

**ANTONIO SILVIO JORNADA KREBS**

**CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
SUBTERRÂNEOS DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO ARARANGUÁ, SC**

**Orientação: Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe**

**TESE DE DOUTORADO**

**Florianópolis (SC), 2004**

**ANTONIO SILVIO JORNADA KREBS**

**CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
SUBTERRÂNEOS DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO ARARANGUÁ, SC**

**Orientação: Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe**

**Tese submetida ao Centro de Filosofia e Ciências Humanas da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Doutorado em Geografia, área de concentração: Utilização e Conservação de Recursos Naturais, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Geografia.**

**Florianópolis (SC), 2004**

**ANTONIO SILVIO JORNADA KREBS**

**CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
SUBTERRÂNEOS DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO ARARANGUÁ, SC**

**Tese submetida ao Centro de Filosofia e Ciências Humanas  
da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Doutorado  
em Geografia, área de concentração: Utilização e Conservação de Recursos  
Naturais, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção  
do grau de Doutor em Geografia.**

**APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA  
EM 05/FEV/2004**

---

**Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe – Orientador**

---

**Prof. Dr. Joël Pélérin**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gerusa Maria Duarte**

---

**Prof. Dr. João Manoel Filho**

---

**Prof. Dr. Nelson Lisboa**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta tese ao eminente geólogo sul-africano **Errol vanHuyssteen** (in memoriam), técnico do Energy Technology Centre - CANMET, com quem tive a oportunidade de conviver por ocasião de suas sucessivas estadas em Criciúma, através do convênio de cooperação técnica mantido pelo Canadá com o CETEM, o qual, tendo estudado na África do Sul as mesmas formações geológicas correspondentes à seqüência gonduânica, foi um grande incentivador e entusiasta dos estudos a que esta Tese de Doutorado se propunha, cujos resultados ele considerava de grande relevância para o Projeto de Recuperação Ambiental da Região Carbonífera Sul-catarinense do qual foi um dos mentores.



## AGRADECIMENTOS

À **CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**, empresa na qual trabalho há mais de trinta anos e onde tenho vivido minha escolha profissional, pela experiência proporcionada ao longo do tempo e pela bagagem técnica adquirida não apenas no desenvolvimento de projetos a campo, mas também através de cursos de especialização e da participação em eventos técnicos.

Ao **DEHID** – da **CPRM-RJ**, através do eng<sup>o</sup>. Frederico Peixinho, pela estrutura disponibilizada; em especial ao André Monsoris, Marcelo e Fátima, pelas importantes contribuições técnicas.

À **Universidade do Extremo Sul de Santa Catarina – UNESC**, na qual, como docente, tive a oportunidade de integrar-me ao meio acadêmico, o que me fez então aspirar à realização de um Curso de Mestrado e posteriormente ao Curso de Doutorado.

À **Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC**, diretamente responsável pela realização deste Curso de Doutorado, por ter disponibilizado, através de seu Departamento de Geociências do Curso de Geografia, sua infra-estrutura e técnicos.

Às empresas carboníferas da região, em especial à **Carbonífera Criciúma S.A.**, à **Carbonífera Belluno**, à **Carbonífera Metropolitana** e à **CSN** que, através de seus técnicos, Carlos Henrique Schneider, Msc. Cláudio Zilli, Eduardo Vito Pozza, Hilton e Paulo Dib, respectivamente, disponibilizaram importantes dados que subsidiaram esta Tese de Doutorado.

Ao **Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH**, da **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, cujos técnicos Msc. Marcos Leão, Dr. Nelson Caicedo e Msc. Alfonso Risso deram uma importante contribuição, quer pela transmissão de seu saber técnico quer pela disponibilização de relevante material.

Ao **Sindicato das Indústrias de Extração de Carvão de Santa Catarina – SIECESC**, em especial ao eng. Fernando Luiz Zancan pelo apoio prestado através de sua infra-estrutura, material e contribuição técnica, decisivos para a realização desta tese.

À **CASAN**, que na pessoa de seus técnicos, geól. Zanatta, eng<sup>o</sup>. Patrícia. e Antônio, disponibilizou importantes dados relativos aos recursos hídricos da região.

Ao **SAMAE** e à **CIDASC**, pela valiosa contribuição prestada através da disponibilização de dados e de material de consulta.

À **EPAGRI**, na pessoa de seu técnico Dr. Álvaro Back, pela importante contribuição técnica.

Ao **Centro de Tecnologia Mineral - CETEM**, cujos técnicos Drs. Juliano Peres Barbosa (in memoriam), Paulo Sérgio Moreira Soares, Vicente Paulo de Souza e Mário Valente Possa sempre me incentivaram e valorizaram minha proposta de tese. Ao **Energy Technology Center – CANMET**, cujo técnico geól. Errol vanHuyssteen (in memoriam) foi um incentivador deste estudo e desta proposta de tese.

À minha família, **Alzira, Patrícia, Eduardo e Vitória**, pelo incentivo e pela compreensão nas longas horas subtraídas de seu convívio durante todo o tempo da elaboração desta tese.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. **Luiz Fernando Scheibe** (UFSC), a quem devo, antes de tudo, a oportunidade deste Curso de Doutorado, por seu empenho na sua realização, por sua valiosa orientação e, principalmente, por seu entusiasmo com a escolha do tema proposto.

Ao meu irmão, Prof. Dr. **Ruy Krebs**, pelo incentivo e pela disponibilização de sua residência em Florianópolis, na qual me hospedei toda vez que lá precisei estar.

Ao meu amigo, eng<sup>o</sup> químico **Eduardo Oliveira Nosse**, cuja contribuição foi um testemunho da verdadeira amizade que nos une.

Ao meu amigo, Msc. **Marcos Imério Leão**, que além da contribuição técnica, demonstrou solidariedade e companheirismo nos momentos mais difíceis da elaboração desta tese.

Aos meus amigos e colegas da CPRM, Msc. **Marcos Alexandre Freitas** e Msc. **Andréa Germano**, que além do profundo conhecimento das questões relacionadas ao tema desta tese que lhes permitiu contribuições técnicas importantes, demonstraram um elevado espírito de coleguismo ao prestarem seu apoio e incentivo à realização desta tese.

À colega **Aline Santos**, pela grande contribuição que deu à elaboração dos mapas e sugestões, tendo, muitas vezes, abdicado de suas horas de lazer para comigo trabalhar.

Ao geógrafo Prof. Dr. **Joël Pélérin**, do Departamento de Geociências da UFSC, pela cedência de material relacionado ao conteúdo desta tese e também por sua preciosa contribuição prestada através de demoradas conversas que tivemos a respeito das questões técnicas abordadas nesta tese.

Às geógrafas Prof<sup>as</sup>. Dr<sup>as</sup>. **Gerusa Maria Duarte** e **Sandra Furtado**, pelas orientações por ocasião da banca de qualificação para o Curso de Doutorado.

Aos amigos e colegas da CPRM, **José Eduardo do Amaral, Lindomar Santos e José Arcinei Bardini**, pela preciosa colaboração e apoio prestados.

Aos amigos e colegas do Setor de Meio Ambiente do SIECESC, eng<sup>o</sup> de minas **Cleber Gomes, Evandro Santos**, geól. **Roberto Romano**, acadêmicas de engenharia **Mariane Pazzetto** e **Mirlene**, à **Rita**, pelo inestimável apoio e contribuição dados à realização desta tese.

Ao Diretor do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT, da UNESC, eng<sup>o</sup> agrônomo Msc. **Marcos Back**, por sua contribuição ao viabilizar as análises necessárias ao estudo hidroquímico desta tese.

Ao geól. Msc. **Eder Luiz Santos** e geól. dra. **Rosana Peporine Lopes**, UNESC-IPAT, pela disponibilização de material e de pessoal, importante contribuição para a elaboração desta tese.

Ao eng<sup>o</sup> agrimensor **Fabiano Nérís** e ao acadêmico de Engenharia de Agrimensura **Gilberto** (IPAT – Setor de Cartografia), pelo importante apoio prestado.

Ao eng<sup>o</sup> ambiental **Sérgio Galatto**, pelas longas horas de apoio na elaboração das tabelas e gráficos constantes desta tese.

Ao meu amigo eng<sup>o</sup> de minas **Leo Rubensan**, da empresa Geológica, por sua colaboração técnica e amizade demonstrada ao longo da elaboração desta tese.

Aos amigos e colega da CPRM, geól. **Luís Edmundo Giffoni** e **Rui**, pelo importante apoio dado à editoração de mapas constantes deste trabalho.

À minha amiga **Ana Lúcia Borges**, da biblioteca da CPRM/PA, pela boa-vontade com que atendeu sempre às minhas solicitações de material.

À **Marli**, do departamento de Geociências de UFSC, pela atenção que me foi dispensada toda vez que precisei de seu auxílio.

À **Adriana Zilli**, que abdicou de suas horas de lazer para, até mesmo aos domingos, trabalhar na formatação desta tese.

## RESUMO

Esta tese apresenta os resultados dos estudos geológicos, hidrogeológicos, hidroquímicos, das fontes de poluição e do cadastramento de pontos de água subterrânea da área correspondente à bacia hidrográfica do rio Araranguá, SC. Longe de se esgotar em suas proposições, tem esta tese um caráter de contribuição, visando a subsidiar, de modo mais objetivo e preciso, futuras tomadas de decisão quanto ao uso dos recursos hídricos subterrâneos. O mapeamento geológico baseado em critérios litofaciológicos permitiu a individualização em mapa, no Membro Siderópolis (terço superior da Formação Rio Bonito), de três seqüências distintas: Seqüência Superior – Areias Transgressivas; Seqüência Média – Barro Branco; e Seqüência Inferior – Bonito. Permitiu verificar-se também que os Depósitos de Leques Aluviais afloram em uma área de 1088 km<sup>2</sup>, nesta bacia. Do ponto de vista estrutural, constatou-se que os elementos mais importantes são as falhas, ocorrendo, outrossim, de maneira subordinada, fraturas, dobras e *sills*. Foram cadastrados 582 pontos de água, sendo 148 referentes aos poços tubulares profundos, 316, aos poços escavados, 60, aos poços-ponteiras, e 58, às fontes, tendo também sido classificados seus usos. Considerando-se os pontos d'água cadastrados, verifica-se que 53% são usados para consumo humano, 42%, para indústrias, e 5%, para outros usos. São apresentados, em escala 1:100.000, os seguintes mapas: Geológico, Hidrogeológico, Vulnerabilidade Natural dos Aqüíferos Porosos Profundos, Vulnerabilidade Natural dos Leques Aluviais, Fontes de Poluição, Hidroquímico e Produtividade dos Poços. A interpretação geológica e estrutural da área permitiu a identificação de diversos locais com maior favorabilidade à captação de água através de poços tubulares profundos. No mapeamento hidrogeológico foram identificados 9 sistemas aqüíferos, sendo 4 relacionados às rochas sedimentares gonduânicas, 4, aos sedimentos quaternários e um relacionado às rochas basálticas. Os resultados de 76 laudos de análises físico-químicas e bacteriológicas de águas subterrâneas realizadas durante este estudo e 122 laudos de análises realizadas em trabalhos anteriores permitiram a classificação hidroquímica das águas dos diferentes sistemas aqüíferos presentes nesta bacia. Com relação à vulnerabilidade natural, de acordo com o método GOD de FOSTER; HIRATA (1991), constatou-se que o Sistema Aqüífero Rio Bonito possui de baixa à alta vulnerabilidade. Com relação ao Sistema Aqüífero Leques Aluviais, verificou-se que a vulnerabilidade natural varia de moderada a extrema. As atividades de mineração e de beneficiamento do carvão, as atividades industriais, a falta de rede de canalização e de tratamento de esgoto em todos os municípios e a utilização de adubos e defensivos agrícolas nas áreas cultivadas estão entre os principais fatores responsáveis pela contaminação dos recursos hídricos, degradação do solo e, conseqüentemente, pelo comprometimento ambiental de grande parte da área desta bacia hidrográfica.

Palavras-chaves: água subterrânea – aqüíferos – hidrogeologia.

## ABSTRACT

This work presents the results regarding the geological, hydrogeological and hydrochemical surveys carried out in the area of Araranguá Hydrographic Basin. It also shows the data related to the pollution sources and the number of groundwater exploitation spots in the referred basin. Far from concluding its proposals, this work aims to contribute as a subside, in a more objective and precise way for future decisions concerning the use of groundwater resources. The geological mapping which employs lithofaciologic criteria has allowed us to individualize in a map three different sequences which form the Siderópolis Member from the Rio Bonito Formation: Superior Sequence – Transgressive Sands; Medium Sequence - Barro Branco; and Inferior Sequence – Bonito. It has also allowed us to verify that the aluvial fan deposits outcrop in an area of 1088 km<sup>2</sup> in the basin. Regarding the structural aspects, we have concluded that the most important elements are the faults. There are also, in a subordinated way, fractures, folds and *sills*. We have made a cadastre of 582 water spots from which 148 refer to deep tubular wells, 316 to hand digged wells, 60 to shallow wells and 58 to surface sources. All the 582 water spots have been classed by type of use. Considering the water spots registered in the cadastre, we have realized that 53% are used for human consumption, 42% for industries, and 5% for other uses. The following maps are presented (scale 1:100.000): Geologic Map, Hidrogeologic Map, Natural Vulnerability of the Deep Porous Aquifers, Natural Vulnerability of the Alluvial Fans, Pollution Sources Map, Hydrochemical Map and Well Productivity Map. The geological and structural interpretation of the area has allowed us to identify several locations which are more suitable for water captation through deep tubular wells. The hydrologic mapping has also permitted us to classify 9 aquifer systems, being 4 of them related to gondwanic sedimentary rocks, 4 to quaternary sediments and 1 to basaltic rocks. The results of 76 physic-chemical and bacteriological analysis of groundwater carried out along this study and 122 analysis carried out in previous works have given us the hydrochemical classification of the different aquifer systems present in this basin. Relating to the natural vulnerability and according to the GOD method of FOSTER; HIRATA (1991), we have concluded that the Rio Bonito Aquifer has a vulnerability degree that ranges from low to high. Regarding the Aluvial Fan Aquifer System we have realized that the natural vulnerability ranges from moderate to extreme. Coal mining and treatment activities as well as industrial activities, the lack of drainage, the use of fertilizers and pesticides in the crops are the main responsible factors for water resources contamination and soil degradation in this area. As a consequence, a large portion of the Araranguá Hydrographic Basin is in a bad environmental situation.

