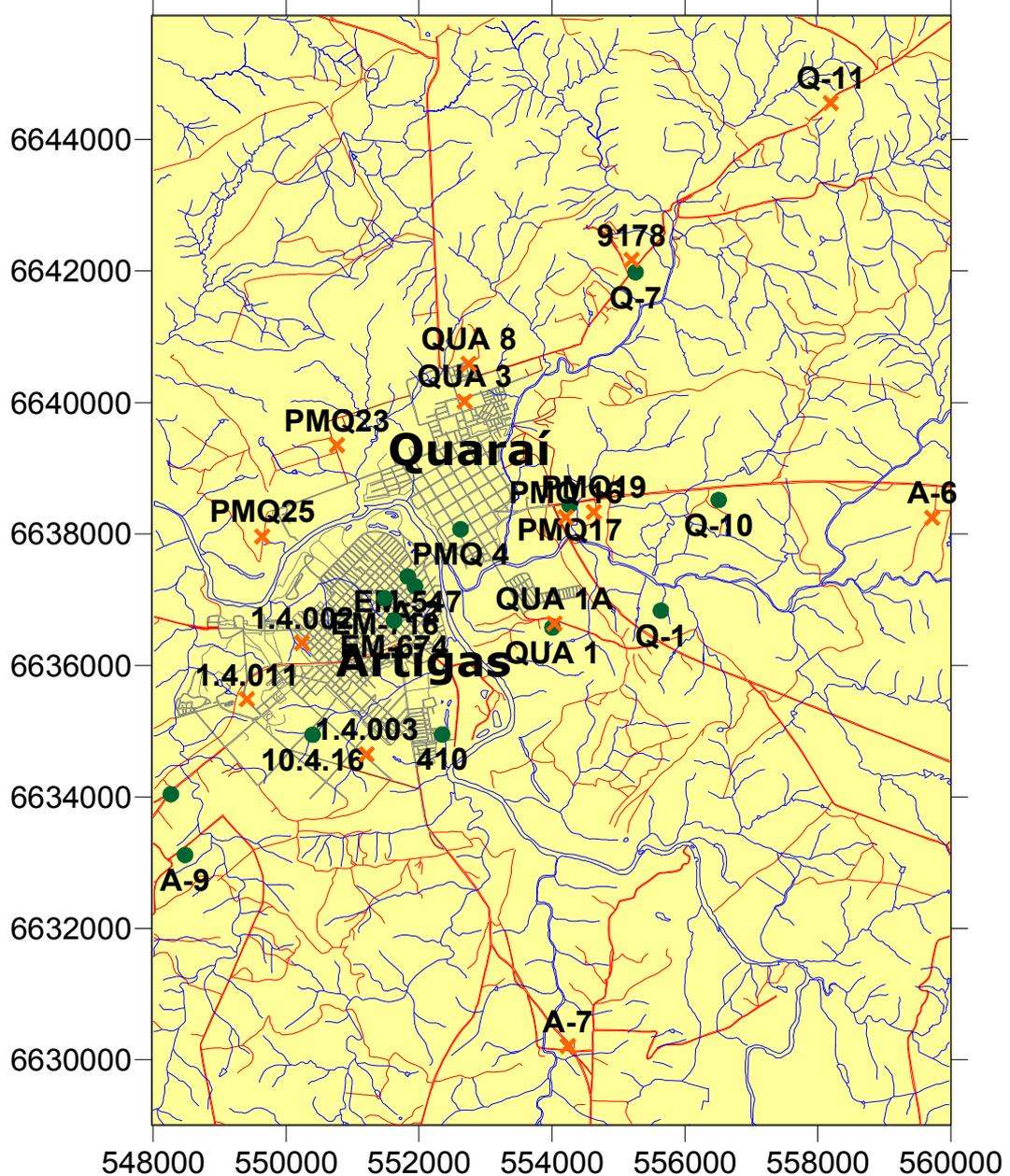


## 8 HIDROQUIMICA

En el marco del proyecto se realizaron dos campañas de recolección de muestras para análisis químico e isotópico en los meses de marzo y julio de 2005.

El siguiente mapa muestra la distribución espacial de los sitios seleccionados para la toma de muestras. Los puntos verdes representan aquellos lugares donde se analizaron parámetros de campo y de laboratorio mientras que en creces naranjas se presentan aquellos de los que sólo se cuenta con datos de parámetros de campo.

Figura 8-1: Ubicación de puntos de muestreo hidroquímico e isotópico en Artigas - Quaraí





## 8.1 Obtención de parámetros de campo

Todas as amostras foram obtidas na boca do poço por bombeamento ou por surgência segundo o caso. As medições dos parâmetros de campo se realizaram com os seguintes equipamentos:

- pH - HORIBA sonda multiparâmetro portátil D-55;
- Oxigênio Dissolvido - sonda multiparâmetro portátil HORIBA D-55;
- Temperatura do ar – termômetro de mão;
- Temperatura da água - termômetro de mão e também na forma digital pelo uso da sonda HORIBA D-55;
- Condutividade Elétrica - HANNA HI 933000;
- Alcalinidade total - titulação com  $H_2SO_4$  0,02 N, uso de indicadores fenoftaleína alcoólica e alaranjado de metila.

## 8.2 Resultados de análises físico-químicas de A-Q a R-L

Os elementos maiores foram avaliados no Laboratório de Química Industrial e Ambiental/LAQIA/UFSM pelos métodos de referência para análises de águas *Standard Methods*. Alguns elementos foram avaliados com amostras de padrões de referência da Rede Metrológica do Estado do Rio Grande do Sul, Programa de ensaios de proficiência em análises ambientais, segunda rodada, maio/2005. Utilizou-se a amostra sintética X para Cu, Al, Zn, K, habilitada pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária/BR). E amostra sintética Y.

As concentrações dos metais traços e dos elementos terras raras/ETRs foram avaliadas com uso do *Inductively Coupled Plasma/IC/MS* pertencente ao LAQIA/UFSM.

Os resultados de um total de 20 análises físico-químicas completas realizadas na primeira campanha em março de 2005 encontram-se ilustradas nas Tabelas 9-1 e 9-2. As características hidroquímicas das águas subterrâneas entre A-Q e R-L estão ilustradas no Diagrama de Piper (Figura 9-1), baseado na concentração dos cátions e ânions principais classificou-se em 4 famílias: Ca-Mg- $HCO_3$ , Ca-Na- $HCO_3$ , Ca-Mg- $HCO_3$ - $NO_3$ -Cl e Ca- $HCO_3$ . Em termos percentuais teve-se:

58% foram Ca-Mg- $HCO_3$  poços (A-9, A-10, OSE 10.4.016, Q-7 L-1, DAE RE-4 e R-1 afloramentos do SAG) e poços (QUA1, PMQ-04, EM-547, EM-674 e R-2) apresentando uma capa de rochas vulcânicas básicas de espessura variável entre (57 a 108 (?) metros); 1 *manantial* em Santana do Livramento;

24% foram Ca-Na- $HCO_3$  (Q-1, Q-10, PMQ-17, EM-716 e OSE-410) todas em rochas vulcânicas básicas e/ou penetrantes nos arenitos do SAG localizadas em Artigas e Quaraí; 1 *manantial*, 3 poços confinados+ intertrápico e 1 confinado profundo (OSE-410); a espessura de capa vulcânica basáltica é variável entre 37 a 98m.

9% foram Ca-Mg- $HCO_3$ - $NO_3$ -Cl (A-2 e DAE H-2) uma em afloramento do SAG em Santana do Livramento e outra em rocha vulcânica penetrante no SAG (intertrápico) em Artigas próximo do Rio Quaraí.

9% foram Ca- $HCO_3$  (PMQ-23 e 9178) ambas em rochas vulcânicas básicas penetrantes no SAG, com uma espessura de capa de rochas vulcânicas na superfície entre 7 metros até cerca 60m.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

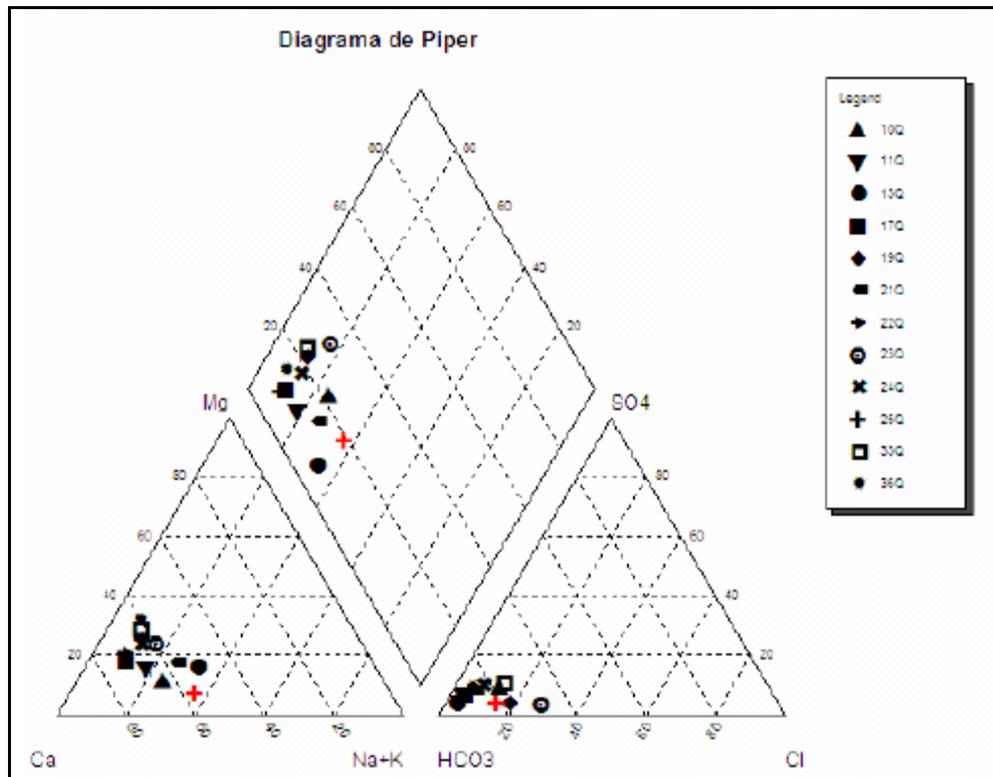


As águas bicarbonatadas ocorreram nas duas áreas tanto em Santana do Livramento e Rivera, quanto em Quaraí e Artigas, indicando misturas de fontes tanto de rochas vulcânicas quanto de rochas sedimentares arenosas pertencentes ao SAG.

As águas bicarbonatadas sódicas ocorreram somente na área de estudo em Artigas e Quaraí.

O Diagrama de Piper (Figura 9-1) ilustra as relações entre os íons principais e as diferentes famílias de água.

Figura 8-2: Diagrama de Piper das amostras coletadas em Artigas-Quaraí.



Os fluoretos são sempre baixos inclusive inferiores aos valores sugeridos pela legislação relativa aos padrões de potabilidade, no Brasil Portaria 518/2004.

A faixa de pHs observados mostra que as águas analisadas são ácidas a levemente básicas, nenhuma atingindo valores de pH superiores a 8,2, portanto não ocorrem carbonatos associados nas águas avaliadas.

Na família de água bicarbonatada cálcico-magnésiana a faixa de variação do pH foi de 5,30 a 7,21; portanto ácidas a levemente básicas. A faixa de variação da condutividade elétrica foi de 62 a 711 microSiemens/cm. Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) estiveram na faixa de 40 a 462 mg/L, portanto de águas doces (Portaria 357/2005 do Brasil). A faixa de variação da alcalinidade total considerando-se o ânion bicarbonato como único presente nestas águas foi de 25,45 a 156,2 mg/L. A dureza das águas foi predominantemente Dura (06), Pouco Dura (03), Muito Dura (02) e apenas uma Branda de acordo com a Classificação de Custódio & Llamas (1983) apud (Feitosa e Manuel Filho, 1997). A faixa de variação de cálcio foi de 11,4 a 99,0 mg/L. A faixa de variação de magnésio foi de 2,1 a 9,3 mg/L. A faixa de variação de sódio foi de 1,7 a 21,4 mg/L. A faixa de variação do

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



potássio foi de 0,2 a 2,2 mg/L. A faixa de variação do cloreto foi de 2,6 a 10,5 mg/L. A faixa de variação do sulfato foi de 3,8 a 17,2 mg/L. A faixa de variação de fosfato foi de <0,1 (Limite de Quantificação) a 0,7 mg/L. A faixa de variação de nitratos foi de 2,5 a 17,2 mg/L. A faixa de variação da temperatura da água tomada na *boca* do poço foi de 20,4 a 25,3 °C. A faixa de variação de oxigênio dissolvido foi entre 2,6 a 4,4 mg/L o que concorda com os valores sugeridos por Feitosa e Manuel Filho (1997) entre 0 e 5 mg/L, para as águas subterrâneas.

Na família de água bicarbonatada calco-sódica teve ocorrência apenas nas cidades de Artigas e Quarai. A faixa de variação do pH foi de 5,8 a 7,5, portanto ácidas a levemente alcalinas. A faixa de variação da condutividade elétrica foi de 64 a 557 microSiemens/cm. Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) estiveram na faixa de 42 a 362 mg/L, portanto doces. A faixa de variação da alcalinidade total considerando-se o ânion bicarbonato como único presente nestas águas foi de 34,7 a 207,1 mg/L. A dureza das águas foi predominantemente Dura (03), Pouco Dura (01) e Branda (01). A faixa de variação de cálcio foi de 10,4 a 60,4 mg/L. A faixa de variação de magnésio foi de 1,1 a 8,5 mg/L. A faixa de variação de sódio foi de 4,0 a 43,3 mg/L. A faixa de variação do potássio foi de 0,5 a 2,5 mg/L. A faixa de variação do cloreto foi de 3,5 a 22,5 mg/L. A faixa de variação do sulfato foi de 3,2 a 11,9 mg/L. A faixa de variação de fosfato foi de 0,06 a 0,3 mg/L. A faixa de variação de nitratos foi de 2,5 a 19,3 mg/L. A faixa de variação da temperatura da água tomada na *boca* do poço foi de 21,5 a 24,2 °C. A faixa de variação de oxigênio dissolvido foi entre 2,4 a 7,2 mg/L, mais ampla que a sugerida por Feitosa e Manuel Filho (1997).

A família de água bicarbonatada calco-magnesiana-cloretada-nitratada sugere uma mistura, indicando provavelmente de vazamentos de cloreto de águas tratadas pelas companhias de abastecimento público (CORSAN, DAE, OSE) e o nitrato também podem ter origem de tubulações de esgoto (?) ou ainda da infiltração de esgotos *in natura* no aquífero. A faixa de variação do pH foi de 5,6 a 6,7 portanto ácidas. A faixa de variação da condutividade elétrica foi de 153 a 656 microSiemens/cm. Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) estiveram na faixa de 91 a 426 mg/L. A faixa de variação da alcalinidade total considerando-se o ânion bicarbonato como único presente nestas águas foi de 55,5 a 200,2 mg/L. A dureza das águas foi Pouco Dura (01) e Muito Dura (01). A faixa de variação de cálcio foi de 29,1 a 87,6 mg/L. A faixa de variação de magnésio foi de 6,0 a 21,3 mg/L. A faixa de variação de sódio foi de 4,6 a 28,0 mg/L. A faixa de variação do potássio foi de 0,7 a 2,4 mg/L. A faixa de variação do cloreto foi de 22,1 a 47,4 mg/L. A faixa de variação do sulfato foi de 7,7 a 9,4 mg/L. A faixa de variação de fosfato foi de 0,1 a 0,3 mg/L. A faixa de variação de nitratos foi de 10,8 a 59,9 mg/L. A faixa de variação da temperatura da água tomada na *boca* do poço foi de 21,7 a 22,9 °C. A faixa de variação de oxigênio dissolvido foi entre 1,0 a 4,7 mg/L, concordante com a sugerida por Feitosa e Manuel Filho (1997).

Na família de água bicarbonatada cálcica indicou rochas vulcânicas de pequena espessura penetrantes nos arenitos do SAG. A faixa de variação do pH foi de 6,4 a 6,7 portanto ácidas. A faixa de variação da condutividade elétrica foi de 240 a 343 microSiemens/cm. Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) estiveram na faixa de 156 a 182 mg/L. A faixa de variação da alcalinidade total considerando-se o ânion bicarbonato como único presente nestas águas foi de 99,5 a 149,3 mg/L. A dureza das águas foi branda. A faixa de variação de cálcio foi de 5,9 a 7,8 mg/L. A faixa de variação de magnésio foi de 0,4 a 1,4 mg/L. A faixa de variação de sódio foi de 1,1 a 2,3 mg/L. A faixa de variação do potássio foi de 0,3 a 0,8 mg/L. A faixa de variação do cloreto foi de 1,6 a 3,1 mg/L. A faixa de variação do sulfato foi de 2,6 a 3,4 mg/L. A faixa de variação de fosfato foi de 0,09 a 0,1 mg/L. A faixa de

#### **Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

#### **Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



variação de nitratos foi de <0,5 (Limite de Quantificação) a 16,5 mg/L. A faixa de variação da temperatura da água tomada na boca do poço foi de 22,1 a 24,9 °C. A faixa de variação de oxigênio dissolvido foi entre 2,6 a 3,4 mg/L, concordante com a sugerida por Feitosa e Manuel Filho (1997).

As Figuras 9-2 e 9-3 ilustram os diagramas de Stiff para as águas coletadas realizadas na primeira campanha de março de 2005, nos poços de Artigas-Quaraí. Nota-se a grande variabilidade das concentrações dos cátions e ânions maiores expressas em meq/L.

Tabla 8-1: Parámetros físico-químicos 1ª campaña 15 coletas agua A- Q

| ID Projeto | C.E. (µS/cm) | pH   | Alcalinidade (mg/L) | STD (mg/L) | O.D. (mg/L) | Temp. °C | Dureza (mg/L) | Classificação Dureza |
|------------|--------------|------|---------------------|------------|-------------|----------|---------------|----------------------|
| Q-1        | 64           | 5.75 | 34.71               | 41.6       | 7.22        | 21.5     | 30.17         | Branda               |
| PMQ17      | 318          | 7.15 | 164.29              | 206.7      | 5.20        | 22.5     | 167.79        | Dura                 |
| Q-10       | 280          | 6.65 | 148.1               | 182        | 2.63        | 24.2     | 99.17         | Pouco dura           |
| QUA1       | 285          | 6.95 | 129.58              | 185.25     | 4.54        | 22.5     | 159.6         | Dura                 |
| PMQ4       | 711          | 6.46 | 267.27              | 462.15     | 1.06        | 22.6     | 345.49        | Muito dura           |
| 410.00     | 378          | 7.52 | 163.14              | 245.7      | 4.81        | 23.7     | 146.93        | Dura                 |
| 10.4.16    | 281          | 6.4  | 143.47              | 182.65     | 4.18        | 21.7     | 169.62        | Dura                 |
| A-2        | 656          | 6.67 | 200.16              | 426.4      | 0.96        | 22.9     | 306.33        | Muito dura           |
| EM-547     | 432          | 7.13 | 181.65              | 280.8      | 2.76        | 21.9     | 244.67        | Muito dura           |
| EM-716     | 557          | 7.34 | 207.1               | 362.05     | 2.43        | 23.7     | 169.33        | Dura                 |
| EM-674     | 317          | 7.21 | 156.2               | 206.05     | 4.40        | 23.4     | 197.68        | Dura                 |
| Q-7        | 253          | 6.25 | 65.95               | 164.45     | 3.01        | 21.5     | 123.07        | Dura                 |
| A-9        | 62           | 5.3  | 25.45               | 40.3       | 2.62        | 25.3     | 36.99         | Branda               |
| A-10       | 273          | 6.51 | 115.7               | 177.45     | 2.95        | 22.8     | 162.92        | Dura                 |
| 9178       | 240          | 6,39 | 99,50               | 156,0      | 3,37        | 22,1     | 16,22         | Branda               |

Tabla 8-2: Parámetros físico – químicos 1ª campaña 15 coletas águas A – Q concentrações em (mg/l)

| ID Projeto | Ca-2  | Mg+2 | Na+   | K+   | (CO3H)- | NO3-  | SO4-2 | PO4-3 | Cl-   | F-    |
|------------|-------|------|-------|------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Q-1        | 10.20 | 1.14 | 4.01  | 1.02 | 34.71   | 4.97  | 3.23  | 0.14  | 3.51  | 0.113 |
| PMQ17      | 54.70 | 7.57 | 16.68 | 0.92 | 164.29  | 2,5   | 9.04  | 0.06  | 4.70  | 0.463 |
| Q-10       | 30.40 | 5.65 | 22.4  | 0.49 | 148.1   | 2,5   | 4.35  | 0.26  | 3.51  | 0.469 |
| QUA1       | 50.90 | 7.89 | 8.31  | 1.61 | 129.58  | 2,5   | 7.09  | 0.06  | 3.93  | 0.256 |
| PMQ4       | 99.00 | 23.9 | 21.4  | 0.3  | 267.27  | 9.5   | 9.87  | 0.29  | 37.90 | 0.239 |
| 410.00     | 44.80 | 8.52 | 23    | 1.4  | 163.14  | 4.63  | 11.89 | 0.07  | 7.93  | 0.271 |
| 10.4.16    | 52.40 | 9.42 | 7.81  | 1.25 | 143.47  | 4.54  | 7.31  | 0.36  | 2.74  | 0.270 |
| A-2        | 87.60 | 21.3 | 28    | 0.74 | 200.16  | 10.81 | 7.71  | 0.32  | 47.38 | 0.433 |
| EM-547     | 71.30 | 16.2 | 16.28 | 1.14 | 181.65  | 5.22  | 17.21 | 0.11  | 10.39 | 0.369 |
| EM-716     | 60.40 | 4.47 | 43.3  | 2.51 | 207.1   | 19.33 | 7.49  | 0.10  | 22.53 | 0.671 |
| EM-674     | 63.90 | 9.25 | 6.24  | 1.15 | 156.2   | 2,5   | 7,90  | < 0.1 | 2.60  | 0.266 |
| Q-7        | 33.60 | 9.53 | 6.13  | 0.51 | 65.95   | 21.26 | 7.04  | 0.25  | 6.88  | 0.121 |

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



|             |       |      |      |      |       |       |       |       |      |       |
|-------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| <b>A-9</b>  | 11.40 | 2.07 | 1.67 | 2.18 | 25.45 | 3.69  | 3,80  | < 0.1 | 3.44 | <0.10 |
| <b>A-10</b> | 42.70 | 13.7 | 6.12 | 0.96 | 115.7 | 9.06  | 10.11 | 0.25  | 4.21 | 0.122 |
| <b>9178</b> | 5.85  | 0.39 | 1.06 | 0.77 | 99.50 | < 0.5 | 2.55  | 0.1   | 3.1  | <0.25 |

Figura 8-3: Diagramas de Stiff para as águas coletadas nos poços de Artigas - Quaraí.

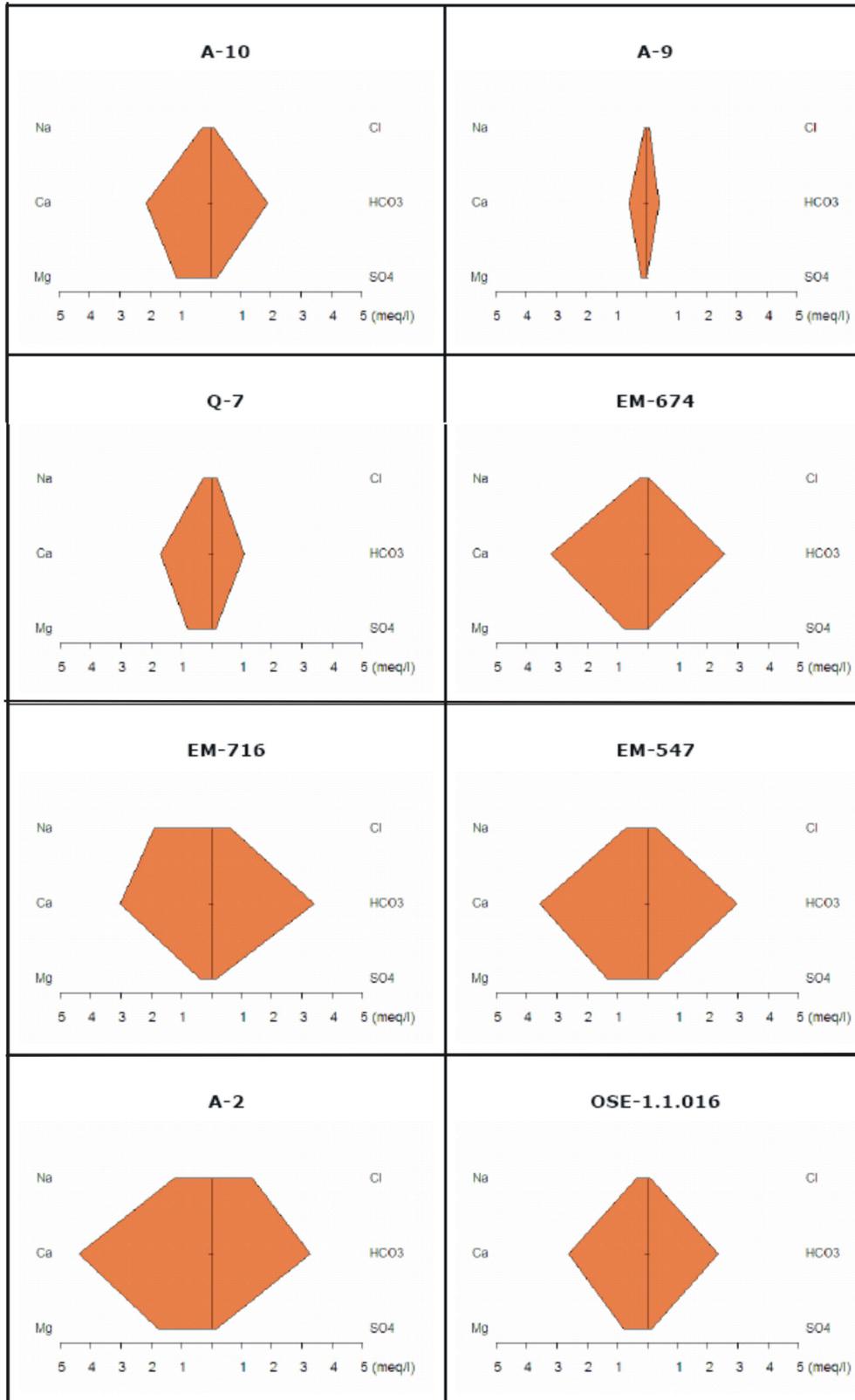
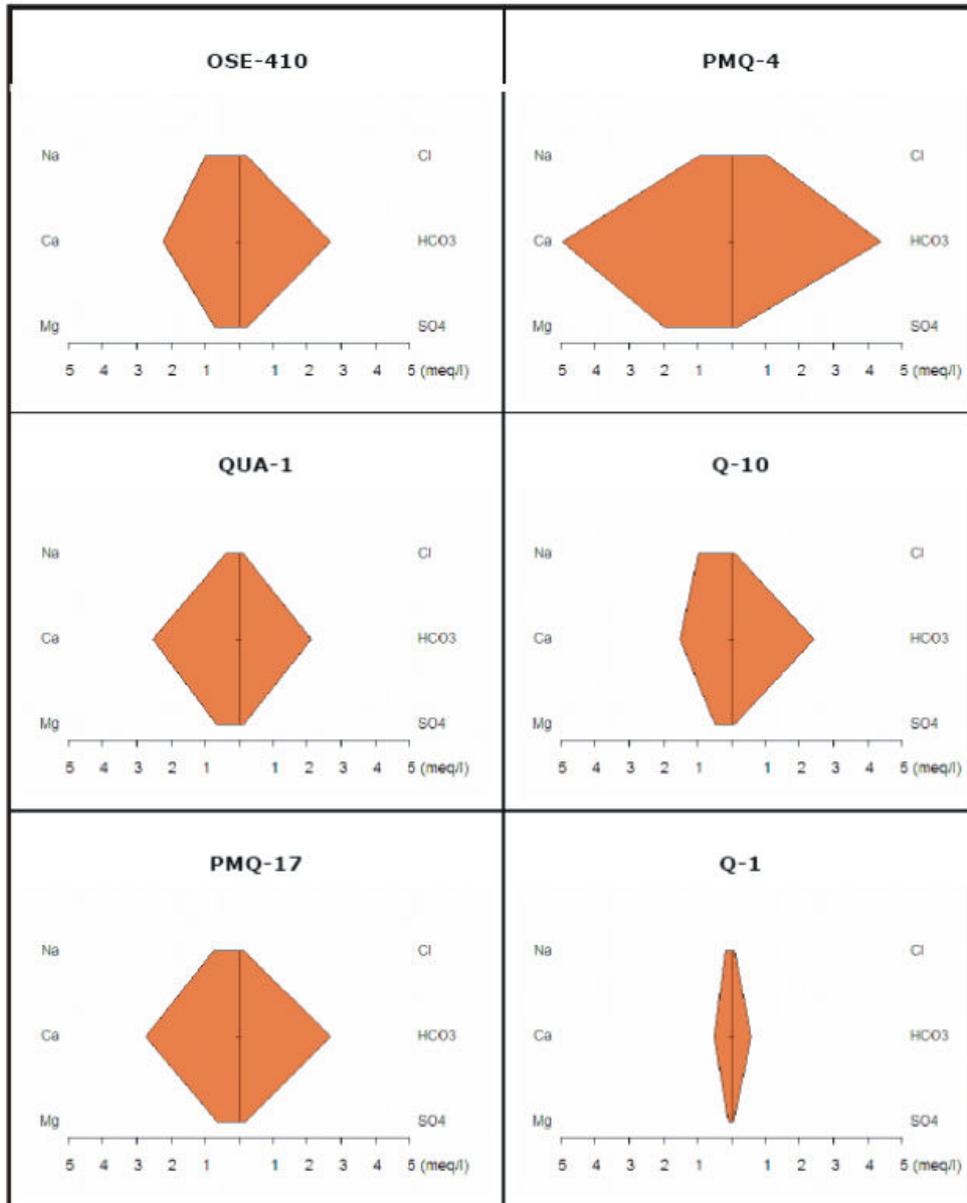


Figura 8-4: Diagramas de Stiff para as águas coletadas nos poços de Artigas-Quaraí.

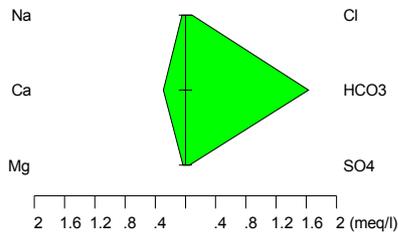


Outros diagramas de Stiff estão ilustrados para a região de influência dos poços de Quaraí-Artigas na Figura 8-5.

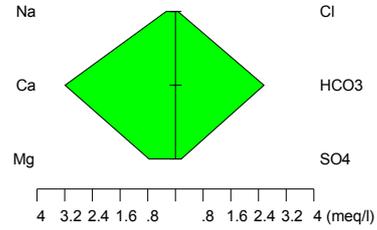
Figura 8-5: Diagrama de Stiff para alguns poços de Artigas Quaraí



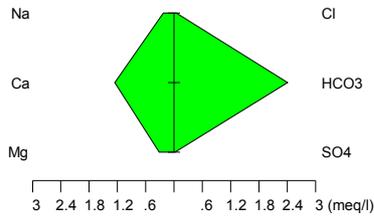
**4300009178, 11/3/2005**



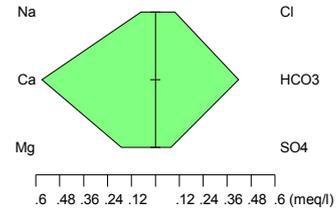
**EM-674, 10/3/2005**



**PMQ-23, 7/3/2005**



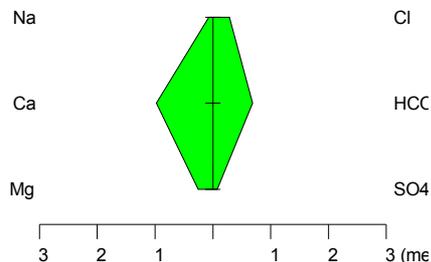
**A-9, 11/3/2005**



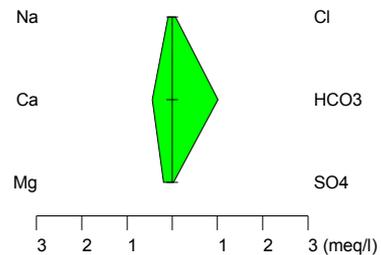
A Figura 8-6 ilustra diagramas de Stiff para os poços de Santana do Livramento, observar que há variabilidade entre o poço nascente da Vila Registro e o poço tubular localizado próximo DAE RE-4.

Figura 8-6: Diagramas de Stiff para alguns poços de Santana-Rivera

**DAE H-2**



**Fonte Vila Registro**



A Tabela 9-3 ilustra a comparação de alguns parâmetros químicos obtidos na primeira campanha, evidenciando que existem diferenças marcantes na composição físico-química das águas nas duas áreas estudadas S-L e A-Q. A faixa de variação do pH em Santana/Rivera foi inferior aquela de Quaraí/Artigas. A alcalinidade total em bicarbonatos também foi mais elevada na área de Quaraí-Artigas.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



Tabela 9-3 Comparação de alguns parâmetros químicos obtidos na primeira campanha de coletas de poços.

|                           | Mínimo | Máximo | édio <sup>M</sup>  | Santana/<br>Rivera | Quaraí<br>/Artigas |
|---------------------------|--------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>pH</b>                 | 5,58   | 7,52   | ,50 <sup>6</sup>   | 6,03               | 7,1                |
| <b>Alcalinidade Total</b> | 25,45  | 267,27 | 26,45 <sup>1</sup> | 79,84              | 143,00             |

Na segunda campanha de coletas de campo em julho de 2005, foram visitados a maioria dos poços coletados na primeira campanha, tendo sido analisados 18 poços tubulares (02 em Santana do Livramento (DAE H-2 e DAE RE-4), 02 em Rivera (R-1 e R-2), 06 em Quaraí (PMQ 17, Q-7, PMQ 4, Q-10, QUA1 e PMQ 23) e 08 em Artigas (A-2, A-10, A-9, EM-547, EM-674, EM-716, 10.4.016 e 410) e três fontes/mananciais (1 Santana e 2 em Quaraí, sendo incluída a Q-11 coletada em rochas vulcânicas aflorantes em Quaraí. Uma amostra de água bruta do Rio Quaraí (115) coleta na ETA da CORSAN/Quaraí.

A Tabela 9-4 apresenta os resultados das análises físico-químicas obtidas na segunda campanha de coletas.

Tabela 9-4 Apresenta os resultados das análises físico-químicas obtidas na segunda campanha de coleta.

| Código<br>rojeto <sup>P</sup> | Concentração (mg/L) |       |       |                |       |       |         |      |      |     |        |
|-------------------------------|---------------------|-------|-------|----------------|-------|-------|---------|------|------|-----|--------|
|                               | Ca 2+               | Mg2+  | Na+   | K <sup>+</sup> | SO42- | PO43- | (CO3H)- | Cl-  | NO3- | F-  | SiO32- |
| DAE H-2                       | 19,61               | 3,05  | 1,59  | 3,43           | 3,46  | <LD   | 41,99   | 10,2 | 29,4 | <LQ | 34,54  |
| L-1                           | 8,92                | 2,31  | 2,1   | 0,74           | 1,4   | <LD   | 61,75   | 2,4  | 1,6  | <LQ | 40,28  |
| DAE RE-4                      | 11,93               | 2,34  | 1,56  | 2,14           | 1,61  | 0,37  | 51,87   | 8,6  | 11,2 | <LQ | 43,36  |
| R-2                           | 18,21               | 3,77  | 2,87  | 0,32           | 2,85  | <LD   | 106,21  | 3,9  | 14,8 | <LQ | 72,25  |
| R-1                           | 10,21               | 2,95  | 9,41  | 1,86           | 2,35  | <LD   | 46,93   | 7,8  | 22,1 | <LQ | 42,65  |
| Q-1                           | 7,86                | 0,95  | 2,09  | 1,07           | 2,9   | <LD   | 27,17   | 3,9  | 4,7  | <LQ | 40,34  |
| PMQ17                         | 24,08               | 3,83  | 8,62  | 1,42           | 2,47  | <LD   | 167,96  | 3,1  | <0,5 | 0,5 | 60,40  |
| Q-10                          | 19,06               | 2,73  | 13,2  | 0,74           | 0,83  | 0,13  | 223,54  | <1,5 | 0,6  | <LQ | 93,69  |
| PMQ23                         | 7,78                | 1,41  | 2,29  | 0,31           | 3,41  | 0,09  | 32,11   | 1,6  | 16,5 | <LQ | 39,42  |
| QUA1                          | 25,24               | 3,85  | 5,24  | 2,7            | 1,08  | <LD   | 146,97  | 1,6  | <0,5 | <LQ | 57,32  |
| PMQ04                         | 46,84               | 12,44 | 15,24 | 0,45           | 22,28 | <LD   | 297,64  | 38,4 | 11,5 | <LQ | 97,81  |
| 410                           | 20,16               | 3,93  | 15,32 | 1,62           | 4,81  | <LD   | 17,66   | 7,8  | 2,8  | <LQ | 34,29  |
| 10.4.016                      | 22,44               | 4,33  | 4,42  | 1,59           | 1,41  | 0,31  | 144,5   | 1,6  | 2,3  | <LQ | 47,49  |
| A-2                           | 42,88               | 11,49 | 17,13 | 1,11           | 17,12 | <LD   | 224,77  | 72,1 | 10   | 0,5 | 98,19  |
| EM-547                        | 29,56               | 7,39  | 6,94  | 1,18           | 6,78  | <LD   | 208,72  | 11   | 5,2  | 0,4 | 78,37  |
| EM-716                        | 27,26               | 2,19  | 7,99  | 2,34           | 16,96 | <LD   | 226,01  | 22   | 19   | 0,6 | 63,79  |
| EM-674                        | 29,94               | 4,45  | 3,16  | 1,68           | 0,9   | <LD   | 166,73  | 0,8  | <0,5 | <LQ | 51,54  |
| Q-7                           | 10,17               | 2,53  | 3,49  | 1,46           | 0,93  | 0,14  | 64,22   | 1,6  | 6,2  | <LQ | 64,99  |
| A-9                           | 7,96                | 0,88  | 0,78  | 2,64           | 2,13  | <LD   | 30,88   | 1,6  | 1,6  | <LQ | 25,00  |
| A-10                          | 23,22               | 7,04  | 3,12  | 1,05           | 3,1   | <LD   | 208,72  | 5,5  | 7,1  | <LQ | 85,35  |
| Q-11                          | 6,09                | 1,13  | 6,09  | 1,36           | 2,3   | <L.D. | 28,93   | 2,1  | 1,4  | <LQ | 34,54  |
| A-6                           | 17,32               | 2,65  | 2,44  | 0,61           | 0,44  | 0,25  | 96,03   | <1,5 | <0,5 | <LQ |        |
| 9178                          | 5,85                | 0,39  | 1,06  | 0,77           | 2,55  | 0,1   | 99,5    | 3,1  | <0,5 | <LQ | 82,97  |
| Rio Quaraí                    | 8,39                | 1,24  | 1,06  | 0,78           | 1,37  | <LD   | 32,11   | 0,8  | <0,5 | <LQ | 27,95  |



Obtiveram-se cinco famílias de águas com algumas variações nas concentrações dos cátions e ânions principais, também se detectou nas coletas em campo variação na temperatura das amostras dos mesmos poços bem como da dureza. Supondo-se que os equipamentos estejam corretamente padronizados acredita-se que se obteve variação de vários parâmetros comparando-se a campanha realizada no verão e a de inverno, indicando alguma sazonalidade.

As cinco famílias foram:  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$ ,  $\{(\text{Ca-Na-HCO}_3 + \text{Ca-Na-Mg-HCO}_3)\}$ ,  $\{(\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-NO}_3 + \text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl} + \text{Ca-HCO}_3\text{-NO}_3 + \text{Ca-HCO}_3\text{-NO}_3\text{-Cl})\}$ ,  $\text{Ca-HCO}_3$  e  $\text{HCO}_3$ , sendo os percentuais:

5 %  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  (A-10), portanto ocorrendo somente em Artigas;

10 %  $\text{Ca-Na-HCO}_3$  (Q-10) +  $\text{Ca-Na-Mg-HCO}_3$  (OSE-410) ambas em Quaraí e Artigas;

30%  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-NO}_3$  (R-1) afloramento do SAG em Rivera +  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$  (DAE RE-4) afloramento do SAG Santana, PMQ04 e A-2 em camadas vulcânicas penetrantes no SAG em Quaraí/Artigas +  $\text{Ca-HCO}_3\text{-NO}_3$  (PMQ 23 penetrantes em basaltos e no SAG em Quaraí) +  $\text{Ca-HCO}_3\text{-NO}_3\text{-Cl}$  (DAE H-2 + L-1 ambos em afloramentos do SAG);

50 %  $\text{Ca-HCO}_3$  (Q-1 manantial vulcânicas penetrantes no SAG); Q-7 + A-9 afloramento do SAG; (PMQ-17 + QUA-1 + EM-547 + EM-674 + EM-716 + OSE 10.4.016 camadas vulcânicas penetrantes no SAG, a maioria em A-Q e apenas uma em Rivera R-2).

$\text{HCO}_3$  L-1 manantial em afloramento do SAG em Santana do Livramento.

A família com maior representatividade foi a bicarbonatada-cálcica. A faixa de variação do pH ficou entre 5,3 a 7,3 indicando águas de caráter ácido a levemente alcalinas. A faixa de variação da condutividade elétrica foi de 97 a 294 microSiemens/cm. Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) estiveram na faixa de 63 a 191 mg/L, doces. A faixa de variação da alcalinidade total considerando-se o ânion bicarbonato como único presente nestas águas foi de 27,2 a 226,0 mg/L. A dureza das águas foi predominantemente pouco dura (06), branda (03) e dura apenas uma amostra. A faixa de variação de cálcio foi de 7,9 a 29,9 mg/L. A faixa de variação de magnésio foi de 0,9 a 7,4 mg/L. A faixa de variação de sódio foi de 0,8 a 8,6 mg/L. A faixa de variação do potássio foi de 0,3 a 2,7 mg/L. A faixa de variação do cloreto foi de 0,8 a 22,0 mg/L. A faixa de variação do sulfato foi de 0,9 a 17,0 mg/L. A faixa de variação de fosfato foi de < Limite de Quantificação a 0,3 mg/L. A faixa de variação de nitratos foi de <0,5 (Limite de Quantificação) a 19,0 mg/L. A faixa de variação da temperatura da água tomada na boca do poço foi de 18,6 a 21,4 °C. Comparando-se as duas campanhas as temperaturas decresceram na segunda campanha de inverno na faixa de 1,6 até 5,3 °C. A faixa de variação de oxigênio dissolvido foi entre 2,3 a 5,4 concordante com a sugerida por Feitosa e Manuel Filho (1997).

Na família mista foram incluídas as águas bicarbonata cálcicas contendo magnésio, nitrato, cloreto em concentrações variadas indicativas de possíveis vazamentos tubulações de águas tratadas e/ou de coletas de esgotos tratados e *in natura*. A faixa de variação do pH foi de 5,8 a 6,8, portanto todas as águas apresentando um caráter ácido. A faixa de variação da condutividade elétrica foi de 142 a 913 microSiemens/cm indicando ser uma faixa bastante ampla. Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) estiveram na faixa de 92 a 602 mg/L, indicando serem águas potáveis doces a salobras, de acordo com as Resoluções 518/2004 e 357/2005. A faixa de variação da alcalinidade total considerando-se o ânion bicarbonato como único presente nestas águas foi de 32,1 a 297,6 mg/L. A dureza

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**



das águas foi predominantemente branda (03), dura (02) apenas uma amostra pouco dura. A faixa de variação de cálcio foi de 7,8 a 46,8 mg/L. A faixa de variação de magnésio foi de 1,4 a 12,4 mg/L. A faixa de variação de sódio foi de 1,6 a 17,1 mg/L. A faixa de variação do potássio foi de 0,3 a 3,4 mg/L. A faixa de variação do cloreto foi de 1,6 a 72,1 mg/L. A faixa de variação do sulfato foi de 1,6 a 22,3 mg/L. A faixa de variação de fosfato foi de < Limite de Quantificação a 0,4 mg/L. A faixa de variação de nitratos foi de 10,0 a 29,4 mg/L. A faixa de variação da temperatura da água tomada na *boca* do poço foi de 17,3 a 22,6 °C. A faixa de variação de oxigênio dissolvido foi entre 1,1 a 6,3 mg/L, um pouco superior a sugerida por Feitosa e Manuel Filho (1997).

A família bicarbonatada cálcio-magnésiana apresentou apenas uma amostra no poço A-10 em afloramentos do SAG em Artigas. Ácida, dura com teor de Sólidos Totais Dissolvidos em 262 mg/L, doce.

A família bicarbonatada cálcio-sódica e cálcio-magnésiana ocorreu em dois poços no setor Quarai e Artigas, ambas em rochas vulcânicas atingindo o SAG, portanto confinado, e uma delas profundo com 410 m de profundidade. A faixa de variação do pH foi de 6,8 a 7,5 levemente ácida a levemente alcalina. A faixa de variação da condutividade elétrica foi de 345 a 453 microSiemens/cm. Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) estiveram na faixa de 224 a 295 mg/L, doces. A faixa de variação da alcalinidade total considerando-se o ânion bicarbonato como único presente nestas águas foi de 17,7 a 223,5 mg/L. A dureza das águas foi pouco dura (02). A faixa de variação de cálcio foi de 7,8 a 46,8 mg/L. A faixa de variação de magnésio foi de 1,4 a 12,4 mg/L. A faixa de variação de sódio foi de 1,6 a 17,1 mg/L. A faixa de variação do potássio foi de 0,3 a 3,4 mg/L. A faixa de variação do cloreto foi de 1,6 a 72,1 mg/L. A faixa de variação do sulfato foi de 1,6 a 22,3 mg/L. A faixa de variação de fosfato foi de < Limite de Quantificação a 0,4 mg/L. A faixa de variação de nitratos foi de 10,0 a 29,4 mg/L. A faixa de variação da temperatura da água tomada na *boca* do poço foi de 17,3 a 22,6 °C.

A família bicarbonatada ocorreu em apenas um poço/manantial em afloramento do SAG em Santana do Livramento, poço L-1. O pH foi levemente ácido 6,17, a Condutividade Elétrica de 126 microSiemens/cm, demonstra uma baixa mineralização e os STD de 82 mg/L, doce. A alcalinidade total atribuída a bicarbonatos em 61,8 mg/L, a dureza foi branda. As concentrações dos outros elementos maiores encontram-se ilustradas na Tabela 9-3.

A faixa de concentração de cálcio variou entre 7,78 a 46,84 mg/L com média de 19,35 mg/L.

A faixa de concentração de magnésio variou entre 0,88 a 12,44 mg/L com média 3,86 mg/L.

A faixa de concentração de sódio variou entre 0,78 a 17,13 mg/L com média 5,92 mg/L.

A faixa de concentração de potássio variou entre 0,31 a 2,70 mg/L com média 1,42 mg/L.

A faixa de concentração de sulfatos variou entre 0,83 a 22,28 mg/L com média 4,77 mg/L.

A faixa de concentração de fosfatos variou entre <LQ a 0,37 mg/L com média 0,21 mg/L.

A faixa de concentração de cloretos variou entre 0,8 a 72,1 mg/L com média 10,32 mg/L.



A faixa de concentração de nitratos variou entre <math><0,5</math> a 29,4 mg/L com média 9,80 mg/L.

Todos os elementos maiores avaliados encontraram-se dentro dos limites de potabilidade do Brasil Portaria 518/2004, todos abaixo do VMP (Valor Máximo Permissível).

A faixa de concentração dos metais avaliados por *Inductively Coupled Plasma ICP/MS* variou entre um valor mínimo a um máximo: (os resultados completos destas análises encontram-se no Anexo 3).

Li 0,9 a 22,4  $\mu\text{g/L}$  e média de 6,11 $\mu\text{g/L}$ .

Be 0,1 a 0,20  $\mu\text{g/L}$  e média de 0,17 $\mu\text{g/L}$ .

Al 0,1 a 108,7  $\mu\text{g/L}$  e média de 10,53 $\mu\text{g/L}$ .

V 3,5 a 50,2  $\mu\text{g/L}$  e média de 20,71 $\mu\text{g/L}$ .

Cr 0,10 a 5,10  $\mu\text{g/L}$  e média de 2,26 $\mu\text{g/L}$ .

Mn 0 a 5,5  $\mu\text{g/L}$  e média de 1,27 $\mu\text{g/L}$ .

Fe 11,3 a 69,0  $\mu\text{g/L}$  e média de 38,69 $\mu\text{g/L}$ .

Cu 0,4 a 53,8  $\mu\text{g/L}$  e média de 5,12 $\mu\text{g/L}$ .

Zn 1,4 a 26,6  $\mu\text{g/L}$  e média de 8,61 $\mu\text{g/L}$ .

Ga 0,1 a 7,3  $\mu\text{g/L}$  e média de 1,78 $\mu\text{g/L}$ .

As 0,1 a 5,70  $\mu\text{g/L}$  e média de 1,45 $\mu\text{g/L}$ .

Se 0,1 a 3,5  $\mu\text{g/L}$  e média de 0,77 $\mu\text{g/L}$ .

Rb 0,2 a 8,6 ng/L e média de 2,62 $\mu\text{g/L}$ .

Sr 36,2 a 183,8  $\mu\text{g/L}$  e média de 99,39 $\mu\text{g/L}$ .

Ba 1,51 a 159,89  $\mu\text{g/L}$  e média de 36,68 $\mu\text{g/L}$ .

Pb 0,1 a 1,8  $\mu\text{g/L}$  e média de 0,77 $\mu\text{g/L}$ .

U 0,12 a 2,18  $\mu\text{g/L}$  e média de 0,59 $\mu\text{g/L}$ .

Th 0,9 a 103,5  $\mu\text{g/L}$  e média de 28,95 $\mu\text{g/L}$ .

Os metais Ni, Co e Cs não apresentaram valores mensuráveis na faixa de  $\mu\text{g/L}$ , a maioria abaixo do limite de detecção.

A faixa de concentração dos Elementos Terras Raras/ETR avaliadas por ICP/MS, buscando-se caracterizar litotipos de rochas (vulcânicas e de rochas arenosas) variou entre um valor mínimo, máximo:

Y 3,4 a 1013,4 ng/L e média de 77,68 ng/L.

La 2,9 a 594,89 ng/L e média de 594,8 ng/L.

Ce 6,2 a 765,4 ng/L e média de 215,03 ng/L.

Pr 2,3 a 203,0 ng/L e média de 57,48 ng/L.

Nd 7,1 a 1014,3 ng/L e média de 229,34 ng/L.

Sm 15,4 a 200,1 ng/L e média de 51,06 ng/L.

Eu 15,4 a 48,90 ng/L e média de 17,97 ng/L.

Gd 2,0 a 212,7 ng/L e média de 36,47 ng/L.



Tb 0,5 a 26,30 ng/L e média de 5,42 ng/L.  
Dy 3,0 a 169,4 ng/L e média de 35,32 ng/L.  
Ho 1,1 a 39,5 ng/L e média de 8,76 ng/L.  
Er 0,4 a 97,4 ng/L e média de 14,99 ng/L.  
Tm 0,1 a 13,5 ng/L e média de 1,89 ng/L.  
Yb 0,2 a 92,1 ng/L e média de 12,16 ng/L.  
Lu 0,6 a 14,6 ng/L e média de 4,78 ng/L.

Informa-se que a amostra localizada em Quarai 14Q1= 121 todos os ETR foram elevados, informa-se que em afloramentos observou-se a ocorrência de arenito interderrames aflorante com brechas vulcânicas associadas.

Informa-se que se observou a ocorrência dos elementos Ferro e Alumínio acima do Valor Máximo Permissível para águas de consumo humano na água bruta do Rio Quarai (amostra 115), na coleta de águas realizada em julho/2005. Esta observação necessita ser comprovada em outras análises físico-químicas pelas companhias de distribuição de águas CORSAN/BR e OSE/UY.

### **8.3 Resultados de parámetros de campo**

#### **8.3.1 Artigas-Quarai:**

A los efectos de encontrar algún patrón de comportamiento que relacionara la conductividad eléctrica (CE) con la profundidad de las perforaciones donde extrajeron las muestras de agua - siempre que se tenía esa información -, se realizó el gráfico que muestra la relación entre éstos para el área de A-Q.

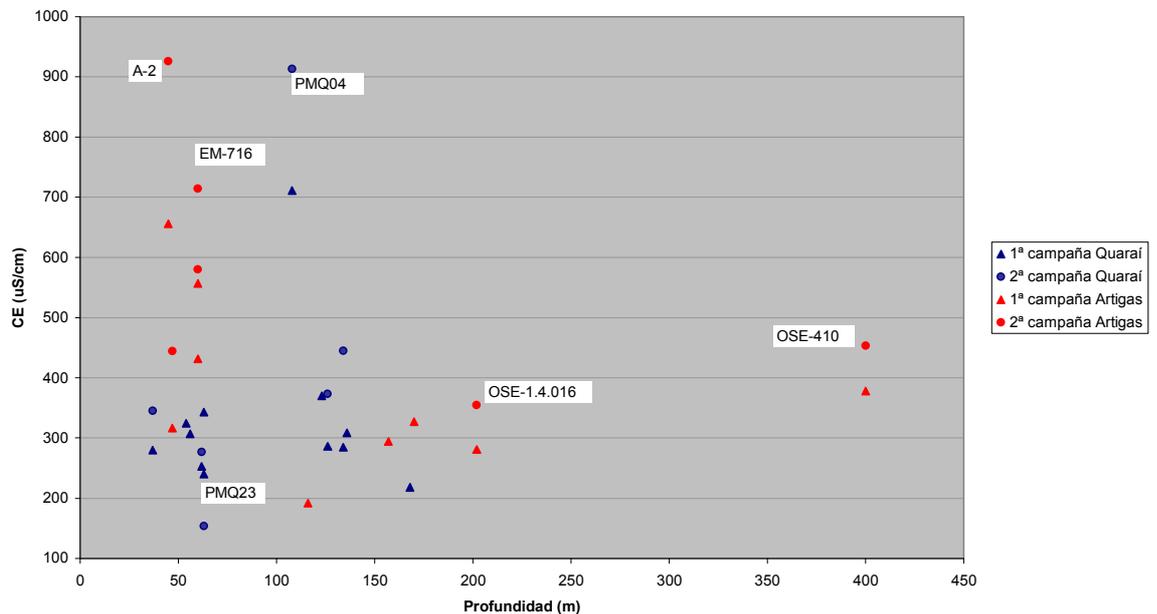
Cabe destacar que la mayor parte de los pozos de A-Q no cuentan con entubado salvo en la primera decena de metros, por lo que las aguas extraídas no pueden asociarse directamente al basalto o la arenisca, ya que las perforaciones suelen atravesar ambos estratos.

Se observa que para bajas profundidades - menos de 60 m - ocurre una mayor variación de CE, pudiendo pensarse en una influencia de factores externos que alteran la calidad natural del agua de las perforaciones más someras. El pozo más profundo (OSE-410) varió en las dos campañas entre 378 y 458  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la mayor parte de las perforaciones se mueven en un rango de 200 a 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , incluso las que no aparecen en el gráfico de la Figura 8-7 por no contarse con la información de su profundidad. Se destacan las perforaciones A-2, EM-716 y PMQ04 por tener valores muy elevados de CE.

El pozo A-2 se encuentra junto a la piscina municipal de Artigas, bajo la cabecera del puente sobre el río Cuareim. Podría pensarse en un aporte del agua de la piscina que altere su calidad. El pozo PMQ04 pertenece al Club Comercial de Quarai, ubicado en pleno centro de la ciudad frente a la plaza principal y también se encuentra junto a una piscina. La perforación EM-716 es un pozo particular ubicado en plena ciudad de Artigas.



Figura 8-7: Conductividad eléctrica vs Profundidad



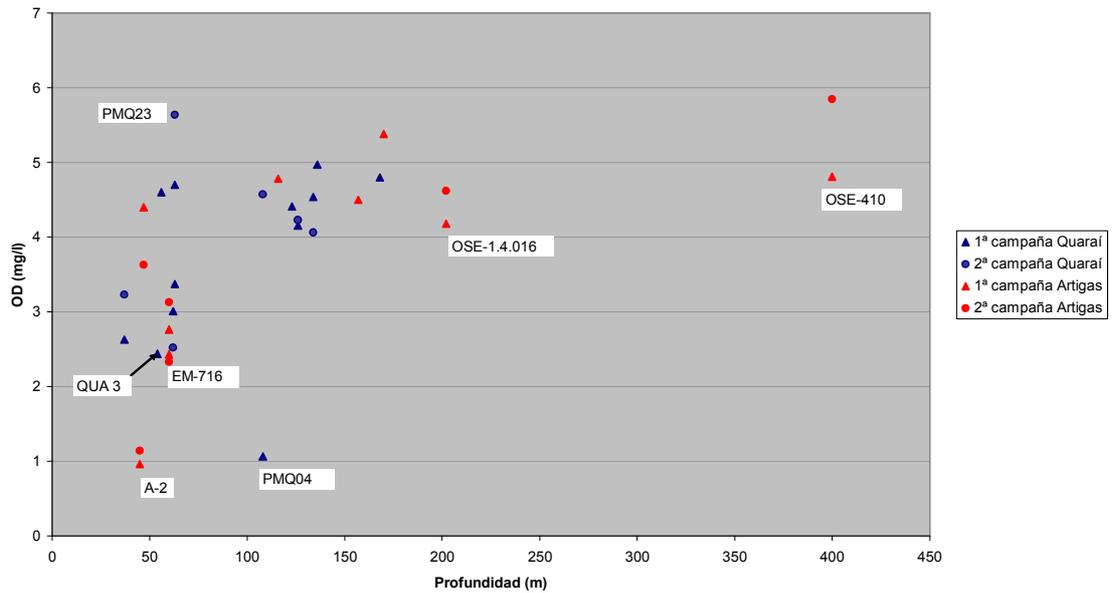
Por otro lado, el pozo que resultó con menor CE es el PMQ23 localizado en una chacra de la zona suburbana de Quarai perteneciente al Sr. Olí Castro.

Se considera prudente descartar al menos los resultados de los pozos A-2 y PMQ04 para el estudio hidrogeoquímico ya que su calidad parece estar alterada.

Si en cambio se contrasta el contenido de oxígeno disuelto (OD) con la profundidad como muestra la Figura 9-7, se puede ver un comportamiento similar y opuesto al de la CE que indicaría la misma situación de composición alterada del agua para las perforaciones junto a las piscinas y el EM-716, pudiendo incluso llegar a pensarse en actividad bacteriana que haga disminuir el contenido de OD. También en las perforaciones más someras se aprecia mayor variación de los valores de este parámetro.

El pozo QUA 3 de CORSAN, si bien no presenta valores altos de CE, sí presenta bajo contenido de OD. Esta es una perforación de respaldo que generalmente no opera por dar bajos caudales y en el momento de sacar la muestra hacía 10 meses que no estaba en operación. Antes de tomar la muestra se realizó un bombeo durante 25 minutos a un caudal aproximado de 2081 l/h (aforado con tanque de 200 que se llenó en 5 min y 46 seg), extrayendo así unos 867 l. Este pozo tiene una profundidad total de 54 m, la profundidad del nivel estático el día en que se tomó la muestra era de 32.95 m y el diámetro es de 203 mm. Esto arroja un volumen de agua en el pozo de 681 l. Se encuentra entonces que el bombeo alcanzó para desalojar poco más del volumen de agua contenido en el pozo y no se llegó a tener una renovación apropiada.

Cabe destacar que el pozo más profundo es el de mayor contenido de OD y el rango en que se encuentra la mayor parte es de 3 a 6 mg/L de OD.



La Figura 8-8 muestra los resultados de pH graficados contra la profundidad de las perforaciones

Figura 8-8: Comportamiento del pH con la profundidad

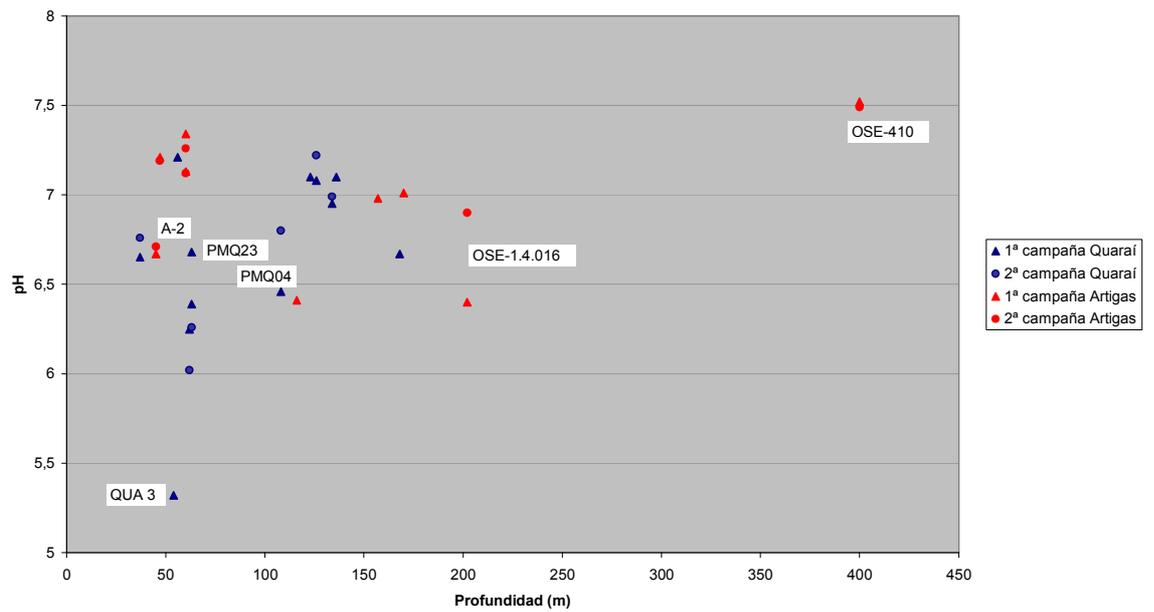
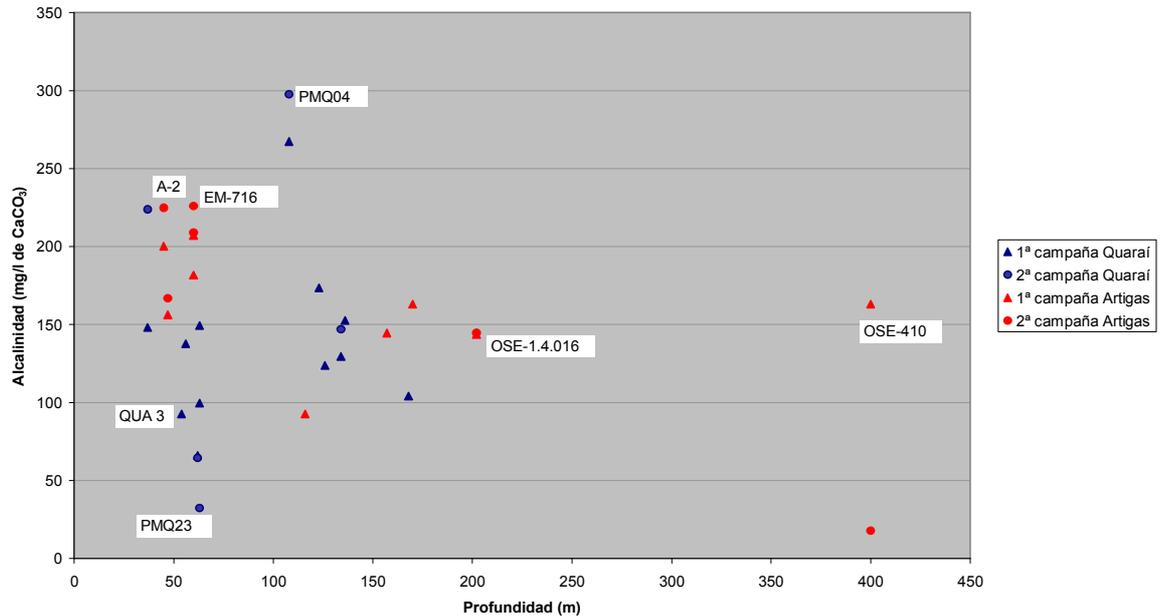


Figura 8-9: Comportamiento de la alcalinidad con la profundidad



Puede observarse que el pozo más profundo es el de pH más alto, mientras el QUA3 es el más ácido con un resultado de 5.3. Los valores de pH de la mayor parte de los pozos se ubican en un rango de 6 a 7.5. Además del QUA3 los pozos con pH menor a 6 son el Q-1, el A-9 y las perforaciones de donde se extrajeron las muestras 37Q y 38Q. Estos no se encuentran en el gráfico por ser manantiales o carecerse del dato de profundidad del pozo.

Por lo observado del QUA3 para el OD, el pH y la insuficiente renovación del agua antes de la toma de muestra, parece también apropiado no considerarlo a la hora de estudiar la hidrogeoquímica.

La Figura 9-9 muestra el mismo análisis pero para la alcalinidad, destacándose – como puede apreciarse – los pozos que ya se mencionaron para otros parámetros. Así, el pozo EM-716 aparece también como sospechoso de tener la calidad de su agua alterada.

Graficando los mismos parámetros espacialmente resulta – como puede apreciarse en las figuras 9-10, 9-11, 9-12 de la primera campaña y 9-13, 9-14, 9-15 de la segunda campaña – que la CE crece desde las afueras hacia las ciudades, el OD disminuye y el pH también. Para la realización de las curvas de isoconcentración que se presenta se utilizó el programa surfer sin anisotropías y descartando las informaciones de los pozos A-2, EM-716, PMQ04, QUA3 y QUA 8.

El pozo QUA8 de 168 m de profundidad, que en marzo de 2005 tenía una CE de 218  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un contenido de OD de 4.8 mg/L, un pH de 6.67 y una alcalinidad de 104.13 mg/L no fue considerado porque la CORSAN clora y fluora en el propio pozo, no pudiendo considerarse su calidad como la natural a pesar de estar dentro de los rangos de las perforaciones de la zona.



Figura 8-10: Conductividad eléctrica - primera campaña

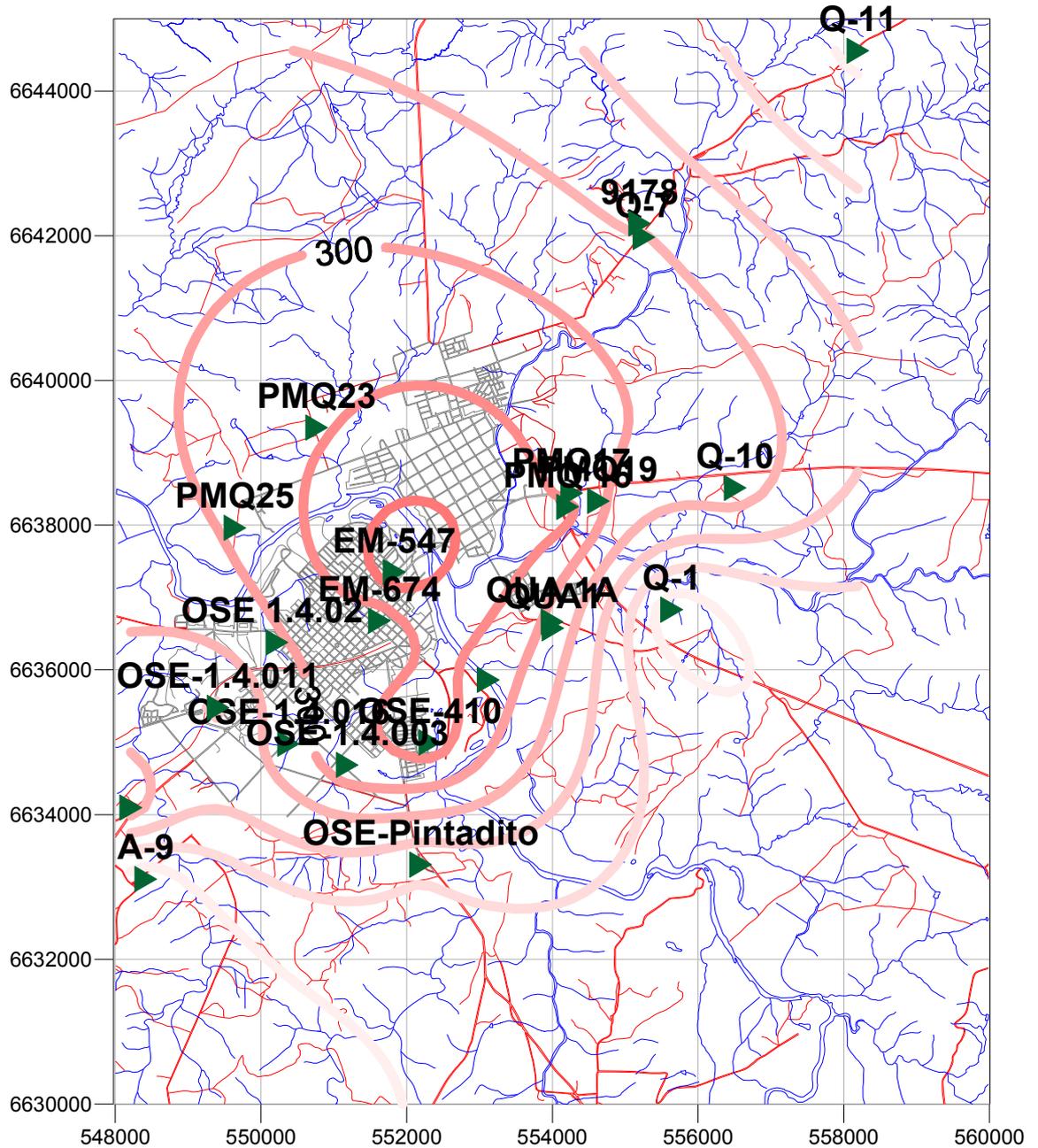




Figura 8-11: Oxígeno disuelto – primera campaña

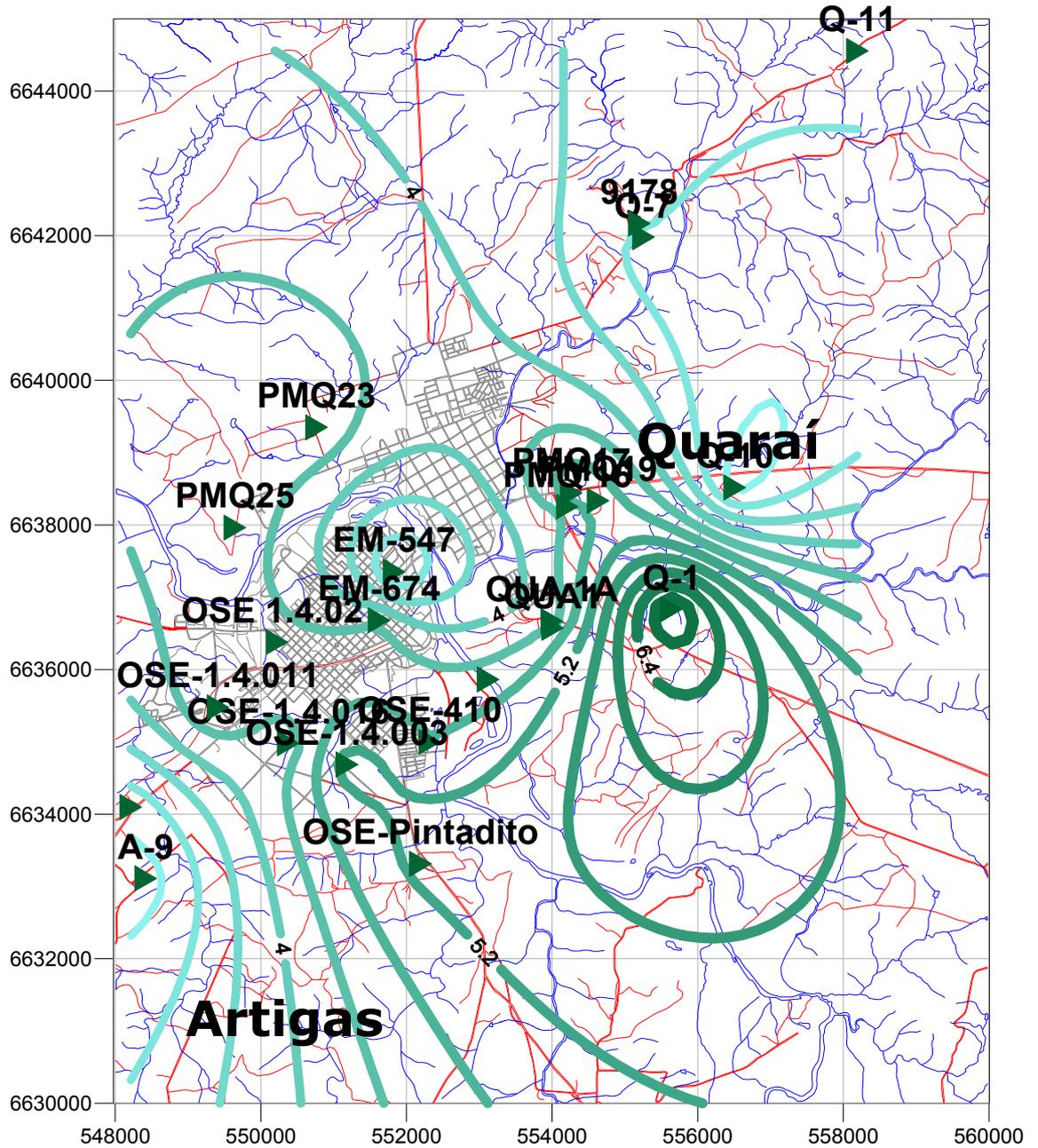
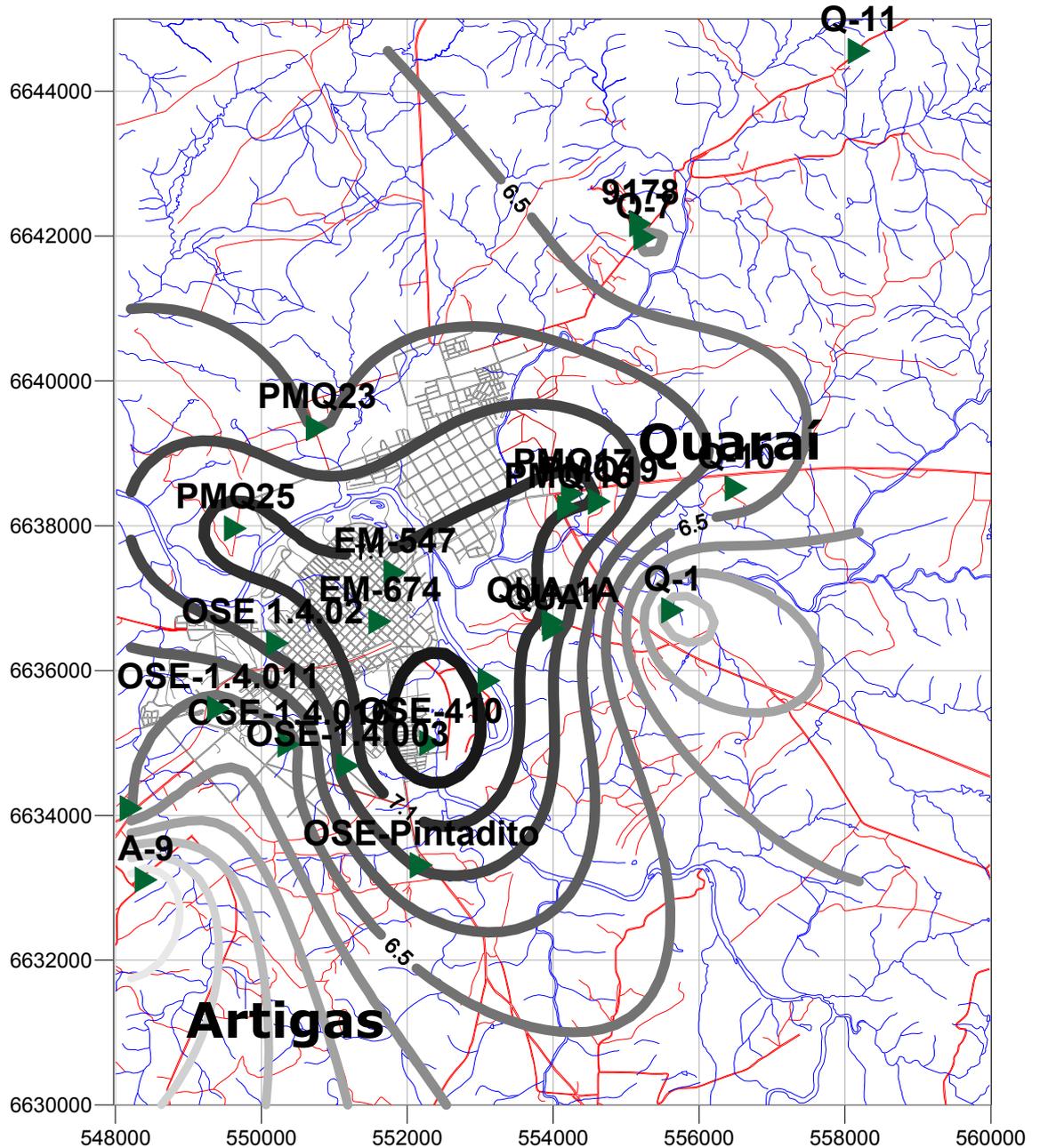




Figura 8-12: ph – primera campaña



Las curvas de isoconcentración para la segunda campaña, si bien se cuenta con menor cantidad de datos, acusan la misma tendencia que en la primera campaña.



Figura 8-13: Conductividad eléctrica – segunda campaña

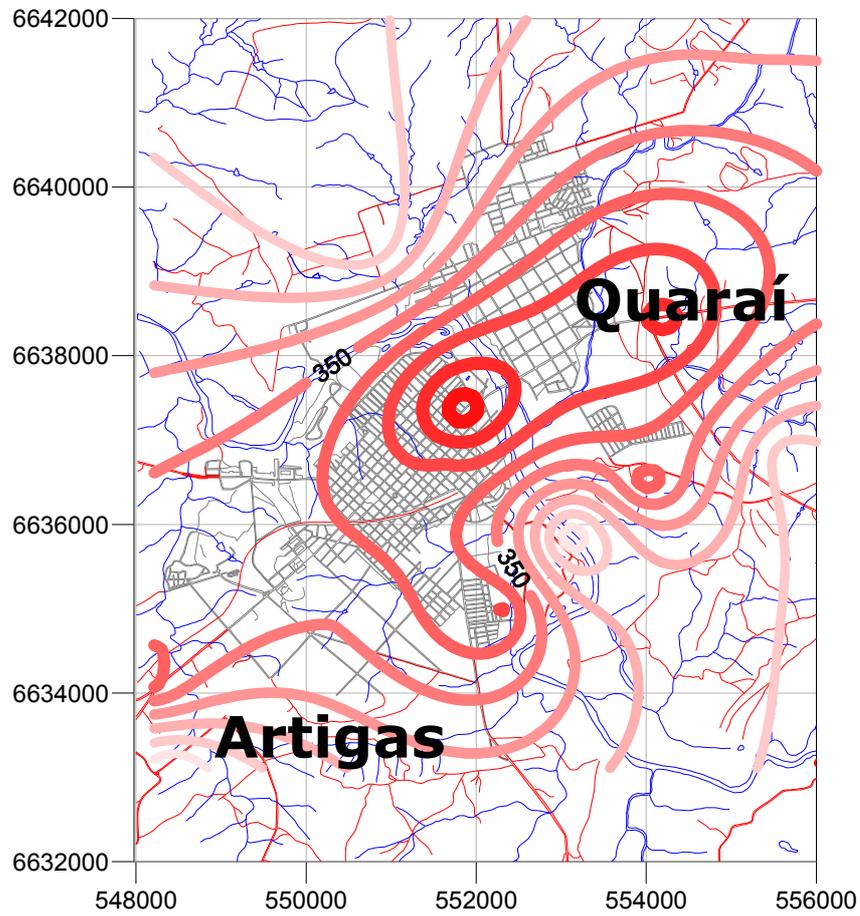




Figura 8-14: Oxígeno disuelto – segunda campaña

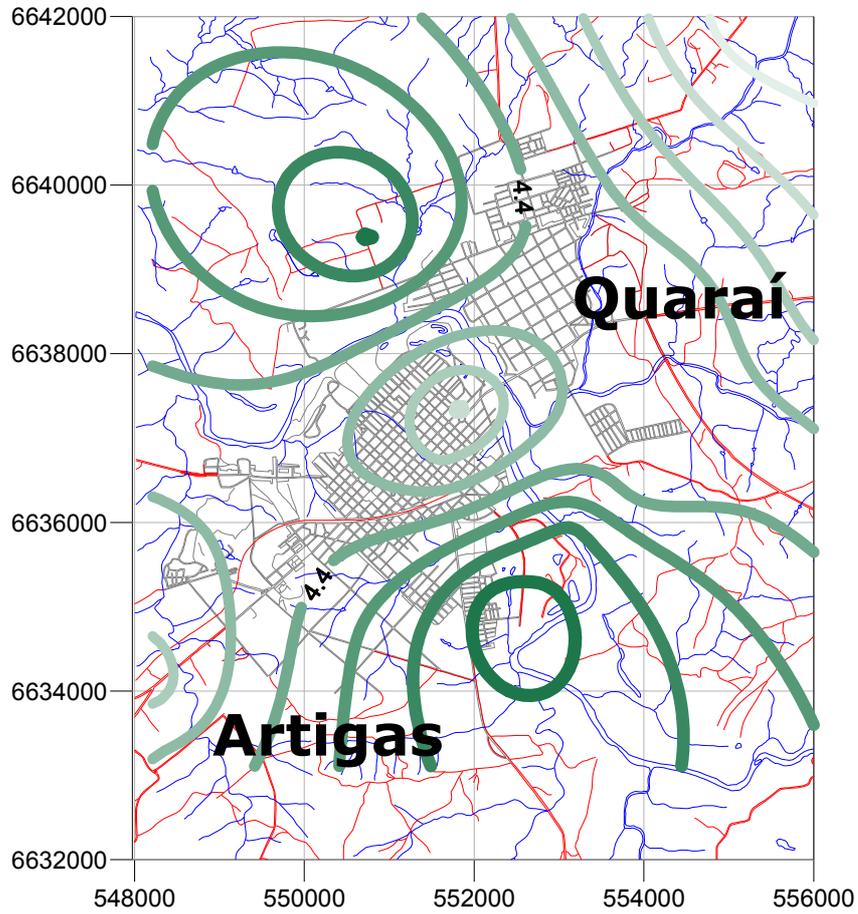
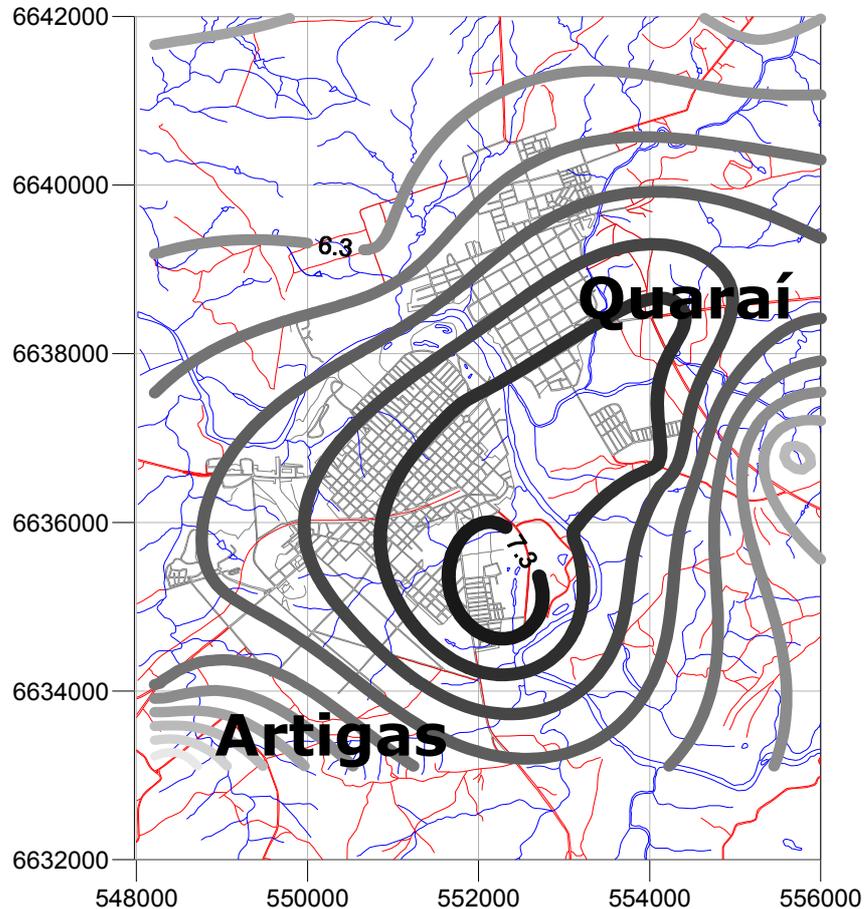




Figura 8-15: ph – segunda campaña



Los resultados de los parámetros medidos en campo en el área de A-Q muestran probablemente la influencia de las urbanizaciones sobre la calidad del agua subterránea. La evolución de estos parámetros hacia los centros urbanos está de acuerdo con la dirección de flujo local y el gran bombeo en las ciudades, pero la hipótesis de la influencia urbana es consistente con lo encontrado en el estudio isotópico y coherente con el comportamiento en función de la profundidad.