Key-words: groundwater - aquifer – vulnerability.

## LISTA DE SIGLAS

ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas  
ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia  
CECO - Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica  
CENPES - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo M. de Mello  
(PETROBRÁS)  
CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente  
CETEM - Centro de Tecnologia Mineral  
CIDASC - Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina  
CPRM - Serviço Geológico do Brasil  
DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral  
EDUNISC - Editora da Universidade de Santa Cruz do Sul  
EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina  
GRUPERHS - Grupo de Pesquisas de Recursos Hídricos  
IAH - International Association of Hydrogeologists  
IAHS - International Association of Hydrological Sciences  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia  
IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
JICA - Japan International Cooperation Agency  
LABHID - Laboratório de Hidrologia  
MEC - Ministério de Educação e Cultura  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
OPS - Organización Panamericana de la Salud  
OSNLR - The Ocean Science in Relation to Non-Living Resources  
PETROBRÁS - Petróleo Brasileiro S.A.  
PROGESC - Programa de Informações Básicas para Gestão Territorial de Santa  
Catarina  
S. F. P. M. - Seção de Fomento da Produção Mineral  
SBG - Sociedade Brasileira de Geologia  
SIECESC - Sindicato da Indústria de Extração do Carvão do Estado de Santa  
Catarina  
SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste  
SUDESUL - Superintendência de Desenvolvimento do Sul  
UFPE - Universidade Federal de Pernambuco  
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro  
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina  
UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense  
UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization  
UNISUL - Universidade do Sul de Santa Catarina  
UNIVALI - Universidade do Vale do Itajaí  
USAID - US Agency for International Development  
USITESC - Usina Termelétrica Sul-catarinense  
USP - Universidade Federal São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO ARARANGUÁ .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1 Geologia .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2 Geomorfologia .....</b>	<b>34</b>
<b>2.3 Solos .....</b>	<b>40</b>
<b>2.4 Hidrografia .....</b>	<b>42</b>
2.4.1 Descrição analítica da rede hidrográfica.....	43
2.4.1.1 Rio Araranguá.....	44
2.4.1.2 Rio dos Porcos .....	44
2.4.1.3 Rio Itoupava.....	45
2.4.1.4 Rio da Pedra.....	45
2.4.1.5 Rio Amola-Faca .....	46
2.4.1.6 Rio Mãe-Luzia.....	47
2.4.1.7 Rio Manuel Alves.....	48
2.4.1.8 Rio do Cedro.....	50
2.4.1.9 Rio Guarapari/São Bento.....	50
2.4.1.10 Rios Jordão, Manim e do Pio.....	51
2.4.1.11 Rio Sangão .....	52
2.4.1.12 Rio Fiorita .....	53
<b>2.5 Cobertura vegetal .....</b>	<b>53</b>
<b>2.6 Clima e Hidrologia .....</b>	<b>56</b>
2.6.1 Classificação climática.....	56
2.6.2 Temperatura .....	57
2.6.3 Precipitação Pluviométrica .....	58
2.6.4 Evapotranspiração.....	62
2.6.5 Balanço Hídrico .....	63
2.6.6 Caracterização Hidrológica.....	65
Período .....	65
<b>2.7 A ÁREA DA BACIA DO RIO ARARANGUÁ E A QUESTÃO AMBIENTAL .....</b>	<b>66</b>
2.7.1 Problemática dos recursos hídricos subterrâneos.....	67
<b>3 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS: CONCEITOS GERAIS E TRABALHOS ANTERIORES NA ÁREA .....</b>	<b>70</b>
<b>3.1 Importância e Distribuição da Água Subterrânea.....</b>	<b>70</b>
<b>3.2 Origem e Circulação das Águas Subterrâneas.....</b>	<b>73</b>
<b>3.3 Ocorrência de Águas Subterrâneas.....</b>	<b>76</b>
<b>3.4 Aqüíferos.....</b>	<b>78</b>
<b>3.5 Constituintes Iônicos das Águas Subterrâneas .....</b>	<b>80</b>
<b>3.6. Qualidade das águas subterrâneas .....</b>	<b>83</b>
<b>3.7 Poluição da Água Subterrânea.....</b>	<b>86</b>
<b>3.8 Principais Atividades Responsáveis pela Contaminação das Águas Subterrâneas.....</b>	<b>89</b>
<b>3.9 Vulnerabilidade Natural e Riscos de Contaminação dos Aqüíferos .....</b>	<b>93</b>
<b>3.10 Principais Métodos para Avaliação da Vulnerabilidade Natural de Aqüíferos.....</b>	<b>99</b>
<b>3.11 Principais Métodos para Avaliação dos Riscos de Contaminação.....</b>	<b>100</b>

<b>3.12 Principais Trabalhos Relacionados à Caracterização dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do Rio Araranguá.....</b>	<b>103</b>
<b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA O ESTUDO HIDROGEOLÓGICO .....</b>	<b>110</b>
<b>4.1 Obtenção de Dados Existentes .....</b>	<b>110</b>
<b>4.2 Elaboração do Mapa Geológico .....</b>	<b>111</b>
4.2.1 Reinterpretação das fotografias aéreas e imagens de satélite .....	112
4.2.2 Elaboração de seções geológicas de detalhe considerando-se as informações dos perfis litológicos e mapas de avanço da lavra subterrânea. ....	113
4.2.3 Elaboração do modelo digital da lapa da camada de carvão Barro Branco ...	113
4.2.4 Elaboração do modelo digital do topo e base dos Depósitos de Leques aluviais .....	114
4.2.5 Trabalhos de campo .....	115
4.2.6 Confecção do mapa geológico .....	117
<b>4.3 Elaboração do Estudo Hidrogeológico.....</b>	<b>117</b>
4.3.1 Interpretação dos dados geológicos .....	118
4.3.2 Etapa de campo.....	119
4.3.3 Avaliação da permeabilidade e capacidade de infiltração da Formação Rio Bonito e das pilhas de rejeito.....	120
4.3.4 Cálculo do índice de estabilidade do carbonato de cálcio (Ryznar) e índice de saturação (Langelier).....	121
4.3.5 Ensaios de bombeamento .....	121
4.3.6 Estudo hidroquímico .....	121
4.3.7 Métodos de amostragem .....	123
4.3.8 Técnicas analíticas utilizadas .....	123
4.3.9 Elaboração do mapa de fontes de poluição.....	125
4.3.10 Elaboração do mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos .....	125
4.3.10.1 Método <i>DRASTIC</i> .....	126
4.3.10.2 Método <i>GOD</i> .....	133
4.3.11 Confecção do mapa hidrogeológico .....	135
4.3.12 Elaboração de outros mapas temáticos.....	137
<b>5 O NOVO MAPA GEOLÓGICO DA BACIA DO RIO ARARANGUÁ .....</b>	<b>138</b>
<b>5.1 Cristalino .....</b>	<b>139</b>
5.1.1 Granitóides tardi a pós-tectônicos .....	139
<b>5.2 A Seqüência Gonduânica .....</b>	<b>141</b>
5.2.1 Formação Rio do Sul .....	141
5.2.2 Formação Rio Bonito .....	149
5.2.2.1 Descrição Litológica.....	150
5.2.3 Formação Palermo .....	159
5.2.4 Formação Irati.....	160
5.2.5 Formação Estrada Nova .....	162
5.2.6 Formação Rio do Rasto .....	164
5.2.7 Formação Botucatu .....	167
5.2.8 Formação Serra Geral .....	170
<b>5.3 Os Depósitos Cenozóicos .....</b>	<b>174</b>
5.3.1 Sistema de leques aluviais .....	175
5.3.1.1 Depósitos de encostas e de retrabalhamento fluvial .....	177
5.3.1.2 Cabeceira do leque – Ápice do leque .....	179
5.3.1.3 Leque proximal – Parte superior.....	185



5.3.1.4 Leque distal – Parte inferior .....	192
5.3.2 Sistema Laguna-Barreira III.....	194
5.3.2.1 Depósitos praias marinhos e eólicos e de retrabalhamento eólico .....	195
5.3.2.2 Depósitos flúvio-lagunares com retrabalhamento eólico .....	197
5.3.2.3 Depósitos paludiais.....	199
5.3.3 Sistema Laguna-Barreira IV .....	199
5.3.3.1 Depósitos lagunares com retrabalhamento eólico.....	200
5.3.3.2 Depósitos praias marinhos e eólicos com retrabalhamento eólico .....	200
5.3.4 Depósitos aluviais atuais .....	202
<b>5.4 Aspectos Estruturais.....</b>	<b>202</b>
5.4.1 Área correspondente à bacia carbonífera.....	203
5.4.1.1 Sistema N5 <sup>0</sup> -30 <sup>0</sup> W .....	205
5.4.1.2 Sistema N60 <sup>0</sup> -75 <sup>0</sup> E .....	211
5.4.1.3 Sistema N-S-N20 <sup>0</sup> E .....	212
5.4.1.4 Sistema N30 <sup>0</sup> -45 <sup>0</sup> E .....	212
5.4.1.5 Sistema N30 <sup>0</sup> -45 <sup>0</sup> W .....	213
5.4.1.6 Sistema E-W.....	214
5.4.2 Área costeira situada entre a BR-101 e o litoral .....	216
5.4.3 Área central e oeste da bacia do rio Araranguá .....	221
5.4.4 Análise integrada das falhas e fraturas da bacia .....	224
<b>6 HIDROGEOLOGIA DA BACIA DO RIO ARARANGUÁ .....</b>	<b>227</b>
<b>6.1 Considerações Iniciais.....</b>	<b>227</b>
<b>6.2 Caracterização dos Sistemas Aquíferos .....</b>	<b>228</b>
6.2.1 Sistema aquífero relacionado à Formação Rio do Sul.....	230
6.2.1.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica.....	231
6.2.1.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação.....	235
6.2.1.3 Potencialidade aquífera .....	236
6.2.1.4 Aspectos hidroquímicos.....	238
6.2.2 Sistema aquífero relacionado à Formação Rio Bonito.....	239
6.2.2.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica.....	239
6.2.2.2 Vulnerabilidade e riscos de contaminação .....	245
6.2.2.3 Características hidroquímicas.....	247
6.2.2.4 Potencialidade aquífera .....	268
6.2.3 Sistema aquífero relacionado às Formações Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto .....	281
6.2.3.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica.....	281
6.2.3.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação.....	283
6.2.3.3 Potencialidade aquífera .....	283
6.2.3.4 Aspectos Hidroquímicos .....	284
6.2.4 Sistema aquífero relacionado às Formações Rio do Rasto e Botucatu (sistema aquífero Guarani) .....	291
6.2.4.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica.....	291
6.2.4.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação.....	292
6.2.4.3 Aspectos hidroquímicos.....	294
6.2.4.4 Potencialidade aquífera .....	296
6.2.5 Sistema aquífero relacionado às rochas basálticas da Formação Serra Geral .....	297
6.2.5.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica.....	297
6.2.5.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação.....	299