### 8.3.2 Rivera-Livramento:

Los valores de CE obtenidos en las dos campañas para R-L oscilan entre 65 y 294  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los de OD van de 3.56 a 6.32 mg/L, el pH varía de 5.16 a 6.35 y la alcalinidad de 19.67 a 165.45 mg/L.

Los resultados de R-L muestran aguas menos salinas que las de A-Q, de similares contenidos de OD y notoriamente más ácidas.

Comparando-se as duas campanhas de coletas de amostras de águas primeira no verão (março/2005) e a segunda no inverno (julho/2005):



- Todas as 21 amostras coletadas na segunda campanha no inverno apresentaram um abaixamento de temperatura das águas avaliada com sonda Horiba D-55 na faixa mínima 1,6° a no máximo 7,6° C. Esta observação indica que pode haver influência no equilíbrio físico-químico do CO<sub>2</sub> dissolvido. Este fato também pode influenciar no pH, e na concentração de cátions e ânions dissolvidos. Salienta-se ainda que a temperatura da água exerce influência direta na concentração de oxigênio dissolvido O.D. (mg/L).
- A faixa de variação de pH elevou-se em 51% das amostras e decresceu em 48%.
- A alcalinidade total das amostras elevou-se em 60% das amostras e decresceu em 40%.
- A concentração de oxigênio dissolvido O.D. elevou-se em 60% das amostras e decresceu em 40%.

No Anexo 3 estão apresentadas as concentrações dos elementos maiores obtidas na segunda campanha, juntamente com as razões iônicas obtidas, o itb, as concentrações dos metais traços, as avaliações de polítipos de rochas tipicamente arenosas e tipicamente vulcânicas, e também, os estudos preliminares da concentração de Elementos Terras Raras/ETRs em águas subterrâneas do SAG.

Os valores elevados de fechamento analítico das amostras podem ser explicados devido a não terem sido avaliados todos os elementos constituintes das águas subterrâneas, muitas delas de baixíssimo conteúdo de elementos dissolvidos (pouco mineralizadas). Muitas vezes suas as concentrações em ânions maiores, estarem abaixo do Limite de Quantificação dos aparelhos utilizados. Gastmans e Kiang (2005) encontraram erros de balanço iônico para avaliações de hidroquímica do SAG no estado do Mato Grosso entre 7 e 60%.

Estudos futuros a serem realizados pelas empresas de consultoria deverão avaliar melhor estes resultados analíticos. Sugere-se inclusive que as mesmas enviem algumas amostras para diferentes laboratórios conforme previsto nos protocolos de hidrogeoquímica para a intercalibração de laboratórios.

Os resultados físico-químicos obtidos têm representatividade espacial e trazem novas informações para uma melhor distribuição de resultados nas áreas piloto de Rivera- Santana e também para a área transfronteiriça Artigas-Quarai.

A tese defendida por Machado (2005) de que o SAG não é transfronteiriço poderá ser contestada com estudos mais detalhados em Santana do Livramento e Rivera. Deve ser informado que este Projeto teve dificuldades de acesso aos poços tubulares da OSE em Rivera, o que deixou um vazio de informação naquele setor.

Uma das contribuições mais importantes que o Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM 2006) foi à separação deste Sistema Aqüífero em nove unidades aqüíferas sendo a Botucatu a mais importante. A seguir descrevem-se os Aqüíferos do mais antigo para o mais jovem: Pirambóia, Sanga do Cabral, Passo das Tropas 2, Passo das Tropas 1, Alemoa, Caturrita, Arenito Mata, Guará e Botucatu.

Conclusão parcial parece reforçar a hipótese de que há predominância dos mesmos litotipos em Santana do Livramento e Rivera e também em Quara e Artigas, mas o que não significa afirmar-se que haja continuidade hidráulica entre as duas regiões. Nos afloramentos não foram observadas ocorrências de diques ou sills nos arenitos do SAG.



## 9 ANÁLISIS ISOTÓPICO

Con el objetivo de encontrar relaciones que aporten al modelo conceptual de flujo se colectaron y analizaron muestras de agua de perforaciones, manantiales, lluvia y agua superficial. Los parámetros analizados fueron  $^3\text{H}$ ,  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$ . Una pregunta importante a contestar a partir de esta técnica es si las muestras de agua tomadas en A-Q pudieran haber ingresado por la zona de afloramiento de areniscas de R-L o adyacentes, correspondiendo así a un flujo regional, o si por el contrario son de flujos locales.

Las muestras para análisis de tritio fueron enviadas al Laboratorio de Tritio Ambiental del Centro de Desenvolvimento de Tecnología Nuclear de la Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil. Las muestras para análisis de isótopos ambientales se analizaron en el Laboratorio de Isótopos Ambientales de la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

Se partió de la hipótesis de que las aguas de lluvia de R-L y A-Q serían de similares características, por la cercanía entre ellas (100 km) y por no tener una diferencia de altitud sustancial. R-L se encuentra a unos 350 km del océano Atlántico y A-Q a unos 450 km, R-L está a unos 200 m sobre el nivel del mar (Océano Atlántico), mientras que A-Q se encuentra a unos 100 m de éste. Por lo tanto, se implementó la recolección de muestras de agua de lluvia solamente en la ciudad de Rivera.

Así, el 30 de marzo de 2005 se instaló en la estación meteorológica de Rivera un recipiente que colecta la lluvia que cae sobre un embudo. La instalación se realizó bajo la supervisión de técnicos de la Dirección Nacional de Meteorología, de modo de captar el agua de lluvia de la forma más representativa posible y sin interferencias. Se colocó vaselina líquida para evitar la evaporación, tal como se indica en los protocolos consultados. La Figura 9-1 muestra el aparato recolector colocado.

Figura 9-1: Recolector de agua de lluvia



El recipiente se cambió mensualmente, colocando el agua en botellas para su posterior envío a los laboratorios. La Tabla 9-1 presenta el momento de inicio de



recolección de cada una de las muestras, terminando el período de recolección en el inicio de la muestra del mes siguiente. Hasta la fecha han sido enviadas y se tiene los resultados de tres muestras – abril a junio –. Se acaba de completar un año de recolección y los resultados de las muestras de julio de 2005 a marzo de 2006 se tendrán próximamente.

Tabla 9-1: Meses con muestras en laboratorio

| Mes       | Inicio de muestreo |
|-----------|--------------------|
| Abril     | 31/03/05 18:00 hs. |
| Mayo      | 02/05/05 17:50 hs. |
| Junio     | 02/06/05 18:00 hs. |
| Julio     | 01/07/05 17:50 hs. |
| Agosto    | 01/08/05 17:50 hs. |
| Setiembre | 01/09/05 18:30 hs  |
| Octubre   | 04/10/50 18:30 hs  |
| Noviembre | 01/11/05 08:00 hs  |
| Diciembre | 05/12/05 21:00 hs  |
| Enero     | 04/01/06 09:15 hs  |
| Febrero   | 06/02/06 20:30 hs  |
| Marzo     | 08/03/06 19:30 hs  |
| retirado  | 14/04/06 17:30 hs  |

Con un año completo de muestras se podrá caracterizar el ciclo anual. Con el objeto de tener un promedio ponderado con los volúmenes mensuales de precipitación líquida se cuenta con información de precipitación diaria en mm de la misma estación meteorológica de Rivera. Hasta este momento se tiene el período abril-agosto de 2005, que se muestra en el informe de la Dirección Nacional de Meteorología presentado en el Anexo 4 (archivo IP180\_05.xls).

Atendiendo a los días en que se cambió el recipiente recolector, los milímetros de lluvia correspondientes a las muestras de las que se tiene resultados son los que muestra la Tabla 9-2.

Tabla 9-2: Precipitación de los períodos de recolección de las muestras

| Mes   | Precipitación acumulada (mm) |
|-------|------------------------------|
| Abril | 102.4                        |
| Mayo  | 189.9                        |
| Junio | 109.1                        |

Para la colecta de muestras de perforaciones se buscaron aquellas que por su ubicación y características pudieran representar casos interesantes de estudio, que fueran accesibles y de las que pudiera obtenerse una muestra lo menos alterada posible, pretendiendo obtener agua de distintas profundidades. La muestra



de agua superficial se colectó de la toma que tiene CORSAN en el río Cuareim en coordenadas aproximadas (553121,6635863).

La ubicación de los pozos donde se tomaron muestras se presenta en las Figura 9-2 y Figura 9-3.

Figura 9-2: : Ubicación de los pozos de los pozos considerados en A-Q

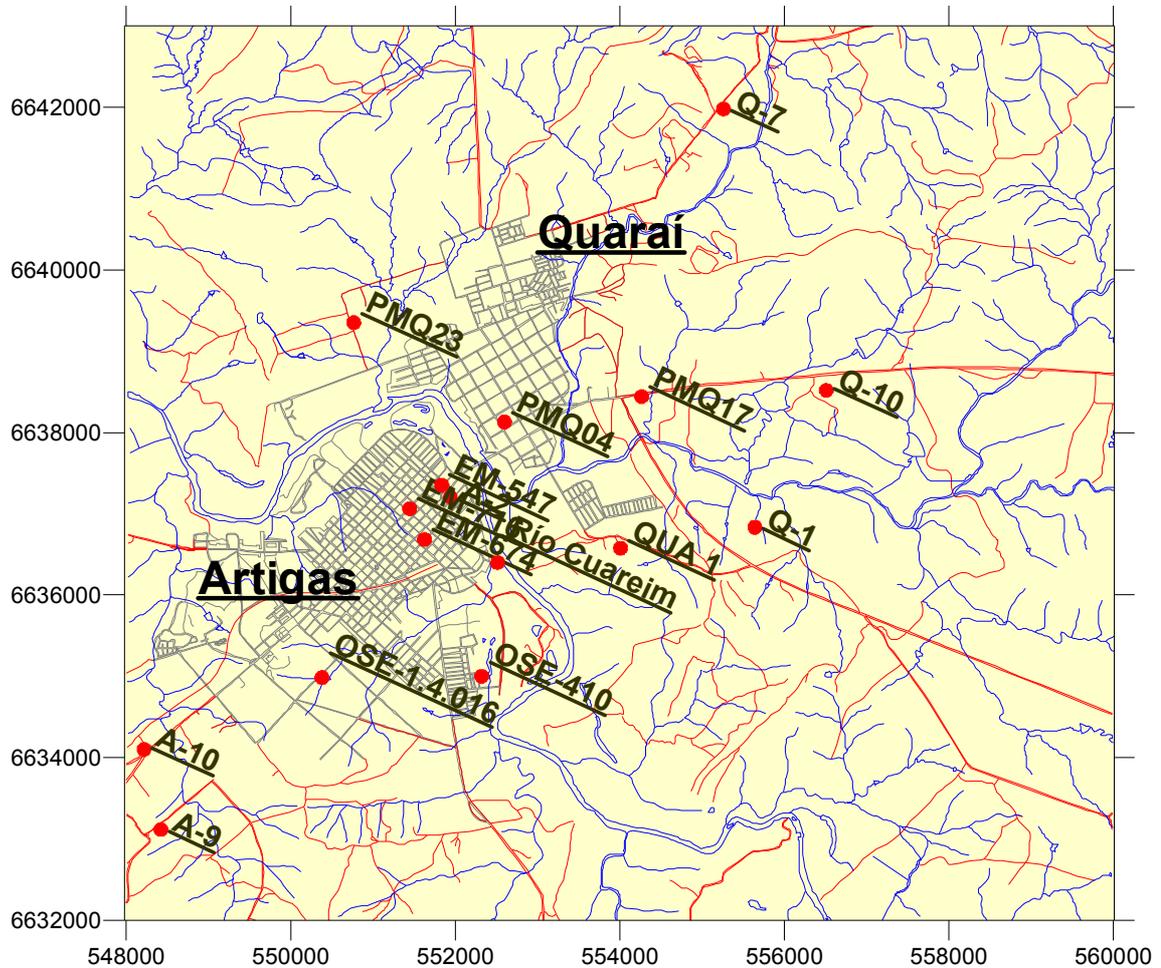
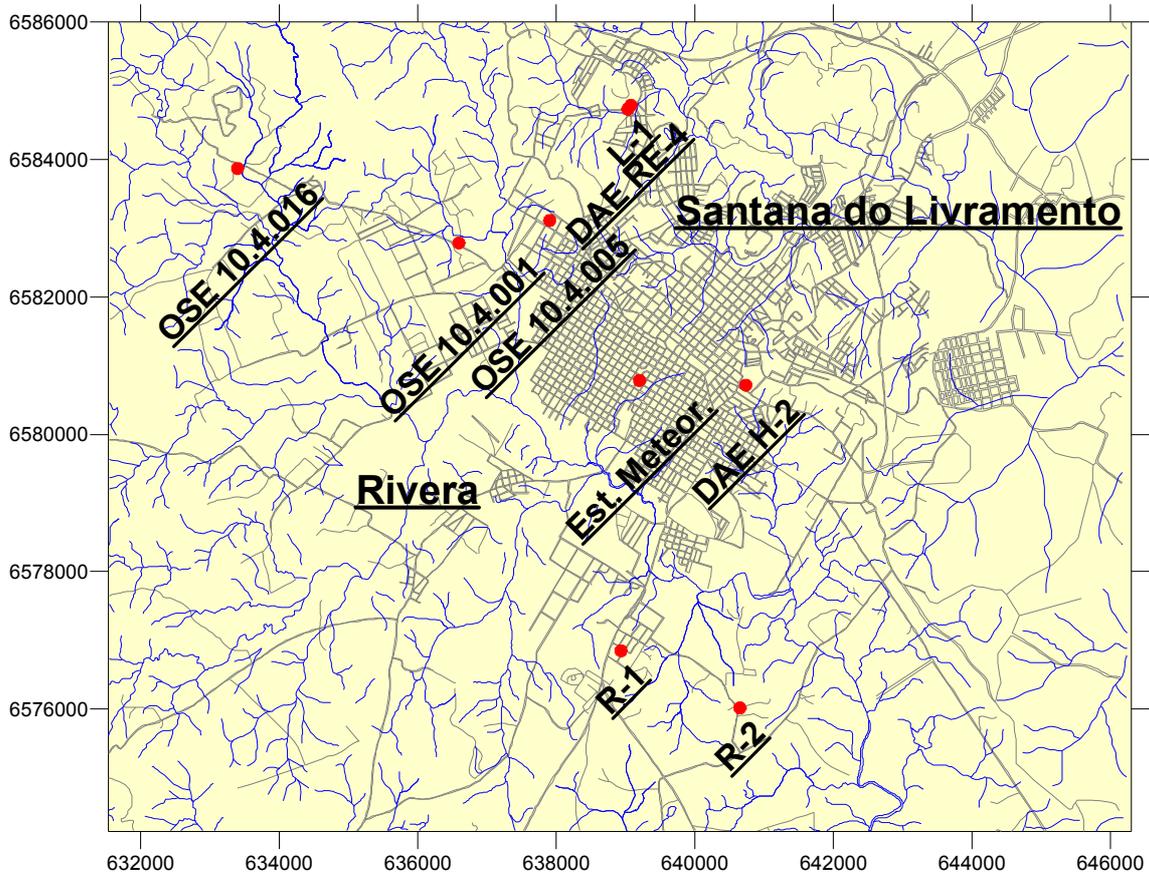


Figura 9-3: Ubicación de los pozos de los pozos considerados en R-L



## 9.1 Isótopos Ambientales

### 9.1.1 Primera campaña de muestreo

En marzo de 2005, coincidiendo con el muestreo para análisis físico-químicos, se realizó la primera campaña de recolección de muestras de aguas subterráneas para análisis isotópicos totalizando 19 (17 de perforaciones y 2 de manantiales). La

Tabla 9-3 muestra el listado de perforaciones de donde se colectaron muestras y los resultados del análisis de isótopos ambientales. Al conjunto de muestras de aguas subterráneas se agregó la de agua de lluvia colectada a lo largo del mes de abril. Los resultados están expresados en  $\delta$  ‰ (delta por mil) referido a SMOW (sea mean ocean water), y el error analítico en  $^{18}\text{O}$  es de  $\pm 0.05$  ‰ y en  $^2\text{H}$  es de  $\pm 1$  ‰.



Tabla 9-3: Resultados para  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  de la campaña de marzo de 2005 y lluvia de abril

| Id. Muestra | Id. Pozo    | Alias                             | Ciudad     | Fecha dd/mm/aa muestreo | Cód. Lab. | Fecha dd/mm/aa análisis | $\delta$ o/oo 2 H | $\delta$ o/oo 18 O |
|-------------|-------------|-----------------------------------|------------|-------------------------|-----------|-------------------------|-------------------|--------------------|
| 1A          | DAE H-2     | DAE H-2                           | Livramento | 04/03/2005              | PGU-23    | 27/07/2005              | -28,7             | -5,42              |
| 2A          | L-1         | Manatial Cerro del Registro       | Livramento | 04/03/2005              | PGU-24    | 27/07/2005              | -28,5             | -5,41              |
| 3A          | DAE RE-4    | DAE RE-4                          | Livramento | 04/03/2005              | PGU-25    | 27/07/2005              | -29,5             | -5,47              |
| 6A          | R-2         | Antonio Rodríguez                 | Rivera     | 05/03/2005              | PGU-26    | 27/07/2005              | -29,6             | -5,34              |
| 7A          | R-1         | Conaprole pozo 1 (antiguo pozo 3) | Rivera     | 05/03/2005              | PGU-27    | 27/07/2005              | -31,0             | -5,63              |
| 8A          | Q-1         | Sr. Manolo (Manantial)            | Quaraí     | 06/03/2005              | PGU-28    | 27/07/2005              | -29,6             | -5,40              |
| 9A          | PMQ17       | Palmeirao                         | Quaraí     | 06/03/2005              | PGU-29    | 27/07/2005              | -27,5             | -5,09              |
| 10A         | Q-10        | Sr. Severo                        | Quaraí     | 06/03/2005              | PGU-30    | 27/07/2005              | -27,9             | -5,20              |
| 11A         | QUA 1       | CORSAN QUA1                       | Quaraí     | 07/03/2005              | PGU-31    | 02/08/2005              | -28,9             | -5,34              |
| 12A         | OSE-410     | OSE 410                           | Artigas    | 08/03/2005              | PGU-32    | 02/08/2005              | -30,5             | -5,37              |
| 13A         | OSE-1.4.016 | OSE 1-4-016                       | Artigas    | 08/03/2005              | PGU-33    | 02/08/2005              | -24,0             | -3,56              |
| 14A         | A-2         | Piscina Municipal, IMA            | Artigas    | 09/03/2005              | PGU-34    | 02/08/2005              | -27,4             | -5,04              |
| A15         | EM-547      | Sanatorio Gremeda                 | Artigas    | 09/03/2005              | PGU-35    | 02/08/2005              | -27,5             | -5,06              |
| 16A         | EM-716      | Sr. Anais Urbano                  | Artigas    | 09/03/2005              | PGU-36    | 02/08/2005              | -27,7             | -4,96              |
| 17A         | PMQ04       | Club Comercial                    | Quaraí     | 09/03/2005              | PGU-37    | 02/08/2005              | -27,5             | -4,98              |
| 18B         | EM-674      | Dr. Muguruza                      | Artigas    | 10/03/2005              | PGU-38    | 02/08/2005              | -28,5             | -5,19              |

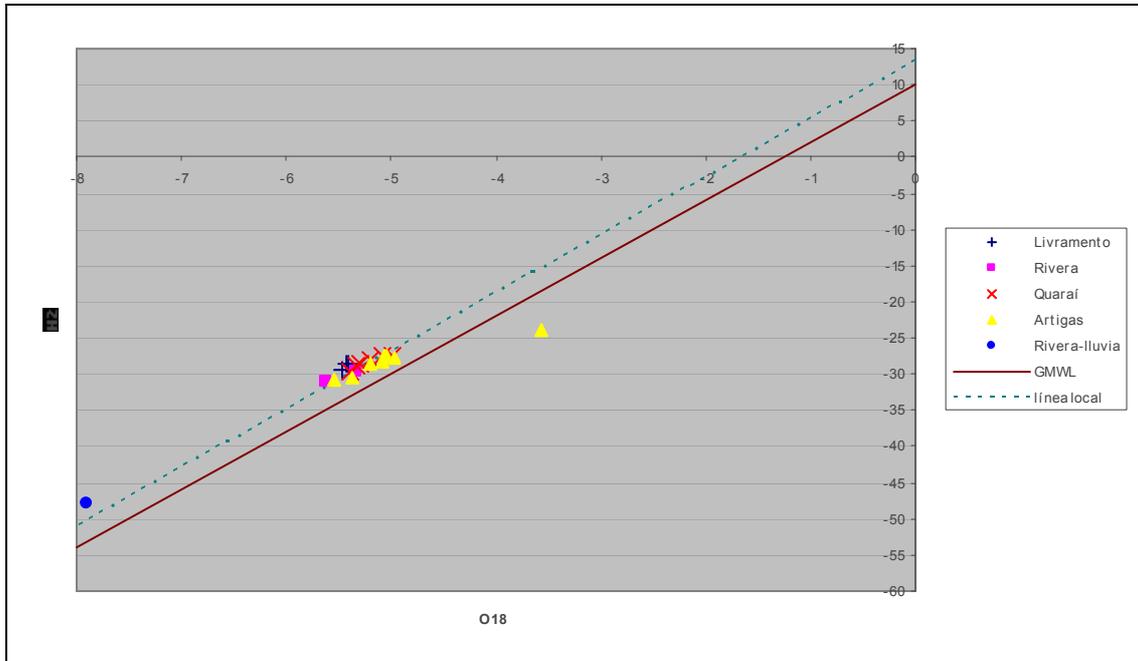


| Id. Muestra    | Id. Pozo | Alias             | Ciudad  | Fecha dd/mm/aa muestreo | Cód. Lab. | Fecha dd/mm/aa análisis | $\delta$ o/oo 2 H | $\delta$ o/oo 18 O |
|----------------|----------|-------------------|---------|-------------------------|-----------|-------------------------|-------------------|--------------------|
| 19B            | Q-7      | Dr. Machado López | Quaraí  | 11/03/2005              | PGU-39    | 02/08/2005              | -28,5             | -5,29              |
| 20             | A-9      | Fuente Orion      | Artigas | 11/03/2005              | PGU-40    | 02/08/2005              | -30,9             | -5,54              |
| 21             | A-10     | Flia. Taveira     | Artigas | 11/03/2005              | PGU-41    | 02/08/2005              | -28,4             | -5,09              |
| LL-4A (lluvia) |          |                   | Rivera  | 01-30/04/05             | PGU-42    | 02/08/2005              | -47,8             | -7,91              |



El gráfico de la Figura 9-4 muestra la ubicación de las muestras en el plano ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ) y respecto de la Línea de Agua Meteorica Mundial (GMWL por sus siglas en inglés) dada por la ecuación:  $^2\text{H} = 8 ^{18}\text{O} + 10$ .

Figura 9-4: Isótopos ambientales, campaña de marzo de 2005 y lluvia de abril



### 9.1.2 Conclusiones de la primera campaña de muestreo

Se observa que las muestras que se apartan de la nube de puntos corresponden a la lluvia de abril en Rivera y a la perforación OSE-1.4.016 de Artigas. Llama la atención la posición de la perforación OSE-1.4.016 en el gráfico ya que no sólo se aparta del resto de los puntos sino que se posiciona del otro lado de la GMWL.

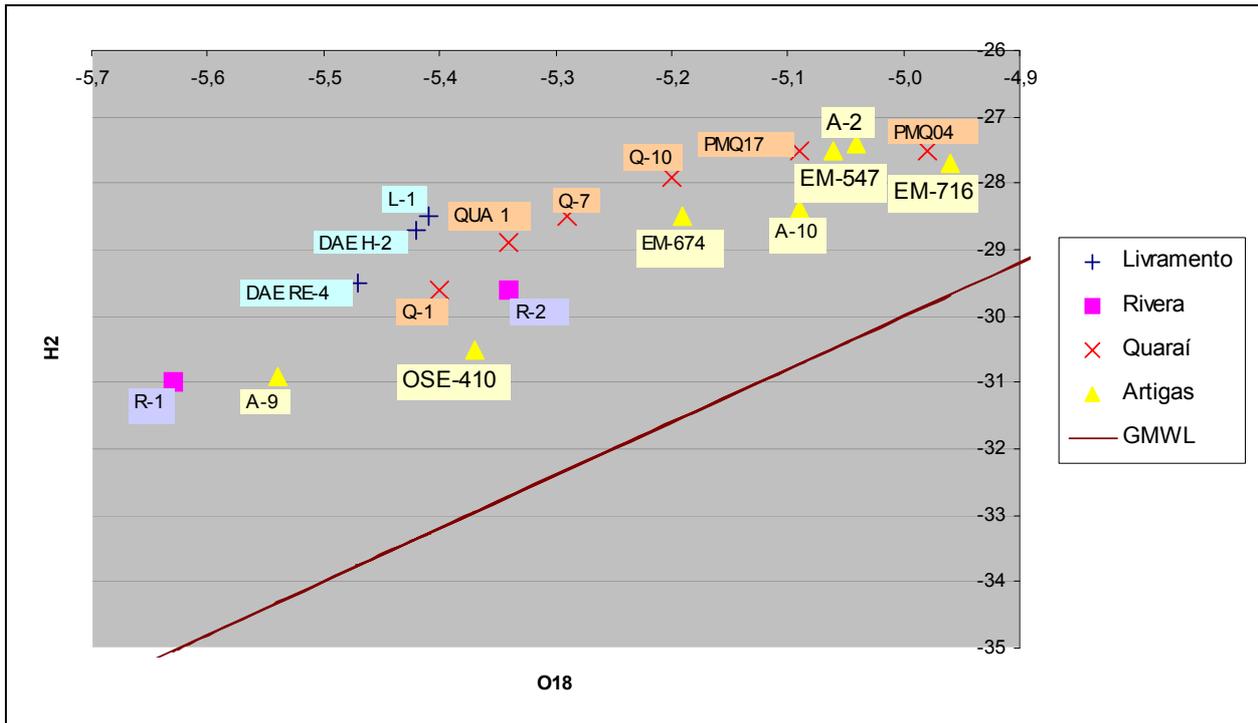
Si no se considera el resultado de la perforación OSE-1.4.016, y asumiendo una pendiente de 8 para una posible recta meteórica local, la recta que pasa por la nube de puntos tiene un valor de ordenada en el origen (exceso de deuterio) de entre 13 y 14‰ de  $\delta^2\text{H}$ .

El rango de valores de  $\delta^{18}\text{O}$  para las perforaciones fue de -5,63 a -3,56 ‰ (incluyendo el pozo OSE-1.4.016) y los manantiales resultaron en -5,40 y -5,42 ‰. El promedio fue de -5,18 ‰ considerando todas las muestras de aguas subterráneas.

Análogamente, el rango de valores de  $\delta^2\text{H}$  para las perforaciones osciló entre -31,0 y -24,0 ‰, y para manantiales -28,5 y -28,7 ‰. El valor medio de las perforaciones fue de 28.47 ‰ y 28.53 ‰ considerando toda el agua subterránea.

La Figura 9-5 muestra un mayor detalle a los puntos que se presentan agrupados en el gráfico de la Figura 9-4.

Figura 9-5: Isótopos ambientales identificación de los pozos, marzo de 2005



Los puntos identificados como L-1 y Q-1 corresponden a manantiales ubicados en las ciudades de Santana do Livramento y Quaraí respectivamente. L-1 se encuentra en areniscas en la base de un cerro constituido por basalto. Q-1 está sobre basalto en una zona baja, con fuerte pendiente del terreno que baja hacia una cañada muy cercana. Serían entonces resultados representativos del agua de lluvia en la zona.

Las perforaciones cuyos resultados se encuentran más cercanos a los de los manantiales se localizan más alejadas de las ciudades. Hacen excepción el pozo OSE-410, que si bien está en barrio de la ciudad de Artigas es el más profundo del que se tomó muestra (400 m) y el DAE H-2 que tiene una profundidad de 71 m y se encuentra en un parque en el borde de la ciudad de Livramento. Los resultados que muestran aguas más enriquecidas se encuentran sobre las áreas más urbanizadas.

En A-Q, la mayor parte de las perforaciones están entubados unos pocos metros desde la boca del pozo y captan agua de toda la columna del pozo. Así, es muy probable que las aguas extraídas constituyan una mezcla de aguas de distintas profundidades, de basalto alterado y fisurado y de las areniscas (que podrían estar o no conectadas hidráulicamente con las zonas fisuradas del basalto pero que las perforaciones constituyen vías de conexión). Por otra parte, las ciudades cuentan con un bajo porcentaje de cobertura de alcantarillado y elevadas pérdidas físicas de la red de distribución de agua potable, con alta cobertura.

Las aguas de las muestras más enriquecidas podrían entonces estar indicando mezcla de las aguas subterráneas con aguas superficiales o que sufrieron evaporación. Esto es posible en la medida que los sistemas de abastecimiento de ambas ciudades son mixtos, utilizando agua del río Cuareim que sufre evaporación en su cauce y que a la vez puede evaporarse en las piletas de las plantas de tratamiento. No se cuenta con una cantidad de datos suficiente como para construir una recta que caracterice el proceso de evaporación con una pendiente apartada respecto de la de la GMWL.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



### 9.1.3 Segunda campaña de muestreo

En julio de 2005 se realizó la segunda campaña de recolección de 23 muestras de aguas subterráneas (21 de perforaciones, 2 de manantiales) y una muestra de agua del río Cuareim. La Tabla 9-4 muestra el listado de los sitios donde se colectaron muestras y los resultados del análisis de isótopos ambientales. Al conjunto de muestras de aguas subterráneas se agregó la de agua de lluvia colectada a lo largo de los meses de mayo y junio. Al igual que en la

Tabla 9-3, los resultados están expresados en  $\delta$  ‰ (delta por mil) referido a SMOW (sea mean ocean water), y el error analítico en  $^{18}\text{O}$  es de  $\pm 0.05$  ‰ y en  $^2\text{H}$  es de  $\pm 1$  ‰.



Tabla 9-4: Resultados para  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  de la campaña de julio de 2005 y lluvia de mayo y junio

| Id. Muestra | Id. Pozo | Alias                            | Ciudad     | Fecha dd/mm/aamuestreo | Cód. Lab. | Fecha dd/mm/aa análisis | $\delta$ o/oo $^2\text{H}$ | $\delta$ o/oo $^{18}\text{O}$ |
|-------------|----------|----------------------------------|------------|------------------------|-----------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 101A        | R-1      | Conaprole pozo1 (antiguo pozo 3) | Rivera     | 19/07/2005             | PGU-55    | 14/09/2005              | -30.4                      | -5,54                         |
| 102A        | R-2      | Antonio Rodríguez                | Rivera     | 19/07/2005             | PGU-56    | 14/09/2005              | -28.7                      | -5,39                         |
| 103A        | L-1      | Manatíal Cerro del Registro      | Livramento | 19/07/2005             | PGU-57    | 14/09/2005              | -29.5                      | -5,45                         |
| 104A        | DAE RE-4 | DAE RE-4                         | Livramento | 19/07/2005             | PGU-58    | 14/09/2005              | -29.1                      | -5,39                         |
| 105A        | DAE H-2  | DAE H-2                          | Livramento | 20/07/2005             | PGU-59    | 14/09/2005              | -29.3                      | -5,33                         |
| 106A        | PMQ17    | Palmeirao                        | Quaraí     | 20/07/2005             | PGU-60    | 14/09/2005              | -20.8                      | -4,95                         |
| 107A        | Q-1      | Sr. Manolo (manantial)           | Quaraí     | 20/07/2005             | PGU-61    | 14/09/2005              | -30.0                      | -5,40                         |
| 108A        | Q-7      | Dr. Machado López                | Quaraí     | 20/07/2005             | PGU-62    | 14/09/2005              | -28.9                      | -5,27                         |
| 109A        | PMQ04    | Club Comercial                   | Quaraí     | 20/07/2005             | PGU-63    | 14/09/2005              | -27.4                      | -4,89                         |
| 110A        | A-2      | Piscina Municipal, IMA           | Artigas    | 20/07/2005             | PGU-64    | 14/09/2005              | -26.9                      | -4,87                         |
| 111A        | A-10     | Familia Taveira                  | Artigas    | 20/07/2005             | PGU-65    | 20/09/2005              | -28.0                      | -5,03                         |
| 112A        | A-9      | Fuente Orión                     | Artigas    | 20/07/2005             | PGU-66    | 20/09/2005              | -30.4                      | -5,52                         |
| 113A        | Q-10     | Sr. Severo                       | Quaraí     | 20/07/2005             | PGU-67    | 20/09/2005              | -28.1                      | -5,20                         |
| 114A        | QUA 1    | CORSAN QUA1                      | Quaraí     | 21/07/2005             | PGU-68    | 20/09/2005              | -28.4                      | -5,21                         |
| 115A        | Río      | Río Cuareim                      | Quaraí     | 21/07/2005             | PGU-69    | 20/09/2005              | -18.3                      | -3,78                         |



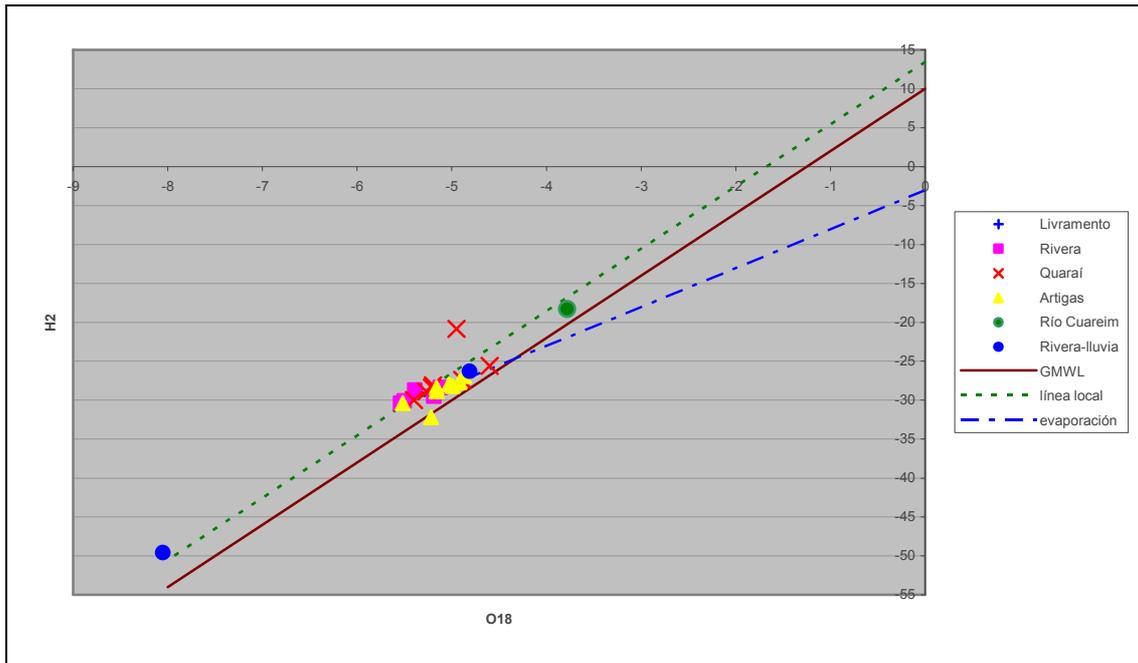
| Id. Muestra | Id. Pozo     | Alias                           | Ciudad        | Fecha dd/mm/aamuestreo | Cód. Lab. | Fecha dd/mm/aa análisis | $\delta$ o/oo 2 H | $\delta$ o/oo 18 O |
|-------------|--------------|---------------------------------|---------------|------------------------|-----------|-------------------------|-------------------|--------------------|
| 116A        | EM-716       | Sr. Anais Urbano Pereira        | Artigas       | 21/07/2005             | PGU-70    | 20/09/2005              | -27.7             | -4,92              |
| 117A        | EM-674       | Dr. Muguruza                    | Artigas       | 21/07/2005             | PGU-71    | 20/09/2005              | -28.4             | -5,16              |
| 118A        | EM-547       | Sanatorio Gremeda               | Artigas       | 24/07/2005             | PGU-72    | 20/09/2005              | -28.2             | -4,99              |
| 119A        | OSE-1.4.016  | OSE 1-4-016                     | Artigas       | 23/07/2005             | PGU-73    | 20/09/2005              | -28.9             | -5,16              |
| 120A        | OSE-410      | OSE 410                         | Artigas       | 23/07/2005             | PGU-74    | 20/09/2005              | -32.2             | -5,22              |
| 121A        | PMQ23        | Sr. Oli                         | Quaraí        | 24/07/2005             | PGU-75    | 20/09/2005              | -25.6             | -4,60              |
| 122A        | OSE 10.4.005 | OSE 10-4-005<br>El Hormigón     | Rivera        | 27/07/2005             | PGU-76    | 20/09/2005              | -30.1             | -5,50              |
| 123A        | OSE 10.4.001 | OSE 10-4-001<br>Lagunon 1       | Rivera        | 27/07/2005             | PGU-77    | 20/09/2005              | -28.4             | -5,12              |
| 124A        | OSE 10.4.016 | OSE 10-4-016<br>Rita Parque G-B | Rivera        | 27/07/2005             | PGU-78    | 20/09/2005              | -29.5             | -5,19              |
| LL5A        |              |                                 | Rivera-lluvia | 3/05/05-<br>2/6/05     | PGU-79    | 20/09/2005              | -49.6             | -8,05              |
| LL6A        |              |                                 | Rivera-lluvia | 3/6/05-1/7/05          | PGU-80    | 20/09/2005              | -26.3             | -4,81              |



#### 9.1.4 Conclusiones de la segunda campaña

El gráfico de la Figura 9-6 muestra la ubicación de los resultados de la campaña de julio en el plano ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ).

Figura 9-6: Isótopos ambientales, campaña de julio y lluvia de mayo y junio de 2005



El rango de valores de  $\delta^{18}\text{O}$  para las perforaciones fue de -5,54 a -4,60 ‰ y manantiales -5,45 y -5,40 ‰, con un valor medio de -5,19 ‰ considerando todas las aguas subterráneas.

El rango de valores de  $\delta^2\text{H}$  para los pozos fue de -32,2 a -20,8 ‰ y para manantiales -29,5 y -30,0 ‰, con un valor medio de 28,47 ‰ considerando todas las aguas subterráneas.

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  para agua de lluvia de abril a junio fueron de gran variación: de -8.05 a -4.81 ‰ y para el río Cuareim en julio -3,78 ‰. Los resultados de  $\delta^2\text{H}$  para los tres meses de agua de lluvia fueron de -49,6 a -26,3 ‰ y el del agua del río del mes de julio fue de -18.3 ‰.

Los puntos que aparecen alejados del resto corresponden a la muestra de agua del río Cuareim, a la de lluvia del mes de mayo en la ciudad de Rivera y a la perforación PMQ 17 de Quaraí. En este caso llama la atención la posición de la muestra de este pozo ya que además de alejarse del resto, se aparta notoriamente de lo que sería la línea de agua meteórica local y difiere de modo importante del valor que se obtuvo en la campaña anterior. Ocurre algo similar con el resultado del pozo OSE 410 de Artigas.

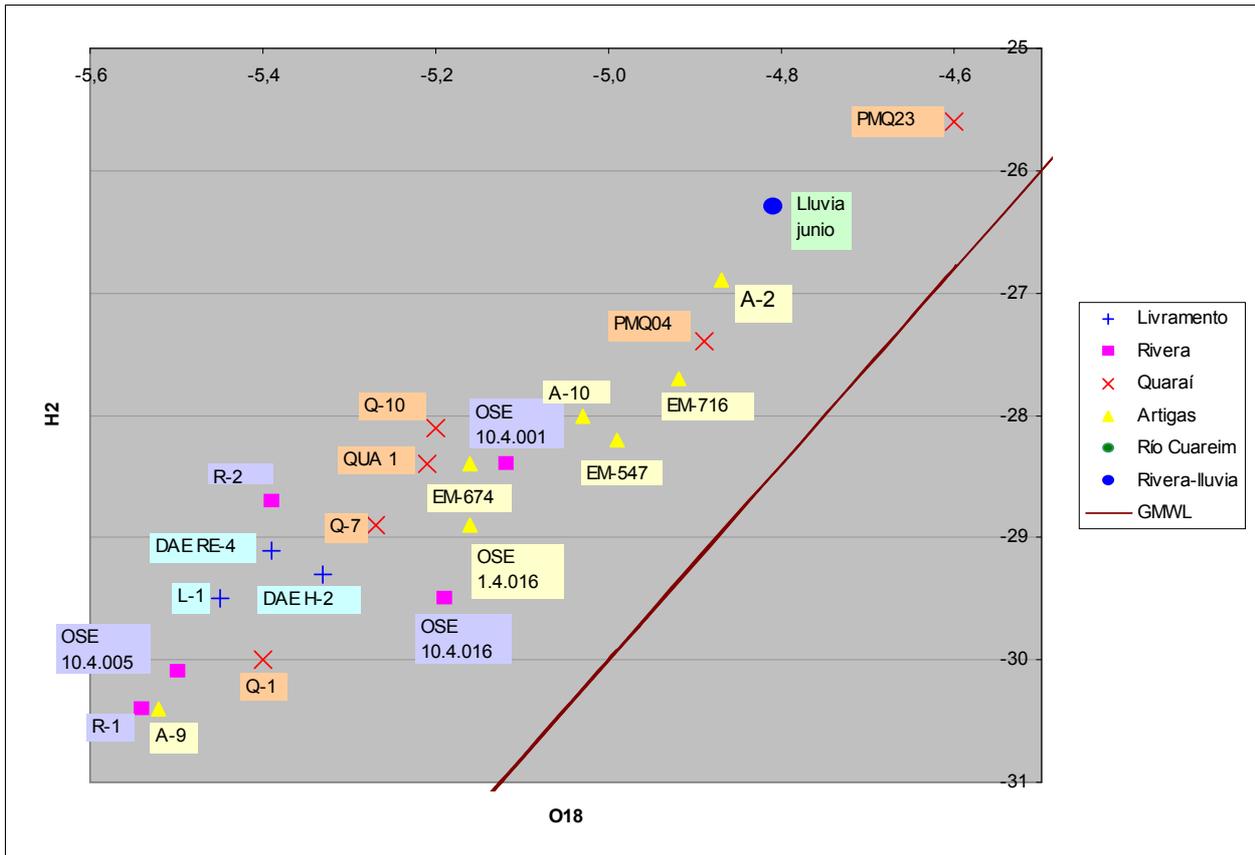
Se puede apreciar que las aguas más pesadas de perforaciones se desvían de la línea de agua meteórica propuesta, moviéndose sobre otra de menor



pendiente. Este es un comportamiento típico de agua que sufrió procesos de evaporación, reafirmando lo dicho anteriormente sobre que el agua captada por muchas de las perforaciones es de una mezcla.

Haciendo un acercamiento a los puntos agrupados se tiene lo que muestra la Figura 9-7

Figura 9-7: Identificación de los pozos, julio de 2005 y lluvia de junio



Los pozos cuyos resultados de la campaña de julio más se acercan a los resultados de los manantiales L-1 y Q-1 siguen siendo los más alejados de los centros urbanos y además los de abastecimiento de agua que suelen ser los más profundos y mejor construidos.

Tanto en deuterio como en oxígeno 18, la mayor parte de las muestras de pozos tuvieron variaciones menores o apenas mayores al error analítico en los resultados de las campañas de marzo y julio. Los pozos que tuvieron diferencias importantes fueron el PMQ 17 de Quaraí y los OSE 410 y 1.4.016 de Artigas. Además, estas perforaciones se apartaron notablemente del grupo de puntos en los resultados de julio para el PMQ 17 y el OSE 410 y en el resultado de marzo para el OSE 1.4.016. Se entiende prudente no considerar los resultados de estas perforaciones para el caso en que se apartan de la nube de puntos a pesar de no poder identificar el origen del error.

Cabe destacar que dentro de los valores obtenidos para aguas subterráneas, los resultados de los pozos A-2, PMQ04 y EM-716 son los más enriquecidos en isótopos ambientales para las dos campañas realizadas. El pozo PMQ23 también se destaca por lo mismo, aunque fue muestreado sólo en julio. Son los de resultados

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



que más se aproximan al del agua de río, y son también los mismos pozos que se destacan en los parámetros físico-químicos obtenidos en campo. Es razonable pensar en la existencia de una mezcla con mayor incidencia de aguas superficiales en estas perforaciones que la que pudiera haber en el resto.

Si bien registran variaciones importantes, los valores de las muestras de agua de lluvia mantienen una relación lineal de pendiente muy similar a la de GMWL. Aunque aparece enriquecida, la muestra de agua del río Cuareim presenta el mismo comportamiento. Esto puede estar indicando que en el momento que se tomó la muestra el agua del río no tenía mucha influencia de evaporación lo que parece compatible con el momento del año en que se tomó. Cabe destacar que el río Cuareim nace muy cerca de la ciudad de Rivera y transcurre de SE a NW a lo largo de unos 100 km uniendo las áreas de estudio de este proyecto. Su cauce está directamente asentado sobre derrames de rocas volcánicas y sólo en un corto trecho de su camino, ubicado en Piedra Pintada, se asienta sobre rocas areniscas pertenecientes al SAG.

El punto de muestreo L1 (-5.45 y -5.41 ‰ de  $\delta^{18}\text{O}$ ) corresponde a un manantial en la base del Cerro del Registro en Livramento. Se presume entonces que las muestras son representativas de agua de infiltración reciente en R-L, por lo que se espera que el valor anual de lluvia sea similar. Según Plata Bedmar et al. en el Informe del Taller de Belo Horizonte del año 2001, el valor medio de  $\delta^{18}\text{O}$  para acuíferos basálticos de Río Grande do Sul no influenciados por el acuífero Guaraní es de -5.3 ‰ y del acuífero Raigón de -5.2 ‰ con los datos que se tenía hasta ese momento. Esto sería representativo de la "composición isotópica media de la precipitación de los últimos años en la zona de estudio". La composición isotópica media ponderada de las precipitaciones en la estación de Porto Alegre para el período del que se tenían datos hasta el año 2001 es de -27.4 ‰ de  $\delta^2\text{H}$  y -5.0 ‰  $\delta^{18}\text{O}$ .

El punto de muestreo Q1 corresponde a un manantial en una zona de depresión del terreno, en la ribera de un curso de agua. Los valores son muy semejantes a los del manantial L1, por lo que debe pensarse que este manantial tiene principalmente aporte de aguas de infiltración reciente.

El rango de variación de  $\delta^{18}\text{O}$  de las muestras de aguas subterráneas colectadas en R-L y A-Q indicaría que tienen el principal aporte en aguas muy recientes, correspondientes a precipitaciones actuales.

Para el área de R-L esto es más que esperable, ya que se trata de una zona de recarga.

Dadas las condiciones del flujo regional y los resultados de isótopos ambientales obtenidos (aguas recientes), las aguas que están siendo extraídas por las perforaciones relevadas en Artigas Quaraí no serían infiltradas en Rivera Santana. Esto no descarta la existencia de una descarga de flujo sensiblemente menor a la recarga local, cuya mezcla sea tan dispar que no llegue a apreciarse en los resultados, incluso los de la perforación más profunda OSE 410.

En el marco de este proyecto no se pudo obtener muestras del pozo identificado como A-7, alias Marañón ubicado cerca del barrio Pintadito de Artigas. Si bien su profundidad total es de 1850 m, al momento de tomar las muestras estaba captando como máximo desde 150 m de profundidad y además había dejado de surgir luego de la sequía del verano 2004-2005. Posteriormente, por iniciativa de la Intendencia Municipal de Artigas se realizaron tareas de reacondicionamiento del pozo. Sería interesante, y en función de la situación final



de esta perforación en cuanto a las profundidades de captación, poder obtener muestras y analizar la isotopía y la química de su agua.

## **9.2 Tritio**

### **9.2.1 Campañas de muestreo**

De la campaña de marzo de 2005 y la lluvia del mes de abril de 2005 se obtuvo, para tritio, los resultados que muestra la Tabla 9-5. mientras que la Tabla 9-6 presenta los resultados de la campaña de julio de 2005 y la lluvia de los meses de mayo y junio de 2005.



Tabla 9-5: Resultados para  $^3\text{H}$  de la campaña de marzo y lluvia de abril de 2005

| Id. Muestra | Id. Pozo    | Alias                             | Ciudad     | Fecha dd/mm/aa muestreo | Cód. Lab. | Fecha (dd/mm/aa) análisis | $^3\text{H}$ UT |
|-------------|-------------|-----------------------------------|------------|-------------------------|-----------|---------------------------|-----------------|
| 1B          | DAE H-2     | DAE H-2                           | Livramento | 04/03/2005              | 03        | 27/08/2005                | 1,48 ± 0,24     |
| 2B          | L-1         | Manatial Cerro del Registro       | Livramento | 04/03/2005              | 04        | 27/08/2005                | 2,24 ± 0,26     |
| 3B          | DAE RE-4    | DAE RE-4                          | Livramento | 04/03/2005              | 05        | 27/08/2005                | 0,67 ± 0,24     |
| 6B          | R-2         | Antonio Rodríguez                 | Rivera     | 05/03/2005              | 06        | 27/08/2005                | 2,69 ± 0,29     |
| 7B          | R-1         | Conaprole pozo 1 (antiguo pozo 3) | Rivera     | 05/03/2005              | 07        | 27/08/2005                | 2,56 ± 0,26     |
| 8B          | Q-1         | Sr. Manolo (Manatial)             | Quaraí     | 06/03/2005              | 08        | 27/08/2005                | 3,03 ± 0,33     |
| 9B          | PMQ17       | Palmeirao                         | Quaraí     | 06/03/2005              | 09        | 27/08/2005                | -0,08 ± 0,22    |
| 10B         | Q-10        | Sr. Severo                        | Quaraí     | 06/03/2005              | 10        | 27/08/2005                | 0,10 ± 0,21     |
| 11B         | QUA 1       | CORSAN QUA1                       | Quaraí     | 07/03/2005              | 11        | 27/08/2005                | 0,03 ± 0,19     |
| 12B         | OSE-410     | OSE 410                           | Artigas    | 08/03/2005              | 12        | 27/08/2005                | -0,20 ± 0,21    |
| 13B         | OSE-1.4.016 | OSE 1-4-016                       | Artigas    | 08/03/2005              | 13        | 27/08/2005                | 0,10 ± 0,22     |
| 14B         | A-2         | Piscina Municipal, IMA            | Artigas    | 09/03/2005              | 14        | 27/08/2005                | 2,54 ± 0,30     |
| B15         | EM-547      | Sanatorio Gremeda                 | Artigas    | 09/03/2005              | 15        | 27/08/2005                | 0,50 ± 0,27     |
| 16B         | EM-716      | Sr. Anais Urbano                  | Artigas    | 09/03/2005              | 16        | 27/08/2005                | 2,01 ± 0,26     |
| 17B         | PMQ04       | Club Comercial                    | Quaraí     | 09/03/2005              | 17        | 27/08/2005                | 2,45 ± 0,26     |
| 18A         | EM-674      | Dr. Muguruza                      | Artigas    | 10/03/2005              | 01        | 21/07/2005                | 0,14 ± 0,18     |



| Id. Muestra    | Id. Pozo | Alias             | Ciudad  | Fecha dd/mm/aa muestreo | Cód. Lab. | Fecha (dd/mm/aa) análisis | <sup>3</sup> H UT |
|----------------|----------|-------------------|---------|-------------------------|-----------|---------------------------|-------------------|
| 19B            | Q-7      | Dr. Machado López | Quaraí  | 11/03/2005              | 02        | 21/07/2005                | 0,52 ± 0,20       |
| 20B            | A-9      | Fuente Orion      | Artigas | 11/03/2005              | 18        | 27/08/2005                | 3,10 ± 0,39       |
| 21B            | A-10     | Flia. Taveira     | Artigas | 11/03/2005              | 19        | 27/08/2005                | 1,82 ± 0,25       |
| LL-4B (lluvia) |          |                   | Rivera  | 01-30/04/05             | 20        | 27/08/2005                | 4,44 ± 0,40       |

Tabla 9-6: Resultados para <sup>3</sup>H de la campaña de julio y lluvia de mayo y junio de 2005

| Id. Muestra | Id. Pozo | Alias                            | Ciudad     | Fecha dd/mm/aamuestreo | Cód. Lab. | Fecha dd/mm/aa análisis | 3 H UT       |
|-------------|----------|----------------------------------|------------|------------------------|-----------|-------------------------|--------------|
| 101B        | R-1      | Conaprole pozo1 (antiguo pozo 3) | Rivera     | 19/07/2005             | 01        | 15/11/2005              | 3,23 ± 0,24  |
| 102B        | R-2      | Antonio Rodríguez                | Rivera     | 19/07/2005             | 02        | 15/11/2005              | 3,11 ± 0,24  |
| 103B        | L-1      | Manatial Cerro del Registro      | Livramento | 19/07/2005             | 03        | 15/11/2005              | 2,41 ± 0,28  |
| 104B        | DAE RE-4 | DAE RE-4                         | Livramento | 19/07/2005             | 04        | 15/11/2005              | 1,10 ± 0,18  |
| 105B        | DAE H-2  | DAE H-2                          | Livramento | 20/07/2005             | 05        | 15/11/2005              | 0,42 ± 0,15  |
| 106B        | PMQ17    | Palmeirao                        | Quaraí     | 20/07/2005             | 06        | 15/11/2005              | -0,17 ± 0,14 |
| 107B        | Q-1      | Sr. Manolo (manantial)           | Quaraí     | 20/07/2005             | 07        | 15/11/2005              | 2,76 ± 0,27  |
| 108B        | Q-7      | Dr. Machado López                | Quaraí     | 20/07/2005             | 08        | 15/11/2005              | 0,34 ± 0,15  |
| 109B        | PMQ04    | Club Comercial                   | Quaraí     | 20/07/2005             | 09        | 15/11/2005              | 2,20 ± 0,24  |



| Id. Muestra | Id. Pozo     | Alias                           | Ciudad  | Fecha dd/mm/aamuestreo | Cód. Lab. | Fecha dd/mm/aa análisis | 3 H UT      |
|-------------|--------------|---------------------------------|---------|------------------------|-----------|-------------------------|-------------|
| 110B        | A-2          | Piscina Municipal, IMA          | Artigas | 20/07/2005             | 10        | 15/11/2005              | 2,18 ± 0,27 |
| 111B        | A-10         | Familia Taveira                 | Artigas | 20/07/2005             | 25        | 29/11/2005              | 2,74 ± 0,36 |
| 112B        | A-9          | Fuente Orión                    | Artigas | 20/07/2005             | 11        | 15/11/2005              | 2,73 ± 0,31 |
| 113B        | Q-10         | Sr. Severo                      | Quaraí  | 20/07/2005             | 12        | 15/11/2005              | 0,13 ± 0,15 |
| 114B        | QUA 1        | CORSAN QUA1                     | Quaraí  | 21/07/2005             | 13        | 15/11/2005              | 0,16 ± 0,19 |
| 115B        | Río          | Río Cuareim                     | Quaraí  | 21/07/2005             | 14        | 15/11/2005              | 3,30 ± 0,27 |
| 116B        | EM-716       | Sr. Anais Urbano Pereira        | Artigas | 21/07/2005             | 15        | 15/11/2005              | 2,15 ± 0,28 |
| 117B        | EM-674       | Dr. Muguruza                    | Artigas | 21/07/2005             | 16        | 15/11/2005              | 0,50 ± 0,23 |
| 118B        | EM-547       | Sanatorio Gremeda               | Artigas | 24/07/2005             | 17        | 15/11/2005              | 0,65 ± 0,20 |
| 119B        | OSE-1.4.016  | OSE 1-4-016                     | Artigas | 23/07/2005             | 18        | 15/11/2005              | 0,11 ± 0,17 |
| 120B        | OSE-410      | OSE 410                         | Artigas | 23/07/2005             | 19        | 15/11/2005              | 0,19 ± 0,17 |
| 121B        | PMQ23        | Sr. Oli                         | Quaraí  | 24/07/2005             | 20        | 15/11/2005              | 2,96 ± 0,23 |
| 122B        | OSE 10.4.005 | OSE 10-4-005<br>El Hormigón     | Rivera  | 27/07/2005             | 26        | 29/11/2005              | 1,16 ± 0,39 |
| 123B        | OSE 10.4.001 | OSE 10-4-001<br>Lagunon 1       | Rivera  | 27/07/2005             | 21        | 29/11/2005              | 0,39 ± 0,29 |
| 124B        | OSE 10.4.016 | OSE 10-4-016<br>Rita Parque G-B | Rivera  | 27/07/2005             | 22        | 29/11/2005              | 0,80 ± 0,32 |



| Id. Muestra | Id. Pozo | Alias | Ciudad        | Fecha dd/mm/aamuestreo | Cód. Lab. | Fecha dd/mm/aa análisis | 3 H UT      |
|-------------|----------|-------|---------------|------------------------|-----------|-------------------------|-------------|
| LL5B        |          |       | Rivera-lluvia | 3/05/05-2/6/05         | 23        | 29/11/2005              | 3,57 ± 0,37 |
| LL6B        |          |       | Rivera-lluvia | 3/6/05-1/7/05          | 24        | 29/11/2005              | 2,61 ± 0,34 |



### 9.2.2 Análisis de la información recogida

Figura 9-8: Valores de tritio de campaña de marzo 2005 vs. profundidad de pozos

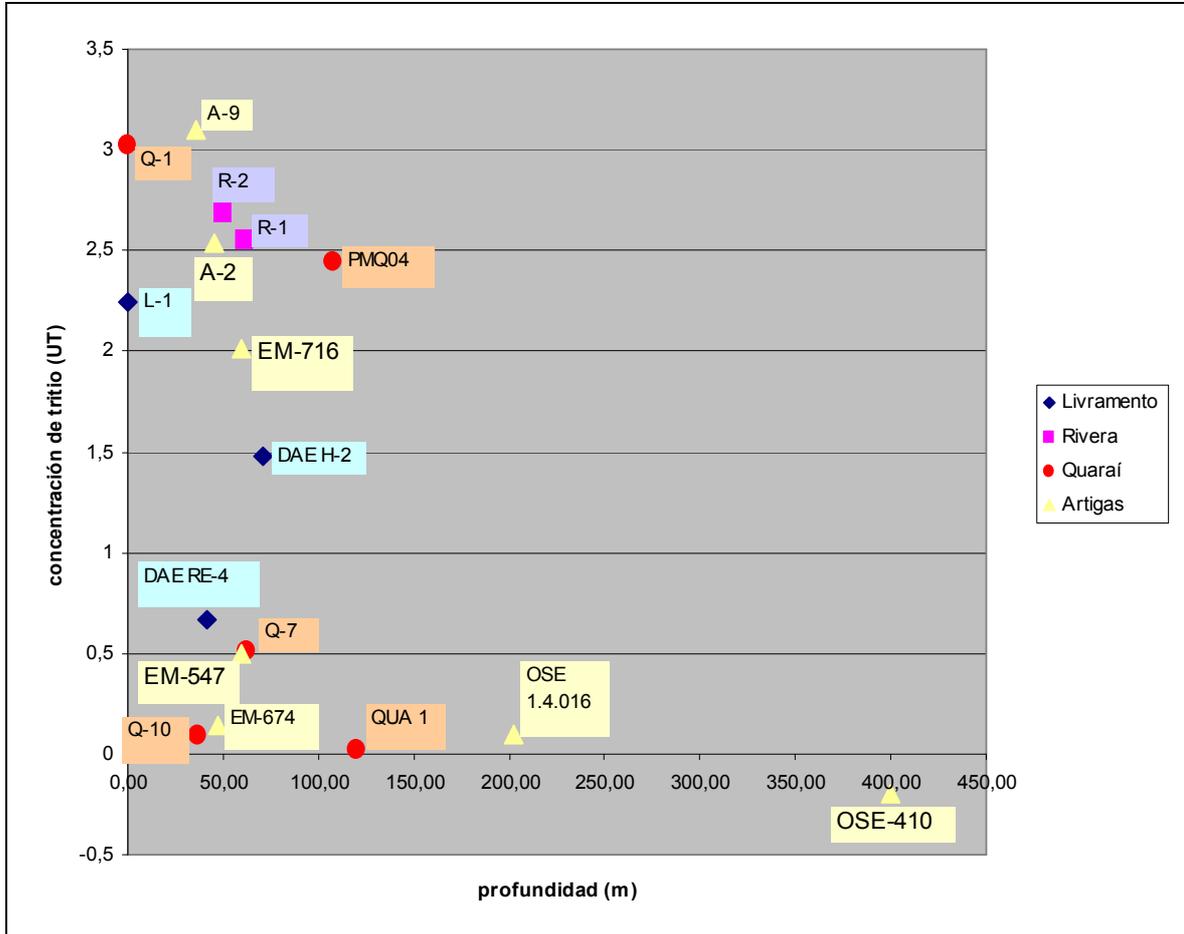
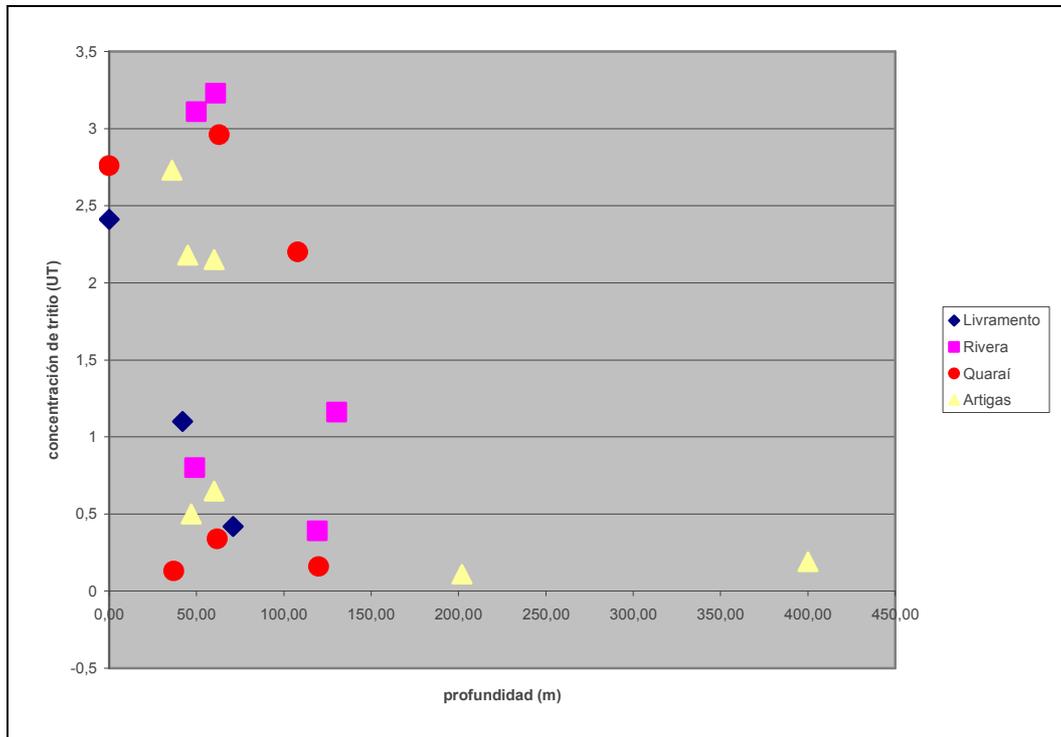




Figura 9-9: Valores de tritio de campaña de julio 2005 vs. profundidad de pozos

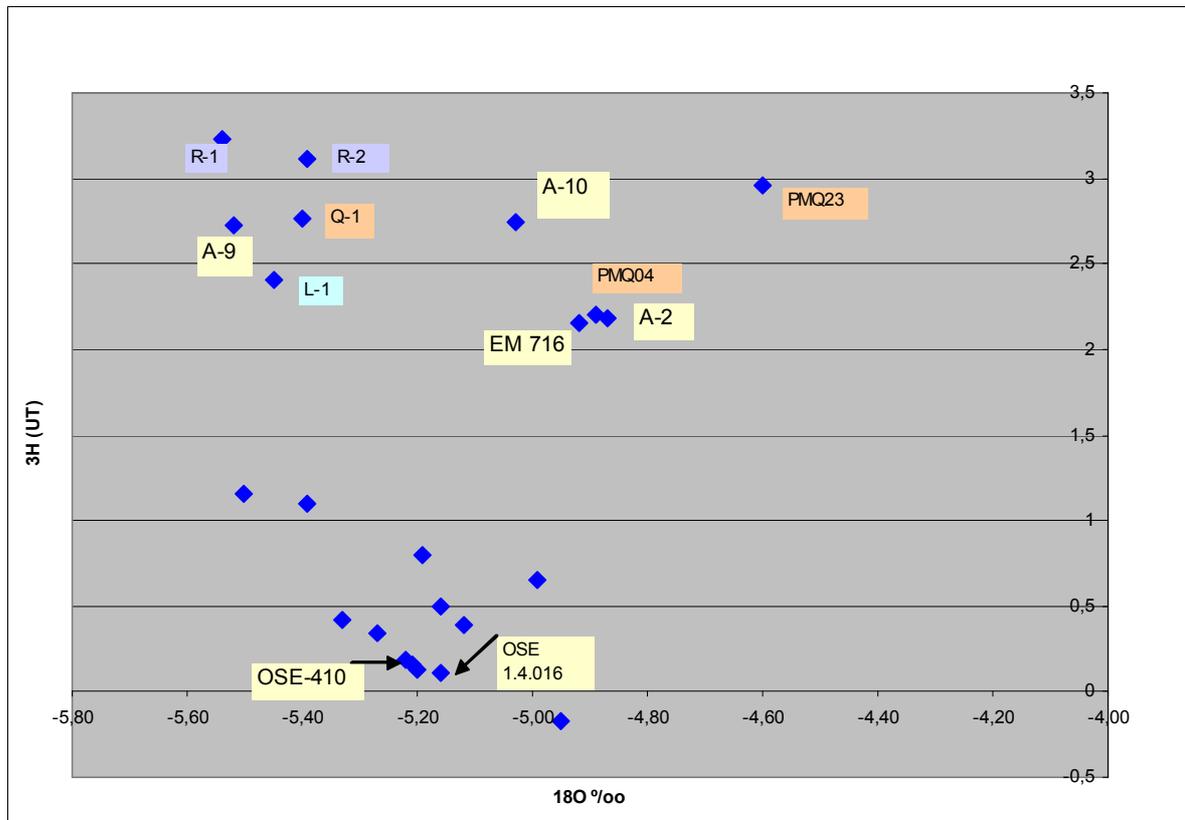


Según el Informe del Taller de Belo Horizonte del año 2001 que consideró correcciones por desintegración radiactiva del tritio al año 2002, las aguas con menos de 2 UT contendrían una fracción de agua de precipitaciones anteriores al año 1953. Las aguas sin tritio corresponderían enteramente a precipitaciones anteriores a ese año.

Se tiene varios puntos con niveles de tritio por debajo del límite detectable en ambas campañas: OSE 410, OSE 1.4.016, Q-10 y QUA 1. Todos ellos pertenecen al área de A-Q. Si bien sería necesario ajustar la corrección considerando la desintegración al año 2005 – la diferencia sería ínfima – el resultado obtenido para esos pozos (entre ellos los más profundos OSE 410 y OSE 1.4.016) confirmaría que se está captando aguas de edades mayores a 50 años, o una mezcla con una fracción importante de ellas. Otras perforaciones presentan valores también muy bajos aunque sobre el límite de detección, evidenciando una mezcla.

Si se grafica el contenido de tritio vs. el de  $^{18}\text{O}$  para la campaña de julio se obtiene lo que muestra la Figura 9-10, pudiendo apreciarse la existencia de tres grupos. Los más enriquecidos en oxígeno pesado son además de infiltración claramente de posterior a 1952. Los más enriquecidos son también los que provienen de pozos que muy probablemente estén captando agua que ha sufrido procesos de evaporación. Se aprecia la presencia de otro grupo de infiltración muy reciente pero que son relativamente ligeros en oxígeno, estando entre ellos los manantiales. El resto de los valores responde a aguas de infiltración anterior a 1953 o con gran parte de ella y valores intermedios de oxígeno.

Figura 9-10: Valores de tritio vs.  $^{18}\text{O}$  de perforaciones en campaña de julio 2005



### 9.3 Conclusión final

Como conclusión general del trabajo con isótopos se tiene que el agua muestreada en R-L y A-Q es reciente, no encontrándose un aporte de aguas antiguas en A-Q que se acusara en los resultados, indicando así que de existir este aporte es en tasas muy inferiores a la recarga local. Dentro de los pozos menos profundos y en los que los valores de tritio son más elevados es notoria la influencia de las urbanizaciones para los localizados en las ciudades, encontrándose aguas más pesadas en isótopos ambientales.



## 10 HIDRAULICA

En el presente capítulo se analiza el flujo local de agua subterránea en la zona de Artigas Quaraí y su relación con el río Quareim. Asimismo se evalúa la posible vinculación entre esta zona y la correspondiente a Rivera – Santa do Livramento.

Como primer paso para determinar la piezometría del área de interés, se elaboró una “piezometría preliminar” con el fin lograr un primer acercamiento al problema con una idea inicial de los aspectos generales de flujo.

En esta etapa se trabajó en el sistema de coordenadas uruguayo

Las hipótesis realizadas son:

- Dado que no se tenía un conocimiento de la geología estructural se supuso un medio continuo en cuanto a su funcionamiento hidráulico.
- La cota de boca de las perforaciones fue determinada de las cartas topográficas digitalizadas de Uruguay y Brasil.
- Se consideran los datos de niveles estáticos cuyas fechas van desde 1987 a 2005 siendo las fuentes OSE, CORSAN, PRENADER y empresas perforistas

Sobre un total de 127 perforaciones de las cuales se disponía información recopilada y/o generada en campo en el departamento de Artigas y en el Municipio de Quaraí, 62 estaban ubicadas en el área de interés y poseían información de nivel.

Es importante señalar que existen variaciones importantes en los niveles de perforaciones cercanas lo cual muy probablemente se debe a la variación temporal de los datos considerados.

En cuanto a la estimación de la cota de boca de la perforación, cabe remarcar su importancia dado que es a través de ésta y de la distancia al nivel de agua determinado en la perforación es que se calcula el nivel piezométrico.

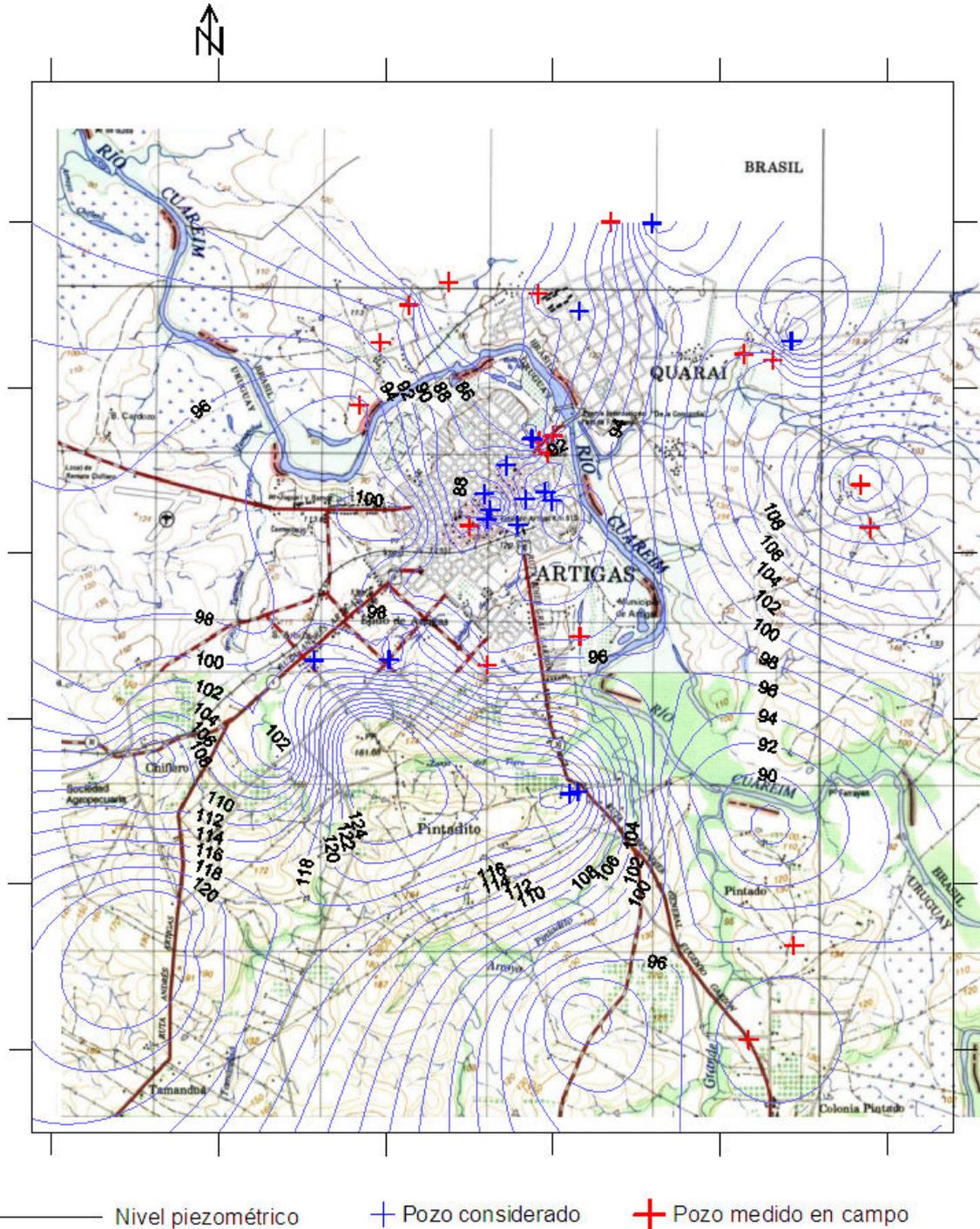
La diversidad de fuentes de información también puede introducir errores debido a mediciones no apropiadas o a registros de niveles de perforaciones en recuperación.

A causa de estos factores no se consiguió plantear un piezometría preliminar concluyente respecto al flujo en la zona, pero a partir del análisis de los niveles se puede observar una importante depresión del nivel en la conurbación Artigas-Quaraí. También puede observarse que el nivel piezométrico de las perforaciones próximos al río Quareim no se aleja demasiado del valor de cota de 90m, que es aproximadamente la cota a la que se encuentra el río según las cartas geográficas uruguayas.

La siguiente figura presenta la piezometría preliminar realizada



Figura 10-1: Piezometría preliminar del área de estudio (valores referidos al cero oficial uruguayo)



### 10.1 Relevamiento de nuevas perforaciones en Artigas -Quaraí

Entre los días 22 y 27 del mes de abril del 2005 se realizó una campaña de búsqueda de perforaciones para la construcción del mapa de piezometría en la zona de Artigas-Quaraí.

Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,

Estudio de vulnerabilidad en A-Q

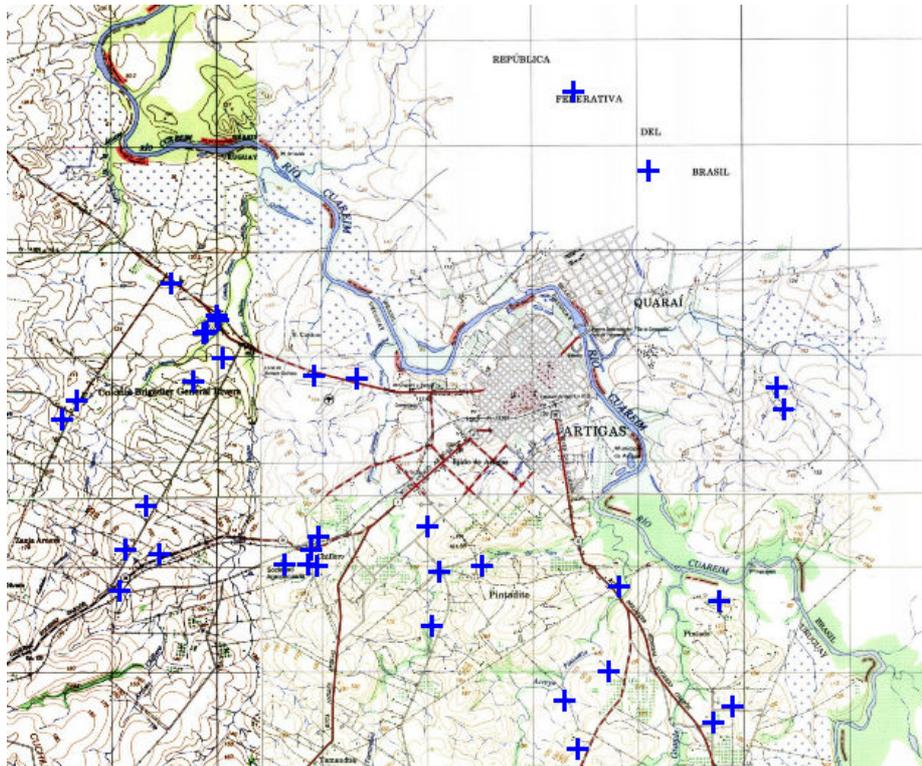


La campaña se realizó para mejorar la base de perforaciones que se poseía y para obtener una densidad de perforaciones lo más homogénea posible. Fueron de particular interés las perforaciones del programa PRENADER dado que de éstas se cuenta con descripción del perfil litológico y demás datos constructivos.

En el transcurso de la campaña se relevaron 39 nuevas perforaciones de las cuales 9 pertenecían al mencionado programa.

En el relevamiento se tomó las coordenadas de las perforaciones con GPS de mano, el nivel (estático o dinámico) y se observó además, la posibilidad de tomar muestras para realizar análisis químicos. Finalmente, se consultó a los respectivos propietarios, a cerca de la posibilidad coordinar una fecha para realizar una campaña de relevamiento de niveles estáticos solicitando que los equipos de extracción de agua no fueran operadas por un período no menor a 24 horas previo a la fecha acordada para la medición de nivel. De esta forma, el nivel medido podría ser considerado "estático" a menos de la interferencia que pudiera existir de perforaciones vecinas en operación.

Figura 10-2: Perforaciones relevadas en la segunda campaña piezométrica



## 10.2 Selección de perforaciones para elaborar el mapa piezométrico en Artigas - Quaraí

Se seleccionaron las perforaciones que permitían una distribución aproximadamente uniforme de puntos de medición de niveles piezométricos en el área definida y preferentemente aquellas de las cuales se contara con datos constructivos y litológicos.



Entre los días 24 y 28 del mes de mayo se realizó una campaña de geoposicionamiento con GPS de alta precisión de las perforaciones seleccionadas para la confección de la piezometría y otras de interés (ver capítulo **3.3**). De esta forma se eliminaron los errores asociados a la estimación de la cota de la boca de la perforación.

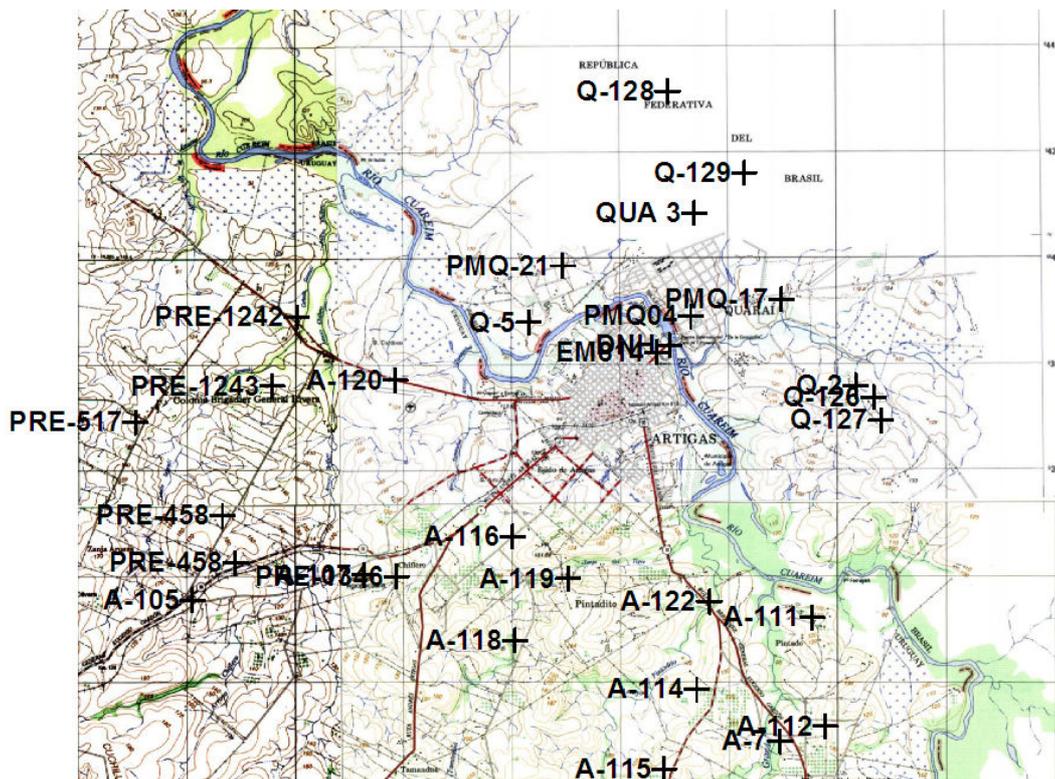
Durante la campaña se determinaron las coordenadas de un total de 46 perforaciones: 29 particulares, 7 de CORSAN y 10 pertenecientes a OSE.

La cantidad de perforaciones relevadas en territorio brasilero fue menor que la correspondiente al lado uruguayo dado que en un gran número de las perforaciones en territorio brasilero no era posible medir el nivel del agua.

En la inmensa mayoría de los casos, las perforaciones presentaban zonas filtrantes en distintos estratos con aporte de agua y por lo tanto el nivel medido resulta ser una integración de la carga piezométrica en ese punto.

La siguiente figura presenta las perforaciones utilizadas para la elaboración de la piezometría final

Figura 10-3: Perforaciones utilizadas para realizar la piezometría final



Del estudio realizado por el Ing. Agrim. Jorge Faure (Anexo 2) se concluye que en la zona de Artigas Quaraí, la diferencia entre los datum verticales uruguayo y brasilero es de **-0.67 m**.

### 10.3 Mapa piezométrico de Artigas - Quaraí

En el mes de julio se realizó una medición de niveles en aquellas perforaciones relevadas con GPS diferencial cuyos propietarios accedieron a detener el funcionamiento del equipo de extracción de agua durante al menos 24 horas antes a la toma del mencionado nivel. Esta tarea demandó un gran esfuerzo de de coordinación con los usuarios visitados en mayo.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



Es importante señalar que muchas perforaciones no pudieron ser consideradas para la elaboración de la piezometría por estar en explotación, entre ellas las de mayor interés por ser las más profundas y tener la mejor información constructiva y litológica, como las de OSE en Artigas y CORSAN en Quaraí. Por lo tanto, el mapa piezométrico que se muestra en la Figura 10-4 fue realizado a partir de datos de niveles estáticos en las perforaciones consideradas (a menos de posibles interferencias con perforaciones cercanas) y las curvas de piezométricas corresponden a valores interpolados mediante el software Surfer Mapping System por el método de Krigging, sin anisotropías, en una grilla de 100 por 92 celdas de 138 por 138 m cada una.