6.2.5.3	Potencialidade aquífera .....	299
6.2.5.4	Aspectos hidroquímicos .....	305
6.2.6	Sistema aquífero relacionado aos depósitos de leques aluviais .....	307
6.2.6.1	Distribuição e caracterização hidrogeológica .....	307
6.2.6.2	Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação .....	314
6.2.6.3	Aspectos qualitativos .....	315
6.2.6.4	Potencialidade aquífera .....	322
6.2.7	Sistema aquífero relacionado aos depósitos arenosos marinhos com retrabalhamento eólico .....	325
6.2.7.1	Distribuição e caracterização hidrogeológica .....	325
6.2.7.2	Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação .....	325
6.2.7.3	Aspectos hidroquímicos .....	326
6.2.7.4	Potencialidade Aquífera .....	329
6.2.8	Sistema aquífero relacionado aos depósitos Paleo-Lagunares .....	330
6.2.8.1	Distribuição e caracterização hidrogeológica .....	330
6.2.8.2	Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação .....	331
6.2.8.3	Potencialidade aquífera .....	331
6.2.8.4	Aspectos hidroquímicos .....	331
6.2.9	Sistema aquífero relacionado aos depósitos Flúviolagunares .....	331
6.2.9.1	Distribuição e caracterização hidrogeológica .....	331
6.2.9.2	Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação .....	332
6.2.9.3	Potencialidade aquífera .....	332
6.2.9.4	Aspectos hidroquímicos .....	332
<b>7</b>	<b>CADASTRAMENTO DE PONTOS DE ÁGUA .....</b>	<b>333</b>
<b>7.1</b>	<b>Condições de Exploração .....</b>	<b>335</b>
7.1.1	Poços Tubulares .....	336
<b>7.2</b>	<b>Disponibilidade Instalada e Produtividade dos Aquíferos .....</b>	<b>342</b>
7.2.1	Usuários de água subterrânea na bacia do rio Araranguá .....	343
7.2.2	Considerações a respeito da captação através de poços rasos do tipo escavado no Sistema Aquífero Leques Aluviais .....	346
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>349</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>360</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>VOLUME 2</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Localização da bacia hidrográfica do rio Araranguá. ....	32
Figura 2 Coluna estratigráfica da área. ....	35
Figura 3: Vista panorâmica do alto curso do rio São Bento. ....	51
Figura 4: Balanço hídrico mensal de Araranguá. ....	63
Figura 5: Balanço hídrico mensal de Meleiro. ....	64
Figura 6: Balanço hídrico mensal de Timbé do Sul. ....	64
Figura 7: Balanço hídrico mensal de Urussanga. ....	64
Figura 8: Representação esquemática do ciclo hidrológico ....	73
Figura 9: Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e. ....	77
Figura 10: Diagrama mostrando porosidade, retenção específica e vazão específica ...	78
Figura 11:Tipologia de aquíferos. ....	79
Figura 12: Avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas. ....	103
Figura 13: Esquema de combinação dos parâmetros utilizados no método <i>GOD</i> . ....	135
Figura 14: Embasamento cristalino no alto vale do Rio Mãe Luzia. ....	140
Figura 15: Foto aérea mostrando a localização dos furos PTR-01, PTR-02 e PTR-03..	144
Figura 16: Seção litofaciológica mostrando o alto do embasamento nas proximidades da cidade de Treviso. ....	145
Figura 17: Ritmitos com estruturas convolutas e estruturas de carga <i>slurry</i> . ....	147
Figura 18: Arenitos fluidizados com estruturas de carga e escorregamento e siltitos com estruturas convolutas. ....	151
Figura 19: Membro Paraguaçu. Intercalação de siltitos e arenitos finos com estratificação ondulada. ....	153
Figura 20: Membro Paraguaçu. Detalhe da estratificação ondulada em arenitos finos.. ....	153
Figura 21: Arenitos com estruturas tipo <i>heringbone</i> que ocorrem no topo desta seqüência. Local: acesso à Mina Esperança, Município de Treviso. ....	156
Figura 22: Detalhe da estrutura tipo <i>heringbone</i> . Local: acesso à Mina Esperança, Município de Treviso. ....	156
Figura 23: Arenitos com estruturas tipo <i>hummocky</i> , que constituem a lapa da camada de carvão Barro Branco. Local: acesso à Mina Esperança, Município de Treviso. ....	157
Figura 24: Detalhe da estrutura tipo <i>hummocky</i> . Local: acesso à Mina Esperança, Município de Treviso. ....	158
Figura 25: Espesso pacote de folhelhos, siltitos e arenitos. ....	163
Figura 26: Afloramento da Formação Rio do Rasto. ....	166
Figura 27: Detalhe do afloramento da Formação Rio do Rasto. Local: Município de Araranguá. ....	166
Figura 28: Porção basal de arenitos da Formação Botucatu. Pedreira no município de Jacinto Machado. ....	168
Figura 29: Detalhe dos arenitos da Formação Botucatu. ....	169
Figura 30: Seção geológica N-S ....	173
Figura 31: Movimentos de massas na encosta superior da escarpa. ....	176
Figura 32: Delimitação das porções dos depósitos de leques aluviais. ....	180
Figura 33: Escorregamentos que originam os <i>debris flow</i> e <i>mud flow</i> . Local: alto vale do rio Fortuna. Município de Timbé do Sul. Foto cedida pelo Prof. Pélérin. ....	181
Figura 34: Na encosta, aspecto de um antigo depósito de leque. ....	181
Figura 35: Leque aluvial totalmente alterado. Local: arredores de Timbé do Sul. ....	184
Figura 36: Clastos de rochas basálticas alterados. ....	185

Figura 37: Depósito de transbordamento. Local: Rio Mãe Luzia, à jusante da cidade de Forquilha.	187
Figura 38: Depósito de transbordamento. Nota-se a presença de estruturas sedimentares tipo fendas de lama. Local: Rio Mãe Luzia, à jusante da cidade de Forquilha. ..	189
Figura 39: Mapa de Isópacas da espessura dos depósitos rudáceos.	191
Figura 40: Seção litofaciológica Jacinto Machado-Maracajá.	193
Figura 41: Ao fundo terraço marinho pertencente ao Sistema Laguna Barreira III. Em primeiro plano cordão litorâneo atual. Ao centro Lagoa Mãe Luzia. Local: Barra Velha. ....	196
Figura 42: Ilustra a colmatação deste baixio de lama pela migração	201
Figura 43: Comportamento estrutural da Falha Norte-Sul	205
Figura 44: Seção litofaciológica entre os furos PTR-01, PTR-02 e PTR-03. Local: Vale do Rio Ferreira junto à cidade de Treviso.	207
Figura 45: Seção geológica na localidade de São Pedro.	209
Figura 46: Seção geológica C-D – Içara – Araranguá.	220
Figura 47: Mapa de fraturas da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, obtidas a partir das fotografias aéreas na escala 1:60.000, de 1965/66.	225
Figura 48: Diagrama de roseta das falhas e fraturas	226
Figura 49: Mapa de densidade de fraturas. As cores “quentes” indicam áreas mais fraturadas. ....	226
Figura 50: Conglomerado com seixos de composição granítica. Fácies basal da Formação Rio do Sul. Local Furo PTR-03, junto à cidade de Treviso.	232
Figura 51: Perfil técnico do poço construído na localidade de São Pedro, Treviso.	233
Figura 52: Localização dos piezômetros. Área da Vila Funil, nas proximidades da cidade de Siderópolis.	242
Figura 53: Diagrama de Piper do Aquífero Rio Bonito.	249
Figura 54: Comportamento das águas do Sistema Aquífero Rio Bonito.	250
Figura 55: Diagrama de Piper da água do rio Mãe Luzia à montante das áreas mineradas e do poço.	253
Figura 56: Comportamento das águas subterrâneas na porção correspondente ao alto curso do rio Mãe Luzia.	256
Figura 57: Comportamento das águas subterrâneas no município de Siderópolis, em poços tubulares e poços escavados.	256
Figura 58: Comportamento das águas subterrâneas no município de Criciúma.	257
Figura 59: Variação da concentração de sulfatos nas águas dos pontos analisados – Formação Rio Bonito.	262
Figura 60: Variação da concentração do manganês nas águas dos pontos analisados – Formação Rio Bonito.	263
Figura 61: Variação da concentração do ferro total nas águas dos pontos analisados – Formação Rio Bonito.	263
Figura 62: Variação do pH, sulfatos, ferro total, magnésio e manganês	264
Figura 63: Diagrama para classificação das águas de irrigação	267
Figura 64: Detalhe do ensaio de bombeamento.	271
Figura 65: Resultados do ensaio escalonado no poço P-1.	271
Figura 66: Resultados do ensaio escalonado no piezômetro Pz.	272
Figura 67: Teste de bombeamento e localização dos furos PTR-01, PTR-02 e PTR-03. Local: Vale do rio Ferreira, município de Treviso.	274
Figura 68: Posicionamento dos furos PTR-03 e PTR-02 com relação à falha N30 <sup>0</sup> W	276
Figura 69: Gráfico Tempo-Rebaixamento com vazão.	279
Figura 70: Método da Distância-Tempo-Rebaixamento por COOPER; JACOB (1946).	279

Figura 71: Método de Theis – Aqüífero Confinado.....	280
Figura 72: Gráfico de Piper para as águas da Formação Palermo. ....	285
Figura 73: Gráfico de Piper para as águas da Formação Irati.....	286
Figura 74: Diagrama para classificação das águas de irrigação .....	289
Figura 75: Diagrama para classificação das águas de irrigação em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Irati. ....	290
Figura 76: Mapa de linhas equipotenciais e de fluxo .....	293
Figura 77: Diagrama de Piper para as águas do Sistema Aqüífero Rio do Rasto.....	294
Figura 78: Diagrama de SAR para as águas do Sistema Aqüífero Rio do Rasto (terço superior) e Botucatu – Aqüífero Guarani. ....	296
Figura 79: Gráfico Rebaixamento/vazão/tempo. Poço PNV03.....	304
Figura 80: Cálculo da transmissividade e capacidade de armazenamento. ....	304
Figura 81: Diagrama de Piper para as águas do Sistema Aqüífero Serra Geral.....	305
Figura 82: Diagrama de SAR para as águas da Formação Serra Geral. ....	307
Figura 83: Mapa da Área de Ocorrência dos Leques Aluviais. ....	309
Figura 84: Mapa de Espessura .....	311
Figura 85: Mapa de linhas equipotenciais e linhas de fluxo – Leques Aluviais .....	312
Figura 86: Diagrama de Piper para as águas do Sistema Aqüífero Leques Aluviais. ....	316
Figura 87: Variação do pH, sulfato, ferro total, magnésio, manganês.....	321
Figura 88: Diagrama de SAR para as águas do Sistema Aqüífero Leques Aluviais. ....	322
Figura 89: Diagrama de Piper .....	328
Figura 90: Diagrama de RAS – Sistema Aqüífero Barreiras Marinhas com retrabalhamento eólico. ....	329
Figura 91: Distribuição por tipo de captação dos pontos de água subterrânea cadastrados na bacia do rio Araranguá. ....	334
Figura 92: Distribuição por município dos pontos de água subterrânea cadastrados na bacia do rio Araranguá .....	334
Figura 93: Distribuição por tipo de captação dos pontos de água subterrânea cadastrados no município de Araranguá. ....	335
Figura 94: Frequência da disponibilidade implantada por tipo de captação na Bacia do Rio Araranguá. (unidade referencial m <sup>3</sup> /h) .....	336
Figura 95: Percentual da disponibilidade implantada por sistema aqüífero na Bacia do Rio Araranguá. (unidade referencial m <sup>3</sup> /h) .....	337
Figura 96: Representação da profundidade dos poços tubulares profundos por Sistema Aqüífero na Bacia do Rio Araranguá. ....	341
Figura 97: Vazão dos poços tubulares profundos cadastrados na bacia do rio Araranguá (unidade referencial de consumo m <sup>3</sup> /h em 12 horas de trabalho). ....	343
Figura 98: Usuários de água subterrânea – Município de Araranguá. ....	344
Figura 99: Disponibilidade de água subterrânea no município de Araranguá.....	344
Figura 100: Distribuição dos usuários na bacia do rio Araranguá. ....	346
Figura 101: Disponibilidade implantada de água subterrânea .....	347
Figura 102: Usuários de água subterrânea .....	347
Figura 103: Disponibilidade implantada de água subterrânea .....	348
Figura 104: Usuários de água subterrânea .....	348
Figura 105: Disponibilidade implantada de água subterrânea .....	348
Figura 106: Usuários de água subterrânea .....	348
Figura 107: Disponibilidade implantada de água subterrânea .....	348
Figura 108: Usuários de água subterrânea .....	348

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores médios mensais das variáveis meteorológicas registradas na estação meteorológica de Urussanga, SC .....	59
Tabela 2: Estações pluviométricas estudadas.....	60
Tabela 3: Totais médios mensais e anuais de precipitação pluviométrica observada no período de 1977 a 1998.....	61
Tabela 4: Número de dias de chuva observada nas diferentes estações pluviométricas no período de 1977-1998.....	61
Tabela 5: Intensidade média da precipitação (mm/dia) .....	62
Tabela 6: Estações fluviométricas estudadas.....	65
Tabela 7: Vazões específicas (l/s/km <sup>2</sup> ) do Rio do Salto (Área 336 km <sup>2</sup> ) e.....	66
Tabela 8: Potencialidade hídrica mundial .....	72
Tabela 9: Valores representativos de vazões específicas para alguns tipos litológicos (adaptado de JOHNSON apud TODD, 1980).....	76
Tabela 10: Resumo dos guias da OMS para a qualidade da água potável, adaptado de FOSTER; HIRATA (1993).....	85
Tabela 11: Classificação de mapas de vulnerabilidade da água subterrânea (adaptado de VRBA; ZAPOROZEC, 1994).....	96
Tabela 12: Volume de cascalho contido nos depósitos de leques aluviais na área da bacia do Araranguá.....	115
Tabela 13: Parâmetros analisados durante este trabalho de tese no laboratório do IPAT/UNESC.....	124
Tabela 14: Pesos dos fatores envolvidos na metodologia do <i>DRASTIC</i> .....	129
Tabela 15: Valores relativos a faixas de variação do nível d'água .....	129
Tabela 16: Valores relativos a faixas de variação de recarga .....	129
Tabela 17: Valores relativos a faixas de variação do meio aquífero.....	130
Tabela 18: Valores relativos a faixas de variação dos solos .....	130
Tabela 19: Valores relativos a faixas de variação da topografia.....	130
Tabela 20: Valores relativos a faixas de variação do impacto da zona vadosa.....	131
Tabela 21: Valores relativos a faixas de variação da condutividade hidráulica .....	131
Tabela 22: Faixas de variação dos índices <i>DRASTIC</i> .....	132
Tabela 23: Ensaio de infiltração. Parâmetros de Kostiaikov.....	243
Tabela 24: Resultados dos ensaios de permeabilidade .....	244
Tabela 25: Síntese dos laudos de análise de água de piezômetros aprofundados até a Formação Rio Bonito. Vila Funil, Município de Siderópolis.....	251
Tabela 26: Relação dos parâmetros analisados com os padrões de potabilidade contidos na Portaria do Ministério da Saúde N <sup>o</sup> 1469/2000.....	254
Tabela 27: Relação dos estudos e suas respectivas siglas de poços que foram utilizados como complemento dos resultados de análises de águas subterrâneas .....	255
Tabela 28: Características físico-químicas e microbiológicas dos pontos de água – Formação Rio Bonito. ....	259
Tabela 29: Frequência relativa de cada classe .....	268
Tabela 30: Síntese das informações do teste de bombeamento.....	270
Tabela 31: Informações do poço de observação. PTR-02.....	277
Tabela 32: Informações do poço de bombeamento. PTR-03 .....	278
Tabela 33: Características físico-químicas e microbiológicas dos pontos de água – Formação Palermo.....	287