Por otro lado, algunos datos piezométricos no fueron considerados para realizar la piezometría de la Figura 10-4 por introducir anomalías locales en la piezometría general que problemamente respondían a situaciones de perforaciones en recuperación de nivel o afectados por perforaciones cercanas en funcionamiento.

Para la piezometría final se tomó como origen vertical el cero brasilero de Imbituba – Santa Catarina.

Tabla 10-1: Perforaciones, ubicación y nivel piezométrico utilizados para piezometría final

| ID_perforación | X (m)  | Y (m)   | Z (m)  | Profundidad a NE (m) | N.E.(m) |
|----------------|--------|---------|--------|----------------------|---------|
| PMQ04          | 552595 | 6638127 | 116.10 | 24.8                 | 91.30   |
| DNH            | 552200 | 6637583 | 96.90  | 6.61                 | 90.29   |
| EM814          | 551972 | 6637456 | 97.44  | 5.55                 | 91.89   |
| A-7            | 554238 | 6630209 | 102.49 | 0                    | 102.49  |
| A-105          | 543424 | 6632835 | 156.38 | 40                   | 116.38  |
| PRE-458        | 544207 | 6633525 | 142.64 | 30.5                 | 112.14  |
| A-111          | 554829 | 6632515 | 105.63 | 7.9                  | 97.73   |
| A-112          | 555076 | 6630490 | 133.21 | 32                   | 101.21  |
| A-114          | 552706 | 6631178 | 125.44 | 17.9                 | 107.54  |
| A-115          | 552104 | 6629691 | 155.18 | 47.5                 | 107.68  |
| A-116          | 549313 | 6634018 | 114.03 | 9.6                  | 104.43  |
| A-118          | 549358 | 6632084 | 120.19 | 11.3                 | 108.89  |
| A-119          | 550336 | 6633239 | 132.73 | 22.2                 | 110.53  |
| A-120          | 547161 | 6636932 | 121.18 | 23.7                 | 97.48   |
| A-122          | 552937 | 6632807 | 100.21 | 1.75                 | 98.46   |
| Q-126          | 555964 | 6636619 | 116.49 | 7.4                  | 109.09  |
| Q-127          | 556097 | 6636188 | 122.17 | 7.2                  | 114.97  |
| Q-128          | 552166 | 6642316 | 140.60 | 32.9                 | 107.70  |
| Q-129          | 553575 | 6640794 | 118.65 | 15.6                 | 103.05  |
| A-107          | 546583 | 6633304 | 137.64 | 26                   | 111.64  |
| PMQ-17         | 554264 | 6638440 | 102.88 | 0                    | 102.88  |
| PMQ-21         | 550238 | 6639065 | 106.04 | 10.1                 | 95.94   |



| ID_perforación | X (m)  | Y (m)   | Z (m)  | Profundidad a NE (m) | N.E.(m) |
|----------------|--------|---------|--------|----------------------|---------|
| PRE-1242       | 545345 | 6638105 | 101.07 | 6.15                 | 94.92   |
| PRE-1243       | 544892 | 6636822 | 122.47 | 18.8                 | 103.67  |
| PRE-1346       | 547180 | 6633277 | 143.88 | 32.75                | 111.13  |
| PRE-458        | 543974 | 6634407 | 164.38 | 53.4                 | 110.98  |
| PRE-517        | 542372 | 6636147 | 146.01 | 33.85                | 112.16  |
| QUA 3          | 552658 | 6640050 | 130.77 | 30.3                 | 100.47  |
| Q-5            | 549611 | 6638009 | 106.63 | 14.55                | 92.08   |
| Q-2            | 555638 | 6636832 | 103.12 | 0                    | 103.12  |

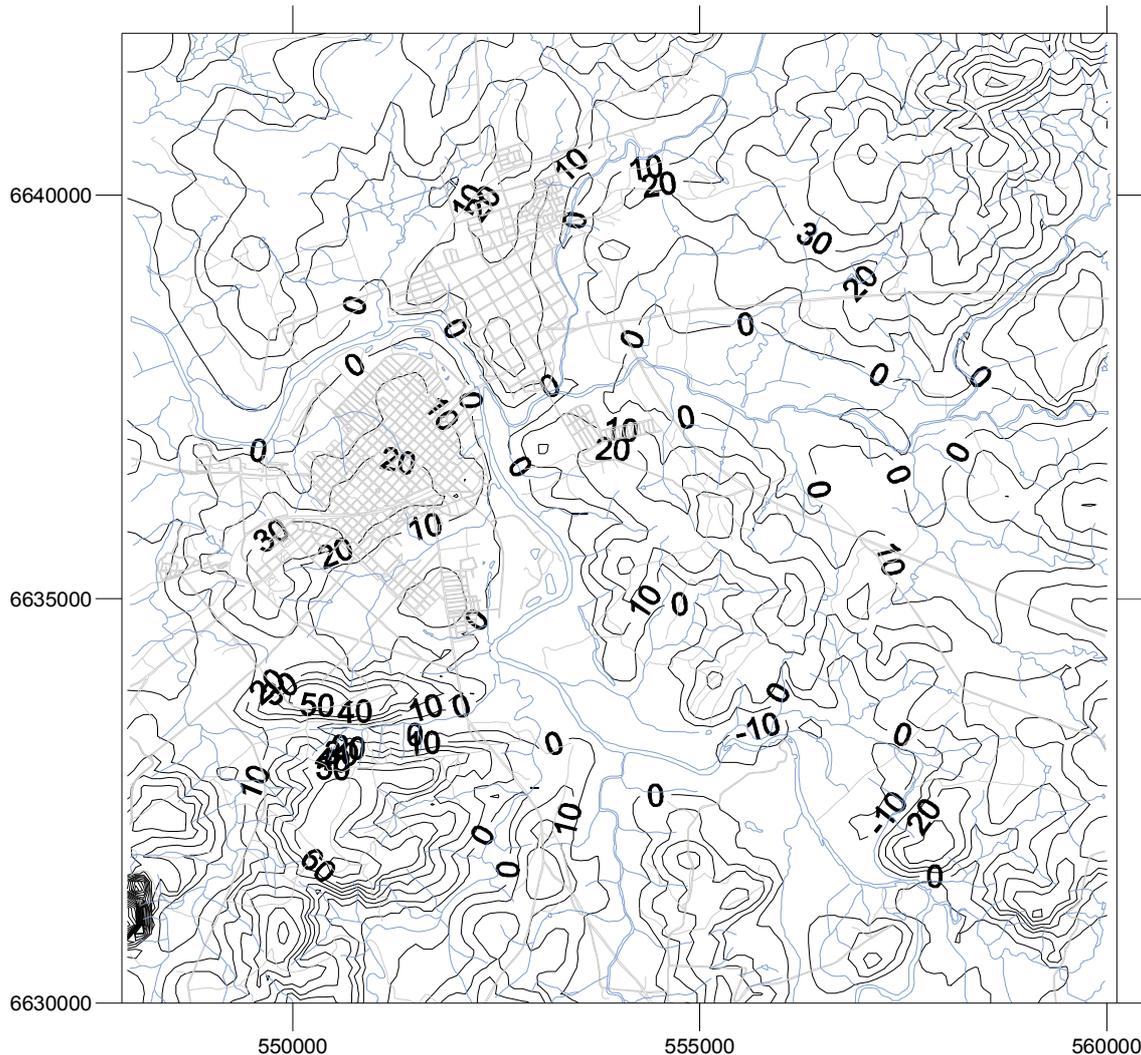
El mapa piezométrico fue realizado asumiendo que:

- no existe vinculación con el Río Cuareim (no se incluyeron cotas del río para la interpolación)
- el medio es continuo no existiendo barreras importantes o direcciones preferenciales de flujo





Figura 10-5: Mapa de profundidades al nivel piezométrico



Si bien en la Figura 10-4 se puede observar un flujo de agua subterránea hacia el río Cuareim, la Figura 10-5 fundamenta la idea de una descarga del acuífero al río al constatarse una diferencia nula o negativa entre la cota del terreno y nivel piezométrico en el entorno del curso de agua y algunos de sus afluentes.

### 10.5 Vinculación del Río Cuareim con el acuífero

Durante la campaña piezométrica de julio de 2005 se relevó también la cota del Río Cuareim respecto a la regla N° 84.1 de la Red Hidrométrica Nacional ubicada en la ciudad de Artigas bajo el puente binacional. El cero de la escala fue geoposicionado en la campaña de relevamiento con GPS diferencial anteriormente mencionada.

La cota del río el día 24 de julio de 2005 en ese punto era de 90.29 m respecto al sistema de coordenadas brasilero (información compatible con los niveles registrados por la Dirección Nacional de Hidrografía en la estación en la toma de OSE, N° 84.0, el mismo día).



Comparando este valor de nivel del río con los niveles piezométricos de la Figura 10-4 se observa una situación de descarga desde el aistma subterráneo al río.

Si bien la piezometría estaría indicando una situación de descarga al río Cuareim, geológicamente, este hecho merece una consideración especial dado que en esa zona el basalto tiene una potencia muy importante y requería de la existencia de fisuras o fracturas que posibilitaran tal conexión hidráulica.

Adicionalmente, dada la poca profundidad relativa de los pozos relevados y el hecho de haber sido realizados parcial o totalmente en basalto, el nivel piezométrico representa uno fuertemente influenciado por la zona fracturada de este medio. Es muy probable que los niveles medidos en las perforaciones respondan a niveles de la zona fracturada y alterada del basalto (o estén al menos influenciadas por éste) por lo que la descarga al Cuareim no debe ser descartada.

El ensayo de trazadores realizado en la perforación de Paseo 7 de setiembre en Artigas indicó la existencia de un flujo vertical descendente. Este flujo se da por la existencia de dos estratos con cargas piezométricas distintas que fueron claramente conectadas por la construcción de la perforación. Esta conexión puede o no existir además en forma natural y su extensión puede ser muy variable.

Finalmente, en la zona de Piedra Pintada existe un afloramiento importante de areniscas que podrían estar determinando una vinculación entre el Río y el acuífero, lo que justificaría la piezometría sin implicar una vinculación a lo largo de todo el cauce del Quareim en la zona de estudio

En síntesis, es importante destacar que los niveles piezométricos medidos no necesariamente son de las areniscas infrabasálticas, sino que son una conjunción de estos y los niveles del agua en el basalto alterado, dadas las características de las perforaciones donde se hicieron las mediciones. Localmente, las areniscas están conectadas con el basalto fisurado o fracturado al menos a través de las ventanas que presenta el basalto, y de las propias perforaciones construidas. De este modo, dado que es razonable pensar en la existencia una conexión del agua que circula a través del basalto en el nivel superior con el río, las piezometría confeccionadas estarían representando los niveles del agua en el basalto, más que los del agua en la arenisca. Muy localmente, en los alrededores del puente binacional, parece haber una clara división entre los flujos del nivel superior de basalto fisurado (que probablemente descarga al río) y de las areniscas dado el flujo vertical descendente encontrado en los ensayos de salinización.

Las areniscas podrían estar teniendo una conexión directa con el río en la zona de Piedra Pintada que podría colaborar con la compatibilidad existente entre la piezometría construida y el nivel del río.

## 10.6 Flujo regional

Estando la zona de RL ubicada sobre una zona de recarga del acuífero, algunos autores plantean la existencia de un flujo regional del Acuífero Guaraní de Este a Oeste, desde la zona de afloramientos en los Departamentos de Rivera y Tacuarembó hacia la zona del litoral uruguayo del río Uruguay. Adicionalmente se plantea una dirección de flujo Sureste-Noroeste que uniría R-L con A-Q y según la piezometría regional planteada por Oleaga(2002), la zona de Artigas - Quaraí podría ser un área de descarga del sistema acuífero.



En este capítulo se analiza la posibilidad o no de la existencia de una conexión entre las zonas de estudio (AQ-RL) y la vinculación de la zona de explotación de agua subterránea de AQ con el Acuífero Guaraní. Según el esquema piezométrico general del SAG presentado en el informe del Taller de Belo Horizonte (2001), podría pensarse en flujo regional de dirección R-L  $\rightarrow$  A-Q. Esto no es contradictorio con lo presentado por Oleaga (2002). Si se supusiera que las muestras de algunos de los pozos de A-Q corresponden a agua que se infiltró en R-L, se podría hacer un primer cálculo aproximado de su tiempo de tránsito. La distancia que separa las dos áreas es de 100 km, el gradiente hidráulico es de  $1 \times 10^{-3}$  (R-L y A-Q rondan los 200 y 100 m de piezométrica respectivamente), y se toma una conductividad hidráulica de 1 m/día. Esto daría una velocidad de Darcy de  $1 \times 10^{-3}$  m/día. Considerando una porosidad del 10 % la velocidad media sería de 0.01 m/día, resultando en un tiempo de tránsito de unos 27000 años.

Ninguna de las muestras obtenidas para los análisis isotópicos corresponde a agua que haya infiltrado en épocas de frío global, por lo tanto están compuestas en una altísima proporción por agua que ingresó en zonas más cercanas. Esto no implica que no exista ese flujo regional de dirección R-L  $\rightarrow$  A-Q y tampoco que no exista una descarga de ese flujo en A-Q, pero las perforaciones existentes no estarían captándolo en cantidades apreciables.. De este modo, el análisis isotópico no aportó información como para poder estimar cuantitativamente la descarga regional ni es suficiente para descartarla.

Los valores piezométricos medidos en A-Q son menores que aquellos que resultarían de una piezometría asumiendo continuidad y homogeneidad entre R-L y la zona sobre el río Uruguay. Esto implica la existencia de un gradiente vertical importante que de haber conexión provoca necesariamente un flujo. Caben aquí dos posibilidades: existe una barrera impermeable de extensión suficiente que impide la recarga desde las areniscas más profundas al nivel explotado por las perforaciones someras de A-Q; o existe un medio de permeabilidad vertical tan baja que hace que esta marca no fue reconocida en los análisis. La primera de las hipótesis parece poco probable.



## 11 VULNERABILIDAD EN A-Q

### 11.1 Metodologia da vulnerabilidade natural de aquíferos

Para se identificar a vulnerabilidade natural utilizou-se das informações provenientes do cadastro dos poços da área estudo, bem como dos mapeamentos realizados como geológico, de texturas solos, clinográfico (declividade) e ensaios de bombeamentos. Assim, a metodologia utilizada na obtenção da vulnerabilidade natural baseia-se no modelo DRASTIC, que de acordo com Leite e Möbus (1998) trata-se de um sistema padronizado de avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos a partir dos dados decodificados em planos de informações (PI's). Este modelo foi desenvolvido para avaliar áreas maiores que 0,4 km<sup>2</sup>.

O cenário hidrogeológico inclui os principais fatores geológicos e do meio aquífero que conferem o nome à metodologia, sendo que para cada um dos fatores confere-se um peso, o qual está relacionada à maior ou à menor importância que se atribui ao fator na avaliação da vulnerabilidade do aquífero. O Quadro 1 ilustra os fatores DRASTIC, bem como seus respectivos pesos:

Tabla 11-1: Fatores DRASTIC e seus respectivos pesos (Peso= p)

Fonte: [abe.www.ecn.purdue.edu](http://abe.www.ecn.purdue.edu) (2002)

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

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

Ao conjunto dos sete fatores (DRASTIC) são atribuídos pesos de acordo com a provável contribuição de cada um. Isso é feito com o intuito de se obter e quantificar o chamado índice potencial de poluição. Quanto mais elevado o índice, maior a vulnerabilidade do aquífero. Os fatores DRASTIC estão abaixo descritos:

- Profundidade do lençol freático (D): pode ser obtido em campo com medidor Jaciri (freatímetro), de apito, com cabo de 100 metros, ou de dados pré-existent, ou ainda, adquirido no sistema de informações de Águas Subterrâneas do Brasil, na página <http://www.cprm.gov.br>. No seguinte tabela apresentam-se as faixas de profundidade do lençol freático e suas respectivas cargas:

Tabla 11-2: Classes Faixas de profundidade da água subterrânea e respectivas cargas (Dc). (Peso: Dp=5).

Fonte: [abe.www.ecn.purdue.edu](http://abe.www.ecn.purdue.edu) (2002)

#### Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,



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

Recarga total (R): segundo Hausman (1995), a infiltração anual para a área estudada varia entre 50 e 100mm/ano, de acordo com a precipitação do local de estudo. Por isso, o intervalo de recarga corresponde ao que varia de 51,85 a 103,7mm/ano e a carga 3. No siguiente tabela ilustra-se esse fator.

Tabla 11-3: Recarga total durante o ano (Peso: Rp= 4).

Fonte: [abe.www.ecn.purdue.edu](http://abe.www.ecn.purdue.edu) (2002)

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

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

Tabla 11-4: Tipos de meio aquíferos e suas respectivas cargas (Ac). (Peso: Ap=3).

Fonte: [abe.www.ecn.purdue.edu](http://abe.www.ecn.purdue.edu) (2002)

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



|  |        |    |
|--|--------|----|
| Calcários, arenitos e folhelhos acamadados | 5 – 9  | 6  |
| Arenito maciço                             | 4 – 9  | 6  |
| Calcário maciço                            | 4 – 9  | 6  |
| Cascalho com matriz arenosa (conglomerado) | 4 – 9  | 8  |
| Basalto fraturado                          | 2 – 10 | 9  |
| Calcário cárstico (poroso)                 | 9 – 10 | 10 |

- Solos (S): Este fator pode ser obtido a partir de levantamentos pré-existentes, ou da caracterização da granulometria das rochas sedimentares e/ou rochas e produtos de alteração, frações de areia, silte e argila. Também os tipos de texturas de solos podem ser identificados e espacializados e separados com o uso de imagens de satélite e/ou fotografias aéreas. O seguinte tabela apresenta alguns dos tipos de solos e suas respectivas cargas.

Tabla 11-5: Solos e suas respectivas cargas (Sc), (Peso: Sp=2).

Fonte: [abe.www.ecn.purdue.edu](http://abe.www.ecn.purdue.edu) (2002)

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

- Topografia (T): O fator Topografia pode ser identificado a partir das classes de declividade, identificadas por meio da elaboração da carta clinográfica da área. Neste caso usou-se as classes sugeridas por Leite & Möbus (1998). No seguinte tabela apresentam-se as diferentes classes de declividade e suas respectivas cargas.



Tabla 11-6: Clases de declividade e suas respectivas cargas (Tc). (Peso: Tp=1).

Fonte: [abe.www.ecn.purdue.edu](http://abe.www.ecn.purdue.edu) (2002)

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

- Impacto da zona vadosa (I): Este fator corresponde àquela região do terreno não saturada em água, que apresenta poros mais gases (CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>), podendo sofrer ação dos elementos da biosfera, organismos escavadores, tais como oligoquetas, termitas, raízes, aeração, canalização, etc. É a região que pode sofrer flutuações sazonais pela flutuação do nível do lençol freático. Este fator pode ser inferido na seguinte tabela, bem como suas respectivas cargas.

Tabla 11-7: Impacto da Zona Vadosa e suas respectivas cargas (Ic). (Peso: Ip=5).

Fonte: [abe.www.ecn.purdue.edu](http://abe.www.ecn.purdue.edu) (2002)

| Tipo de material  | Faixa (carga) | Cargas típicas (Ic) |
|---|---------------|---------------------|
| Camada confinante.  | 1             | 1                   |
| Silte/Argila  | 2 - 6         | 3                   |
| Folhelho (argilitos laminados)                                | 2 - 6         | 3                   |
| Calcário  | 2 - 5         | 3                   |
| Arenito   | 2 - 7         | 6                   |
| Calcário, arenito e folhelho intercamadados                   | 4 - 8         | 6                   |
| Areia e cascalho com significativa matriz siltica ou argilosa | 4 - 8         | 6                   |
| Cascalho com pouca areia na matriz                            | 4 - 8         | 8                   |
| Basalto (fraturas, amígdalas, vesículas)                      | 2 - 10        | 9                   |
| Calcário cárstico (rocha porosa)                              | 8 - 10        | 10                  |

- Condutividade hidráulica (C): A condutividade hidráulica nas formações superficiais determina a quantidade de percolação no subsolo através do aquífero. Nesta pesquisa foram utilizadas informações de testes de bombeamento para obter a condutividade hidráulica pontual em poços. Desse modo, fez-se o cálculo da transmissividade e permeabilidade pelos métodos de Jacob e Theis, assim obteve-se uma condutividade hidráulica inferior a 4m/d. No Quadro 8 apresenta-se este fator e suas respectivas cargas.



Tabla 11-8: Condutividade hidráulica, cargas (Cc). (Peso: Cp=3).

Fonte: [abe.www.ecn.purdue.edu](http://abe.www.ecn.purdue.edu) (2002)

| Coeficiente de infiltração m/dia | Cargas (Cc) |
|----------------------------------|-------------|
| 0 – 4                            | 1           |
| 4 – 12                           | 2           |
| 12 – 28                          | 4           |
| 28 – 41                          | 6           |
| 41 – 82                          | 8           |
| > 82                             | 10          |

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

$$\text{Índice DRASTIC} = DpDc + RpRc + ApAc + SpSc + TpTc + IpIc + CpCc \quad (1)$$

Onde: Dp, Rp, Ap, Sp, Tp, Ip e Cp = pesos dos fatores DRASTIC.

Onde: Dc, Rc, Ac, Sc, Tc, Ic e Cc = Fator de carga das variáveis nos seus respectivos intervalos de ocorrência.

Para ressaltar a importância deste modelo, pode-se citar que, a partir da espacialização dos índices de vulnerabilidade obtidos por esta metodologia, pode-se identificar as áreas em condições ideais para locação de poços ou mesmo outras atividades, bem como os locais onde não são indicadas para aqueles fins, sugerindo-se então como áreas de preservação permanente (recarga de aquíferos).

Na seguinte tabela apresentam-se os intervalos de vulnerabilidade recomendados pela metodologia DRASTIC. Pode-se observar que estes se estendem de uma susceptibilidade mínima, com índice menor que 35 (bem protegida, pouco vulnerável), até um índice máximo, maior que 120 (área de proteção obrigatória, extremamente vulnerável).

Tabla 11-9: Classes de vulnerabilidade e seus respectivos intervalos, segundo Aller et al. (1987)

Fonte: Aller et al. (1987), extraído de [abe.www.ecn.purdue.edu](http://abe.www.ecn.purdue.edu) (2002)

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



A partir do mapa de vulnerabilidade natural, ou seja, após a definição das áreas mais vulneráveis, estas são avaliadas em termos de risco de contaminação frente às atividades antrópicas existentes, as quais são classificadas segundo seu potencial de ameaça à qualidade da água subterrânea. A associação da vulnerabilidade natural dos aquíferos e o potencial de ameaça das atividades antrópicas permite a caracterização e a classificação do risco de contaminação dos aquíferos, identificando as áreas mais críticas onde o monitoramento e estudos de maior detalhe devem ser direcionados.

### **11.2 Estudo da vulnerabilidade natural dos aquíferos**

A vulnerabilidade natural dos aquíferos, conforme metodologia baseia-se em sete fatores intrínsecos ao meio aquífero. Para estabelecer a vulnerabilidade natural dos aquíferos inicialmente realizou-se o cadastro de 134 poços (tubulares e escavados) e fontes, distribuídos em uma área transfronteiriça, de aproximadamente 43,24km<sup>2</sup>. Em Quaraí, no Brasil, cadastrou-se 79 poços, sendo 12 pertencentes a CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), 2 poços pertencem a prefeitura municipal de Quaraí e os demais a proprietários privados.

Em Artigas, no Uruguai, cadastrou-se 55 poços, destes 16 são de responsabilidade da OSE (Obras Sanitarias del Estado), 5 poços são pertencentes a intendencia municipal e o restante a proprietários particulares.

Para aplicar o Modelo DRASTIC, utilizou-se apenas 81 poços, pois não foi possível obter-se para todos, as informações necessárias para desenvolver a referida metodologia. É importante destacar que a litologia identificada na área desempenha papel fundamental na aplicação da metodologia DRASTIC, pois através dela pode-se obter as informações a respeito do tipo de aquífero e dos solos. Também estão relacionados com a litologia, a condutividade hidráulica e o impacto na zona vadosa, avaliados separadamente.

Para identificar o fator Profundidade, utilizou-se do nível estático dos poços, entendido como sendo o nível da água do poço em situação de não bombeamento, sendo que foi de grande importância para a aplicação do modelo DRASTIC. O nível estático obtido de dados pré-existentes e em pesquisa de campo, através da mensuração do nível estático dos poços, com o uso do medidor (Jaciri ou freatímetro), apresentou-se entre o mínimo de zero (0) e no máximo de 60 metros de profundidade. O valor zero corresponde aos poços jorrantes e às nascentes ou fontes que afloram em superfície. Os demais valores correspondem aos níveis dos poços tubulares e escavados.

No Tabla 11-10 e na Figura 11-1 pode-se verificar os resultados obtidos deste fator e sua representação cartográfica. Na metodologia DRASTIC, o fator Profundidade recebe peso 5. Em pesquisas de campo, realizadas em agosto e dezembro de 2004, e em março e julho de 2005, realizaram-se as mensurações dos níveis estáticos dos poços, a maior parte deles por meio de medições diretas, com a utilização do medidor Jaciri.



Tabla 11-10: Classificação do Nível estático dos poços nos intervalos e suas respectivas cargas

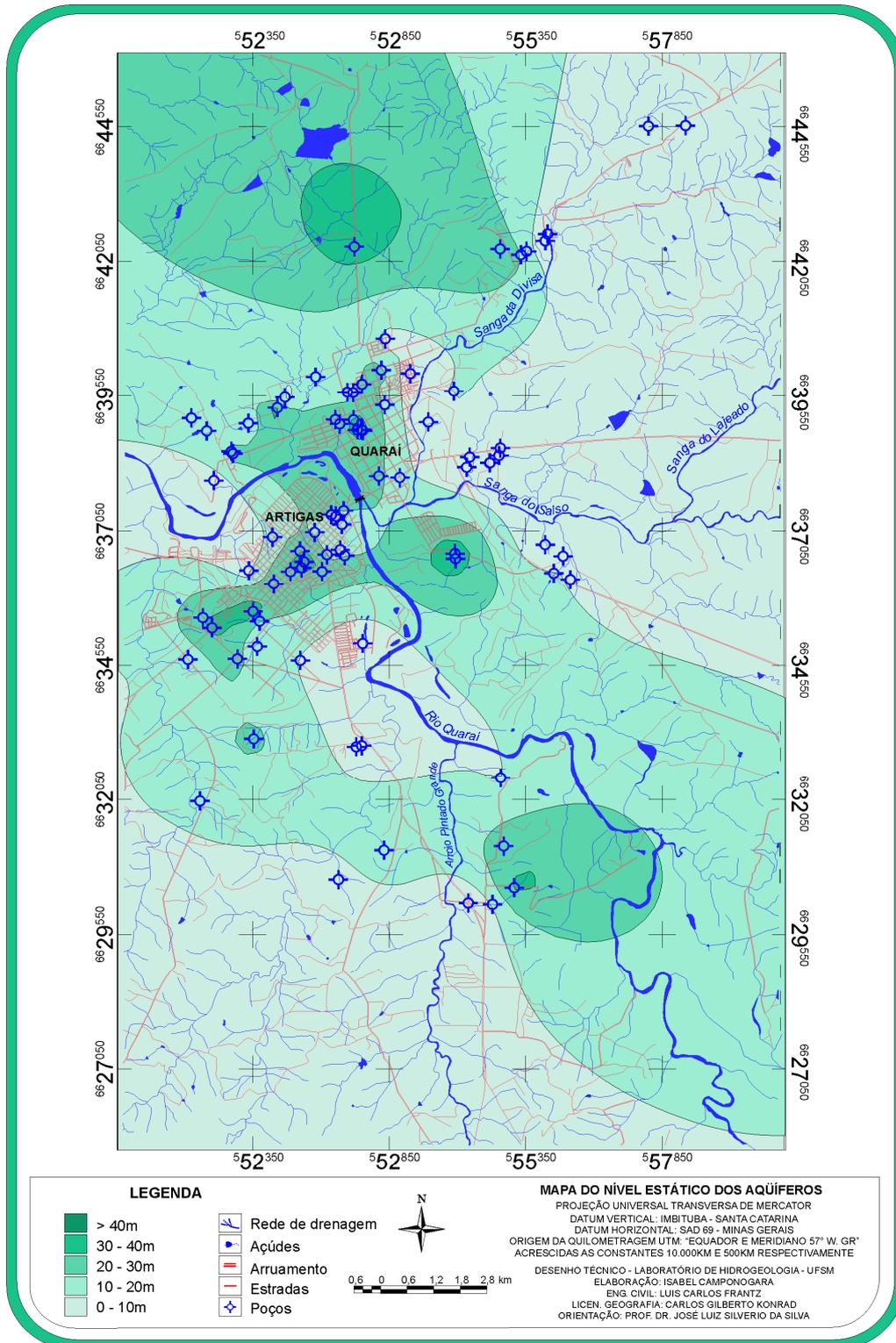
| Intervalos de Nível Estático | Poços no intervalo (código do poço)   | Índice DRASTIC (cargas) |
|------------------------------|---|-------------------------|
| 0 – 1,5                      | QUA5B; Q-11; Q-1; PMQ19; PMQ18; PMQ17; PMQ16; OSE-410; A-7; 58-6; 9165.   | 10                      |
| 1,5 – 4,6                    | QUA4; 58-7; 9182.   | 9                       |
| 4,6 – 9,1                    | QUA8; Q-127; Q-126; OSE-1.4.002; EM-831; EM-830; EM-547; A-2; A-113; A-110; 9187; 9170.   | 7                       |
| 9,1 – 15,2                   | PMQ27; PMQ21; OSE-1.4.016; OSE-1.4.012; OSE-1.4.003; EM-735; A-118; A-111; 9180; 9175; 9172; 9168; 9164.  | 5                       |
| 15,2 – 22,9                  | OSE-1.4.013; EM-814; EM-744; EM-734; EM-716; EM-581; A-119; A-114; 9178; 9159; 9155; 9153.  | 3                       |
| 22,9 – 30,5                  | QUA6; QUA3; QUA2B; PMQ32; PMQ30; PMQ03; OSE-Pintado Grande; OSE-1.4.011; OSE-1.4.010; EM-813; EM-796; EM-710; EM-691; EM-676; EM-546; 9179; 9151. | 2                       |
| >30,5                        | QUA2C; QUA2; QUA1A; QUA1, Q-128; PMQ23; OSE-1.4.009; OSE-1.4.004; EM-639; A-112; 9171.  | 1                       |

Na Figura 11-1 pode-se verificar que os maiores níveis estáticos dos poços estão na parte centro-oeste e a noroeste, sobre a Formação Serra Geral, em áreas de recarga indireta, e a sudeste, em parte na Formação Botucatu, com recarga direta em áreas do afloramento do SAG. Sendo assim, no que se refere ao fator em análise, a situação em que se encontram os poços com estes níveis estáticos, estão em melhores condições sob o ponto de vista da vulnerabilidade, pois, quanto maior o nível estático significa que mais distante está o nível freático da superfície, e em situação menos favorável de ser atingido por um contaminante.

Em relação aos outros níveis estáticos menores, pode-se destacar que as águas estão mais vulneráveis à contaminação, pois o nível freático encontra-se mais próximo à superfície. Desta forma, com a realização de atividades antrópicas potencialmente poluidoras, estas podem atingir as águas subterrâneas.



Figura 11-1: Mapa da profundidade do Nível Estático dos poços



O fator Recarga total (recarga pela infiltração da chuva), considerada pelo modelo DRASTIC, está relacionada com a quantidade de água que atinge a zona saturada, ou seja, condiciona o transporte dos poluentes que possivelmente

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



poderão atingir o sistema aquífero. De maneira geral, quanto maior seria a recarga, maior o acúmulo de água no sistema aquífero, porém, havendo atividades com potencial de poluição em superfície, poderá haver transporte de substâncias poluidoras até o sistema aquífero.

Na área de estudo tem-se uma precipitação média anual de 1400mm/ano, ou seja, aproximadamente 50 a 100mm/ano se infiltram para recarga do Sistema Aquífero Guaraní. Este valor deverá ser confirmado em estudos futuros. Na aplicação do modelo considerou-se que esta infiltração é homogênea para toda a área, uma vez que a mesma possui apenas 243,24Km<sup>2</sup> e não apresenta variações na precipitação anual em seus diferentes setores. Sendo assim, no que se refere ao fator R, a área em estudo encontra-se no intervalo de recarga de 51,85 a 103,7mm/ano. Este intervalo confere ao fator uma carga igual a 3, conforme na siguiente tabela:

Tabla 11-11- Recarga total durante o ano (Peso: Rp= 4).

| Intervalo de recarga em polegadas | Intervalo de recarga em mm/ano | Carga |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------|
| 2 – 4                             | 51,85 – 103,7                  | 3     |

A recarga em aquíferos é um fator de extrema importância, pois através desta se mantém o equilíbrio no meio aquífero. No caso de ocorrer superexploração, pode ocasionar problemas de rebaixamento dos níveis freáticos. Por isso, é importante usar a água racionalmente.

O fator Meio Aquífero pode ser definido com base nas unidades geológicas e hidrogeológicas ou ser associado aos tipos de aquíferos (confinados, semiconfinados, livres, nascentes). Este parâmetro refere-se à capacidade de atenuação do aquífero, que é função do material que o constitui. Uma rocha de grãos mais grosseiros ou mais fraturados possui menor capacidade de atenuar os poluentes. Na área de estudo constatou-se a presença de aquíferos confinados (Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu) e não confinados (Fm. Botucatu e Sedimentos Cenozóicos) aflorantes.

A Formação TRjb (Formação Botucatu) enquadra-se no tipo de meio aquífero dos arenitos. Correspondendo aos arenitos e folhelhos acamadados, os quais, por serem menos atenuantes, receberam carga 8.

A Formação Serra Geral (JKsg), a qual está inserida no tipo de meio aquífero dos basaltos fraturados, recebeu nota 3, ou seja, esta é a formação em melhor condição no que se refere ao fator A. Corresponde aos aquíferos confinados, que dificultam a infiltração, conseqüentemente a penetração de substâncias tóxicas não ocorre facilmente, a menos que existam fraturas ou fissuras presentes na unidade geológica ou ainda vesículas e/ou amígdalas, formando uma porosidade secundária. Ressalta-se que a carga foi atribuída a toda a unidade geológica em análise. Assim os poços que estão sobre a mesma unidade estão inclusos na mesma situação.

A unidade geológica classificada como Sedimentos Cenozóicos verificada na área, insere-se ao tipo de aquíferos aluviões, nestas áreas, não constatou-se nenhum poço em toda sua extensão. O Tabla 11-12 permite a visualização dos diferentes meios aquíferos com seus respectivos intervalos e cargas e a distribuição dos poços.



Tabla 11-12: Tipos de meio aquíferos e suas respectivas cargas (Ac) e distribuição dos poços em cada unidade. (Peso: Ap=3).

| Tipo de meio aquífero | Faixa de variação (carga) | Poços   | Cargas (Ac) |
|-----------------------|---------------------------|---|-------------|
| Arenitos (Botucatu)   | 5 – 9                     | OSE-1.4.016; 58-8   | 8           |
| Basalto (Serra Geral) | 2 – 10                    | QUA5B; Q-11; Q-1; PMQ19; PMQ18; PMQ17; PMQ16; OSE-410; A-7; 58-6; 9165; QUA4; 58-7; 9182; QUA8; Q-127; Q-126; OSE-1.4.002; EM-831; EM-830; EM-547; A-2; A-113; A-110; 9187; 9170; PMQ27; PMQ21; OSE-1.4.012; OSE-1.4.003; EM-735; A-118; A-111; 9180; 9175; 9172; 9168; 9164; OSE-1.4.013; EM-814; EM-744; EM-734; EM-716; EM-581; A-119; A-114; 9178; 9159; 9155; 9153; QUA6; QUA3; QUA2B; PMQ32; PMQ30; PMQ03; OSE-Pintado Grande; OSE-1.4.011; OSE-1.4.010; EM-813; EM-796; EM-710; EM-691; EM-676; EM-546; 9179; 9151; QUA2C; QUA2; QUA1A; QUA1, Q-128; PMQ23; OSE-1.4.009; OSE-1.4.004; EM-639; A-112; 9171. | 3           |

Observando-se as informações no Tabla 11-12, percebe-se que a maioria dos poços estão localizados no tipo de aquíferos confinados, da Formação Serra Geral. Estes aquíferos apresentam pequena capacidade de armazenamento de água, por serem menos permeáveis em função de sua estrutura geológica ser maciça.

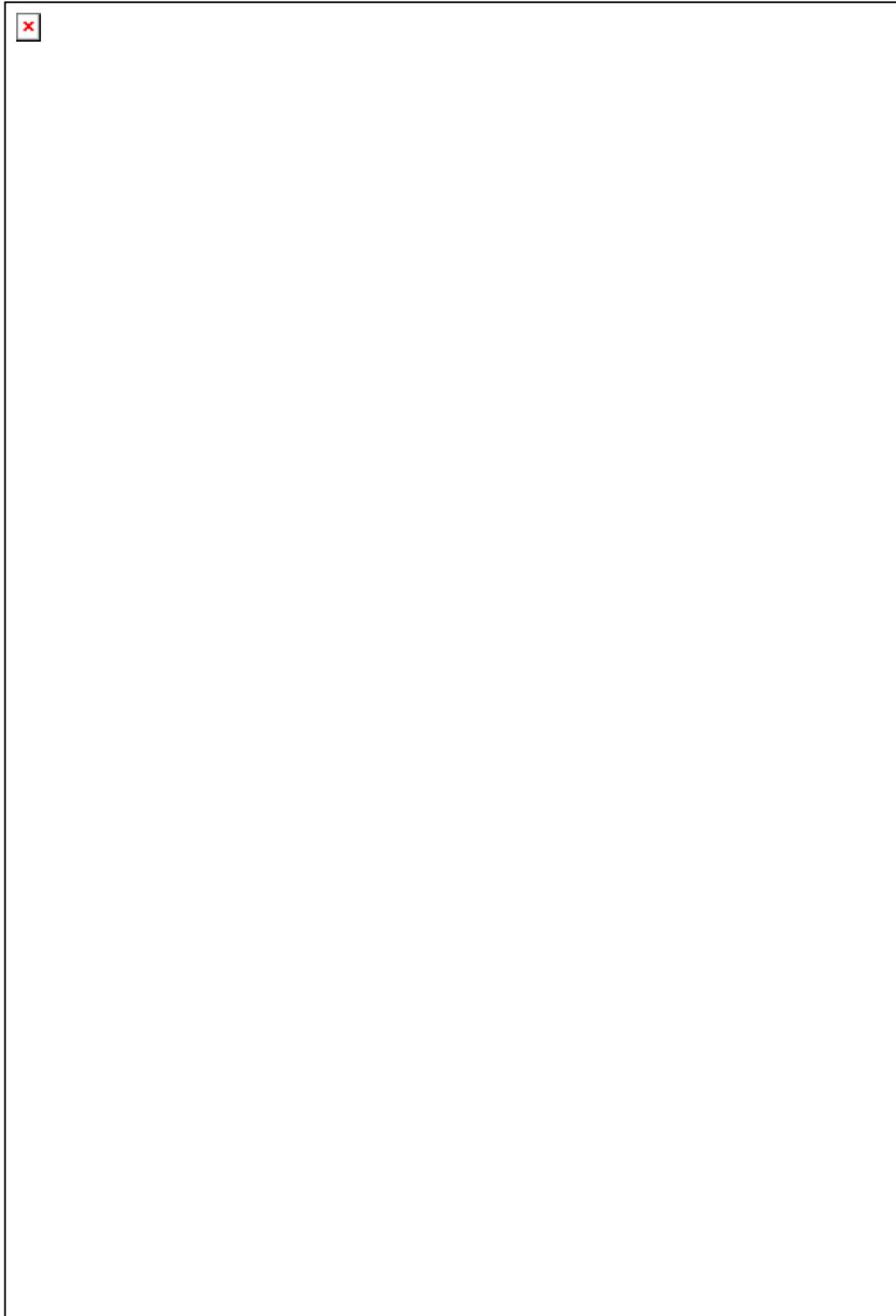
Os arenitos aflorantes da Formação Botucatu ocupam aproximadamente 5,01Km<sup>2</sup>, o que representa 3,42% da área de estudo que abrange 243,24Km<sup>2</sup>. Aparecem em alguns pontos isolados, aflorando em superfície (ventanas), assim recebem recarga direta oriunda de chuvas. Apresentam boa permeabilidade e porosidade, por isso, permitem armazenamento e captação de água em grandes quantidades, sendo considerados os melhores aquíferos.

Por outro lado, os basaltos, da Formação Serra Geral, ocupam a maior extensão, cerca de 229,9Km<sup>2</sup>, aparecem recobrando os arenitos em 94,60% da área de estudo, deixando estes confinados. Os basaltos não permitem acúmulo de água, pois em sua estrutura não ocorrem espaços vazios, como nos arenitos, exceto em suas fraturas ou fissuras.

A Formação geológica Sedimentos Cenozóicos aparece em algumas áreas isoladas a leste e sudeste da área de estudo, nas planícies aluviais do Rio Quarai e em outros pequenos rios, nestas áreas não se constatou a presença de poços. A área de abrangência desta unidade é de 8,33Km<sup>2</sup>, cerca de 3,42% da área total. Na Figura 2 apresenta-se a espacialização cartográfica das formações geológicas presentes na área de estudo.



Figura 11-2: Mapa das formações geológicas da área de estudo



O fator Solos (S) para o modelo DRASTIC recebe peso 2. O enquadramento e pontuação deste fator baseou-se nas amostras coletadas para cada unidade geológica presente na área. A referida análise granulométrica realizada permitiu constatar 3 unidades texturais de solos. As cargas deste fator (S) foram dadas para cada unidade, de acordo com a percentagem de areia, silte e argila, conforme o modelo DRASTIC.