Tabela 34: Características físico-químicas e microbiológicas dos pontos de água – Formação Irati.....	288
Tabela 35: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Palermo .....	290
Tabela 36: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Irati.....	291
Tabela 37: Características físico-químicas e microbiológicas – Sistema Aquífero Rio do Rasto (terço superior) e Botucatu – Aquífero Guarani .....	295
Tabela 38: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Rio do Rasto.....	296
Tabela 39: Ensaio de bombeamento do poço PNV-03.....	303
Tabela 40: Características físico-químicas e microbiológicas dos pontos de água da Formação Serra Geral. ....	306
Tabela 41: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Serra Geral .....	307
Tabela 42: Características físico-químicas e bacteriológicas dos pontos de água dos Leques Aluviais. ....	317
Tabela 43: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para os Depósitos de Leques Aluviais .....	322
Tabela 44: Características físico-químicas e microbiológicas dos pontos de água dos Depósitos Arenosos Marinhos com retrabalhamento Eólico .....	327
Tabela 45: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos .....	329
Tabela 46: Número de pontos de água cadastrados na Bacia do Rio Araranguá. ...	333
Tabela 47: Informações cadastrais dos poços tubulares.....	338
Tabela 48: Profundidade dos poços tubulares. ....	341

## 1 INTRODUÇÃO

Sabemos que a vida veio dos oceanos. A origem da vida somente foi possível pela existência da água em estado líquido. Mas sabemos também que desde a Antigüidade os mares são os depositários naturais de enormes quantidades de resíduos, seja pelo despejo de óleos, voluntário ou acidental, seja pelo lançamento de grandes quantidades de produtos químicos e dejetos provenientes do continente, através dos rios, da chuva ou das águas residuais neles lançados diretamente.

No início deste novo milênio, praticamente em todo o mundo, nenhum recurso natural tem preocupado tanto governantes, administradores, especialistas e estudiosos do assunto como a água. Sua importância advém do fato de ter sido sua existência determinante para o aparecimento da vida, constituindo um recurso imperativo para a sobrevivência da espécie humana e determinante da qualidade do *habitat* terrestre de todos os seres vivos. Mas a preocupação com este recurso tem muito a ver com sua escassez e com a qualidade dos seus mananciais. Talvez nenhum desafio seja atualmente mais crucial para a humanidade do que a falta de água. Um país sem água não pode nem alimentar sua população nem se desenvolver. Embora existindo em grande quantidade na superfície terrestre, pode-se asseverar que a água já é um recurso escasso, considerando-se seu aproveitamento para grandes núcleos populacionais, em um número cada vez maior de países, em todas as latitudes.

Diante desta ameaça vital de penúria de água, multiplicam-se os encontros internacionais para tentar desenvolver mundialmente uma visão da gestão dos recursos de água e para fazer com que os povos se engajem na busca de soluções para este problema de escala planetária.

A falta de água causa, direta ou indiretamente, a morte de mais de dez milhões de pessoas por ano, quer por fome e sede, quer por insalubridade, pois, na verdade, são inúmeras as doenças surgidas com a poluição hídrica e com as que derivam da falta desse recurso para possibilitar condições de acesso aos bens alimentares. Na estrutura física do ser humano, a água constitui mais de 60%, percentagem esta ainda mais elevada nas crianças.

Para GIUFFRIDA (2003), vinte e nove países já têm problemas com a falta de água e este quadro tende a ficar ainda pior. Cientistas projetam que por volta de



2025 dois terços dos habitantes do planeta serão, de algum modo, afetados pela escassez – passando sede ou contraindo doenças como cólera e amebíase, causadas pela má qualidade da água. Para esta autora “é uma crise sem precedentes na história da humanidade. Em escala mundial nunca houve problema semelhante”. Para ela o problema já teve início. “A falta d’água já afeta o Oriente Médio, China e o norte da África. Até o ano 2050, as previsões são sombrias. A Organização Mundial da Saúde (OMS) calcula que 50 países enfrentarão crise no abastecimento de água”.

De acordo com as Nações Unidas, a falta de uma orientação no sentido de um esforço mundial conjunto fará com que em aproximadamente 25 anos dois terços da humanidade não tenham água potável para uso corrente. Segundo a ONU, um terço da população mundial vive hoje em regiões de moderado a alto estresse hídrico, isto é, com um nível de consumo 20% superior à sua disponibilidade de água. Este mesmo órgão prevê a elevação para dois terços da população vivendo esta situação dentro de aproximadamente 30 anos (World Meteorological Organization; apud FREITAS SANTOS, 2003).

A água, enquanto recurso finito e essencial à vida na Terra, constitui hoje, mais que um simples bem natural, e sua preservação uma questão política não apenas local, mas mundial, pois que os mananciais fluviais e subterrâneos atravessam, em muitos casos, as fronteiras de vários países, impondo uma correlação de forças entre os que se encontram a montante e aqueles que se encontram à jusante dos cursos d’água, não raramente motivo de conflitos e de dissidências.

O mundo caminha para a escassez de água. Guerras são previstas devido à falta de água e a disputas pelo seu controle. Ter acesso à água é, pois, uma aposta econômica poderosa em escala mundial que pode se tornar, neste século, a causa principal de tensões internacionais.

Segundo COLLOMB,

Mais de 200 bacias fluviais e lacustres atravessam fronteiras internacionais. Mais de dez rios atravessam pelo menos seis países. A maioria dos países do Oriente Médio compartilham lençóis freáticos. Israel exerce um rígido controle sobre a utilização da água na Cisjordânia e também no Jordão. Os palestinos acusam os colonos israelenses de comprometer sua própria alimentação de água indo buscar sua água mais profundamente que eles. A Jordânia se queixa de ser privada dos recursos de água necessários às suas necessidades crescentes. E a partilha das águas alimenta as tensões

permanentes entre Israel, a Síria e o Líbano (COLLOMB, 1995).

Assim, para GIUFFRIDA (2003), a humanidade poderá assistir, neste milênio, a uma nova modalidade de guerra: a guerra pela água. Segundo esta autora, um relatório do Banco Mundial de 1995 já previa que as guerras do século XXI terão como motivo a disputa pela água, ao contrário dos conflitos do século XX, cuja causa foram questões políticas ou a disputa pelo petróleo. No Iraque, já se trocou um barril de água mineral por dois barris de petróleo. Já em 1967, o controle da água desencadeou uma guerra no Oriente Médio. Israel bombardeou obras para desviar o curso do rio Jordão e de seus afluentes, feitas pelos árabes sob a alegação de que perderia boa parte de sua capacidade hídrica. O rio Jordão, principal rio da região, nasce ao sul do Líbano sendo a fronteira de Israel com a Jordânia.

BOUTROS-GHALI afirmou que a “água assumirá no século XXI o papel político que o petróleo teve no século XX.” (BOUTROS GHALI, apud GRANDE, 2001).

Nas relações multilaterais entre países do Oriente Médio e do Golfo Pérsico, do Norte e do Centro da África, a carência de água é o motivo subjacente de fortes disputas (GRANDE, 2001).

Esta situação não é de modo algum recente.

Já em 1503, Leonardo da Vinci conspirava com Maquiavel para desviar o curso do rio Arno afastando-o de Pisa, uma cidade com a qual Florença, sua cidade natal, estava em guerra. Pesquisadores americanos mostraram igualmente que desde a Idade Média as desordens sociais na África coincidiam com os períodos de seca. Nas sociedades asiáticas, a água era um instrumento de força política: a ordem social, as repressões e as crises políticas dependiam dos caprichos das chuvas (BARRAQUÉ, 2003).

A análise política da questão que cerca a carência de água implica uma visão integrada dos vários setores sociais com a qual esta carência está relacionada, passando pela agricultura, pela pesca, pelo ordenamento do território, pela geração de energia, entre outros. Fatores como o aumento da temperatura média da atmosfera, o crescimento demográfico, o aumento da demanda por solos agricultáveis e a urbanização sem preservação ecológica permitem antever-se a magnitude e a complexidade das estratégias de uma política de correta utilização da água.

Na Europa, já preocupa fortemente a necessidade de se relacionarem as

diversas atividades com os níveis de aplicação da água em cada segmento social.

Um forte indicador da necessidade de se colocar uma nova filosofia que conclame os povos do mundo inteiro no sentido de buscarem um aproveitamento justo e equilibrado deste recurso imperativo e essencial é o fato de ter diminuído, ao longo do século XX, de 0,24 para 0,12 hectares a fração de terra agricultável por pessoa, em conseqüência da falta de coordenação entre as diversas políticas setoriais a nível mundial.

Respeitar a importância deste recurso é um dever cívico que deve fazer com que todos assumamos uma nova atitude perante todas as questões referentes à sua utilização. A ninguém é dado permanecer indiferente aos problemas cada vez mais cruciais da participação individual e coletiva na construção de um modelo de relação entre os cidadãos e os povos que enseje a utilização correta e coerente dos recursos hídricos, em nome da sobrevivência da espécie e do progresso da humanidade (GRANDE, 2001).

Para MONTORO, (1993) :

A escassez e o uso abusivo da água doce, constitui hoje uma ameaça crescente ao desenvolvimento e à proteção do meio ambiente. A saúde e o bem-estar de milhões de pessoas, a alimentação, o desenvolvimento sustentável e os ecossistemas estão em perigo. (...) A água é um valioso elemento promotor do desenvolvimento e do progresso (...) (sic).

Para FREITAS E SANTOS (2003), a água é um recurso natural essencial, quer na composição bioquímica dos seres vivos, quer como meio de vida para várias espécies vegetais e animais, como elemento que representa valores sociais e culturais ou ainda como fator de produção de vários bens de consumo. Quanto à sua importância para o metabolismo humano, basta a afirmação de que o homem pode resistir sem ingerir alimentos por um período de cerca de um mês, mas não pode ficar sem beber água por mais de quarenta e oito horas.

Para esses autores os recursos hídricos têm grande importância no desenvolvimento de diversas atividades econômicas. Na produção agrícola, a água pode representar até 90% da composição física das plantas. Sua carência no período de crescimento dos vegetais pode destruir lavouras e até mesmo ecossistemas já implantados. Na indústria, muitas vezes a quantidade de água empregada na produção de um produto supera o volume do produto produzido. O crescimento da demanda por água de boa qualidade dá-se em uma taxa superior à

da renovabilidade do ciclo ecológico, conforme técnicos e cientistas internacionais, o que tende a se transformar em uma das maiores pressões antrópicas sobre os recursos naturais do planeta neste século.

O consumo de água cresceu mais de seis vezes entre 1900 e 1995, pressionado pela crescente demanda dos setores agrícola, industrial e residencial. Embora as fontes hídricas sejam abundantes, elas são, no mais das vezes, mal distribuídas na superfície do planeta. Algumas áreas não contam atualmente senão com recursos hídricos subterrâneos, tão elevadas foram as retiradas de água superficial em comparação à oferta. Em outros casos, esta limitação provém do fato de se encontrarem as águas superficiais totalmente impróprias para qualquer consumo mais nobre.

Conforme FREITAS E SANTOS (2003), “na mesma proporção que fontes d’água potável são reduzidas, a competição por elas tem aumentado, conseqüência imediata da expansão de áreas urbanas e de novas demandas agro-industriais.”

A aparente abundância de água doce no planeta desfaz-se ao constatarmos o enorme crescimento da demanda, o grave estado de poluição em que se encontram muitos dos mananciais hídricos, a desigualdade com que esta fonte de vida se distribui sobre o globo terrestre e o enorme desperdício por parte da indústria, dos núcleos urbanos, das atividades agro-pastoris e de lazer, sem que falemos ainda da necessidade de se prover água potável para toda uma população mundial que ultrapassa hoje os seis bilhões de pessoas. Apenas nove países compartilham 60% das reservas mundiais de água doce: o Brasil, a Rússia, os Estados Unidos, o Canadá, a China, a Indonésia, a Índia, a Colômbia e o Peru (BARRAQUÉ, 2003). Mas este privilégio não lhes dá o direito ao desperdício e à imprevidência no uso deste bem. Não raramente este desequilíbrio tem lugar dentro das fronteiras de um mesmo país, como é o caso do Brasil, onde uma vasta região semi-árida convive lado a lado com uma das regiões mais bem aquinhoadas do planeta em termos de água doce.

Sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável, a água é hoje considerada um direito fundamental desta e das futuras gerações. É, portanto, um bem público, cuja redução do desperdício, em nível de poder público, empresariado e sociedade civil, é uma responsabilidade difusa. O reconhecimento da importância e o respeito a este bem natural é simplesmente um dever cívico.

E quando falamos de água, pensamos instantaneamente em rios, lagos e

oceanos, mas não nos lembramos, em geral, das imensas reservas de água subterrânea, das quais o Brasil é também um dos maiores depositários. No entanto, as reservas de água subterrânea são estimadas em 20 vezes o volume das águas superficiais dos rios e lagos.

Não obstante sua condição de preciosidade guardada a sete chaves pelas entranhas da Terra, o que as torna menos vulneráveis à poluição e menos sujeitas à evaporação, as águas subterrâneas, em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, vêm sendo alvo de desperdício, de mau uso e de intenso processo de poluição.

Historicamente, o homem sempre tentou se fixar em zonas onde houvesse águas subterrâneas. Elas sempre desempenharam um papel fundamental onde quer que o homem se estabelecesse e sua natureza suplementar não pode ser subestimada, especialmente em regiões áridas e semi-áridas (BORELIN, 2003). Túneis e poços construídos para captação de água na Pérsia (atual Irã) e no Egito, por volta de 800 a.C., comprovam que as águas subterrâneas são aproveitadas pelo homem desde a antiguidade. Na Bíblia há referência expressa à água subterrânea quando Moisés bate com seu cajado em uma rocha e faz surgir uma fonte de água (TOLMAN, apud MANOEL FILHO, 1997).

No mundo globalizado de hoje, o estudo da água subterrânea assume cada dia uma importância maior como instrumento capaz de prover solução para os problemas de suprimento hídrico e de controle de poluição, intrínsecos às atividades humanas.

Para COLLOMB, “as águas subterrâneas, potencial muito importante de exploração no mais das vezes caro, vão se tornar objeto de uma acirrada concorrência” (COLLOMB, 1995).

Mas o problema da água no mundo não é apenas quantitativo. Ele é também qualitativo. Para este mesmo autor:

A água torna-se, mais que a terra, uma aposta estratégica de primeira importância. Seu custo vai obrigar a uma gestão rigorosa. Nas três fontes, doméstica, agrícola e industrial – mais particularmente nas duas primeiras – o consumo e a poluição crescem com a população e o desenvolvimento. (COLLOMB, 1995)

Para MANOEL FILHO:

De fato, tem sido observado nos últimos anos que o crescimento populacional, além de aumentar as necessidades hídricas, responde pelo aumento da poluição ambiental. Nesse contexto, o aproveitamento criterioso da água subterrânea, como fator essencial para o desenvolvimento, enfrenta pelo menos três desafios, no

tocante à necessidade de conhecimentos. O primeiro, nos campos hidrogeológicos da **exploração, avaliação e exploração**. O segundo, nos domínios da **proteção** e da **conservação**. Sob esse aspecto, a contaminação da água subterrânea pelo homem, nunca imaginada em tempos mais remotos, começou há cerca de 20 anos nos países mais desenvolvidos e já ocorre em muitos locais do Brasil. Nos últimos 10 anos a literatura hidrogeológica vem tratando e destacando o assunto como algo preocupante, na medida em que nada parece indicar uma redução na tendência de crescimento da poluição dos aquíferos pela atividade humana. Ao contrário, a poluição dos principais aquíferos, isto é, daqueles mais facilmente acessíveis ao homem e por isso mesmo mais utilizados e mais vulneráveis, não cessa de crescer. O terceiro desafio, portanto, está associado com a necessidade de conhecimentos para bem **planejar** e **administrar**, tanto os diversos usos quanto a proteção da água subterrânea.

A gestão dos recursos hídricos tem, pois, um papel preponderante na gestão ambiental, cuja unidade ideal é justamente a bacia hidrográfica e em cujos limites se pode controlar o fluxo e o uso da água. O principal objetivo de um processo de gestão é tratar de modo integral os sistemas hídricos ou bacias, a fim de promover seu aproveitamento, sua proteção e sua recuperação como forma de satisfazer as demandas cada vez maiores da população (grifo do autor) (MANOEL FILHO, 1997).

No Brasil, a Lei Federal 9.433/97 enumera claramente os cinco princípios básicos praticados hoje em todos os países que progrediram na gestão das águas ou de seus recursos hídricos. E o princípio nº 1 é a “Adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento.” (REBOUÇAS, 2002, p. 87).

“As bacias, seus recursos naturais (fauna, flora e solo) e os grupos sociais possuem diferentes características biológicas, sociais, econômicas e culturais que permitem individualizar e ordenar seu manejo em função de suas peculiaridades e identidade.” (SEMANA INTERAMERICANA DA ÁGUA, 2003)

Conforme a Declaração de Dublin sobre a Água na Perspectiva de um Desenvolvimento Durável, “A entidade geográfica que melhor se presta à planificação e à gestão dos recursos de água é a bacia, águas de superfície e subterrâneas.” (DÉCLARATION DE DUBLIN, 1992).

No Brasil, a hidrologia, desde suas origens, por razões culturais, econômicas e técnicas, privilegiou o aproveitamento das águas de superfície em detrimento das águas subterrâneas.

Percorrendo-se a história da água, tanto no plano institucional como legal, pode-se dizer que houve significativos avanços para a hidrologia de superfície desde a elaboração do Código das Águas e sua regulamentação, passando pela

regulamentação do seu uso para fins de outorga, de maneira a dispor, na atualidade, de instrumentos jurídicos e legais que permitem estabelecer um aproveitamento racional desse valioso recurso. O mesmo não se pode dizer das águas subterrâneas, para as quais não se aprimoraram dispositivos institucionais e legais que estimulassem o aproveitamento racional dos aquíferos, cujo volume de água disponível é bem superior ao dos cursos d'água. Neste contexto, MANOEL FILHO ressalta que

embora pareça óbvio que a água subterrânea quando presente em uma região, deve ser utilizada em conjunto com a água de superfície, a verdade é que em muitas partes do mundo, inclusive no Brasil, existe ainda certa relutância quando se trata de incluir a água subterrânea no planejamento e gestão dos recursos hídricos. (MANOEL FILHO, 1997, p. 7)

Entende-se que a gestão dos recursos hídricos deva incluir tanto os recursos superficiais como os subterrâneos, incorporando cada um deles no sistema de acordo com suas características específicas, pois, de qualquer maneira, todo o controle exercido sobre um recurso acabará interferindo no outro. Sabe-se que a água superficial pode transformar-se em água subterrânea através da infiltração da água da chuva, do excesso de água para irrigação, da percolação proveniente dos rios, canais e lagos como também através da recarga artificial. Por outro lado, água subterrânea pode transformar-se em água superficial através de descarga de base de rio, escoamento em fontes e drenagem agrícola (CABRAL, 1997).

No caso de Santa Catarina, a ausência de uma política clara por parte das administrações governamentais com relação aos recursos hídricos subterrâneos certamente está relacionada à falta de informações consistentes a respeito das disponibilidades quantitativas e qualitativas dos diferentes sistemas aquíferos existentes no Estado.

O trabalho *Bacias Hidrográficas: diagnóstico geral* (SANTA CATARINA, 1997b), realizado com o objetivo de subsidiar a implantação do Plano Estadual de Recursos Hídricos, cuja função é implementar um sistema de gestão e gerenciamento de Recursos Hídricos através de bacias hidrográficas, pouco se refere aos recursos hídricos subterrâneos. Da mesma forma, a Lei Federal n. 9.433 de 08/01/97, que estabelece o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, deixa muito a desejar no tocante à utilização dos recursos hídricos subterrâneos no novo modelo de administração das águas definido para o Brasil.

A escolha dos recursos hídricos subterrâneos como tema da proposta desta tese de Doutorado centra-se, em um primeiro momento, no objetivo de subsidiar o preenchimento de uma grande lacuna, relacionada ao estágio atual do conhecimento destes recursos, no que se refere a tipos de sistemas aquíferos presentes na bacia do rio Araranguá bem como às suas potencialidades, aspectos qualitativos, vulnerabilidade natural e riscos de contaminação.

Cabe ressaltar que o presente projeto se beneficiará, também, das informações que estão sendo disponibilizadas pelo Programa de Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina, do qual participa o autor deste trabalho como coordenador pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Mas ninguém pode bem administrar, planejar, proteger ou conservar algo que desconhece. Daí a grande importância de realizarem-se estudos e trabalhos mais aprofundados e detalhados sobre as bacias hidrográficas a fim de se preservar o que ainda lhes resta da potencialidade de seus recursos hídricos ou mesmo de recuperar-lhes sua boa qualidade, promovendo assim a sustentabilidade de seu uso. O conhecimento dos recursos hídricos vem, portanto, em primeiro lugar, como pressuposto mesmo de sua gestão e de seu gerenciamento.

Esta tese de doutoramento tem como objeto de estudo a Bacia do Rio Araranguá, situada ao sul do Estado de Santa Catarina. Pode-se dizer que a escolha dessa unidade hidrográfica teve duas motivações principais. A primeira é fruto da observação, ao longo de vários anos e através de vários trabalhos executados na área em que ela se insere, dos inúmeros conflitos de uso dos recursos hídricos dessa bacia hidrográfica em cuja área se concentram atividades industriais as mais diversas, como mineração de carvão, produção cerâmica, metal-mecânica e de plástico, rizicultura, entre outras, além de acentuada expansão de alguns núcleos urbanos. A segunda decorre da constatação, também através de inúmeros estudos realizados na área de abrangência dessa bacia, do elevado grau de comprometimento de seus recursos hídricos, principalmente das águas superficiais, no que se refere à poluição e à má qualidade desse bem mineral tão essencial à vida e ao desenvolvimento.

Para alcançar os objetivos previstos foi necessária uma abordagem que contemplasse além dos aspectos hidrogeológicos, os aspectos geológicos e estruturais desta área. Para se poder avaliar o risco de contaminação dos aquíferos frente às diferentes fontes de poluição, foi também necessário elaborar-se um mapa



de fontes de poluição.

Partindo-se do conhecimento de que os recursos hídricos superficiais e subterrâneos interagem, não sendo, portanto, independentes, teme-se a exaustão e a degradação ainda maiores das águas subterrâneas, já em parte comprometidas, na área estudada. Como dito acima, o conhecimento de uma bacia hidrográfica precede a sua gestão e ao planejamento e racionalização de seu uso. Entretanto, este trabalho, longe de se esgotar em suas proposições, tem um caráter de contribuição, visando a subsidiar, de modo mais objetivo e preciso, futuras tomadas de decisão quanto ao uso dos recursos hídricos da Bacia do Rio Araranguá para que esta e as futuras gerações não conheçam uma situação de penúria em relação a este bem tão essencial à vida do Homem e do meio ambiente.

O mapeamento geológico baseado em critérios litofaciológicos permitiu a individualização em mapa, no Membro Siderópolis (terço superior da Formação Rio Bonito), de três seqüências distintas: Seqüência Superior – Areias Transgressivas; Seqüência Média – Barro Branco; e Seqüência Inferior – Bonito. Permitiu verificar-se também que os Depósitos de Leques Aluviais afloram numa área de 1088 km<sup>2</sup> nesta bacia. Do ponto de vista estrutural, constatou-se que os elementos mais importantes são as falhas, ocorrendo, outrossim, de maneira subordinada, fraturas, dobras e *sills*. Foram cadastrados 582 pontos de água, sendo 148 referentes aos poços tubulares profundos, 316, aos poços escavados, 60, aos poços-ponteiras e 58, às fontes, tendo também sido classificados seus usos. Considerando-se os pontos d'água cadastrados, verifica-se que 53% são usados para consumo humano, 42%, para indústrias, e 5%, para outros usos. São apresentados, em escala 1:100.000, os seguintes mapas: Geológico, Hidrogeológico, Vulnerabilidade Natural dos Aqüíferos Porosos Profundos, Vulnerabilidade Natural dos Leques Aluviais, Fontes de Poluição, Hidroquímico e Produtividade dos Poços. A interpretação geológica e estrutural da área permitiu a identificação de diversos locais com maior favorabilidade à captação de água através de poços tubulares profundos. O mapeamento hidrogeológico permitiu a identificação de 8 sistemas aqüíferos, sendo 4 relacionados às rochas sedimentares gonduânicas, 3 aos sedimentos quaternários e um relacionado às rochas vulcânicas. Os resultados de 76 laudos de análises físico-químicas e bacteriológicas de águas subterrâneas realizadas durante este estudo e 122 laudos de análises realizadas em trabalhos anteriores por diversos autores ou empresas permitiram a classificação hidroquímica das águas dos

diferentes sistemas aquíferos presentes nesta bacia. Com relação ao Sistema Aquífero Rio Bonito, de acordo com os diagramas de Piper e Stiff, as águas podem ser classificadas como bicarbonatadas cálcicas-sódicas. Porém, constatou-se que algumas amostras caíram no campo das águas sulfatadas. No caso do Sistema Aquífero Leques Aluviais, verificou-se que as águas são do tipo bicarbonatadas cálcicas-sódicas ou cloretadas sódicas. De uma maneira geral as águas apresentam boas condições para consumo humano, sendo o teor de ferro acima de 0.3 mg/l o fator mais restritivo. Em relação às fontes constatou-se que elas estão geralmente relacionadas à Formação Serra Geral e que do ponto de vista hidroquímico suas águas são do tipo bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. Verificou-se que algumas delas, embora posicionadas em locais distantes de núcleos urbanos, apresentaram valores elevados de coliformes fecais e totais. Com relação à vulnerabilidade natural, de acordo com o método GOD de FOSTER e HIRATA (1991), constatou-se que o Sistema Aquífero Rio Bonito possui vulnerabilidade que varia de baixa a alta. Com relação ao Sistema Aquífero Leques Aluviais, verificou-se que a vulnerabilidade natural varia de moderada a extrema. As atividades de mineração e de beneficiamento do carvão, as atividades industriais, a falta de rede de canalização e de tratamento de esgoto em todos os municípios e a utilização de defensivos agrícolas nas áreas cultivadas estão entre os principais fatores responsáveis pela contaminação dos recursos hídricos, degradação do solo e, conseqüentemente, pelo comprometimento ambiental de grande parte da área desta bacia hidrográfica.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO ARARANGUÁ