As referidas cargas foram dadas seguindo-se a lógica de que, quanto maior a granulometria de um solo, maior a permeabilidade. Como exemplo pode-se citar a areia muito grossa (1,0 – 2,0 mm) e o silte + argila (< 0,062 mm). O primeiro, de maior granulometria, possui maior permeabilidade que o segundo, de menor granulometria. Um solo que tem maior permeabilidade se caracteriza por deixar a água percolar mais facilmente no seu interior. Sendo assim, a carga contaminante que se infiltra junto com a água sofrerá uma menor atenuação antes de chegar ao aquífero.

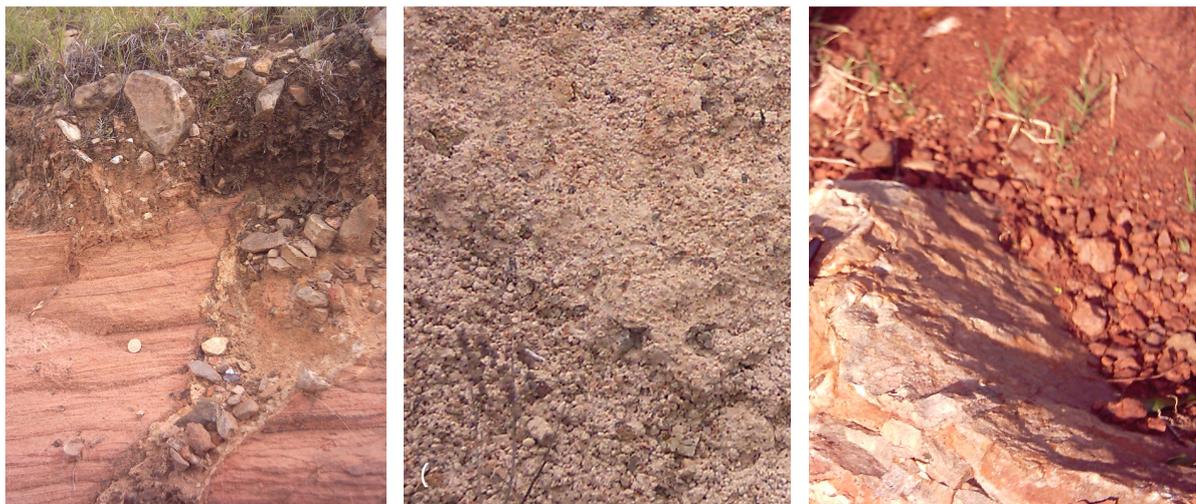
No teste de granulometria realizado para a amostra geológica coletada Formação Botucatu, de acordo com o triângulo textural, esta se enquadrou no tipo Areia Franca fina, com 50% ou mais de areia fina, menos de 25% de areia muito grossa e média, e menos de 50% de areia muito fina. Esta unidade recebeu carga 6. A área ocupada por esta unidade textural de solos é de 5,01Km<sup>2</sup>, cerca de 3,4% do total de 243,24Km<sup>2</sup> que corresponde a área de pesquisa.

A amostra coletada da unidade geológica Formação Serra Geral foi classificada, de acordo com o triângulo textural, em Textura Franco Siltosa, com 50% ou mais de silte e de 12 a 27% de argila, ou 50 a 80% de silte e menos de 12% de argila. Assim, esta unidade recebeu carga 4. A área de abrangência corresponde a 229,09Km<sup>2</sup>, o significa que abrange 94,60% do total de estudo.

A formação geológica Sedimentos Cenozóicos inconsolidados (areias brancas) apresentou uma percentagem de 7 a 27% de argila, de 28 a 50% de silte e menos de 52% de areia. Assim, conforme o triângulo textural (Vieira, 1975 p. 263), esta é classificada como sendo de textura Franca. A área que esta unidade abrange corresponde a 8,33Km<sup>2</sup>, ou seja, ocupa um percentual de 3,42% do total da área.

Na Figura 11-3 apresentam-se imagens das unidades texturais de solos encontradas na área de pesquisa, assim pode-se constatar as características que os diferenciam.

Figura 11-3: Aspectos das unidades texturais de solos: Areia Franca fina (A), Franca (B) e Franco Siltosa (C).



No Tabla 11-13, pode-se ver que a maioria dos poços estão localizados na unidade textural de solos Franco siltosa, originário na Fm. Serra Geral. Na unidade de solo Franco arenoso, Fm Botucatu, constatou-se 2 poços. E na unidade de solos Franca (Sedimentos Cenozóicos) não se identificou poços e nem fontes.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**



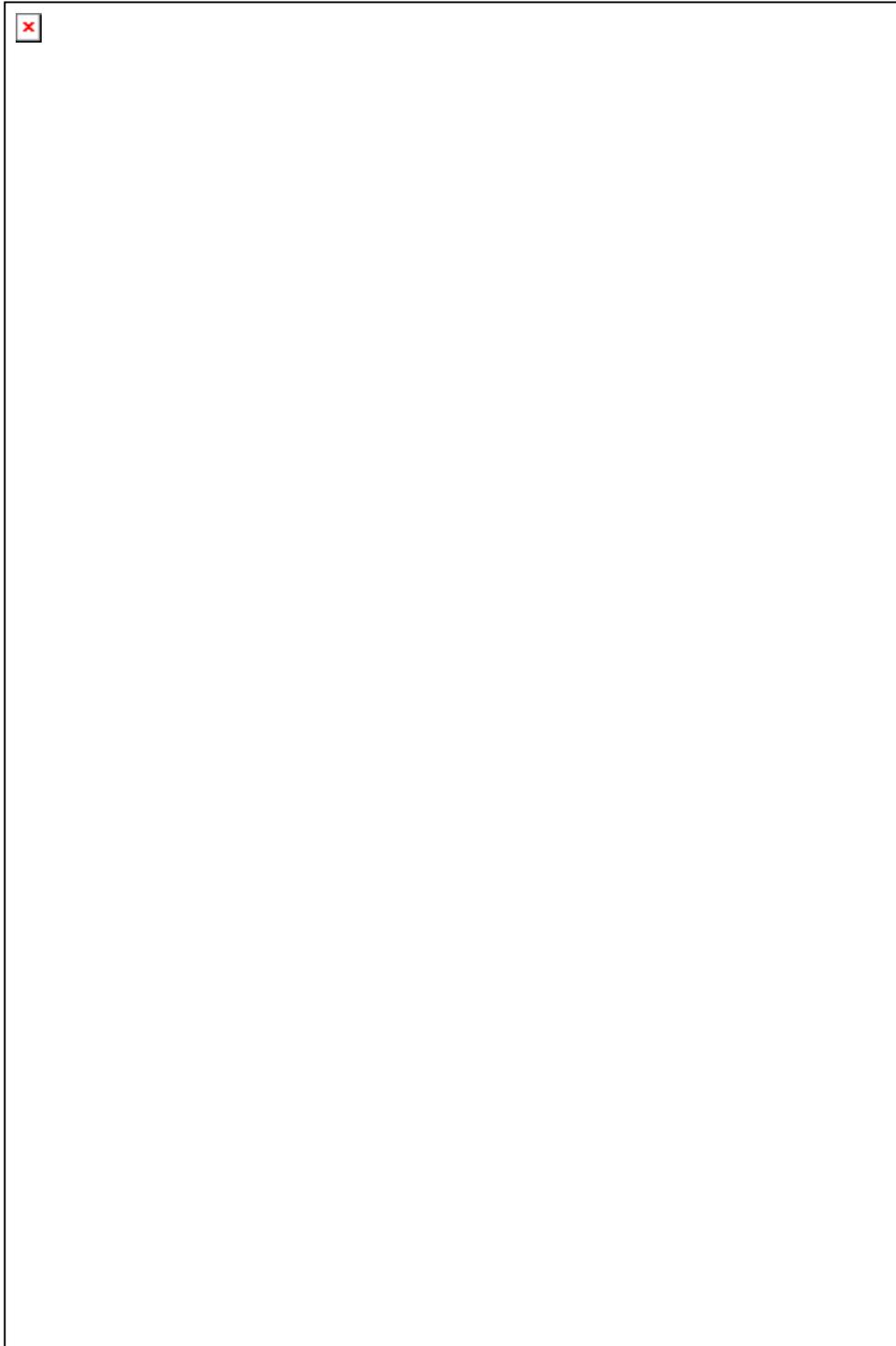
Tabla 11-13: Granulometria dos solos e suas respectivas cargas (Sc), distribuição dos poços (Peso: Sp=2). Fonte: Pesquisa de campo e Lab. Sedimentologia – Departamento de Geociências/UFSM (2005)

| Granulometria                         | Área (Km <sup>2</sup> ) | Poços no intervalo  | Carga (Sc) |
|---------------------------------------|-------------------------|---|------------|
| Franco arenoso (Formação Botucatu)    | 5,01                    | OSE-1.4.016; 58-8   | 6          |
| Franco siltosa (Formação Serra Geral) | 229,9                   | A-7; A-110; A-113; A-118; OSE-1.4.003; OSE-410; EM-813; OSE-1.4.010; EM-639; EM-581; EM-546; OSE-1.4.009; OSE-1.4.004; QUA1; QUA2B; QUA2; QUA2C; PMQ30; 886; QUA3; Q-128; 9182; 9187; QUA2B, EM-716, OSE-1.4.011; OSE-1.4.012; QUA1A; EM-796. A-112; QUA5B; EM-830; A-114; A-119; EM-735; 9175; OSE-1.4.013; QUA6; 9178; 9179; Q5; Q127; OSE-1.4.001; OSE-Pintado Grande; A-111; A-112; EM-676; OSE-1.4.002; EM-710; EM-691; EM-814; EM-744; EM-547; A-2; EM-734; Q-1; Q-126; PMQ16; PMQ19; 9165; PMQ18; 58-6; PMQ03; 9164; 9153; 9159; 9171; PMQ21; PMQ23; 9170; 9155; 9168; 58-7; 9151; PMQ32; QUA8; 9180; Q11; EM-830; EM-831; PMQ17; PMQ27; QUA4. | 4          |

Na Figura 11-4, apresenta-se a representação cartográfica das unidades texturais de solos encontradas na área de estudo, bem como a locação dos poços (tubulares e escavados) e das fontes.



Figura 11-4: Mapa das unidades texturais de solos



O fator Topografia, obtido do levantamento da declividade, fornece informações valiosas a respeito das aptidões naturais da terra, ou seja, é revelador dos limites impostos pelo relevo para os diferentes tipos de uso. Neste sentido, é de grande valia para o planejamento de uso de uma área. Este foi identificado com base no Modelo Digital do Terreno (MNT), o qual foi obtido a partir das cartas topográficas.



Nesta pesquisa, especificamente, a declividade é de fundamental importância, pois constitui um dos fatores considerados pelo modelo DRASTIC para o levantamento da vulnerabilidade natural da área. Para o modelo DRASTIC o fator topografia tem peso igual a um (1), ou seja, é o fator considerado de menor importância pelo modelo em questão. A partir dos intervalos de classes do mapa clinográfico foram estabelecidos os diferentes valores de carga para a área conforme pode ser observado no Tabla 11-14.

Tabla 11-14: Clases de declividade da área de estudo com a distribuição dos poços e cargas sugeridas no modelo DRASTIC (Tc). Fonte: Lab. Hidrogeologia – Departamento de Geociências/UFSM (2005)

| Classes de Declividade | Área (Km <sup>2</sup> ) | Poços no intervalo   | Carga DRASTIC |
|------------------------|-------------------------|--|---------------|
| 0 – 2%                 | 4,07                    | A-7; A-110; A-113; A-118; OSE-1.4.003; OSE-410; EM-813; OSE-1.4.010; EM-639; EM-581; EM-546; OSE-1.4.009; OSE-1.4.004; QUA1; QUA2B; QUA2; QUA2C; PMQ30; QUA3; Q-128; 9182; 9187; QUA2B, EM-716, OSE-1.4.011; OSE-1.4.012; OSE-1.4.016; QUA1A; EM-796.                                    | 10            |
| 2 – 6%                 | 73,76                   | OSE-Pintado Grande; A-111; EM-676; OSE-1.4.002; EM-710; EM-691; EM-814; EM-744; EM-547; A-2; EM-734; Q-1; Q-126; PMQ16; PMQ19; 9165; PMQ18; 58-6; PMQ03; 9164; 9153; 9159; 9171; PMQ21; PMQ23; 9170; 9155; 9168; 58-7; 9151; PMQ32; QUA8; 9180; Q11; EM-830; EM-831; PMQ17; PMQ27; QUA4. | 9             |
| 6 – 12%                | 45,23                   | EM-830; A-114; A-119; EM-735; 9175; OSE-1.4.013; QUA6; 9178; 9179; Q5; Q127, 58-8.   | 5             |
| 12 - 18%               | 11,17                   |  | 3             |
| >18%                   | 9,01                    | A-112; QUA5B.  | 1             |

Verificando-se o Tabla 11-14 pode-se constatar, que no intervalo de declividade de 0 – 2%, encontram-se 28 poços. Este intervalo recebe carga igual a 10 e representa 42,8% da área total de estudo. Para o intervalo de 2 -6%, que representa 30,32% da área total, estão 39 poços, e sua carga corresponde a 9. No intervalo de 6 – 12%, que corresponde a 18,6% da área de estudo, constatou-se a presença de 12 poços, e sua carga é 5. No intervalo de 12 – 18%, que corresponde a 4,6% da área total de estudo, não verificou-se a presença de poços. Para o intervalo de declividade maior que 18%, que representa 0,37% da área total, verificou-se 2 poços, e este recebeu carga igual a 1. Na Figura 11-5 pode-se verificar a representação cartográfica das declividades com os respectivos poços.

A declividade é um fator muito importante para a recarga dos aquíferos, pois em declividades menores o processo de infiltração ocorre com maior intensidade; em contrapartida, nas declividades maiores ocorre maior escoamento superficial e conseqüentemente menor será a infiltração.



Figura 11-5: Mapa clinográfico da área de estudo





O fator impacto na zona vadosa (I), entendida como a região do terreno não saturada em água que antecede a zona saturada, recebe peso 5. É definido a partir da análise do tipo de material da zona acima do nível freático (zona vadosa). Este material é determinante do tempo de percurso do poluente até a zona saturada, permitindo a ocorrência de diversos processos de atenuação. O

Tabla 11-15 apresenta os intervalos do fator impacto na zona vadosa (I), com respectiva classificação dos poços.

Tabla 11-15: Impacto da Zona Vadosa e suas respectivas cargas (Ic). (Peso: Ip=5).Fonte: Pesquisa de campo e Lab. Sedimentologia – Departamento de Geociências/UFMS (2005)

| Tipo de material                         | Faixa (carga) | Poços no intervalo  | Cargas típicas (Ic) |
|--|---------------|---|---------------------|
| Arenito Botucatu, (Cenozóico)            | 2 – 7         | OSE-1.4.016; 58-8   | 3                   |
| Basalto (fraturas, amígdalas, vesículas) | 2 – 10        | QUA5B; Q-11; Q-1; PMQ19; PMQ18; PMQ17; PMQ16; OSE-410; A-7; 58-6; 9165; QUA4; Q-5; 58-7; 9182; QUA8; Q-127; Q-126; OSE-1.4.002; EM-831; EM-830; EM-547; A-2; A-113; A-110; 9187; 9170; PMQ27; PMQ21; OSE-1.4.012; OSE-1.4.003; EM-735; A-118; A-111; 9180; 9175; 9172; 9168; 9164; OSE-1.4.013; EM-814; EM-744; EM-734; EM-716; EM-581; A-119; A-114; 9178; 9159; 9155; 9153; QUA6; QUA3; QUA2B; PMQ32; PMQ30; PMQ03; OSE-Pintado Grande; OSE-1.4.011; OSE-1.4.010; EM-813; EM-796; EM-710; EM-691; EM-676; EM-546; 9179; 9151; 886; QUA2C; QUA2; QUA1A; QUA1, Q-128; PMQ23; OSE-1.4.009; OSE-1.4.004; EM-802; EM-639; A-112; 9171. | 9                   |

A Formação Botucatu (TRjb) foi enquadrada nos arenitos, recebendo carga 3; e a Formação JKsg (Formação Serra Geral) enquadra-se no tipo de material basalto (fraturas, amígdalas e vesículas) e recebeu carga 9. Os arenitos da Formação Botucatu recebe carga menor por serem menos atenuantes; por outro lado, os basaltos, que são uma camada confinante, não permitem a penetração de contaminantes, a não ser que existam fraturas em sua estrutura, por isso recebem um valor maior na sua carga.

O fator condutividade hidráulica (C), que consiste na quantidade de percolação de água no subsolo através do meio aquífero, segundo o modelo DRASTIC, recebe peso 3. Em relação à carga, atribuiu-se o valor 1 em função de



que nos ensaios de bombeamento dos poços, inseridos nas 3 formações geológicas presentes na área, o valor obtido para a permeabilidade foi inferior a 4 m/dia, calculados pelos métodos de Hantush, Theis, Cooper-Jacob e por relações empíricas (Silvério et. al, 2005). Por isso adotou-se para toda a área o intervalo que pode ser conferido no Tabla 11-16.

Tabla 11-16: Condutividade hidráulica, cargas (Cc). (Peso: Cp=3).

| Permeabilidade (m/d) | Cargas (Cc) |
|----------------------|-------------|
| 0 – 4                | 1           |

Nos arenitos da Formação Botucatu e nos Sedimentos Cenozóicos (aluviões), a condutividade hidráulica é maior de que nos basaltos, pois a percolação da água ocorre com maior facilidade, devido à grande permeabilidade, fato este que facilita a circulação da água no interior destas Formações.

A partir dos resultados obtidos em cada fator pode-se constatar a vulnerabilidade natural dos aquíferos da área de estudo. No Anexo 5 constam as informações utilizadas e os resultados obtidos com aplicação do Modelo DRASTIC.

Desta forma, obtiveram-se, para a área de estudo 3 classes quanto ao grau de vulnerabilidade natural dos aquíferos. A classe considerada como vulnerável corresponde ao intervalo dos índices DRASTIC de 65 a 95. Esta classe ocupa a maior extensão da área de estudo. As áreas que representam esta classe estão localizadas no setor noroeste estendendo-se para a parte central até o sudeste da área de estudo. Nesta classe verificou-se a presença de 58 poços.

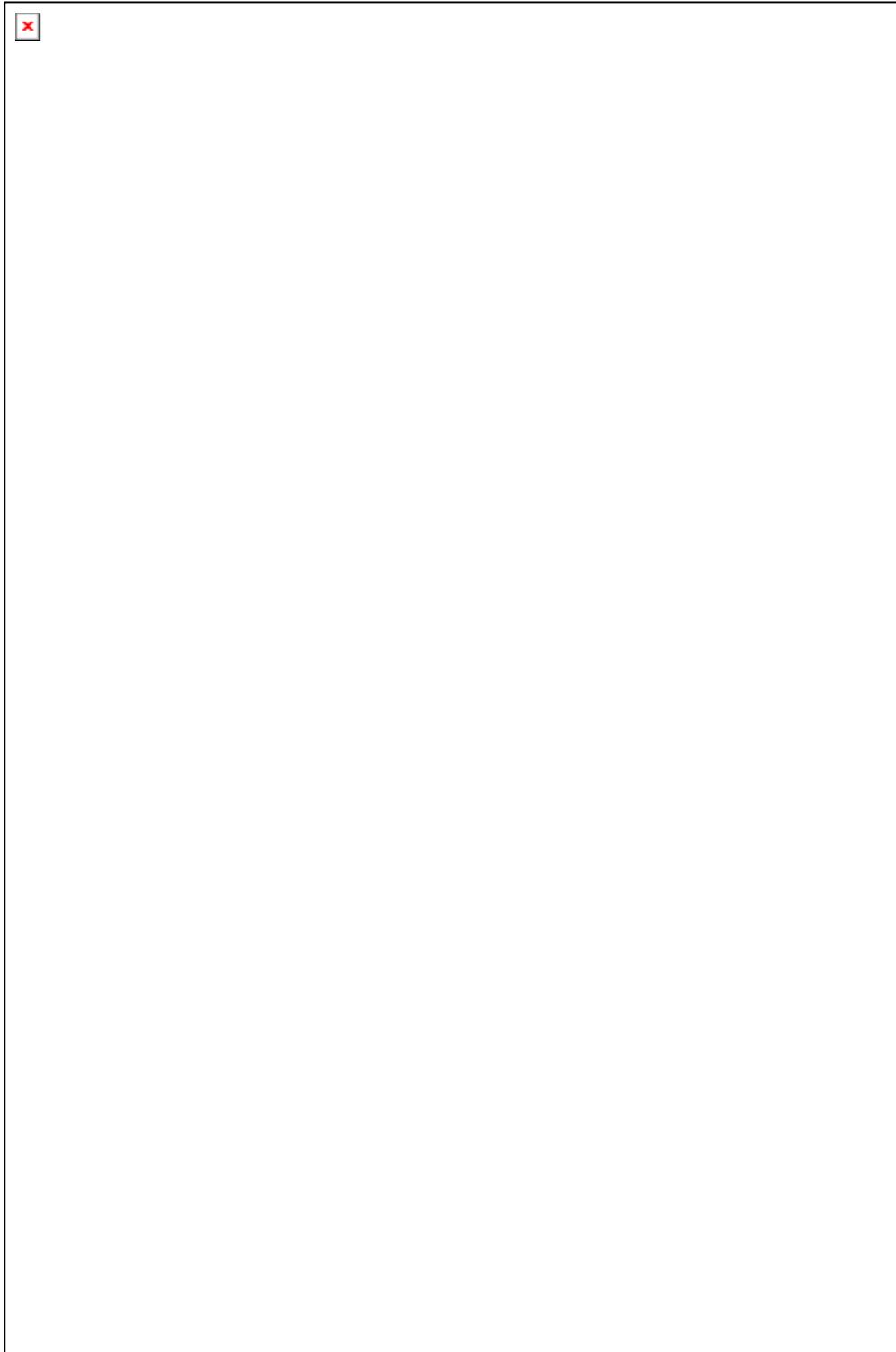
A classe classificada como muito vulnerável corresponde ao intervalo do índice DRASTIC que é de 95 a 120. Abrange o setor nordeste estendendo-se até leste, abrange também em alguns pontos no centro e a oeste e na parte sudoeste da área de estudo. São áreas de grande preocupação, pois apresentam um índice de susceptibilidade muito alto, sendo necessário para estas áreas muito cuidado na execução de qualquer atividade que apresente algum tipo de risco para a manutenção da qualidade da água. Nesta classe verificou-se a locação de 23 poços.

A classe considerada como extremamente vulnerável corresponde ao intervalo do índice DRASTIC que está acima de 120. Esta classe aparece em menor abrangência na área de estudo, ocupando uma pequena área na parte centro-sul. Verificou-se a presença de 1 poço. Ressalta-se que, conforme a metodologia, são áreas de proteção obrigatória.

Através da espacialização cartográfica da vulnerabilidade natural dos aquíferos (Figura 11-6) pode-se realizar a identificação das áreas mais vulneráveis frente às atividades com potencial de poluição. Assim tem-se um instrumento de grande importância para o local de estudo, pois através desta representação cartográfica, pode-se saber os locais menos indicados e os mais apropriados para locação de poços ou mesmo para instalação de hospitais, de indústrias, de aterros sanitários, entre outros e com isso proteger o meio ambiente de possíveis eventos de contaminação.



Figura 11-6: Mapa da vulnerabilidade natural dos aquíferos



### 11.3 Considerações finais

Devido à importância de se compreender a dinâmica dos sistemas aquíferos e contribuir para a proteção e gerenciamento ambiental, é que o presente estudo visou aprofundar os conhecimentos no Sistema Aquífero Guaraní. Neste sentido,

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



esta pesquisa propôs estudar a vulnerabilidade natural dos aquíferos a partir da representação cartográfica e análise de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas, na área transfronteiriça, em Quaraí, BR e Artigas, UY, e assim contribuir para as investigações que visam à utilização em equilíbrio dos recursos hídricos subterrâneos e a preservação dos mananciais, no caso deste estudo, o Sistema Aquífero Guaraní.

A identificação das formações geológicas da área foi de extrema importância, uma vez que, para se obter os demais resultados do Modelo DRASTIC, necessitou-se utilizar as informações provenientes da geologia, para as texturas de solos e o meio aquífero.

Com o mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos, obtida através da aplicação do Modelo DRASTIC, o qual relaciona sete fatores ligados ao meio natural, possibilitou a identificação de três classes de vulnerabilidade (vulnerável, muito vulnerável e extremamente vulnerável). De posse destas informações, pode-se identificar as áreas de maior susceptibilidade à contaminação frente a fontes potenciais de poluição, assim, tem-se uma ferramenta de grande importância para a área de estudo, pois, pode-se eleger as áreas adequadas para locação de poços ou para o desenvolvimento de atividades econômicas com potencial de poluição, e então adotar medidas preventivas para a proteção de possíveis eventos que venham a contaminar os aquíferos ou a expansão urbana evitando desmatamentos.

A respeito do Modelo DRASTIC é importante ressaltar quanto à dificuldade de se conseguir os sete fatores, pois alguns deles necessitam de muita pesquisa de campo, e qualquer suplementação aos dados analisados demandaria maior custo e tempo de pesquisa, como é o caso da condutividade hidráulica, que é obtida através de testes de bombeamentos em poços ou por ensaios de infiltração. Ainda sobre a necessária expansão das pesquisas de campo, sugere-se a realização de vários ensaios para os diferentes tipos de litologias, e, na seqüência, adotar-se uma média entre elas, e reduzir-se, assim, a possibilidade de erros.



## 12 RIESGO, FUENTES Y VIAS POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN

Na área urbana da cidade de Quarai encontra-se em fase de construção no ano de 2006 a Estação de Tratamento de Esgotos/ETE, no local denominado de Saladeiro, próximo da margem direita do Rio Quarai, pertencente a SURFRO/CORSAN. Nela será instado um digestor anaeróbico com uma Q final 118,63 l/s projetada para uma população de 32.300 habitantes, quase o dobro da população atual de acordo com dados do IBGE (2005).

De acordo com informações da CORSAN/Quaraí, a metragem de rede de água é de 61.818m, a rede de esgotos 1.138m, mais 3.380m previstos para execução. Número de economias de água ligadas à rede 6.838, o número de economias com rede de esgotos ligada 1.138. O consumo de água através de recalque superficial 107.096 m<sup>3</sup> e o consumo anual de recalque através do uso de poços tubulares é de 102.096 m<sup>3</sup>. Os poços sofrem tratamento com cloro e com flúor. Os valores de cloro residual livre (CRL) são na faixa de 0,5 mg/L e os de Flúor na faixa de 0,6 a 0,9 mg/L. A água bruta do Rio Quarai sofre tratamento na ETA com uso de sulfato de alumínio. Os lodos de fundo são retirados da área de funcionamento da ETA e são transportados para serem tratados.

Na cidade de Artigas existe uma ETE a jusante da cidade, na Planície Aluvial do Rio Quarai com uma capacidade de tratamento limitada usando sistema Imhoff.

Na Cidade de Rivera existe uma ETE moderna implantada na Planície Aluvial do Arroyo Cuñapiru com uma capacidade de tratamento grande.

Em Santana do Livramento existe uma ETE muito antiga que utiliza o Sistema Imhoff.

Não é bem conhecida a eficiência do tratamento dos esgotos nas ETES de Artigas, Rivera e de Santana do Livramento, sendo parte dos dejetos dispostos nos rios e arroios das áreas onde estão localizadas.

Portanto sugere-se que os poços tubulares e/ou nascentes/*manantiales* na sua área de influência sejam monitorados os parâmetros seguintes: Nitratos, Nitritos, Cloro, fosfatos, sulfeto de hidrogênio e sulfatos.

Nas áreas urbanas não são realizados plantios florestamentos com matas de pinus e/ou eucaliptos, os quais sofrem tratamentos com agroquímicos durante sua fase de crescimento, portanto não são conhecidas suas relações químicas com os lençóis freáticos, muitas vezes muito rasos e/ou aflorantes na forma de fontes em afloramentos de rochas arenosas muito porosas e permeáveis. Também é desconhecida para o SAG a relação entre o consumo de água dos eucaliptos e as flutuações do lençol freático. No Brasil existe um estudo em áreas de Planalto (rochas vulcânicas) em execução pela UFSM. Seria de grande interesse uma pesquisa científica de longa duração para monitorar as flutuações de níveis freáticos com freatímetros buscando-se obter séries históricas, em poços localizados em áreas de florestamentos. Sugere-se monitoramento de agroquímicos e de flutuação de N.E. durante o ano.

Em áreas arenosas de Artigas próximas do Arroyo Guayubirá poço A-4 (558277 E e 6624058 N) até próximo da *Piedra Pintada* existem diversos locais em que estão sendo realizados plantios de tabaco no período de verão, onde afloram arenitos da Fm. Botucatu e/ou produtos de alteração superficial destas rochas, onde o nível estático é raso e, portanto bastante vulnerável a contaminação com agroquímicos. Também nas planícies aluviais do Rio Pintado Grande observou-se a cultura do arroz irrigado, no período de verão (dezembro a março), com uso de



agroquímicos, em locais onde afloram sedimentos areno-argilosos de Planícies Aluviais, considerados também vulneráveis a contaminação da superfície. Sugere-se o monitoramento dos poços situados nesta região com estudo de Agroquímicos.

Outra preocupação que se deve ter é com os resíduos dos banhos de animais, uma vez que tanto na área de Quarai quanto de Artigas, os banhos de gado são uma constante. Sugere-se inclusive para a empresa consultora em Hidrogeologia Geral que faça um estudo e proponha soluções a serem aplicadas pelo Brasil e pelo Uruguai. Esta foi uma preocupação de ambas as comunidades de Artigas e Quarai manifestadas no I Seminário Internacional sobre o Projeto Aquífero Guaraní realizado na cidade QUARAI em 10 e 11 de novembro de 2005. Parece que ainda não há legislação regulamentando a disposição deste tipo de resíduos no solo. No lado brasileiro há uma recicladora de recipientes plásticos na cidade de Dom Pedrito, mas antes de seu transporte deve ser realizada a tríplice lavagem.

Na cidade de Rivera existe uma empresa engarrafadora de águas minerais, de fonte surgente, localizada em afloramentos da Formação Botucatu, bastante próximo do Cemitério Central de Rivera. Informa-se que a referida empresa realiza análises físico-químicas e/ou bacteriológicas anualmente sendo monitorada pela Intendência Municipal de Rivera. Do lado brasileiro avaliou-se a qualidade físico-química para alguns parâmetros no poço escavado no Cemitério da Tabatinga, os quais apresentaram nitratos e fosfatos de acordo Valores Máximos Permissíveis de acordo com os padrões da Portaria Nº 358/2004 do Brasil. Este poço deveria ser monitorado anualmente incluindo-se outros elementos de interesse como, nitratos, nitritos, metais traços e CO<sub>2</sub> dissolvido. Também se trata de um ótimo local para monitoramento de nível estático, uma vez que pode sofrer influência dos poços do DAE do Sistema Alexandrina.

Com relação aos cemitérios no lado brasileiro em Santana do Livramento existem três cemitérios sem licença ambiental (Central, Tabatinga e Ecumênico) Fig. 13-5 regida pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente/CONAMA nº 335/2003, que no seu artigo 5º I- diz " a área de fundo das sepulturas deve manter uma distância mínima de um metro e meio do nível máximo do aquífero freático. No Estado do Rio Grande do Sul a FEPAM é o órgão responsável pela liberação das licenças ambientais e pela fiscalização. Neste item também se deve lembrar o adequado sepultamento de animais mortos.

Constatou-se contaminação do poço Q-7 Escola Barroim em Quarai, confirmada com os parâmetros avaliados nesta pesquisa metais Al e Fe encontram-se acima do VMP da Portaria 518/2004, localizado em área rural, próxima do perímetro de influência do Lixão Municipal. Acredita-se que a fonte de contaminação seja o lixão, poderia ter contaminado o poço com chorumes pela sua movimentação através das fraturas nas rochas vulcânicas onde foi construído (Anexo 5). Também se encontrou valores de Al e Fe acima do VMP para consumo humano no poço Q-11, uma nascente na Estrada Municipal que vai a Fazenda Serrinha (esta nascente é utilizada para consumo humano e também animal).

Constataram-se também valores de Al e Fe acima do VMP para consumo humano na água bruta do Rio Quarai, na amostra nº115 tomada na ETA de Quarai da CORSAN. A fonte destes elementos é difusa, mas pode associar-se, possivelmente, a sais de Alumínio usados no tratamento das águas. Sugere-se que tanto a OSE em Artigas, quanto a CORSAN em Quarai monitorem esta ocorrência pontual buscando avaliar melhor estes elementos durante amostragens anuais.

O Lixão de Artigas situa-se fora da área de estudo, localizado sobre afloramentos de rochas vulcânicas onde também se identificou afloramentos de arenitos silicificados na forma de brechas vulcânicas, pouco permeáveis.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**



O Lixão (Vertedero Municipal Passo do Enano) de Rivera situa-se em terrenos de constituição arenosa em área de afloramento do SAG, sugere-se que seja monitorado o poço R-3.

O Lixão de Santana do Livramento foi desativado e fica fora da área do estudo.

Sugere-se que sejam futuramente monitorados pela consultora os Arroios Carolina e Cuñapiru em Rivera-Santana, em relação aos teores de desinfetantes, tais como; bromatos, cloritos, cloro livre e outros.

Outro aspecto que se deve referir é o deflorestamento em alguns cerros das cidades de Rivera (Cerro Del Estado) Cerro Caqueira na fronteira e no lado brasileiro o Cerro da Tabatinga, quase completamente desprovidos de vegetação. Pelo Código Florestal brasileiro Art. 2, consideram-se de preservação permanente, letra c" nas nascentes, ainda que intermitentes e os chamados *olhos- d'água*, qualquer que seja sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 m de largura". As nascentes em Santana do Livramento encontram-se na base do Cerro do Registro e estão bem preservadas em termos de vegetação. No Cerro Del Estado identificou-se uma nascente em rocha vulcânica contaminada, também se notou concentração de lixos numa parte de uma antiga pedreira. Diversos arroios e/ou sangas não apresentam a necessária proteção das matas ciliares, devendo ser avaliada em projetos preservacionistas.

En las visitas a los sitios de interés, se realizó una serie de entrevistas y se recopiló la información que se detalla a continuación.

Según información aportada en agosto de 2004 por el Sr. Luis Barboza (ONG Raikatú), en la ciudad de Rivera existen variadas fuentes potenciales de contaminación, entre ellas:

- curtiembres
- fabricantes de productos de limpieza
- estaciones de servicio
- talleres mecánicos
- envasadoras de miel
- fábrica de bebida cola

El Arq. Bayo de la División Planeamiento de la Intendencia Municipal de Rivera en agosto de 2004 plantea como actividades potencialmente contaminantes la presencia de tres estaciones de servicio en actividad:

- Shell: ubicada en Dr. Anollez y Brasil, la cual cuenta con tanques nuevos;
- Ancap: ubicada en Agraciada y Reyles, la cual cuenta con tanques nuevos;
- Texaco: ubicada en la entrada a la ciudad por la Ruta Nacional Nº 5;

Por otra parte existen dos estaciones abandonadas:

- Eso: ubicada en Florencio Sánchez y Agraciada;
- Texaco: ubicada en Agraciada y Carámbula;

Existen también tanques de combustible en los talleres municipales del Ejército (ubicado en calle Brasil esquina calle 1825) y del aeropuerto.



El Arq. Bayo informó también que se está realizando un relevamiento de actividades potencialmente contaminantes para identificar Zonas de Actividades de Riesgo Ambiental Potencial. (ZAR). En agosto de 2004 se contaba con la siguiente lista:

- Mandubí y Barrio Bisio – hornos de carbón y ladrillo
- Piletas de OSE: tratamiento de aguas servidas y estaciones de bombeo
- Cantera municipal en el Cerro del Estado (con asentamiento irregular)
- Chipeadora Urufor
- Acopiadores y reformadores de baterías de autos
- Vertedero municipal de Paso del Enano
- Curtiembre en Santa Isabel
- Fraccionamiento de insecticidas (proceso químico de alto riesgo)
- Recarga de gas
- Estaciones de servicio
- Depósitos de transformadores de UTE
- Plantas reductoras de voltaje
- Vertidos de aguas residuales al Aº Cuñapirú y en cañadas
- Pozos negros (donde no hay red de saneamiento)
- Cementerios Central, Lagunón y Memorial

El Quim. Fm. Alejandro Bertón del laboratorio de la Intendencia Municipal de Rivera informó que el vertedero municipal trabaja en terrazas, sin impermeabilización.

La Tabla 12-1 y Tabla 12-2 corresponden a emprendimientos que a febrero de 2006 habían presentado el trámite de Solicitud de Autorización de Desagüe Industrial (SADI) ante la Dirección Nacional de Medio Ambiente de Uruguay y tienen aprobado el proyecto de ingeniería de sus plantas de tratamiento, aunque algunas de ellas pueden no estar en actividad. Es importante aclarar que las coordenadas de ubicación de cada emprendimiento obtenidas de la Dirección Nacional de Medio Ambiente corresponden al sistema uruguayo, en tanto las del sistema brasilero fueron obtenidas a partir de las anteriores mediante transformación con el *software* Tatukgis.



Tabla 12-1: Industrias con trámite de SADI en el Departamento de Artigas

| Nombre                              | Ubicación                            | Localidad         | Cuenca en la que esta ubicada | X(m) (Sistema uruguayo) | Y(m) (Sistema uruguayo) | X(m) (Sistema brasilero) | X(m) (Sistema brasilero) | Vertido                 | Ramo      | Tipo                |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| Arbiza y Lencina                    | Paraje Tamandú frente a ramal Ruta 4 | Paraje Tamandú    | Río Cuareim                   | 432.926                 | 6.637.460               | 548.242                  | 6.636.701                | Curso de agua           | Cárnica   | Matadero de aves    |
| Empresa Diagonal Urbana Consultoría | Ruta 30 Km. 132,500                  | Poblado Pintadito | Río Cuareim                   | 436.916                 | 6.634.090               | 552.194                  | 6.633.291                | Curso de agua           | Doméstico | Grupo habitacional  |
| Frigorífico Cuareim                 | Ruta Nº 4 Km. 199.000                | Artigas           | Río Cuareim                   | 431.999                 | 6.632.550               | 547.263                  | 6.631.803                | Infiltración al Terreno | Cárnica   | Matadero de vacunos |
| Lencari                             | Ruta Nº 30 Km. 126.000               | Artigas           | Río Cuareim                   | 432.065                 | 6.634.360               | 547.349                  | 6.633.612                | Curso de agua           | Cárnica   | Matadero de ovinos  |

Tabla 12-2: Industrias con trámite de SADI en el Departamento de Rivera

| Nombre                  | Ubicación                             | Localidad | Cuenca en la que esta ubicada | X(m) (Sistema uruguayo) | Y(m) (Sistema uruguayo) | X(m) (Sistema brasilero) | X(m) (Sistema brasilero) | Vertido       | Ramo      | Tipo                                |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------|-----------|-------------------------------------|
| Abasto Municipal Rivera | Presidente Giro y carretera al abasto | Rivera    | Arroyo Cuñapiru               | 519.872                 | 6.585.320               | 634.600                  | 6.583.652                | Curso de agua | Cárnica   | Matadero de vacunos                 |
| Asentamiento Mandubi    | Barrio Mandubi                        | Rivera    | Arroyo Cuñapiru               | 524.021                 | 6.579.610               | 638.687                  | 6.577.899                | Curso de agua | Doméstico | Grupo habitacional                  |
| Conaprole Rivera        | Ruta Nº 5 Km. 495                     | Rivera    | Arroyo Cuñapiru               | 524.270                 | 6.578.570               | 638.925                  | 6.576.857                | Curso de agua | Láctea    | Leche pasteurizada                  |
| Industrial Rivera       | Simón del Pino 77                     | Rivera    | Arroyo Cuñapiru               | 522.624                 | 6.584.210               | 637.340                  | 6.582.513                | Curso de agua | Cuero     | Curtiembre de ovinos sin depilación |
| Matadero Las Tunas      | Manuel Oribe 691                      | Rivera    | Arroyo Cuñapiru               | 527.247                 | 6.579.920               | 641.916                  | 6.578.174                | Curso de agua | Cárnica   | Matadero de ovinos                  |

Las tablas 13-3 y 13-4 refieren a emprendimientos que a febrero de 2006 habían presentado el trámite de Declaración Jurada de efluentes (DJE) ante la Dirección Nacional de Medio Ambiente de Uruguay. Corresponden a la totalidad de los Departamentos de Artigas y Rivera, por lo que no necesariamente están incluidas dentro de las áreas de estudio.



Tabla 12-3: Declaración Jurada de Efluentes (DJE), Departamento de Artigas

| Nombre / Razon Social                          | Depto.  | Localidad | Fecha      | Estado             | Vertido de Efluentes* |        |       |        |
|--|---------|-----------|------------|--------------------|-----------------------|--------|-------|--------|
|  |         |           |            |                    |                       |        |       |        |
| Delta S.A.                                     | Artigas |           | 02/06/2003 | Constancia emitida |                       | Orange |       |        |
| Compañía de tornillos S.A.                     | Artigas |           | 18/06/2002 | Constancia emitida |                       |        |       | Purple |
| Roche International Ltda.                      | Artigas |           | 20/06/2001 | Constancia emitida |                       | Orange |       |        |
| Gustavo Doglio Sienra                          | Artigas |           | 11/12/2000 | Constancia emitida |                       | Orange |       |        |
| Cooperativa A. de Resp. LTDA. de Cañada Grande | Artigas |           | 09/12/1997 | Constancia emitida |                       |        |       |        |
| Cabrera Julio Cesar                            | Artigas |           | 15/01/1998 | Constancia emitida |                       |        | Green |        |
| Ricardo Lima                                   | Artigas | Artigas   | 15/06/2005 | Constancia emitida |                       |        |       |        |

Tabla 12-4: Declaración Jurada de Efluentes (DJE), Departamento de Rivera

| Nombre / Razón Social        | Depto. | Localidad | Fecha      | Estado             | Vertido de Efluentes* |        |       |  |
|------------------------------|--------|-----------|------------|--------------------|-----------------------|--------|-------|--|
|                              |        |           |            |                    |                       |        |       |  |
| Via Genova S.A               | Rivera | Rivera    | 13/03/1996 | En estudio         |                       |        |       |  |
| La Ideal                     | Rivera | Rivera    | 25/03/1999 | En estudio         |                       |        |       |  |
| Frigorífico Casa Blanca S.A. | Rivera | Rivera    | 24/03/2003 | En estudio         |                       |        |       |  |
| Tabilen S.A.                 | Rivera | Rivera    | 12/10/1999 | En estudio         |                       |        | Green |  |
| Maranel S.A.                 | Rivera | Rivero    | 20/06/2005 | Constancia emitida |                       | Orange |       |  |
| Kramers S.R.L.               | Rivera | Rivera    | 20/06/2005 | Constancia emitida |                       |        | Green |  |

Tabla 12-5: Referencia para el código de colores

|            |                          |
|------------|--------------------------|
| Light Blue | Curso de Agua            |
| Orange     | Colector                 |
| Green      | Infiltración al terreno  |
| Purple     | Descarga por Barométrica |

Considerando como fuentes potenciales de contaminación por efluentes domésticos, aquellas áreas donde no existe red de saneamiento, resulta importante conocer la cobertura del alcantarillado en las ciudades contenidas en el área de estudio del proyecto. También resulta importante conocer la cobertura de agua potable dado que donde existe suministro son esperables caudales efluentes domésticos más importantes. La cobertura de saneamiento y agua potable en la ciudad de Rivera se aprecia en los mapas de las Figura 12-1 y Figura 12-2 respectivamente, según información aportada por la ONG Raikatu.