A bacia do rio Araranguá localiza-se no sul do estado de Santa Catarina e faz parte do sistema da vertente atlântica. Apresenta uma área de drenagem de 3.020 Km<sup>2</sup> e o comprimento dos cursos hídricos chega a 5.916 Km, com densidade de drenagem de 1,95 Km/Km<sup>2</sup>, drenando total ou parcialmente os territórios de 16 municípios, entre os quais Araranguá e Criciúma. (SANTA CATARINA, 1997a)

Como as demais bacias da vertente atlântica do sul de Santa Catarina, a do rio Araranguá possui suas nascentes localizadas na Serra Geral. Cerca de 15 cursos d'água principais compõem o seu sistema hídrico, dentre os quais se destacam os rios Mãe Luzia, Amola Faca/Itoupava/Araranguá, Jundiá, dos Porcos, Turvo e Manuel Alves (Figura 1).

Do ponto de vista ambiental (SANTA CATARINA, 1997b), a bacia do Araranguá é uma das áreas consideradas críticas no estado em relação à disponibilidade hídrica e à qualidade das águas, pois nessa bacia 2/3 dos seus rios encontram-se poluídos.

A poluição hídrica causada pelas drenagens ácidas é provavelmente o impacto mais significativo das operações de mineração, beneficiamento e rebeneficiamento do carvão (ALEXANDRE, KREBS, 1995). Esta poluição é decorrente da percolação da água de chuva através dos rejeitos gerados nas atividades de lavra e beneficiamento, alcançando os corpos hídricos superficiais e/ou subterrâneos.

As três bacias hidrográficas que drenam a região carbonífera de Santa Catarina são consideradas impactadas pela atividade mineradora de carvão: a Bacia do Rio Araranguá, a do Rio Tubarão e a do Rio Urussanga. Cerca de 80% da produção de carvão da região localizam-se na Bacia do Rio Araranguá e, de acordo com a JICA (1997), o volume total de rejeitos e estéreis depositados nas áreas destas três bacias hidrográficas perfaz mais de 370 milhões de m<sup>3</sup> de material ( na bacia do rio Araranguá, 223 milhões de m<sup>3</sup>; na bacia do rio Tubarão, 91 milhões de m<sup>3</sup>; e na bacia do rio Urussanga, 58 milhões de m<sup>3</sup>), ocupando uma área total de 4,7 mil ha (na bacia do rio Araranguá, 2,9 mil ha; na do rio Tubarão, 1,2 mil ha; e na do rio Urussanga, 600 ha).



Do ponto de vista socioeconômico, a região sul de Santa Catarina é a maior produtora de arroz irrigado do estado, pois que somente na bacia do rio Araranguá existem cerca de 32.900 ha de terra irrigada (SANTA CATARINA, 1997c). Criciúma, devido à sua posição geográfica e ao seu desenvolvimento industrial e econômico, constitui um pólo abastecedor do comércio, indústria e serviços de toda a porção sul do estado de Santa Catarina, cujos municípios integrantes somam uma população estimada em 600.000 habitantes.

Ao se analisar o ciclo hidrológico, percebe-se que a ocorrência da água subterrânea depende principalmente da infiltração, no solo e no substrato rochoso, da água da chuva e dos cursos d'água superficiais e dos lagos, os quais recolhem as águas provenientes das precipitações.

A recarga dos aquíferos depende do regime pluviométrico, do escoamento superficial e do fluxo dos cursos d'água. Os aquíferos podem ser reabastecidos rapidamente pela precipitação direta da chuva sobre a superfície do solo, dependendo do seu estado de umidade por ocasião da chuva, bem como da permeabilidade do solo que a água tem de atravessar para atingir a zona saturada. Em outros casos, a água superficial dos cursos d'água e lagos alimenta os reservatórios subterrâneos, desde que o leito do rio ou o fundo do lago sejam permeáveis.

Outro relevante fator é a morfologia do terreno, ou seja, declividades pronunciadas favorecem o rápido escoamento ao passo que as insignificantes tendem a favorecer a infiltração.

A cobertura vegetal também deve ser levada em conta como fator no mecanismo de infiltração. Segundo CUSTÓDIO; LLAMAS (1976), um solo com cobertura vegetal está protegido da compactação causada pelo impacto direto dos pingos de chuva. As plantas ajudam também na redução da velocidade de escoamento da água superficial além de suas raízes abrirem espaços no solo, facilitando a infiltração.

## **2.1 Geologia**

O Mapa Geológico (Anexo 01) ilustra a distribuição em área das diferentes unidades geológicas presentes nesta bacia. Na área estudada afloram rochas sedimentares e ígneas que fazem parte da seqüência gonduânica da borda leste da

Bacia do Paraná e extensos depósitos de leques aluviais (DUARTE, 1995; KREBS, 1997). Sedimentos quaternários são abundantes junto aos cursos d'água. Na porção costeira, ocorrem depósitos arenosos de origem transicional (praial) e retrabalhamento eólico. Devido à importância para este estudo, uma descrição detalhada de todas as unidades geológicas identificadas na área da bacia do rio Araranguá é apresentada no capítulo 5. A Figura 2 sintetiza a coluna estratigráfica da área.

## 2.2 Geomorfologia

A bacia do rio Araranguá, situada no extremo sul de Santa Catarina, caracteriza-se por ser umas das mais importantes bacias fluviais do litoral sul-catarinense e abrange, parcialmente, a bacia carbonífera catarinense. Suas cabeceiras drenam um amplo anfiteatro da escarpa da Serra Geral e trechos do Planalto Meridional, convergindo em canais-tronco (rios Mãe-Luzia, Manuel Alves e Itoupava, todos formadores do rio Araranguá) e atravessando uma extensa baixada litorânea até desaguar no Oceano Atlântico.

A evolução geomorfológica desta bacia remete-nos à origem da fachada atlântica do litoral catarinense a partir da fragmentação do supercontinente Gondwana e abertura do Atlântico Sul durante o Cretáceo (PAUWELLS, 1941; MAACK, 1947; JUSTUS *et al.*, 1986). Portanto, todo o cenário morfológico da costa catarinense apresenta uma história pós-cretácica. Assim sendo, o fato mais relevante é o soergimento da margem atlântica com formação das serras do Mar, do Tabuleiro/Itajaí e Geral, constituídas por granitos e gnaisses diversos, de idade Pré-Cambriana a Eo-Paleozóica, e por rochas sedimentares e vulcânicas de idade Paleozóica a Mesozóica, respectivamente. A Serra Geral representa, na realidade, uma escarpa de borda de planalto (DUARTE, 1995) e este levantamento processou-se, provavelmente, a partir de fins do Cretáceo e ao longo de todo o Terciário, produzindo os atuais desnivelamentos superiores a 1.000m. Concomitantemente ao soergimento, ocorreu um progressivo recuo da escarpa de borda de planalto, o que propiciou o estabelecimento de uma extensa baixada litorânea e o afloramento de rochas sedimentares de idade Permiana no litoral sul catarinense, atual sítio da Bacia Carbonífera de Santa Catarina.

IDADE		TERMI-NOLOGIA	AMBIENTE/FORMAÇÃO		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	Holoceno		Depósitos Aluvionares Atuais	Sedimentos argilosos, argilo-arenosos, arenosos e conglomeráticos depositados junto às calhas ou planícies dos rios.
			Sistema Laguna-Barreira IV	Depósitos Praiais Marinheiros e Eólicos	Areias quartzosas, esbranquiçadas, com granulometria fina à média, com estratificação plano pa-alela(fácies praiial) e cruzada, de pequeno a grande porte (fácies eólica).
				Depósitos Lagunares	Areias quartzosas junto às margens e lamias no fundo dos corpos d' água.
	Pleistoceno	Sistema Laguna-Barreira III	Depósitos Flúvio-Lagunares	Areias siltico-argilosas, com restos de vegetais, cascalhos depósitos biodetríticos	
			Depósitos Paludiais	Turfas ou depósitos de lama, ricos em matéria orgânica.	
			Depósitos Praiais Marinhos e Eólicos e Retrabalhamnto Eólico Atual	Areias quartzosas médias, finas a muito finas, cinza-amarelado até avermelhado. Nas fácies praiiais são comuns estruturas tipo estratificação plano-paralela, cruzada acanalada. Nas fácies eólicas é frequente a presença de matriz rica em óxido de ferro, que confere ao sedimento tons avermelhados.	
Terciário/Quaternário	Plioceno/Holoceno	Sistema de Leques Aluviais	Depósitos de Encostas, Fluviais e Retrabalhamnto Fluvial	Cascalhos areias e lamias resultantes de processos de fluxos gravitacionais e aluviais. Nas porções mais distais, depósitos resultantes do retrabalhamento por ação fluvial dos sedimentos colúvio-aluvionares.	
MESOZÓICO	Cretáceo	Inferior	Grupo São Bento	Serra Geral	Derrames basálticos, soleiras e diques de diabásio de cor escura, com fraturas conchoidais. O litotipo preferencial é equigranular fino a afanítico, eventualmente porfirítico. Notáveis feições de disjunção colunar estão presentes.
	Jurássico	Superior		Botucatu	Arenitos finos, médios, quartosos, cor avermelhada, bimodais, com estratificação cruzada tangencial e acanaladas de médio e grande porte.
	Triássico	Inferior	Grupo Passa Dois	Rio do Rasto	Arenitos finos bem selecionados, geometria lenticular, cor bordô, com estratificação cruzada acanalada. Siltitos e argilitos cor bordô, com laminação plano-paralela.
Permiano	Superior	Estrada Nova		Argilitos folhelhos e siltitos intercalados com arenitos finos, cor violácea. Nos folhelhos, argilitos e siltitos cinza-escuro a violóaceos, ocorrem concreções de marga.	
		Irati		Folhelhos e siltitos pretos, folhelhos pirobetuminosos e margas calcáreas.	
PALEOZÓICO	Inferior/Superior	Grupo Guatá	Palermo	Siltitos cinza-escuros, siltitos arenosos cinza-claro, interlaminaados, bioturbados, com lentes de arenito fino na base.	
			Rio Bonito	Membro Siderópolis	Arenitos cinza-claro, finos a médios, quartzosos, com intercalações de siltitos carbonosos e camadas de carvão
				Membro Paraguaçu	Siltitos cinza-escuro, com laminação ondulada, intercalado com arenitos finos.
				Membro Triunfo	Arenitos cinza-claro, quartzosos ou feldspáticos, sigmoidais. Intercala siltitos.
Inferior	Grupo Itararé	Rio do Sul	Folhelhos e siltitos várvicos com seixos pingados, arenitos quartzosos e arenitos arcoseanos, diamectitos e conglomerados. A nível de afloramento, constitui espessa seqüência rítmica.		
PRÉ-CAMBRIANO	Superior	Granitóides tardi a pós tectônicos		Granitos e granitóides de cor cinza-avermelhado, granulação média à grossa, textura porfirítica ou porfiróide, constituídos principalmente por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e biotita. Como acessório, ocorre titanita, apatita, zircão e opacos. São aparentemente isotropos e recortados por veios aplíticos ou pegmatíticos.	

Figura 2 Coluna estratigráfica da área da bacia hidrográfica do rio Araranguá. Seqüência Gonduânica adaptada de MÜHLMANN *et al.* (1974), Coberturas Cenozóicas adaptadas de CARUSO JR., 1997. Embasamento cristalino e Grupo Itararé (não aflorantes) foram estabelecidos por KREBS (2003).

Depósitos correlacionados a esta grande fase de erosão regressiva da escarpa da Serra Geral encontram-se tanto na plataforma continental, neste caso de idade mais antiga, remontando ao Cretáceo, quanto na planície emersa, caracterizada por sedimentos Pliocênicos a Quaternários, de natureza continental, transicional ou marinha.

A seguir, procede-se a uma breve descrição da paisagem geomorfológica regional, com ênfase para a bacia do rio Araranguá.

Uma das características fisiográficas mais expressivas de todo o Planalto Meridional, também denominado Planalto das Araucárias, é o suave e contínuo caimento de sua superfície para o oeste, em direção ao interior, originando grandes bacias hidrográficas como as dos rios Iguazu e Uruguai. Por esta razão, muitas das nascentes que convergem para a baixada litorânea do Araranguá situam-se na porção superior da escarpa da Serra Geral, destacando-se os rios da Pedra, Pinheirinho, Timbé, Amola-Faca, Três Barras, Morto, Cedro, Serrinha e São Bento, dentre os principais.

Todavia, esparsos fragmentos do planalto contíguos à referida escarpa estão inseridos na bacia do rio Araranguá devido, possivelmente, a um recuo erosivo local mais acentuado do *front* da Serra Geral. Deste modo, pequenas cabeceiras de rios que convergiam suavemente para a bacia do rio Pelotas são capturadas por enérgicos tributários do rio Araranguá que drenam a escarpa da Serra Geral. JUSTUS *et al.* (1986) denominam essas superfícies elevadas Planalto dos Campos Gerais, as quais se caracterizam por extensas superfícies planas a levemente reafeiçoadas em colinas amplas e muito suaves. Estes autores sugerem períodos de aplainamentos bem desenvolvidos para a elaboração dessa superfície. O planalto apresenta um predomínio de vegetação de campos com presença de manchas florestais sobre solos relativamente rasos (Cambissolos Brunos e Litólicos) e embasados por derrames juro-cretácicos de rochas extrusivas da Formação Serra Geral.

A bacia do rio Araranguá apresenta, localmente, um recuo mais pronunciado da escarpa da Serra Geral. JUSTUS *et al.* (1986) descrevem o desenho de um amplo arco ao longo dos limites abruptos do planalto neste trecho. Como consequência, desenvolveu-se uma baixada litorânea mais extensa, associada a uma maior expressão areal dos depósitos sedimentares neo-cenozóicos na bacia do rio Araranguá.



Formas remanescentes consistem em espigões alongados que se projetam das escarpas em direção às planícies costeiras, apresentando feições de extensos alinhamentos serranos ou mesmo sob forma de morros isolados. JUSTUS *et al.* (1986) ressaltam esses relevos residuais na bacia do Araranguá, destacando o extenso espigão que forma o divisor entre as bacias dos rios Araranguá e Mampituba.

Todavia, o cenário imponente da escarpa da Serra Geral é marcado por uma dissecação diferencial do seu *front*, produzida pela rede de canais que esculpem profundos vales em “V”, muitas vezes delineados por condicionantes estruturais do substrato rochoso (FLORES *et al.*, 1993). As baixas encostas da escarpa são constituídas por rochas sedimentares, enquanto a porção superior é constituída de espessos derrames da Formação Serra Geral. Nestes terrenos com altas declividades os solos tendem a ser muito rasos, ainda que sustentando uma vegetação de porte florestal, devido ao clima muito úmido.

Esta condição geocológica caracteriza a escarpa da Serra Geral como uma unidade geomorfológica muito susceptível a movimentos de massa *lato sensu*, destacando-se deslizamentos rasos translacionais (*slides*) no contato solo-rocha durante eventos climáticos de extrema pluviosidade, como o ocorrido no desastre natural de dezembro de 1995, amplamente documentado pela literatura (PÉLLÉRIN *et al.*, 1996; PONTELLI; PÉLLÉRIN, 1998, dentre outros). Segundos estes autores, os movimentos de massa detonados nas altas vertentes da escarpa catalisaram grandes torrentes de fluxos detríticos (*debris-flows*) e corridas de lama (*mud-flows*) que percorreram os principais eixos de drenagem e esparramaram grande massa de sedimentos nas planícies alúvio-coluvionares imediatamente à jusante, acarretando expressivas perdas humanas e danos materiais. Aquele desastre ilustra os processos de geração dos leques aluviais observados ao longo de toda a costa catarinense.

Na década de 60, BIGARELLA e colaboradores (BIGARELLA *et al.*, 1961; BIGARELLA; SALAMUNI, 1961), com o emprego de uma análise morfoestratigráfica, estudaram detalhadamente feições deposicionais situadas nos sopés das escarpas do centro-norte catarinense. Com base no escalonamento das formas de relevo e no posicionamento topográfico, associados à análise dos depósitos rudáceos, estes autores consideraram, à luz da metodologia utilizada, estes depósitos (Formações Iquererim e Canhanduva, p. ex.) como pedimentos detríticos,

produzidos durante pelo menos duas fases glaciais pleistocênicas de nível marinho mais baixo que o atual, sob condições de semi-aridez, resultando uma sedimentação continental do tipo “bajada”. Anteriormente, MAACK (1947) já tinha advogado um clima semi-árido para a geração de depósitos de tálus de presumível idade Quaternária no recôncavo das planícies do sul de Santa Catarina. AB’SABER (*apud* BIGARELLA *et al.*, 1961) documentou em Lauro Müller depósitos continentais similares aos estudados no litoral de Garuva, sendo por este autor considerados pedimentos correlacionados aos depósitos da Formação Iquerim.

Trabalhos mais recentes (DUARTE, 1998; PÉLLÉRIN *et al.*, 1996; PONTELLI, PÉLLÉRIN, 1998) têm classificado esses depósitos simplesmente como *leques aluviais*.

Na bacia do rio Araranguá, os leques aluviais abrangem grande extensão da baixada litorânea. Segundo KREBS (2002), os leques aluviais abrangem aproximadamente 1.088 km<sup>2</sup> na bacia.

No setor leste da bacia do rio Araranguá, nos arredores do núcleo urbano de Criciúma e das localidades de Siderópolis e Treviso, afloram siltitos e folhelhos de idade Permiana, das Formações Rio Bonito e Rio do Rasto, com ocorrência de carvão mineral, posicionados em cotas altimétricas similares às da baixada costeira. JUSTUS *et al.* (1986) denominam estes terrenos Depressão da Zona Carbonífera Catarinense e, assim como toda a baixada adjacente, trata-se de uma superfície devida a processos de erosão regressiva da escarpa da Serra Geral. Na porção de Treviso, inclusive, a escarpa da Serra Geral apresenta-se mais recuada devido à ação fluvial empreendida pelos rios Mãe Luzia e Tubarão. Apresenta um relevo dominado por colinas de geometria convexo-côncava e morros convexos, um pouco mais elevados (JUSTUS *et al.*, 1986; SILVA, 1996).

As planícies costeiras que ocupam a porção externa das baixadas litorâneas apresentam uma complexa história geológica, marcada pelos eventos transgressivos-regressivos que ocorreram durante o Quaternário Superior, conforme explicado por MARTIN *et al.* (1988), com base em evidências sedimentológicas, biológicas e datações por radiocarbono. Na bacia do rio Araranguá, estes autores documentaram pelo menos duas gerações de terraços marinhos, sendo a mais antiga de idade pleistocênica. A mais nova ocupa uma posição próxima à atual linha de costa, de

idade holocênica.

A construção desses terraços marinhos arenosos está associada a períodos regressivos de progradação da linha de costa, imediatamente após eventos de Máximos Transgressivos. Segundo os mesmos autores, os terraços pleistocênicos têm idade mais recente que 120.000 anos A.P., marco da Penúltima Transgressão (em torno de 8 metros acima do nível atual), enquanto que os terraços holocênicos têm idade mais recente que 5.100 anos A.P., marco da Transgressão Flandriana (em torno de 5 metros acima do nível atual). Entre esses dois picos transgressivos, associados a um paleoclima quente e úmido interglacial, ocorreu um importante evento regressivo no Pleistocênico Superior, correlacionado à última fase glacial (Wisconsin stage), quando o nível relativo do mar atingiu até 110m abaixo do nível atual. Durante este período os terraços pleistocênicos foram erodidos e retrabalhados, restando apenas remanescentes ao longo das planícies costeiras.

Uma característica importante das planícies costeiras do litoral Sul Catarinense é o amplo desenvolvimento de formações eólicas. GIANINI; SUGUIO (1994) analisaram junto ao delta do Tubarão, as dunas que se assentam sobre os terraços marinhos e identificaram quatro gerações distintas, encontrando-se as mais antigas cimentadas e estabilizadas pela vegetação, enquanto que as mais recentes, próximas à linha de costa, são dunas ativas.

As ilhas-barreira arenosas que originaram os terraços holocênicos, ancoradas em antigas ilhas rochosas, tais como o morro dos Conventos (junto à barra do Araranguá) e o morro de Santa Marta (próximo a Laguna), delinearam a atual configuração morfológica de extensas praias retas deste trecho da costa sul-catarinense. O período regressivo subsequente à Última Transgressão propiciou o desenvolvimento dos terraços marinhos holocênicos e a colmatação de corpos lagunares originados entre as duas gerações de terraços marinhos. As lagoas do Sombrio, Caverá e dos Esteves são resquícios de paleo-lagunas que foram progressivamente assoreadas, formando, assim, uma extensa planície que margeia os atuais corpos d'água numa disposição longitudinal à linha de costa. As várzeas dos rios Araranguá, Urussanga e tributários principais geram extensas planícies fluviais ou flúvio-lagunares. O rio Tubarão, por sua vez, gera um grande delta intralagunar, fato este amplamente estudado pela literatura.

## 2.3 Solos

Nas porções topograficamente mais elevadas desta bacia, no Planalto dos Campos Gerais, estão as cabeceiras de drenagem da bacia do rio Araranguá (JUSTUS *et al.*, 1986). Esta porção caracteriza-se por superfícies planas, levemente sulcadas pela instalação da atual rede de drenagem. Este planalto está embasado por um significativo derramamento de lavas vulcânicas de idade juro-cretácica (Formação Serra Geral), constituindo rochas de composição básica, tais como basaltos e fenobasaltos, com desenvolvimento de geodos e rochas de composição intermediária a ácida, tais como andesitos, dacitos e riolitos (HORBACH *et al.*, 1986). A partir desse substrato rochoso desenvolveram-se, na área da bacia, Cambissolos Brunos Húmicos e, subordinadamente, Terra Roxa Estruturada Húmica e Solos Litólicos, todos de composição álica (KER *et al.*, 1986). A pequena espessura destes solos, a despeito do relevo, em geral pouco acidentado, pode estar relacionada às baixas temperaturas encontradas neste alto planalto, pois baixas temperaturas retardam a velocidade de intemperismo químico das rochas e da matéria orgânica.

Apesar de esses solos apresentarem geralmente uma alta fertilidade natural (principalmente em decorrência da decomposição química dos basaltos), sua baixa profundidade e alta saturação em alumínio (solos predominantemente rasos e álicos) são fatores limitantes para as práticas agrícolas.

A Escarpa da Serra Geral caracteriza-se por um relevo de transição de morfologia muito acidentada. Este imponente escarpamento, com aproximadamente 1.000m de desnível, apresenta direções aproximadas NE-SW e N-S e abrange praticamente todas as cabeceiras desta bacia.

Esses terrenos de alta declividade desenvolvem, predominantemente, solos Litólicos eutróficos ou distróficos, pedregosos e com horizonte A bem desenvolvido (KER *et al.*, 1986). Nas altas vertentes, os solos Litólicos podem estar associados a afloramentos de rochas básicas ao passo que nas baixas encostas se associam a Cambissolos, resultantes do processo de pedogênese de depósitos de tálus.

As cristas endentadas com os sedimentos da Escarpa da Serra Geral caracterizam-se como interflúvios serranos entre as principais sub-bacias da bacia de drenagem do rio Araranguá, apresentando expressivos desnivelamentos. O desmantelamento erosivo dos espigões pode originar morros que se destacam na

paisagem plana dos leques aluviais coalescentes. Esses terrenos com alta declividade desenvolvem, solos Podzólicos Vermelho-Amarelos álicos, de textura média/argilosa. Subordinadamente ocorrem Solos Litólicos eutróficos, pedregosos, nas porções mais elevadas e íngremes dos patamares (KER *et al.*, 1986). Apesar de apresentarem um relevo menos enérgico e solos mais desenvolvidos e profundos em relação aos da escarpa principal da Serra Geral, estes terrenos apresentam também uma alta vulnerabilidade frente aos processos erosivos e movimentos de massa.

A Depressão da Zona Carbonífera Catarinense abrange parte da sub-bacia do rio Mãe Luzia na porção norte da bacia do rio Araranguá e caracteriza-se por um relevo de colinas e morros, com média a alta densidade de drenagem, situados no sopé da escarpa da Serra Geral. A geração desta depressão está diretamente relacionada à erosão regressiva da escarpa da Serra Geral e à exumação de rochas Permianas da Bacia do Paraná, das quais algumas contêm jazidas de carvão mineral.

Este conjunto diversificado de rochas sedimentares, esculpido em um terreno movimentado de colinas e morros de baixa amplitude de relevo, desenvolve, predominantemente, solos profundos, de baixa fertilidade natural e horizonte B textural, onde se destacam os Podzólicos Vermelhos-Amarelos álicos e os Podzólicos Latossólicos Vermelhos-Amarelos álicos, de textura média a argilosa. Subordinadamente também ocorrem solos Podzólicos Brunos-Acinzentados álicos e Latossolos Vermelhos-Amarelos álicos. Os terrenos embasados pelas básicas desenvolvem solos de textura argilosa a muito argilosa, destacando-se a Terra Roxa Estruturada distrófica e os Cambissolos Húmicos álicos, (JUNGBLUT, 1995).

Na porção correspondente aos Leques Aluviais, os solos tendem a ser jovens com predomínio de Cambissolos eutróficos e distróficos. Em situações de pedogênese mais avançada, foram desenvolvidos solos Podzólicos Vermelhos-Amarelos álicos. Possivelmente a boa aptidão agrícola dos solos, terrenos planos, com solos de boa fertilidade natural, contribuíram para uma ocupação mais efetiva desta porção da bacia.