Figura 12-1: Cobertura de saneamiento en la ciudad de Rivera (Fuente: ONG Raikatú año 2004)

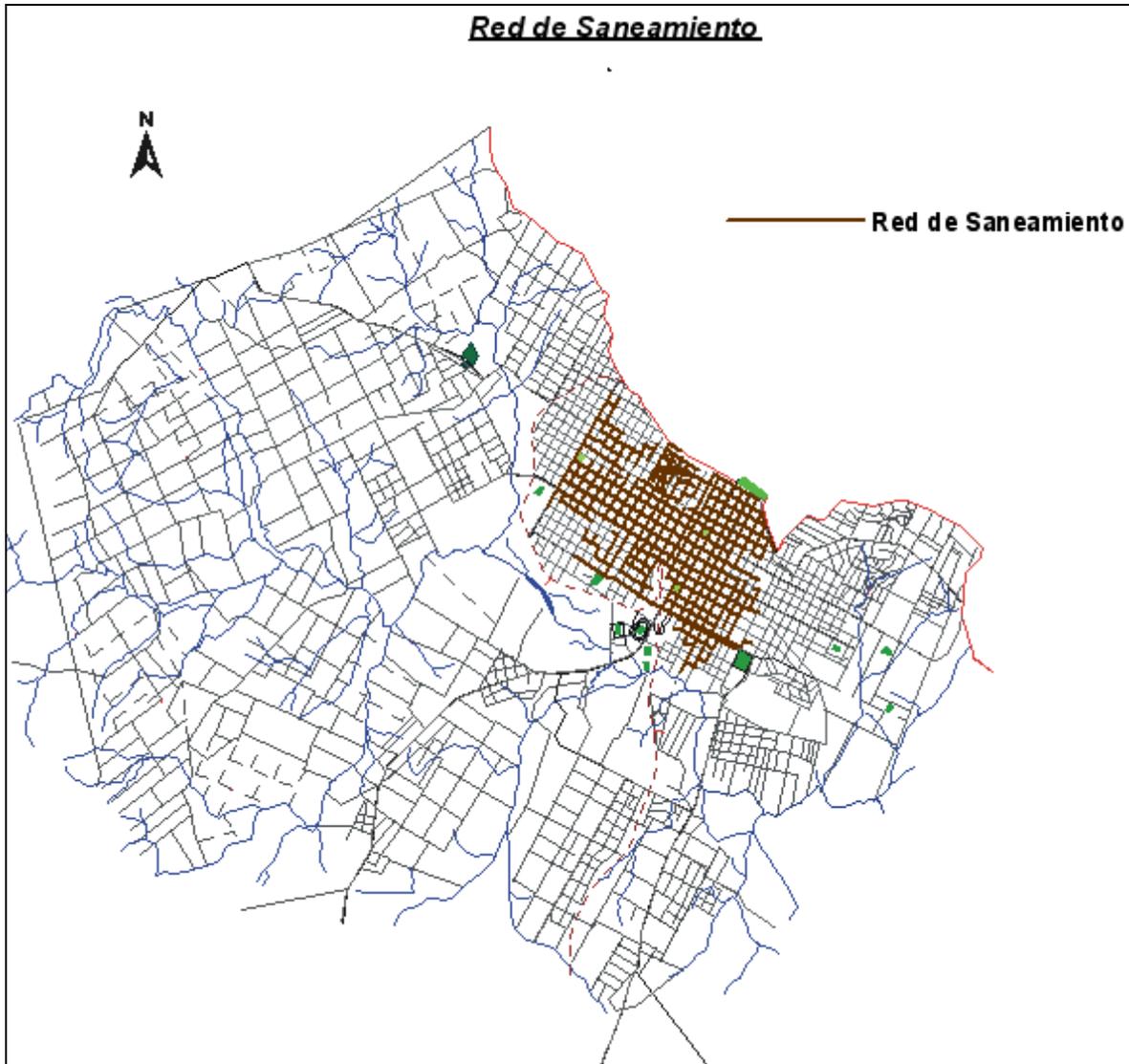
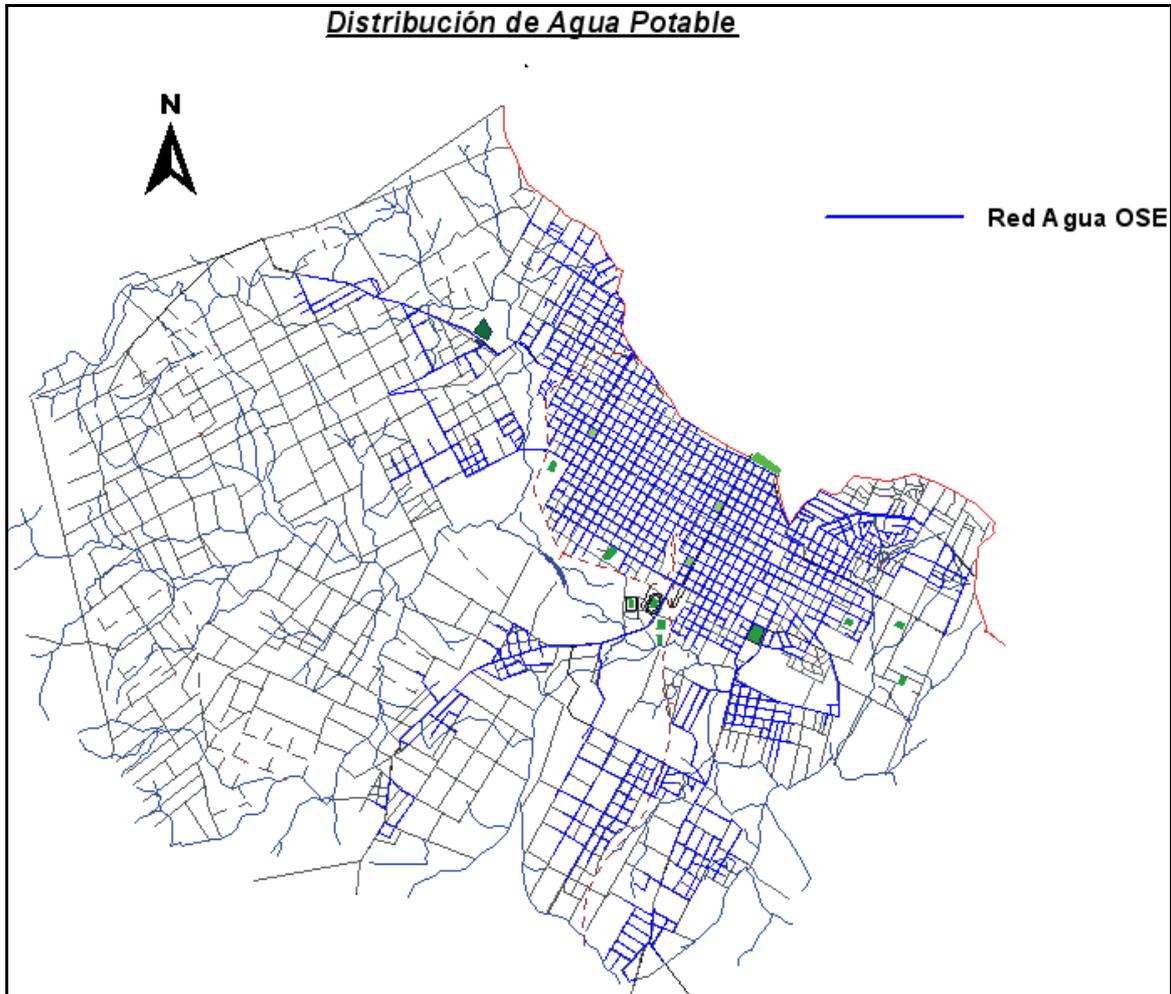




Figura 12-2: Cobertura de agua potable en la ciudad de Rivera (Fuente: ONG Raikatú año 2004)



Según información aportada vía telefónica por el Ing. Lequini, correspondiente a mayo de 2005 para la ciudad de Rivera, la cobertura de saneamiento es de aproximadamente 40 % con unas 8000 conexiones, siendo el mismo separativo. El tratamiento de los efluentes es aerobio, con punto de vertido en Paso de Castro en el Arroyo Cuñapirú. Respecto al agua potable en la mencionada ciudad la cobertura es de 90% o mayor con alrededor de 20.500 conexiones.

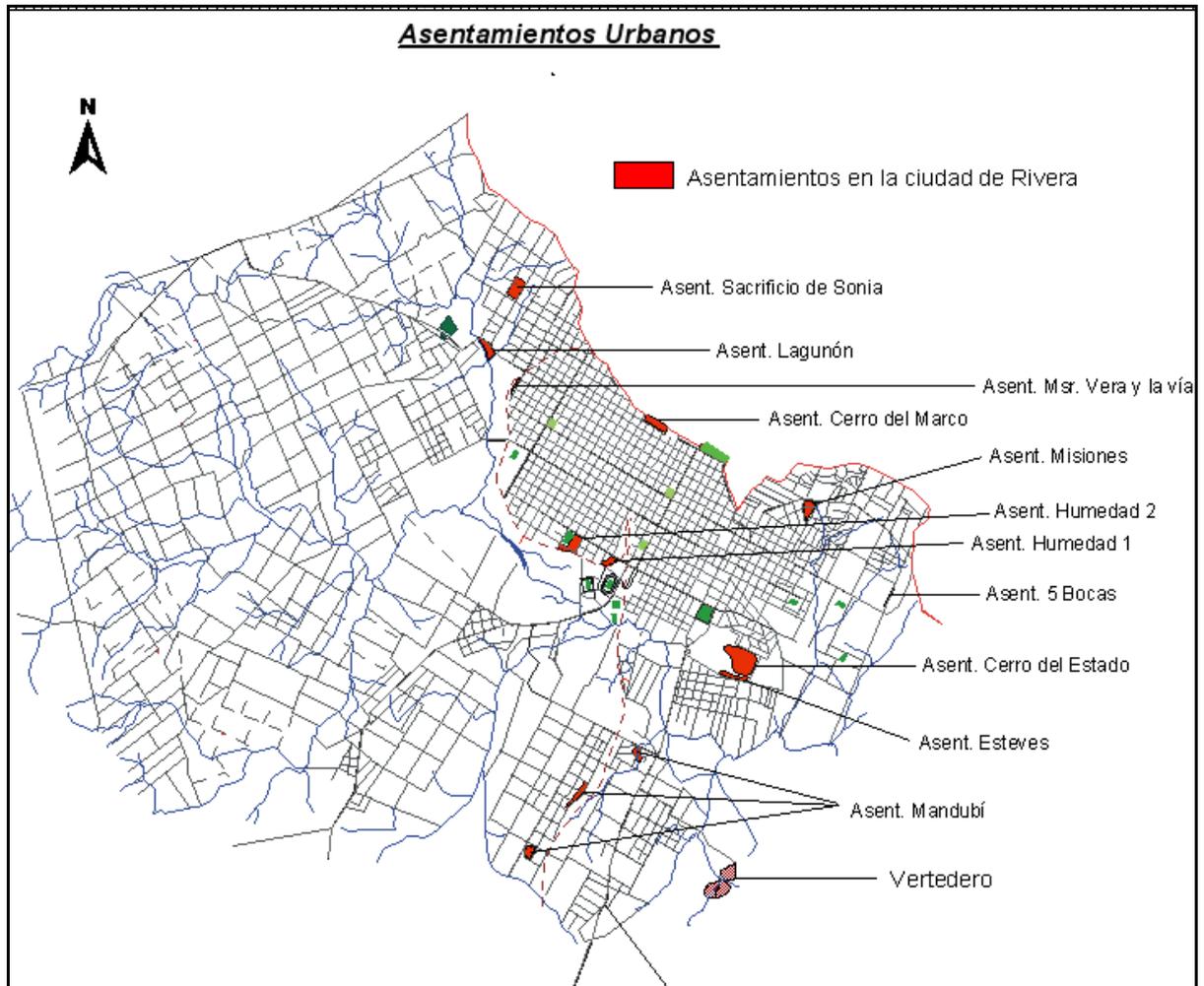
En el Anexo 7 se presenta un plano aportado por la Intendencia Municipal de Rivera referente al saneamiento existente y proyectado en dicha ciudad, realizado en base a información de OSE, en el cual se diferencian cuatro zonas que se corresponden a:

- Red Existente
- A ejecutar en el corto plazo
- Proyectos sin financiamiento
- Sin proyecto



Los asentamientos irregulares existentes en la ciudad de Rivera se muestran en la Figura 12-3; se considera relevante esta información dado que en estas zonas generalmente los efluentes son vertidos directamente al terreno.

Figura 12-3: Asentamientos y vertedero en la ciudad de Rivera (Fuente: ONG Raikatú año 2004)



Según información aportada en agosto de 2004 por el Ing. Hardy de OSE en Artigas, esta ciudad cuenta actualmente con unas 13.000 conexiones para agua potable y 5.912 para saneamiento. Las pérdidas físicas de la red de abastecimiento son muy elevadas. Por otro lado existe un servicio privado de barométrica que desagua en el Río Cuareim, aguas abajo de la toma de OSE. En cuanto a la planta de tratamiento de líquidos residuales se encuentra desbordada en su capacidad, por lo que actualmente es salteada y se vierte directamente al río. Los lodos del tanque imhoff son secados y enterrados en el mismo predio.

En la Dirección de Salubridad de la Intendencia Municipal de Artigas el entonces Director, Sr. De los Santos, y el Quím. Fm. Pollini informaron que desde hace pocos años se trabaja con un vertedero controlado con piso de arcilla. En el predio existe una perforación de 120 m de profundidad que no tiene bomba, la cual puede representar una vía potencial de contaminación. El viejo basurero se encuentra tapado actualmente y está ubicado a la margen izquierda del Río Cuareim. Otras actividades potencialmente contaminantes son dos mataderos



(Frigorífico Cuareim sobre Ruta N° 4), tres estaciones de servicio y actividad minera a unos 15 km de la ciudad.

En el Departamento de Agua y Esgotos (DAE) en Santana do Livramento en agosto de 2004 se indicó que la cobertura de abastecimiento de agua potable es del 98 % mientras que la cobertura de saneamiento es del 39 %, con un sistema de tratamiento ya desbordado.

Las fuentes potenciales y alguna vía potencial de contaminación identificadas situadas en las ciudades de Artigas-Quaraí y Rivera-Livramento y cuyas coordenadas se conocen, se presentan en las Figura 12-4 y Figura 12-5 respectivamente; su nombre y otras observaciones pertinentes se aprecian en las Tabla 12-6 y Tabla 12-7 respectivamente.

Tabla 12-6: Identificación de las fuentes potenciales de contaminación (Artigas-Quaraí)

| Ref | Punto  | x (m)<br>sistema<br>brasileño | y (m)<br>sistema<br>brasileño | Obs.  |
|-----|--|-------------------------------|-------------------------------|---|
| 1   | Ancap  | 551436                        | 6636624                       | Fm. Serra Geral   |
| 2   | Esso   | 551498                        | 6636674                       | Fm. Serra Geral   |
| 3   | Bassura desat. Artigas                                       | 548768                        | 6637160                       | Fm. Serra Geral   |
| 4   | Cementerio Artigas   | 549096                        | 6636554                       | Fm. Serra Geral   |
| 5   | Cementerio Quaraí  | 553233                        | 6640463                       | Fm. Serra Geral   |
| 6   | Relleno Sanitário (Lixão Quaraí)                             | 555111                        | 6642067                       | Poço abandonado, desmoronado, falta tamponamento Fm. Serra Geral  |
| 7   | Poço HIDRÁULICA SALADEIRO n° 58-7                            | 549480                        | 6638920                       | Poço abandonado, desmoronado, falta tamponamento Fm. Serra Geral  |
| 8   | MATADOURO MUNICIPAL QUARAÍ                                   | 551462                        | 6639925                       | 4300009155 CPRM/SIAGAS/BR<br>Fm. Serra Geral  |
| 9   | COPERLAN COPERLEITE (QUARAÍ)                                 | 551892                        | 6639238                       | Fm. Serra Geral   |
| 10  | CENTRO ESPORTIVO DE QUARAÍ                                   | 552448                        | 6639798                       | POÇO ABANDONADO = POÇO ABANDONADO, desmoronado, falta tamponamento Fm. Serra Geral<br>4300009202 CPRM/SIAGAS/BR |
| 11  | Posto do Beco (Posto Avenida)                                | 552613                        | 6638091                       | Poço Lacrado e sem bomba<br>4300009162 CPRM/SIAGAS/BR   |
| 12  | Super Posto Quaraí -Hélio C. Jorgens Importação e Exportação | 552993                        | 6638065                       | 4300009164 CPRM/SIAGAS/BR<br>Fm. Serra Geral  |
| 13  | Auto Posto Maria Eugênia                                     | 552703                        | 6637861                       | Fm. Serra Geral   |
| 14  | Antigo Curtume de Quaraí                                     | 552417                        | 6639149                       | Poço sem uso, falta tamponamento<br>Fm. Serra Geral<br>4300009160 CPRM/SIAGAS/BR                                |
| 15  | Comércio Varejista de Combustíveis - Wladimir Groff          | 553075                        | 6636807                       | Fm. Serra Geral   |



| Ref | Punto  | x (m)<br>sistema<br>brasileño | y (m)<br>sistema<br>brasileño | Obs.   |
|-----|--|-------------------------------|-------------------------------|--|
| 16  | Comércio Varejista de Combustíveis - Antônio da Rosa & Fernandez Ltda        | 552937                        | 6638252                       | Fm. Serra Geral                              |
| 17  | Comércio Varejista de Combustíveis - M M Vieira Calixto Ltda (Posto Jarau)   | 552718                        | 6639404                       | 4300009153 CPRM/SIAGAS/BR<br>Fm. Serra Geral |
| 18  | Comércio Varejista de Combustíveis - Comércio de Comb. Fenic Ltda - Cheguhem | 553806                        | 6638400                       | Fm. Serra Geral                              |
| 19  | Comércio Varejista de Combustíveis Shell do Brasil                           | 553812                        | 6638347                       | Fm. Serra Geral                              |
| 20  | Arbiza y Lencina   | 548242                        | 6636701                       | Autorización de Desagüe Industrial (SADI)    |
| 21  | Empresa Diagonal Urbana Consultoría  | 552194                        | 6633291                       | Autorización de Desagüe Industrial (SADI)    |
| 22  | Frigorífico Cuareim  | 547263                        | 6631803                       | Autorización de Desagüe Industrial (SADI)    |
| 23  | Lencari  | 547349                        | 6633612                       | Autorización de Desagüe Industrial (SADI)    |



Figura 12-4: Ubicación de fuentes potenciales de contaminación (Artigas-Quaraí)

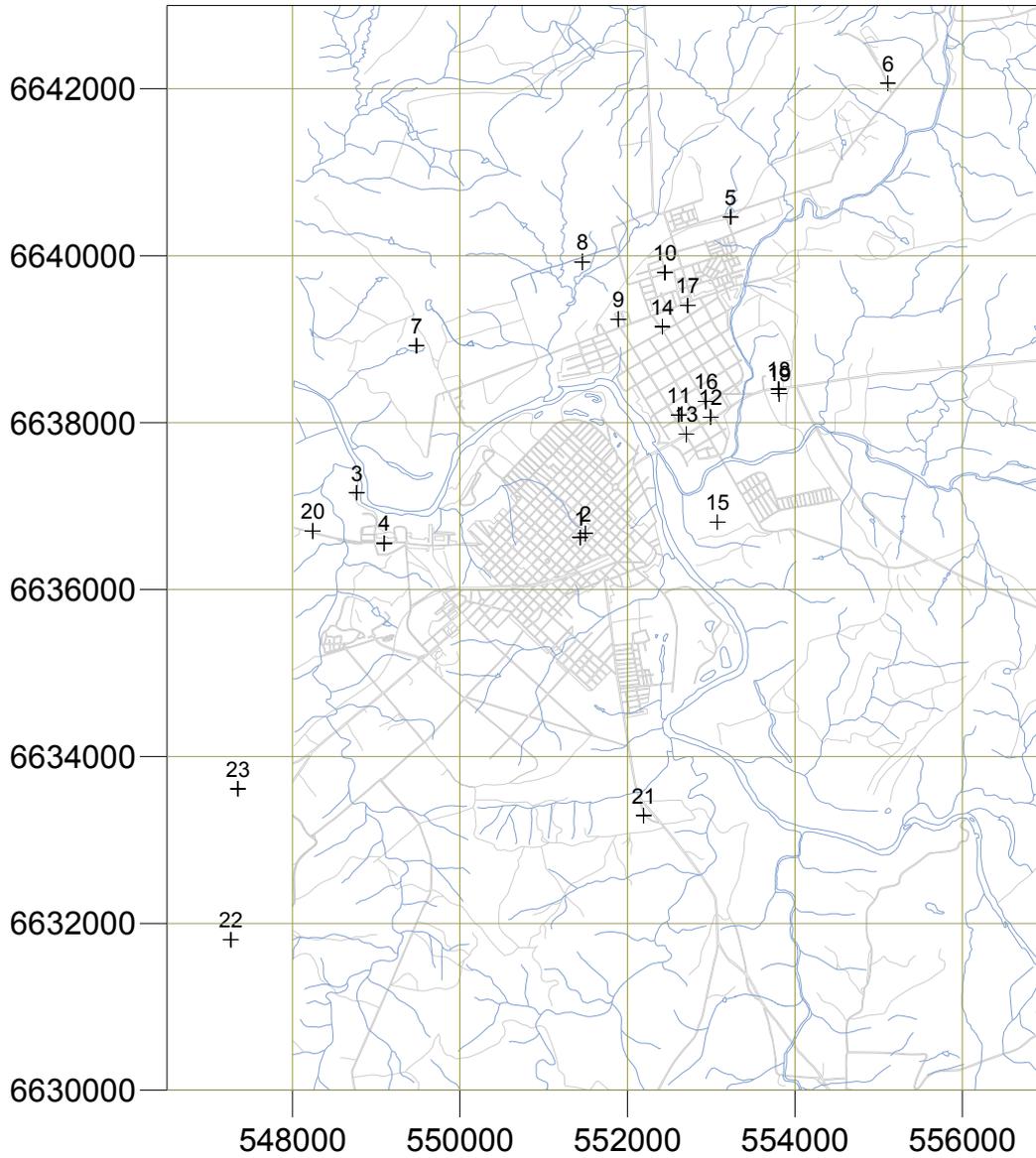




Tabla 12-7: Identificación de las fuentes potenciales de contaminación (Rivera-Livramento)

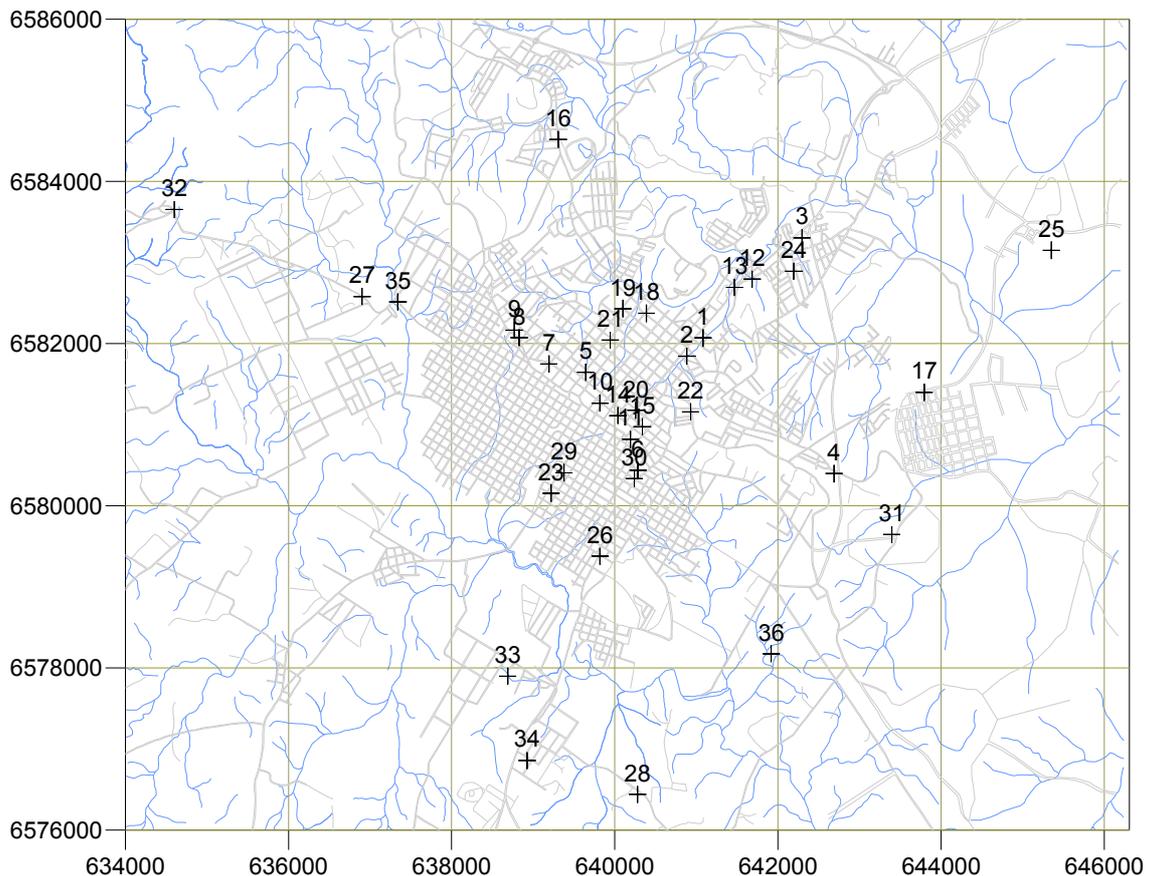
| Ref | Punto   | x (m)  | y (m)   | Observaciones  |
|-----|---|--------|---------|--|
| 1   | Cheyuhem                                      | 641081 | 6582069 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 2   | Espigão (Matriz)                              | 640882 | 6581844 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 3   | Espigão II                                    | 642293 | 6583303 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 4   | Espigão IV                                    | 642687 | 6580396 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 5   | Megapetro                                     | 639642 | 6581645 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 6   | Fortim (Ipiranga)                             | 640283 | 6580435 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 7   | Rosul   | 639192 | 6581748 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 8   | Custódio AGIP                                 | 638828 | 6582072 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 9   | São João I                                    | 638766 | 6582164 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 10  | Solup   | 639817 | 6581264 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 11  | Texaco  | 640193 | 6580818 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 12  | Santana                                       | 641684 | 6582794 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 13  | Saão João II                                  | 641467 | 6582692 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 14  | Lumax II                                      | 640038 | 6581111 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 15  | Lumax I                                       | 640336 | 6580974 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 16  | Lumax III                                     | 639307 | 6584517 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 17  | Lumax VII                                     | 643792 | 6581397 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 18  | Caburé  | 640387 | 6582372 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 19  | Siol  | 640099 | 6582430 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 20  | Monarca                                       | 640255 | 6581175 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 21  | Catalan                                       | 639943 | 6582042 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 22  | Tamandaré                                     | 640928 | 6581157 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 23  | Uruguai- Ancap                                | 639219 | 6580154 | Estación de servicio, afloramiento SAG               |
| 24  | Cementério Central Prefeitura Municipal SL    | 642193 | 6582891 | Afloramiento do SAG                                  |
| 25  | Cementério da Tabatinga SL                    | 645350 | 6583150 | Existe poço escavado, monitoreo, Afloramiento do SAG |
| 26  | Cementerio Central Rivera                     | 639817 | 6579377 | Afloramiento do SAG                                  |
| 27  | Cementerio Rivera Gra-Breataña                | 636903 | 6582579 | Afloramiento do SAG                                  |
| 28  | Relleno Sanitário Rivera                      | 640278 | 6576439 | Afloramiento do SAG                                  |
| 29  | Lavadero Aquacenter                           | 639377 | 6580406 | Afloramiento do SAG                                  |
| 30  | Lavadero Interlomas                           | 640238 | 6580335 | Afloramiento do SAG                                  |
| 31  | Districto Industrial de Santana do Livramento | 643394 | 6579644 | Afloramiento do SAG, lençol freático superficial     |
| 32  | Abasto Municipal Rivera                       | 634600 | 6583652 | Autorización de Desagüe Industrial (SADI)            |
| 33  | Asentamiento Mandubi                          | 638687 | 6577899 | Autorización de Desagüe Industrial (SADI)            |
| 34  | Conaprole Rivera                              | 638925 | 6576857 | Autorización de Desagüe Industrial (SADI)            |
| 35  | Industrial Rivera                             | 637340 | 6582513 | Autorización de Desagüe Industrial (SADI)            |

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**



| Ref | Punto              | x (m)  | y (m)   | Observaciones                             |
|-----|--------------------|--------|---------|---|
| 36  | Matadero Las Tunas | 641916 | 6578174 | Autorización de Desagüe Industrial (SADI) |

Figura 12-5: Ubicación de 36 fuentes potenciales de contaminación (Riviera-Livramento)



Si bien no se identificaron fuentes contaminantes de hecho, fue posible identificar mezcla de aguas subterráneas y superficiales en los pozos más cercanos a los centros urbanos de A-Q mediante el estudio isotópico realizado. Los resultados físico químicos parecen indicar presencia de aguas con tendencia a tener su calidad alterada respecto de la encontrada lejos de las ciudades, lo que estaría apoyando lo concluido a partir de la isotopía.

Como vías potenciales de contaminación puede pensarse en la mayor parte de las perforaciones, sobre todo las de A-Q que suelen no estar entubadas y podrían estar favoreciendo una mezcla de aguas más superficiales contenidas en el basalto alterado y aguas de las areniscas infrabasálticas.



## 13 USOS DEL AGUA

A partir de la información recabada de las distintas fuentes, se realizó una evaluación de los usos realizados del agua extraída.

Los usos identificados son:

- Abastecimiento público de agua potable

Bajo este ítem se agrupan todos las perforaciones que son utilizadas para brindar agua potable a las distintas poblaciones incluidas en el área de estudio.

- Uso agropecuario,

Se entiende por uso agropecuario a aquel que engloba todos los usos que sostienen la actividad agropecuaria en el área de estudio como apoyo directo (riego, abrevamiento) o indirectos (abastecimiento de casas y/o cascos de estancias)

- Uso doméstico y recreativo

Se agrupan aquí todos aquellos usos realizados por privados u organismos públicos con fines de esparcimiento o abastecimiento de agua como por ejemplo riego de jardines, piscinas, etc.

- Industrial, Estaciones de Servicio y Lavaderos

Corresponden aquí todos los usos industriales donde el agua es soporte de una actividad específica e inclusive aquellas donde el agua es materia prima como el caso de las empresas embotelladoras de agua.

### 13.1 Diagnóstico de la situación actual de explotación

Se realiza a continuación una estimación de los principales volúmenes extraídos del SAG para brindar una idea suficientemente aproximada de la explotación del Sistema Acuífero Guaraní en las ciudades fronterizas de Artigas-Quaraí y Rivera-Livramento.

La información de base utilizada para la mencionada estimación fue obtenida de diversas entrevistas mantenidas en las salidas de campo así como de documentos antecedentes o brindados OSE, CORSAN y DAE así como empresas embotelladoras de agua.

Se analizó la información disponible distinguiendo caudales de extracción de aforo y caudales de extracción regulares de funcionamiento de la perforación.

En muchos casos se poseía la información exacta relativa a los volúmenes de explotación anual de cada perforación, y en los casos contrarios se estimó su valor en función de las actividades para las que se destina la perforación en particular.

En cuanto a las características de la información utilizada, se puede mencionar que en muchos casos se cuenta con valores de volumen extraído medio anual o perteneciente a un único mes del año, lo cual lleva a realizar estimaciones y por tanto los resultados tienen un carácter orientativo de lo que podrían ser los valores reales de extracción.

Los resultados obtenidos se expresan en las tablas siguientes:



Tabla 13-1: Caudales anuales de extracción en Artigas – Quaraí y en Rivera – Sant’Ana do Livramento

| <b>Ciudad</b> | <b>Empresa</b>          | <b>Volumen extraído (m<sup>3</sup>/año)</b> | <b>Observaciones</b>   |
|---------------|-------------------------|---|--|
| Rivera        | OSE                     | 5.172.000                                   | Valor medio aportado verbalmente por funcionarios de OSE   |
| Rivera        | OSE                     | 6.830.303                                   | Valor estimado con la población (69.308 hab), dotación de 150 L/hab/día, pérdidas del 50 % y 90 % de abastecimiento con perforaciones  |
| Artigas       | OSE                     | 2.400.000                                   | Valor medio aportado verbalmente por funcionarios de OSE   |
| Artigas       | OSE                     | 1.892.335                                   | Valor estimado con la población (43.204 hab), dotación de 150 L/hab/día, pérdidas del 50 % y 40 % de abastecimiento con perforaciones  |
| Artigas       | Algunos pozos de OSE    | 2.474.672                                   | Perforaciones de OSE (1-4-001, 410, 1-4-011, 1-4-002, 1-4-003, 1-4-016)  |
| Artigas       | Pozos particulares      | 49.829                                      | Piscina municipal, Sanatorio Gremeda, Sr. Urbano, Dr. Muguruza, Dr. Favaro, Apartamentos del Bid.                                      |
| Artigas       | Fuente Orión            | 6.257                                       | Poseen un pozo de 10.000 L/h y lo explotan 12 horas/semana   |
| Quaraí        | CORSAN                  | 1.287.880                                   | Valor estimado con la población(24.003 hab), dotación de 150 L/hab/día, pérdidas del 50 % y 49 % de abastecimiento con perforaciones   |
| Quaraí        | Algunos pozos de CORSAN | 630.209                                     | QUA 1A, QUA 1, QUA 8 y 9136  |
| Quaraí        | Particular              | 1.960                                       | PMQ4 (Club Comercial)  |
| Livramento    | DAE                     | 9.247.823                                   | Valor estimado con la población (84.455 hab), dotación de 150 L/hab/día, pérdidas del 50 % y 100 % de abastecimiento con perforaciones |



Tabla 13-2: Caudales mensuales (Julio y enero de 2005) de extracción en pozos de CORSAN (Quaraí)

| POZO    | FECHA  | Q<br>(m <sup>3</sup> /mes) | Q (m <sup>3</sup> /año) | Diferencia (Enero-Julio)    |
|---------|--------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| QUA 01  | Ene-05 | 9192                       | 88163                   | 3690                        |
|         | Jul-05 | 5502                       |                         |                             |
| QUA 01A | Ene-05 | 14898                      | 147420                  | 5226                        |
|         | Jul-05 | 9672                       |                         |                             |
| QUA 02A | Ene-05 | 21483                      | 250949                  | 1141                        |
|         | Jul-05 | 20342                      |                         |                             |
| QUA 04  | Ene-05 | 55915                      | 643267                  | 4619                        |
|         | Jul-05 | 51296                      |                         |                             |
| QUA 06  | Ene-05 | 45059                      | 346399                  | 32385                       |
|         | Jul-05 | 12674                      |                         | Pozo que estuvo desactivado |
| QUA 08  | Ene-05 | 37421                      | 407810                  | 6874                        |
|         | Jul-05 | 30547                      |                         |                             |
| QUA 05B | Ene-05 | 7456                       | 82736                   | 1123                        |
|         | Jul-05 | 6333                       |                         |                             |

La Tabla 13-2 se elaboró en base a información brindada por la empresa CORSAN con volúmenes de explotación diario para los siete pozos que figuran, correspondiente a los meses de enero y julio de 2005.

Respecto a los datos de la Tabla 13-2 se observa que los volúmenes de explotación de enero son siempre superiores a los de julio, lo cual es coherente con las estaciones del año que corresponden a cada mes, dado que en los meses de verano crece el consumo de agua de la población conforme crece la temperatura del aire.

Cabe acotar que para enero se dispone de la explotación diaria de todos los días del mes (para todos los pozos), mientras que para julio solo para los primeros 21 días, por lo tanto para obtener el valor mensual se ponderó con el número de días, es decir se realizó una extrapolación lineal.

Se estimó el volumen de explotación anual considerando que durante seis meses al año se explota según el mes de enero y seis meses según el mes de julio. El resultado arrojado de esta estimación corresponde a **1.966.744 m<sup>3</sup>/año** el cual es superior al estimado según la población de la ciudad de Quaraí (**1.287.880 m<sup>3</sup>/año**). Los valores anteriores expresan que la estimación a través de la población, dotación de agua, pérdidas en la red, etc. quizá este por debajo de los valores de la realidad, sin embargo también existe aproximación en el criterio de asignar a seis meses al año la explotación de enero y a los seis meses siguientes la explotación de julio, lo cual expresa que ninguno de los dos valores representan exactamente lo explotado. Cabe acotar que es útil haber estimado estos dos valores de forma tal de tener elementos de comparación.



El pozo QUA 06 presenta una diferencia de explotación entre enero y Julio muy por encima de los otros pozos, esto último se puede deber al hecho que en el mes de julio se encontró desactivado durante 5 días, sin embargo se extrapoló a esos días linealmente, pero se consideró todo el mes de explotación. Quizá el pozo tuvo algún problema y durante este mes no se explotó según lo habitual.

Según la publicación: "PROYECTO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL Y MANEJO SOSTENIBLE INTEGRADO DEL SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ", de los Santos, Jorge, enero 2001, la ciudad de Artigas en el año 1999 posee una población de 42.854 habitantes, un 47 % de abastecimiento con agua subterránea y una explotación de 2.063.000 m<sup>3</sup>/año; en tanto la ciudad de Rivera posee una población de 66.512 habitantes (también para el año 1999), un 82 % de abastecimiento con agua subterránea y una explotación de 4.735.973 m<sup>3</sup>/año. Los valores son consistentes con los expuestos aquí a pesar de que el presente informe corresponde al año 2004; por lo que son esperables valores de explotación mayores; sin embargo para la ciudad de Artigas es aproximadamente un 10 % menor en tanto para la ciudad de Rivera es aproximadamente un 45 % mayor. Las diferencias se deben a los valores de población, % de abastecimiento con perforaciones, % de pérdidas en la red y dotación de agua de la población.

#### 13.1.1 Consideraciones referentes a los cálculos realizados

La población de las ciudades de Rivera y Artigas corresponde al año 2004 las cuales fueron obtenidas a partir de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Estos datos corresponden a la población de todo el departamento (Artigas y Rivera) en los años 1996 y 2004 y población para las ciudades (Artigas y Rivera) para el año 1996 por lo que los datos de población del año 2004 para las ciudades fue obtenido asumiendo un crecimiento igual al correspondiente a cada uno de los departamentos a los cuales pertenecen.

Para determinar el caudal extraído por distintas perforaciones del sistema de abastecimiento de OSE en la ciudad de Artigas se realizaron las siguientes consideraciones:

En la perforación 1-4-001 se considera que 120 días al año funciona 24 h/día con un caudal de 50 m<sup>3</sup>/h, y los 245 días restantes del año lo hace 16 h/día con el mismo caudal.

Para las perforaciones 410, 1-4-002 y 1-4-003 se tomaron los valores de explotación declarados a la Dirección Nacional de Hidrografía, la construcción de los pozos data de 1978, 1987 y 1991 respectivamente.

En cuanto a la perforación 1-4-011, se considera que todo el año funciona 24 h/día con un caudal de explotación de 45 m<sup>3</sup>/h, según lo anotado en la campaña de campo de diciembre de 2004.

Para la perforación 1-4-016 se considera un caudal de explotación de 2 m<sup>3</sup>/h y 18 h/día de explotación durante todo el año según lo declarado por personal de OSE en la campaña de diciembre de 2004.

Cabe acotar que los pozos 1-4-004 y 1-4-012 se encuentran fuera de servicio por lo que no fueron considerados. Para los pozos 1-4-010 y 1-4-015 no fue posible estimar su producción anual.

Para los pozos de CORSAN: Para el pozo CPRM II 292 se conoce su explotación diaria de 4 m<sup>3</sup>/día y se extrapoló la misma para todo el año. Para QUA 1A y 1 se considera caudales de 23.2 y 12.5 m<sup>3</sup>/h respectivamente con 18 h/día de



explotación en el año. Para QUA 8 se considera un caudal de 45 m<sup>3</sup>/h con 24 h/día de explotación durante el año.

El sistema Vila Registro de la ciudad de Livramento tiene una capacidad de captación instalada de 400 m<sup>3</sup>/hora, pero posee una capacidad máxima prevista de captación de 550 m<sup>3</sup>/hora, (perforaciones RE-1, RE-2 y RE-3). No se puede calcular el volumen de explotación anual debido a que se carece de las horas de explotación del sistema. La perforación DAE RE-4, que había sido desactivado por la construcción de alta tensión sobre él, fue puesto en funcionamiento en enero del 2005 debido al elevado consumo de agua.

En cuanto a las perforaciones de DAE, se dispone del informe estadístico de enero de 2005, el cual brinda un valor de explotación de **297.561 m<sup>3</sup>/mes** para cinco zonas, pero no se realiza una discriminación por perforaciones. También se dispone de datos de explotación para el mes de enero de 2005 discriminado por pozos (Vila Umbu, Vila Luíza, Alexandrina-1, Wilson-1, Wilson 3, Simón Bolívar, KE 1, KE2, AR3, AR4, AR5, BR1, BR2, BR3, BR4, RE1, RE2, RE3, RE4, PRADO-1, AC1, AC2, AC3, AC4, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H10, H11, Jardim do Verde, Vila Progreso, Vila Paraíso) y su valor es de **775.219 m<sup>3</sup>/mes**, lo que muestra comparando con el valor anterior que las cinco zonas no corresponden a toda la ciudad de Livramento, pero sin embargo tampoco hay seguridad que las perforaciones anteriores expresen toda la explotación de DAE, lo que pone de manifiesto la carencia de información disponible para estimar valores de explotación en Livramento.

Es importante destacar que comparando el volumen de explotación aportado verbalmente por funcionarios de OSE, y el estimado a partir de la población de Artigas con una dotación de 150 L/hab/día la cual es adecuada para el interior del país, se concluye que dejando constante la dotación (150 L/hab/día), número de habitantes (43.204 hab) y porcentaje de abastecimiento subterráneo del total (40%), el volumen aportado por funcionarios de OSE se corresponde con pérdidas en la red de 63.4 %.

El volumen de explotación para el Club Comercial de Quaraí, el cual posee una piscina, se calculó considerando dimensiones para la piscina de 7mx7mx4m con diez sustituciones al año de la misma.

### 13.1.2 Análisis y discusiones

Los valores obtenidos podrían tener una mayor aproximación a la realidad si se hubiera contado con información más detallada, por ejemplo para el caso de Livramento se cuenta con información de explotación de únicamente dos meses del año (Enero y febrero de 2005); para el caso de Rivera y Artigas se poseen datos puntuales de explotación de algunas perforaciones particulares y de OSE y datos globales anuales de OSE.

En cuanto a Quaraí se poseen datos de perforaciones de Corsan y medidas de volumen de explotación únicamente para dos meses del año (enero y julio de 2005), pero no un diagnóstico total de explotación.

Por otro lado, existe gran dispersión temporal de la información lo cual es otro factor que puede introducir error a las estimaciones. Adicionalmente otro factor que puede introducir incertidumbre a los resultados es el hecho de no poder distinguir claramente, en muchos casos, entre caudales de aforo y de explotación.

En resumen, la precariedad de los datos corresponde a las cuatro ciudades fronterizas analizadas, posteriores estudios con información más detallada podrán mejorar las estimaciones brindadas en el presente informe.

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**



## 14 RECOMENDACIONES

En el transcurso del proyecto se encontró la existencia de perforaciones en su mayor parte no registradas ni controladas. Es deseable entonces la instrumentación por parte de los organismos competentes, de controles más estrictos sobre las empresas perforistas en cuanto a la forma constructiva y materiales utilizados. En A-Q es deseable realizar perforaciones entubadas para evitar mezcla de aguas en el área urbanizada, donde los niveles más someros pueden estar influidos en su calidad por las actividades urbanas, y en todos los casos realizar el sello sanitario correspondiente.

Por otra parte, algunos de los organismos competentes que poseen información en muchos casos por haberla generado ellos mismos, no disponen de ella de manera sistematizada, resultando engorrosa la búsqueda de la misma dentro de las instituciones. Ocurre también que distintos organismos utilizan esquemas diferentes de almacenamiento de la información, encontrándose muy alejados de tener una base de datos común. Se aplica esto sobre todo al Uruguay, encontrándose en Brasil el esfuerzo del SIAGAS-CORSAN que además pone la información a disposición del público en sus sitio web.

En el caso de Uruguay ha ocurrido además, que la decisión de brindar información queda en manos de jerarcas que han podido negarse a brindar parte de ella a pesar de ser generada en organismos estatales. Este hecho ha contrastado con lo encontrado del lado brasilero donde siempre se encontró amplia disposición a brindar información. Claramente, a pesar de no ser la totalidad, en Uruguay también se encontró gente e instituciones abiertas.

Si bien es valiosa la información disponible en el catastro de SIAGAS/CPRM, presenta aún faltantes de información importantes y otras veces generalizaciones en cuanto a las formaciones geológicas descritas en el perfil de la perforación. Otras veces, se ha notado el cambio de propietario o de identificador para una misma perforación a lo largo del tiempo. Se sugiere evitar esta duplicación de información.

Espera-se que os produtos cartográficos futuramente disponíveis no Projeto do SAG, em escala de 1:250.000 apresentem o datum WGS 84 como padrão para os quatro países, e estabelecimento de curvas de nível com maior detalhamento nas áreas de maior interesse de estudos.

Uma vez que ocorrem importantes áreas de afloramentos no lado brasileiro, identificados como sedimentos arenosos Cenozóicos, inconsolidados, formando áreas aflorante, estas áreas podem ser importantes vias de infiltração de águas das chuvas para o SAG, representariam neste setor áreas de recarga direta. Sugere-se que estudos futuros de mapeamentos geológicos e/ou geofísicos estudem melhor esta região, uma vez que não existe informações da existência de poços conhecidos buscando-se identificar conexões do SAG com o Rio Quaraí.

Los estudios geoelectricos realizados proporcionaron una información valiosa del primer centenar de metros de subsuelo, el conocimiento de zonas mas profundas implicará nuevos estudios con AMT y MT.

Asimismo, se recomienda realizar estudios posteriores de prospección geofísica como herramienta de apoyo en la determinación de la existencia o inexistencia de conexión de las areniscas con el Rio Cuariem.

Dado que los ensayos con trazadores permiten la determinación de la existencia y cuantificación de flujos, se considera una herramienta valiosa que

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**

**Estudio de vulnerabilidad en A-Q**



contribuiría a una mejor comprensión del funcionamiento, por lo que la realización de más ensayos de este tipo es recomendable.

En Quaraí la adición de cloro en el pozo se realiza entendiendo que así este tendrá un tiempo de residencia mayor en el agua antes de alcanzar al primer consumidor y por tanto existe una mayor garantía de desinfección que en las perforaciones donde la cloración se realiza directamente en la tubería de impulsión. No existe tal ventaja pues al ser el cloro adicionado en la perforación casi sobre la propia succión de la bomba la diferencia de tiempos de residencia es despreciable. Este cloro añadido solo imposibilita la determinación de este parámetro en su concentración natural en las perforaciones de CORSAN. Igual situación es identificada en relación al fluor añadido en las perforaciones de CORSAN.

Se recomienda continuar con la realización de un Programa de Monitoreo de análisis químicos en la zona, por un lado para dilucidar la fuente de los altos errores del balance iónico obtenidos en este proyecto y por otro para monitorear la evolución de la calidad química del agua más allá de los análisis realizados por OSE y CORSAN, principalmente porque los de OSE no se encuentran disponibles al público. Informa-se que no Brasil já há uma legislação federal que exige que as empresas distribuidoras de águas de abastecimento público apresentem aos consumidores, os resultados das análises químicas mensais dos seguintes parâmetros: pH, cor, turbidez, flúor, cloro residual livre (CRL).

Para un mayor conocimiento del sistema de flujo se recomienda utilizar un área mayor y donde no se tenga la interferencia de las actividades urbanas.

En cuanto a los análisis isotópicos sería interesante contar con datos al menos de isótopos ambientales para una red más amplia de perforaciones del SAG, a una mayor escala espacial y con perforaciones más profundas que tengan mayor posibilidad de captar cantidades apreciables de agua del sistema de flujo regional. Esto no implica tomar muestras de mayor cantidad de perforaciones que la que se utilizó en este proyecto. Una campaña conjunta para análisis de isótopos ambientales y carbono 14 con metodologías apropiadas de toma de muestras podría aportar información valiosísima que ayudaría a la comprensión del funcionamiento del sistema a escala regional o intermedia.

Salvo dos casos no existen piezómetros en el área de Artigas – Quaraí por lo que los niveles piezométricos medidos pueden corresponder a perforaciones en operación, niveles estáticos debido a un detenimiento prolongado o niveles tomados en perforaciones en recuperación luego del cese del bombeo. Esta variedad de datos dificulta la construcción de mapas piezométricos en el tiempo que permitan monitorear la evolución temporal y espacial del recurso explotado. Se recomienda la instalación de una red piezométrica, el geoposicionamiento de sus elementos y la medición sistemática y sostenida en el tiempo de los niveles piezométricos ya sea en forma manual o automática. Assim teria-se um banco de dados onde seriam informados numa série histórica de níveis das águas subterrâneas.

Para facilitar las tareas de mediciones de niveles se recomienda prever en nuevas perforaciones la instalación de un tubo guía ( $\frac{1}{2}$ " o  $\frac{3}{4}$ " ), de plástico PVC facilitar el descenso del medidor de nivel y evitar atascamientos con el cable de alimentación eléctrica, la tubería de impulsión y elementos de sujeción de la bomba. Este tubo guía já é exigido pelo lado brasileiro para poços que estão sendo outorgados, no caso do Rio Grande do Sul o Departamento de Recursos Hídricos/DRH/SEMA.



No fue posible determinar con claridad la existencia o no de una conexión entre el Río Quareim y las areniscas en la zona de Artigas Quaraí. Se recomienda la realización de estudios posteriores para confirmar o descartar la existencia de tal conexión. El monitoreo simultáneo de los niveles de algunos pozos con los correspondientes niveles de río conjuntamente con estudios hidrogeológicos

Sugere-se que os órgãos gestores exijam dos novos poços que forem perfurados que todos apresentem perfil construtivo e perfil executivo, contendo ensaios de bombeamento, descrição dos perfis geológicos, indicação das entradas de água, indicação do nível estático e dinâmico, buscando-se cobrir vazios de informações. Quando estas informações estiverem disponíveis as espacializações em mapas e cartas temáticas georreferenciadas terão maior representatividade e servirão de subsídios para os planos de uso e ocupação dos solos.

Claramente, la realización de obras de alcantarillado y plantas de tratamiento eficientes es necesaria para un adecuado manejo sanitario. La calidad del agua subterránea está directamente influenciada por los vertidos no deseados. La construcción y manejo de los sitios de disposición de residuos sólidos son también de suma importancia. Es más que recomendable y no poco costoso el manejo adecuado de las emisiones urbanas

Sugere-se que seja implantado um programa de selamento de poços abandonados, com já esta sendo executado no Brasil pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica DAEE/Estado de São Paulo, e no estado do Rio Grande do Sul pela CORSAN. Como a OSE realizou em RIVERA? No Estado de São Paulo as Normas do Plano de Recursos Hídricos, cap. V, seção II dos poços abandonados:

Art. 40- os poços abandonados, temporária ou definitivamente, e as perfurações realizadas para outros fins que não a extração de água deverão ser adequadamente tamponados por seus responsáveis para evitar poluição de aquíferos ou acidentes.

1º- Os poços abandonados, perfurados em aquíferos friáveis próximos a superfície, deverão ser tamponados com material impermeável e não poluente, como argila, argamassa ou pasta de cimento, para evitar a penetração de águas da superfície no interior do poço, ou ao longo da parte externa do revestimento.

2º- Os poços abandonados, perfurados em aquíferos de rochas fraturadas, deverão ser tamponados com pasta ou argamassa de cimento, colocada a partir da primeira entrada de água, até a superfície com espessura nunca inferior a 20 (vinte) metros.

3º- Os poços abandonados que captem água de aquíferos confinados devem ser tamponados com selos de pasta de cimento, injetado sob pressão, a partir do topo do aquífero.

Estes poços abandonados, sem bomba poderão servir como poços de monitoramento de nível, para a realização de ensaios de salinização.

Estabelecimento de um perímetro mínimo de proteção sanitária, o Decreto 42.047 de 2002 do Estado do Rio Grande do Sul, estabeleceu 10m X 10m. O poço também deve ser executado com selo sanitário na superfície do terreno com um mínimo de 1m X 1m em concreto, para se evitar as infiltrações da superfície do terreno.

Tratamento e/ou destino adequado dos resíduos dos lodos de ETAS.



Monitoramentos em poços escavados e/ou tubulares em Cemitérios, Lixões e outros empreendimentos de médio e grande porte, que representem risco a saúde pública.

Necessidade de estudos de balanço hídrico em áreas com cultivos de eucaliptos (florestamentos), avaliando-se sua relação com as recargas profundas.

Os usos da água subterrânea na área estudada são primordialmente para abastecimento público, em segundo para uso na agricultura irrigada, hortaliças (verduras, alfaces), vinhedos (Quaraí e Santana do Livramento), abastecimento de animais em períodos de estiagens. Secundariamente é utilizado na indústria, nos postos de combustíveis como lavagens de veículos e lava-rápidos. Em clubes recreativos é utilizada no período de verão, para abastecimento de piscinas, em Artigas a água é aquecida e usada em piscina térmica. Não se conhece ainda o potencial geotérmico e hidromineral das águas do SAG na área avaliada merecendo estudos futuros.



## 15 OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL PROYECTO

### 15.1 Difusión

|   |   |
|---|---|
| <p>"V Simposio Sudamericano de Geología Isotópica"</p> <p>Facultad de Ciencias y de Agronomía de la Universidad de la República.</p> <p>Punta del Este, Uruguay</p> <p>24 al 27 de abril de 2006</p>  | <p>Claudia Bessouat</p>                 |
| <p>"Gestión de Aguas Subterráneas con énfasis en el Acuífero Guaraní"</p> <p>Secretaría de Sistema Acuífero Guaraní con el auspicio del Grupo Asesor para el Gerenciamiento de Aguas Subterráneas (GW-MATE) el Banco Mundial y la Organización de Estados Americanos,</p> <p>Montevideo, Uruguay</p> <p>26 y 28 de septiembre de 2005</p> | <p>Martín Guimaraens</p>                |
| <p>Gestión de recursos hídricos</p> <p>Instituto Federal de Geociencias de Alemania, BGR</p> <p>Asunción, Paraguay</p> <p>19 y 20 de septiembre de 2005</p>   | <p>Martín Guimaraens</p>                |
| <p>IV Congreso Uruguayo de Geología y II Reunión de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial del MERCOSUR</p> <p>Proyecto para la Protección Ambiental y desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní</p> <p>Montevideo, Uruguay</p> <p>8 al 10 de setiembre de 2004</p>   | <p>José Silverio, Martín Guimaraens</p> |
| <p>Presentación proyectos en Áreas Piloto – Proyecto Sistema Acuífero Guaraní"</p> <p>Comisión Transfronteriza para la protección ambiental y desarrollo sustentable del Sistema Acuífero Guaraní</p> <p>Rivera, Uruguay</p> <p>5 de octubre de 2003</p>  | <p>José Silverio, Martín Guimaraens</p> |



## 15.2 Capacitación

Guimaraens, M. Curso **"Hidroquímica e hidrología isotópica"**, Organización Internacional de Energía Atómica, Mar del Plata, Argentina. Junio – Julio 2005

BERRO, S. V. **Áreas de Afloramento do Sistema Aquífero Guaraní, no Rio Grande do Sul.** 2005. 56f. Trabalho de Graduação A - Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Santa Maria, 2005.

FRANTZ, L. C. **Avaliação do índice de vulnerabilidade do Aquífero Guaraní no perímetro urbano da cidade de Santana do Livramento/RS/Brasil.** 2005. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria/UFSM/Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, 2005.



## 16 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

|     |  |
|-----|--|
| 1.  | A Giardin e U Faccini 2004 Complexidade hidroestratigráfica e estrutural do SAG: Abordagem metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria, RS, BR. . In: Revista Águas Subterrâneas nº18/Janeiro de 2004. p. 39-54.   |
| 2.  | A Hausman 1995 Províncias hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Acta Geológica Leopoldensia. UNISINOS, São Leopoldo, 1995, p. 125.   |
| 3.  | Araújo, L.M., França, A.B., Potter, P.E. 1999 Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. Hydrogeology Journal 7: Pp 317-336  |
| 4.  | Aráujo, LM., França, AB., Potter, PE. Aráujo, LM., França, AB., Potter, PE. Aquífero gigante do Mercosul no Brazil, Argentina, Uruguai e Paraguai: Hidrológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Universidad Federal de Paraná, Biblioteca de Ciência e Tecnologia, Centro Politécnico, Curitiba, Brazil. Pp. 16 |
| 5.  | A Ortuño M Meléndez y ML Rodríguez 2004 Relación entre litología y características hidroquímicas de las aguas subterráneas. Red de Control de la Calidad del Principado de Asturias. Boletín Geológico y Minero, 115 (1): 35-46. Volumen 115, enero-marzo 2004, número 1. Instituto Geológico y Minero de España.  |
| 6.  | ADM Pavão 2004 Avaliação do Índice de Vulnerabilidade na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS, Brasil. UFSM, Centro de Tecnologia, p.112   |
| 7.  | AVL Bittencourt et al. 2003 A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterráneas do Sistema Aquífero Serra Geral Na Bacia do Rio Piquiri, Paraná, BR. In: Revista Águas Subterrâneas nº17/Maio de 2003. p. 67-75.  |
| 8.  | CA Presotto et al. 1973 Projeto Hidrogeología da fronteira sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul. CPRM. 1973, 2 volumes + mapas  |
| 9.  | Carrillo-Rivera, J.J., Cardona, A., Hergt, T. 2001 Inducción de agua termal profunda a zonas someras: Aguascalientes, México Revista Latino-Americana de Hidrogeología, v.1, n.1, p.41-53 Pp. 41-53  |
| 10. | CG Fraga 1992 Origem de Fluoreto em Águas Subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, São Paulo, USP/Brasil. p.178.  |
| 11. | CL Dias et al. 2004 Restrições de uso e ocupação do solo em área de proteção de aquíferos: conceitos, legislação e proposta de aplicação no Estado de São Paulo. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá, Brasil, CD-ROM. p. 19.   |
| 12. | CPRM/SEMA/DRH/SOPS 2006 Projeto Mapa hidrogeológico do Estado do RS na Escala de 1:750.000, relatório final, p.71. Disponível no sítio <a href="http://www.cprm.gov.br">www.cprm.gov.br</a> e <a href="http://www.sema.rs.gov.br">www.sema.rs.gov.br</a> .   |
| 13. | D Gastmans e CH Kiang 2005 Avaliação da hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aquífero Guaraní (SAG) no Estado do Mato Grosso do Sul. Águas Subterrâneas, v.19, n.1, p. 35-48.   |



|     |   |
|-----|---|
| 14. | Decoud, P., Rocha, L. s/d Aportes a la hidráulica subterránea del Acuífero Guaraní en el NW del Uruguay. 1st Joint World Congress on Grounwater Pp. 16  |
| 15. | De Los Santos, J. 2002 Estudio de factibilidad para la localización de un pozo termal en el Dpto. de Artigas DNH, Informe técnico N°3, sección A Pp s/d   |
| 16. | De Los Santos, J. 1999 Propuesta de metodologías de control para el ordenamiento del uso del Acuífero Termal Guaraní en Uruguay. Dirección General de Hidrografía-PNUD, Uruguay. Pp. 1-21   |
| 17. | de Santa Ana, H., Veroslavsky, G. La tectosecuencia volcanosedimentaria de la cuenca norte de Uruguay. Edad Jurásico-Cretácico Temprano Capítulo III-La Tectosecuenciavolcanosedimentaria de la Cuenca Norte Pp. 51-73  |
| 18. | EF Da Rosa 2005 Contribuição ao estado atual de conhecimento sobre o SAG. In: XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. ANAI, CD-ROM, Ribeirão Preto SP, BRASIL. 04 A 07 de outubro de 2005. pdf, 6folhas.                  |
| 19. | EF Da Rosa et al. 2005 Caracterização hidroquímica do Aqüífero Guaraní na porção centro-Norte do Estado do Paraná, Brasil. Águas Subterrâneas, v.19, n.1, p.87-94.  |
| 20. | EF Fachin 2003 Distribuição espacial dos poços tubulares profundos e informações Físico-Químicas das Águas Subterrâneas no Município de Santa Maria/RS. Trabalho de Graduação. Santa Maria, RS, Brasil. UFSM. p. 72.  |
| 21. | EF Fachin 2005 Avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos em Santa Maria-RS. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS, Brasil. UFSM. p. 91  |
| 22. | FAC FEITOSA e JM FILHO 1997 HIDROGEOLOGIA Conceitos e Aplicações, CPRM/LABHID/UFFE, p. 389.   |
| 23. | GP Garcia 2004 Avaliação de Pontos Potenciais de contaminação de Águas Subterrâneas em Santa Maria, RS.. Trabalho de Graduação. Santa Maria, RS, Brasil. UFSM. p. 75.   |
| 24. | H De Sant Anna, C F Garrasino e JV Fulfaro 2006 Primeiro informe geológico. Consórcio Guaraní. Disponível em <a href="http://www.sg-guarani.org">www.sg-guarani.org</a> , pdf, pg.115.  |
| 25. | I Camponogara 2006 Vulnerabilidade natural no Sistema Aqüífero Guaraní e análise de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas em Quaraí, BR e Artigas, Uy. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS, Brasil, Departamento de Geociências, p. 107.                   |
| 26. | I Camponogara et al. 2005 Exemplo de utilização do aplicativo Surfer 8.0 na análise de parâmetros hidrodinâmicos tendo como área de estudo Quaraí-BR e Artigas-Uy. In: I ° Simpósio de Recursos Hídricos do Sul, I ° Simpósio da AUGM. Santa Maria, RS. Anais, CD-ROM p.10. |
| 27. | J Hem, John. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.Geological Survey water-supply paper 1473. second edition. USA, 1970, p. 363.  |
| 28. | JLF Machado 2005 Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aqüífero Guaraní no Rio Grande do Sul, São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, Departamento  |



|     |   |
|-----|---|
|     | de Geologia, p. 237: ilustr. CDU 556.3 (816.5).   |
| 29. | JLS Silva EMM Flores VM Bertazzo 2000 Estudo hidroquímico das águas subterrâneas da região de Santa Maria no Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, Porto Alegre. CD-ROM. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA/PUC. v. 1, p. 1-9                                 |
| 30. | JLS Silva et al. 2002 Novas hipóteses sobre a origem do flúor no Sistema Aquífero Guaraní na Depressão Central Gaúcha, Brasil. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2002, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas/ABAS, v. 1, CD-ROM, p. 1-20.           |
| 31. | JLS Silva et al. 2003 Avaliação da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, RS, BR. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Curitiba. Anais... Curitiba: Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH, v. 1, CD-ROM, p. 1-20                        |
| 32. | JLS Silva et al. 2004 Arcabouço geológico-geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí-Rio Grande do Sul, BR. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. UFSM, RS, Brasil. CD-ROM, p.15.   |
| 33. | JLS Silva et al. 2004 Impactos da atividade humana sobre o solo-Aquíferos. Conhecendo os recursos hídricos subterrâneos. I FÓRUM Solos & Ambiente, UFSM, CCR, p.145-167.  |
| 34. | L Lockzy e EA Ladeira 1968 Eduardo A. Geologia Estrutural e introdução a Geotectônica. Editora Edgard Blucher Ltda. CNPq. 1939. p.528. Ábaco ou transferidor de mergulhos proporcionais PETROBRÁS Rosa et al. 1968, p.478.  |
| 35. | LC Frantz 2005 Avaliação do Índice de vulnerabilidade do Aquífero Guaraní no Perímetro Urbano da Cidade de Sant'Ana do Livramento-RS. Santa Maria/RS. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia, UFSM, p.125.   |
| 36. | LC Frantz et al. 2005 Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera/Livramento e Quaraí/Artigas. In: Iº Simpósio de Recursos Hídricos do Sul, Iº Simpósio da AUGM. Santa Maria, RS. Anais, CD-ROM p.10   |
| 37. | Lima Bittencourt, A.V., Francisco da Rosa Filho, E., Hindi, E.C., Buchmann Filho, A.C. 2003 A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do sistema aquífero Serra-Geral na Bacia do Rio Piquiri, Paraná-BR Revista Aguas Subterrâneas nº17/Maio 2003 Pp. 67-75 |
| 38. | L Maziero 2002 Levantamento da Capacidade de Uso da Terra e Classificação do Uso da Terra para a Folha Topográfica de Mata-RS. Santa Maria, RS, Brasil. UFSM/Centro de Ciências Rurais. p.47.   |
| 39. | L Maziero 2005 Levantamento da Potencialidade dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Dona Francisca – RS. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS, Brasil. UFSM Departamento de Geociências. p. 105.   |
| 40. | Lorenzo, N – Bruné A. Plan de desarrollo urbano conjunto Rivera-Santana do  |



|     |  |
|-----|--|
|     | Livramento Jornadas sobre metodologías aplicadas a planes de ordenamiento territorial Pp. 21-27  |
| 41. | LL Junges 2000 Levantamento Físico-Ambiental de Microbacia Hidrogáfica do Arroio Ribeirão- São Pedro do Sul- RS/BR. Monografía de Especialização. UFSM. Departamento de Geociências Brasil. p.77.  |
| 42. | Molfino, J.H., Califra, A. 2001 Agua disponible de las tierras del Uruguay (Segunda aproximación) División Suelos y Aguas-Dirección General de Recursos Naturales Renovables, MGAP Pp. 12  |
| 43. | Montaño, J. 2003 Recursos Hídricos subterráneos-El Sistema Acuífero Guaraní (SAG) Sin dato (parece un capítulo de libro, Capítulo IX - Recursos Hídricos Subterráneos) pp. 191-212   |
| 44. | Muzio, R. El magmatismo mesozoico en Uruguay y sus recursos minerales Capítulo IV-El magmatismo mesozoico en Uruguay Pp. 75-113  |
| 45. | NA Lisboa e E Menegotto 1999 Condicionantes geoquímicos do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul, Brasil. In: Anais do V Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e VII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Salvador, p. 134-136.                             |
| 46. | NA Lisboa 1996 Fácies, Estratificações Hidrogeoquímicas e seus controladores Geológicos, em unidades Hidrogeológicas do Sistema Aquíferos Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul Tese de Doutorado. Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, Brasil. p. 135                   |
| 47. | NM Baccar 1998 Estudo da qualidade da água de poços artesianos da região do Vale do Rio Pardo, RS, Brasil com que destaque para a concentração de flúoretos. Dissertação de Mestrado. Santa Cruz do Sul, UNISC, Brasil. p. 106.  |
| 48. | NR Rüegg 1975 Modelos de variação química na província basáltica do Brasil Meridional. Características de teor, distribuição geográfica e diferenciação. Instituto de Geociências USP, São Paulo, Brasil, Tese de doutorado em Geociências. 2. vol.; vol. 1 p. 215 e v. 2 p.94.          |
| 49. | Oleaga, A. 2000 Resumen de estudios realizados en la primer campaña de muestreo hidroquímico No es artículo Programa de posgrado en ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México Pp. 12  |
| 50. | Oleaga, A. 2002 Contribución a la Hidrogeología del Acuífero Guaraní en el sector Uruguay. Un enfoque integral. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de México, México. Pp.1-119  |
| 51. | Pacheco, F. 2004 Estudio Hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní en la zona Rivera-Sant'Ana Do Livramento Trabajo personal Pp. 1-95  |
| 52. | Parasnis D.S. , 1995 Principles of Applied Geophysics, , Chapman & Hall, Suecia.   |
| 53. | Pasig, R., Rojas, C., Geyh, M. Estudios Hidrogeológicos e Isotópicos en áreas marginales del Acuífero Guaraní, sobre el sector paraguayo Proyecto Ordenamiento Ambiental de Zonas Urbanas (ORDAZUR)-Secretaría del Ambiente (SEAM), Avenida Madame Lynch 3500-Asunción, Paraguay. Pp. 11 |
| 54. | Pérez, A., Rocha, L. 2002 Aportes al conocimiento del Acuífero Guaraní. Area Ciudad de Rivera-Uruguay. Groundwater and Human Development (OSE, Obras Sanitarias del Estado, Uruguay) Pp. 598-605   |



|     |  |
|-----|--|
| 55. | Perez, A., Rocha, L., Decoud, P., Carbajal, A. 2000 Comportamiento del Acuífero Guaraní en la Ciudad de Artigas, Uruguay. 1st Joint World Congress on Grounwater, Fortaleza, Brasil. Pp. 7   |
| 56. | Plata Bedmar, A., Bomtempo, V., Minardi, P.S.P., Carvalho Filho, C.A., Cota, S., Rodrigues, P.H., Amore, L., Bonotto, D., Auge, M., Panarello, H., Montañó, J., Fariña, S. 2001 Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Informe del taller organizado en Belo Horizonte. Proyecto RLA/8/035 "Preparatory activities for Guarani Aquifer Project", Organismo Internacional de Energía Atómica-Austria, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissao Nacional de Energía Nuclear-Brasil Pp. 47 |
| 57. | Puerari, E.M., Tôres Costa, C., Holanda de Castro, M.A. 2003 Utilizaçao do Método Drastic na Análise de Vulnerabilidade Natural do complexo Industrial e Portuário do Pecém-Fortaleza/Ceará XIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços - I Simpósio de Hidrogeología do Sudeste Pp. 363-373   |
| 58. | Rebouças, AC., Amore Luiz 2002 O Sistema Aqüífero Guarani-SAG Revista agua subterrânea nº 16   |
| 59. | RBG Da Silva 1983 Estudo Hidroquímico e Isotópico da Águas Subterrâneas do Aqüífero Botucatu no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. São Paulo. USP/Brasil.   |
| 60. | Revista da Associação Brasileira de Aguas Subterraneas-ABAS-N.17-Maio/2003 Pp.1-111  |
| 61. | Revista Latino-Americana de Hidrogeología, Número 2-Outubro/2002-ALHSUD Pp. 1-136  |
| 62. | RM Eckert e BR Caye 1995 Cadastramento de poços da cidade de Livramento, RS. Projeto Cadastramento Poços do Rio Grande do Sul. CPRM/POA. Dezembro de 1995, p.27+ anexos.   |
| 63. | Rocha, A. 1996 Mega reservatório de Água Subterrânea do Cone Sul: Bases para uma política de desenvolvimiento e gestao. Contribuição ao seminário internacional "Aquifero gigante do Mercosul" Sin dato 23/24 de Maio de 1996. Univ. Federal Do Paraná, Curitiba. Pp. 28   |
| 64. | Roma Ma T. 1997 Estudio hidrogeológico de los acuíferos en la Planta Industrial Nº 14 Conaprole-Rivera Informe técnico Pp. 6   |
| 65. | Santa Cruz, J.N, Silva Busso, A., Cernadas, M. Diseño de un sistema de información para aguas subterráneas y aplicaciones para la gestión del recurso aguas subterráneas XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas IV: 393-404 Pp. 393-404   |
| 66. | Santa Cruz, J.N. 1981 Bases Hidrogeológicas Generales de la Provincia de Corrientes VIII Congreso Geológico Argentino, San Luis (20-26 setiembre,1981) Actas IV, 231-242 Pp. 231-242   |
| 67. | Santa Cruz, J.N., Silva Busso, A. 1999 Escenario Hidrogeológico general de los principales acuíferos de la llanura Pampeana y Mesopotamia meridional Argentina II Congreso Argentino de Hidrogeología-IV Seminario Hispano Argentino sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea Pp. 461-471   |
| 68. | Silva Busso, A.A. Geologic and Hydrogeologic aspects of the thermal aquifer system in Argentinean eastern Chacoparanense Basin 1st Joint World   |

**Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,**



|     |   |
|-----|---|
|     | Congress on Grounwater pp. 22   |
| 69. | Silveira, L., Alonso, J., Martínez, L. 2004 Efecto de las plantaciones forestales sobre los recursos hídricos. Comparación de estudios en microcuencas y macrocuencas del Uruguay. XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Pedro, Estado de Sao Paulo, Brasil, Octubre de 2004 Pp. 10 |
| 70. | Silveira, L., Alonso, J. 2004 Modificación de los Coeficientes de Escorrentía producto del desarrollo forestal en una macrocuenca del Uruguay. XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Pedro, Estado de Sao Paulo, Brasil, Octubre de 2004 Pp. 1                                      |
| 71. | SV Berro 2005 Áreas de afloramiento do Sistema Aqüífero Guaraní, no Rio Grande do Sul. Monografia de Conclusão, Licenciatura em Geografia, Departamento de Geociências, UFSM, RS, BR, p.56.   |
| 72. | Szikszay, M., Teissedre, J.M., Barner, U., Matsui, E. 1981 Geochemical and isotopic Characteristics of spring and groundwater in the state of Sao Paulo, Brazil. Journal of Hydrology, 54 (1981) 23-32 Pp. 23-32  |
| 73. | UF Faccini 1989 O Permo – Triássico do Rio Grande do Sul. Uma Análise sob o ponto de vista das Seqüências Depositionais. Dissertação de Mestrado. UFRGS/Instituto de Geociências/Porto Alegre Brasil. p. 133.   |
| 74. | Tujchneider, O., Pérez, M., Paris, M., D'Elía, M. 2003 Sistema Acuífero Guaraní: Un recurso compartido por cuatro países. III Cobgreso Argentino de Hidrogeología, Rosario, Setiembre de 2003 Pp. 71-80   |
| 75. | Vives, L., Usunoff, E., Fernández-Jáuregui, C. Sistema de Soporte de Decisión para la gestión sustentable del acuífero transfronterizo Guaraní Sin dato (Parece un artículo) pp. 12   |
| 76. | Vives, L., Campos, H., Candela, L., Guarracino, L. Premodelo de flujo del Acuífero Guaraní Sin dato (Parece un artículo) Pp. 19   |
| 77. | V Salles 2004 Vulnerabilidade Natural das Águas Subterrâneas no Município de Ivorá/RS. Trabalho de Graduação. Santa Maria, RS, Brasil. UFSM. Departamento de Geociências, p.68.   |
| 78. | XIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços - I Simpósio de Hidrogeología do Sudeste Pp. 62-377   |
| 79. | Zunino, E., Ainchil, J. Evaluación geofísica del Acuífero Guaraní en la Argentina 1st Joint World Congress on Grounwater Pp. 16   |



## 17 ACTORES

| Nombre          | Apellido         | Institución   | Cargo                 | Teléfono  | e-mail   | Dirección                                  |
|-----------------|------------------|---|-----------------------|---|--|--|
| Cecilia         | Petraglia        | MGAP - SIG  |                       | 9159842 -<br>915674 int<br>237                  | mcpet00@adinet.com.uy  |  |
| Andrés          | Pérez            | OSE   |                       | 1952-2521                                       | <a href="mailto:aperez@ose.com.uy">aperez@ose.com.uy</a>           |  |
|                 |                  |   |                       | 099 668789                                      | ose-perf@adinet.com.uy   |  |
| <b>ARTIGAS</b>  |                  |   |                       |   |  |  |
|                 |                  | Secretaría<br>Intendencia<br>Municipal Artigas<br>(IMA) |                       | 077 23038                                       |  |  |
| Oclides         | Vázquez          | IMA   | Secretario<br>General |   |  |  |
| Miguel<br>Angel | Benedetti        | Catastro IMA  | Director              | Ofic. 7724261<br>099 770323<br>part. 7723891    | <a href="mailto:mab5bp@hotmail.com">mab5bp@hotmail.com</a>         |  |
| Nair            | de los<br>santos | Salubridad,<br>Higiene y Medio<br>Ambiente IMA          | Director              | 23291<br>099 770510                             |  |  |
| Héctor          | Pereira          | El Molino<br>Perforaciones                              | Dueño                 | 077 32670                                       | <a href="mailto:molinop@adinet.com.uy">molinop@adinet.com.uy</a>   |  |
|                 |                  |   |                       | 099 770439                                      | -  |  |
| Juan            | Brum             | Empresa<br>Constructora -<br>Hotel Municipal            | Constructor           | 099 773410                                      | -  |  |
| Ariel           | Díaz             | Agroindustria IMA                                       |                       | 099 770654                                      | -  |  |
| Richard         | Signorelli       | Matadero IMA  |                       | 099 772568                                      | -  |  |
|                 | Hardy            | OSE, Gerencia<br>Artigas                                | Gerente               | ose 077<br>24242 099<br>831127casa<br>077 26346 | <a href="mailto:hardyrod@adinet.com.uy">hardyrod@adinet.com.uy</a> | 25 de Agosto<br>entre Garzón y<br>D. Lamas |
|                 | Ramírez          | OSE   |                       |   | -  | Usina                                      |

Caracterización de las áreas de recarga y descarga del SAG en A-Q y R-L,

Estudio de vulnerabilidad en A-Q



| Nombre        | Apellido      | Institución                   | Cargo                 | Teléfono      | e-mail   | Dirección                                |
|---------------|---------------|-------------------------------|-----------------------|---------------|--|--|
|               |               |                               |                       |               |  | Potabilizadora                           |
| Daniel        | Tambucho      | Centro de diálisis de GREMEDA | Doctor                | 077 25012     | <a href="mailto:gemdial@femi.com.uy">gemdial@femi.com.uy</a> | Amaro F. Ramos 532                       |
| Héctor        | Suárez        | Club Deportivo Artigas        | Técnico Electrónico   | 099 773110    | -  | Misiones entre L. A. de Herrera y Rincón |
|               | Dupont        | Club Deportivo Artigas        | Gerente               |               | -  |  |
|               | Arreguín      | Club Deportivo Artigas        | Mantenimiento         |               | -  |  |
| <b>QUARAI</b> |               |                               |                       |               |  |  |
| Luiz          | Souza Nunez   | Club Comercial                | Presidente            |               | -  |  |
|               | Zeco          | Club Comercial                | Mantenimiento         |               | -  | Duque de Caxias 465                      |
| Nilvo         | Enegir        | CORSAN                        | Gerente               | (55)34231167  | -  |  |
| Salvador      |               | CORSAN                        | Técnico Especializado | (55)34231425  | -  | ETA/Quarai                               |
| Adriano       | Bittencourt   | CORSAN                        | Técnico Especializado | (55)34231425  | -  | ETA/Quarai                               |
| Torres        | Jorge Eduardo | Emater                        | Eng. Agrônomo         |               | <a href="mailto:jeht@zaz.com.br">jeht@zaz.com.br</a>         | EMATER/QUARAI                            |
| Betinha       |               |                               | Socióloga             | (55)34231587  | -  |  |
| Neiva         |               | Hotel Internacional           | Gerente               | (55)3423-1771 | -  |  |
| Rachel        | Barros        | Prefeitura Municipal          | Geóloga               | (55)34231226  | <a href="mailto:rbc@san.psi.br">rbc@san.psi.br</a>           | Dartaghan Tubino 887                     |
| <b>RIVERA</b> |               |                               |                       |               |  |  |
| Julio         | Metol         | OSE, Regional Norte           | Director              | 062 24455     |  | Lavalleja 1112                           |
| Hugo          | Álvarez       |                               |                       | fax 26921     | -  |  |
| Ladislao      | Kangyeiras    | OSE, Gerencia Rivera          | Gerente               | 062 23394     | -  |  |
|               |               |                               |                       | 29988         |  |  |



| Nombre                       | Apellido  | Institución                     | Cargo            | Teléfono         | e-mail   | Dirección                                 |
|------------------------------|-----------|---------------------------------|------------------|------------------|--|---|
| Alejandro                    | Bertón    | IMR-Laboratorio de Higiene      |                  | 062 35080        |  |   |
|                              |           |                                 |                  | 099 821327       |  |   |
|                              |           |                                 |                  | casa 062 6800    |  |   |
| Gabriela                     | Suárez    | Intendencia Municipal de Rivera |                  |                  | ggsury@montevideo.com.uy   |   |
| Sivlana                      | Marín     | ONG Raikatú                     |                  | 062 27596        |  | Agraciada 515                             |
| Luis                         |           |                                 |                  | 099824576        |  |   |
|                              | Romero    | OSE                             |                  | 099 823 654      |  |   |
| Oscar                        | Pessolano | Meteorología                    |                  | 062 24053        |  |   |
| Arturo                       | Rivero    | Conaprole, planta 14            |                  | 062 24743-int.22 | arivero@Conaprole.com.uy   |   |
| Achylles                     | Bimbo     | Facilitador Projeto SAG         |                  |                  | <a href="mailto:abassedas@sg-guarani.org">abassedas@sg-guarani.org</a>         | Trinta y Tres Orientales 974 Hotel Casino |
| <b>SANTANA DO LIVRAMENTO</b> |           |                                 |                  |                  |  |   |
| Julio                        | Campos    | DAE, Química                    | Químico          |                  | <a href="mailto:dae.cpd@terra.com.br">dae.cpd@terra.com.br</a>                 |   |
| Erick                        | Maciel    | Instituto Patulus               | Diretor          |                  | <a href="mailto:institutopatulus@bol.com.br">institutopatulus@bol.com.br</a>   |   |
| Adão                         | adãozinho | DAE, manutenção de poços        | Manutenção       |                  | <a href="mailto:dae.cpd@terra.com.br">dae.cpd@terra.com.br</a>                 |   |
| Pedra                        |           | DAE, Engenharia                 | Engenheiro Civil |                  | <a href="mailto:dae.cpd@terra.com.br">dae.cpd@terra.com.br</a>                 |   |
| <b>PORTO ALEGRE</b>          |           |                                 |                  |                  |  |   |
| Carlos                       | Heine     | CORSAN/SURHMA                   | Diretor          |                  | <a href="mailto:CARLOS.HEINE@corsan.com.br">CARLOS.HEINE@corsan.com.br</a>     |   |
| Francisco                    | Xico      | CORSAN/SURHMA                   | Geólogo          |                  | <a href="mailto:xicogourlart@terra.com.br">xicogourlart@terra.com.br</a>       |   |
| Rogério                      | Dewes     | DRH/Governo do Estado do        | Diretor          | (51) 32888145    | <a href="mailto:rogerio-dewes@sema.rs.gov.br">rogerio-dewes@sema.rs.gov.br</a> | Carlos Chagas55 sala1116                  |



| Nombre | Apellido | Institución | Cargo | Teléfono | e-mail | Dirección |
|--------|----------|-------------|-------|----------|--------|-----------|
|        |          | RS/SEMA     |       |          |        | 11º andar |



GEF



Banco Mundial



OEA

---

Secretaría General del Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní  
Edificio Mercosur - Dr. Luis Piera 1992, 2º piso - (CP:11200) - Tel/Fax: (598 2) 410 03 37  
e-mail: [sag@sg-guarani.org](mailto:sag@sg-guarani.org) - web: [www.sg-guarani.org](http://www.sg-guarani.org)  
Montevideo - Uruguay

---