As planícies aluviais nas proximidades dos contrafortes da Serra Geral, tendem a ser conglomeráticas devido à maior competência de transporte, apresentando, progressivamente, uma granulometria mais fina em direção à foz do rio Araranguá. Desta forma, desenvolvem-se a montante Solos Aluviais,

gradativamente substituídos por Solos Gley Pouco Húmicos e por Gley Húmicos, à medida que a várzea se apresenta mais extensa e alagável, em direção à jusante. Os solos Gley, que predominam nos baixos cursos flúvio-lagunares, são em geral solos de textura argilosa, podendo apresentar horizonte A chernozêmico. Em terraços fluviais mais antigos, podem desenvolver-se Cambissolos eutróficos e distróficos de textura argilosa.

No caso dos terraços marinhos, GIANINI; SUGUIO (1994), estudando essas formações arenosas na região, verificaram que existe um processo de pedogênese mais avançado nas formações pleistocênicas que consistem de terraços marinhos e dunas fixas de areias cimentadas e escurecidas, com presença de limonita. Já os terraços marinhos holocênicos e as dunas ativas ou semi-estabilizadas apresentam areias claras e inconsolidadas, pouco pedogeneizadas.

As formações arenosas pleistocênicas apresentam, predominantemente, Areias Quartzosas distróficas e álicas, podendo também ocorrer solos Podzólicos Vermelhos-Amarelos álicos, de textura arenosa quando submetidos a um grau de pedogênese mais avançado, (JUNGBLUT, 1995)..

As formações arenosas holocênicas, por sua vez, também apresentam um predomínio de areias quartzosas distróficas e álicas, com ocorrência de dunas. São também encontrados Podzóis Hidromórficos, ocupando depressões embrejadas (baixios de lama) entre os cordões litorâneos.

Inserida na baixada litorânea, entre as 2 gerações de terraços marinhos, ocorre a Planície Lagunar. Estes terrenos consistem de sedimentos argilo-arenosos a argilosos, ricos em matéria orgânica, de idade holocênica, resultantes de processos de progressiva colmatagem de extensas paleo-lagunas.

Essas planícies alagadas tendem a desenvolver Solos Orgânicos distróficos em ambiente palustre, em condições de lenta decomposição de matéria orgânica. Subordinadamente ocorrem também Gley Pouco Húmicos, distróficos, de textura argilosa, e algumas turfeiras.

## **2.4 Hidrografia**

Em seu trabalho “Análise integrada da qualidade das águas da Bacia do Rio Araranguá”, ALEXANDRE (2000) aborda aspectos do sistema hídrico superficial da

bacia, com ênfase na qualidade das águas. Por sua importância para nosso estudo, realizou-se também uma análise das características hidrográficas desta mesma bacia.

A compartimentação geomorfológica influencia diretamente o comportamento da rede de drenagem, a capacidade de transporte dos canais e o balanço sedimentar atual da bacia bem como a recarga dos aquíferos. Em termos de hierarquia de drenagem, o rio Araranguá consiste no principal coletor da bacia homônima e deságua no Oceano. Contudo, este rio adquire esse nome apenas um pouco a montante da cidade de Araranguá, após a confluência de seus dois formadores: os rios Itoupava e Mãe-Luzia. O rio dos Porcos é o único afluente importante que deságua no rio Araranguá à jusante desta confluência. O rio Itoupava, por sua vez, adquire esse nome a montante da localidade de Ermo, após a confluência dos rios da Pedra e Amola-Faca. Outros importantes tributários desta sub-bacia são os rios Pinheirinho e Engenho Velho. Já o rio Mãe-Luzia tem como tributários principais os rios Manuel Alves, Cedro, Guarapari/São Bento, Sangão e Fiorita.

#### 2.4.1 Descrição analítica da rede hidrográfica

Sabe-se que a maior porção desta bacia é coberta por depósitos de leques aluviais. Nesta tese, para efeito de caracterização litofaciológica dos depósitos resultantes, dividiu-se o domínio dos leques aluviais em três porções distintas: Ápice do leque - Cabeceira do leque; Leque proximal – Parte superior; e Leque distal – Parte inferior. Constatou-se que no alto vale dos principais cursos d'água desta bacia ocorrem fácies areno-conglomeráticas, relacionadas a depósitos de barras de canal. Ocorrem também depósitos de barras, as quais são largamente explotadas para obtenção de cascalho.

De acordo com MIALl (1978a) e ALLEN, (1982) e SMITH (1970), os sistemas *braided* caracterizam-se pela existência de múltiplos canais rasos, interligados entre si e separados por barras de areias e cascalhos ou ilhas.

Como o escopo principal desta tese é o estudo dos recursos hídricos subterrâneos desta bacia hidrográfica, procurou-se, através da caracterização da rede hidrográfica, identificar aqueles locais onde os cursos d'água apresentam controle tectônico, pois se sabe que tais locais são favoráveis à recarga dos

aquíferos. No caso da porção correspondente à bacia carbonífera, onde os principais rios apresentam águas contaminadas pelas atividades de extração e beneficiamento de carvão realizadas no passado, a identificação dos locais onde estes rios possuem controle tectônico é importante para que se possa avaliar a possibilidade de contaminação dos aquíferos por estas cargas difusas de superfície.

#### 2.4.1.1 Rio Araranguá

Trata-se do principal rio da bacia e toma este nome após a confluência dos rios Mãe-Luzia e Itoupava, logo a montante da cidade de Araranguá, abrangendo apenas o trecho final da bacia, já próximo a sua foz com o oceano. Este rio apresenta um padrão de canal meandrante com trechos retilíneos e esta porção da bacia abarca uma extensa planície flúvio-lagunar mal drenada, ladeada por cordões marinhos arenosos, de idades holocênica e pleistocênica. Nestes cordões é possível observar-se, localmente, um padrão de drenagem paralelo em que os pequenos canais se alojam nas depressões inter-cordões. O rio Araranguá consiste num típico rio de planície com gradiente do canal extremamente baixo. A densidade de drenagem deste trecho da bacia é muito baixo, sendo os terrenos planos da baixada cortados por poucos canais. Nota-se a ocorrência de fenômenos de avulsão do canal meandrante por meio de vários meandros abandonados no baixo curso do rio, assim como um processo recente de acresção/rompimento da barra do rio Araranguá junto a sua desembocadura, o que evidencia uma expressiva atividade morfodinâmica do baixo curso da bacia em tempos recentes.

#### 2.4.1.2 Rio dos Porcos

Afluente da margem esquerda do rio Araranguá, o rio dos Porcos exhibe um padrão meandrante de alta sinuosidade, em parte retificado no seu baixo curso, onde ocupa uma planície flúvio-lagunar mal drenada. Do seu alto até médio curso, este rio percorre um relevo colinoso de baixa amplitude topográfica, situado ao sul da cidade de Criciúma, apresentando restrita sedimentação aluvial. O gradiente do canal é muito baixo, da ordem de 0,0023m/m, e a bacia apresenta uma média densidade de drenagem, com padrão dendrítico. Um fato relevante está relacionado ao percurso do rio dos Porcos ao longo de sua bacia: este canal demonstra uma notável inflexão do seu sentido, visto que no alto curso o canal corre para leste e, a seguir, descreve uma longa curva, correndo, no baixo curso, no



sentido sudoeste. Esta anomalia de drenagem merece estudos mais detalhados *a posteriori*, sendo bastante plausível uma hipótese de controle estrutural para explicar a atual configuração morfológica da bacia, com reflexos na orientação da rede de canais.

#### 2.4.1.3 Rio Itoupava

O rio Itoupava, um dos formadores do rio Araranguá, é um dos mais importantes da bacia do rio Araranguá, abrangendo sua bacia de drenagem, nas áreas baixas, uma expressiva zona de rizicultura, e nos contrafortes e escarpas, importantes fragmentos de Mata Atlântica. Apresenta um padrão de drenagem muito similar ao do rio Araranguá, apresentando também um típico padrão sinuoso. Localmente, exhibe seções de canal retilíneas, notadamente junto à localidade de Ermo, o que poderia implicar até num controle estrutural do atual traçado de parte da rede de drenagem. Este rio toma este nome após a confluência dos rios da Pedra e Amola-Faca. O rio Itoupava é um típico rio de planície, sendo seu vale preenchido por extensas planícies fluviais e ladeada por amplos terrenos planos, resultantes do retrabalhamento de antigos depósitos de leques aluviais de idade plio-pleistocênica. No seu baixo curso, próximo à confluência com o rio Mãe-Luzia, observa-se ainda uma sedimentação flúvio-lagunar a montante da mesma, demonstrando influência marinha pretérita até a referida confluência. A densidade de drenagem deste trecho da bacia é muito baixa, sendo seus principais tributários os rios Turvo e Jundiá, ambos da margem esquerda. Estes dois rios nascem da base dos contrafortes (sob forma de espigões) da escarpa da Serra Geral e percorrem os amplos terrenos planos dos leques aluviais até desembocarem no rio Itoupava. Apresentam padrão de canal sinuoso. Curiosamente, estes canais mais importantes da bacia do rio Itoupava seguem uma direção preferencial NW-SE mesmo estando sobre depósitos de leques aluviais. Este fato sugere haver um controle da neotectônica sobre os referidos canais, bem como sobre os rios Pedra/Itoupava/Araranguá, os quais na realidade são um único canal com 3 toponímias.

#### 2.4.1.4 Rio da Pedra

Um dos formadores do rio Itoupava, o rio da Pedra tem sua bacia inserida em duas situações morfológicas distintas: o alto curso do rio da Pedra drena a escarpa da Serra Geral, com um padrão de drenagem em treliça e alta densidade de

drenagem, evidenciando um nítido controle estrutural da rede de canais. No sopé das vertentes íngremes da Serra Geral, é freqüente observarem-se grandes áreas de deposição de rampas de colúvio e tálus. O gradiente dos canais é muito elevado neste trecho; o médio-baixo curso do rio da Pedra, por sua vez, assenta-se sobre expressivos depósitos de leques aluviais retrabalhados por ação fluvial, onde se instala um padrão de canal entrelaçado (tipo *braided*) no sopé da escarpa. Este padrão entrelaçado se pode observar próximo à localidade de Jacinto Machado, onde os rios da Pedra, Honório e Braço do rio da Pedra correm paralelamente no mesmo fundo de vale por vários quilômetros.

Os principais afluentes do rio da Pedra são o rio Pinheirinho, à margem esquerda, e o rio Engenho Velho, à margem direita. O rio Pinheirinho, praticamente tão extenso quanto o próprio rio da Pedra, apresenta uma condição morfológica e hidrográfica muito similar a do rio da Pedra. O rio Engenho Velho drena um importante espigão da escarpa da Serra Geral que delimita as bacias dos rios Araranguá e Mampituba. O padrão de drenagem é sub-dendrítico e a densidade de drenagem é média a alta até desembocar no fundo de vale entrelaçado do rio da Pedra.

#### 2.4.1.5 Rio Amola-Faca

O rio Amola-Faca é o segundo formador do rio Itoupava. Em conjunto com o rio da Pedra, o rio Pinheirinho e seu principal afluente, o rio Timbé, estes canais coletores drenam uma extensa porção da escarpa da Serra Geral, representando aproximadamente metade da extensão do *front* escarpado na bacia do rio Araranguá.

O alto curso desses rios é caracterizado por canais retilíneos, de gradientes elevadíssimos. Os principais tributários do rio Molha-Coco, tais como os rios Rocinha, Serra Velha, Seco e os arroios Fortuna e Figueira seguem o mesmo padrão, característicos de bacias de cabeceira de drenagem na região.

Do médio ao alto curso do rio Amola-Faca é visualizado um vale amplo e profundo, delimitado por extensos espigões que se projetam do *front* da escarpa principal.

À jusante da confluência com o rio Molha-Coco, o rio Amola-Faca apresenta um padrão de canal sinuoso, com baixa densidade de drenagem, que atravessa os amplos terrenos planos dos leques aluviais. Todavia, este rio desemboca no rio

Itoupava sob a forma de uma peculiar rede distributária de canais. Na realidade, o rio Amola-Faca divide-se em três canais distintos, formando uma espécie de leque distal, derivado possivelmente, da redução da competência do canal em ambiente de planície, o que acarreta um entulhamento do fundo do vale e a desorganização da rede de canais.

A variação da capacidade de transporte do rio Amola-Faca ao longo de seu perfil longitudinal pode ser bem ilustrada através da análise do gradiente do canal ao longo de diferentes trechos: o alto curso, que drena a escarpa, exhibe gradiente de canal muito elevado, da ordem de 0,1415m/m; o médio curso, que ocupa o fundo de vale de drenagem entrelaçada a anastomosada até a confluência com o rio Timbé, apresenta um gradiente de canal ainda expressivo, da ordem de 0,0141m/m; o baixo curso sinuoso da bacia do Amola-Faca apresenta um gradiente de canal muito baixo, da ordem de 0,0025m/m. A título de comparação, o gradiente total do rio Amola-Faca registra um valor elevado de 0,0292m/m devido ao grande desnivelamento representado pela escarpa da Serra Geral.

#### 2.4.1.6 Rio Mãe-Luzia

Um dos formadores do rio Araranguá, o rio Mãe-Luzia configura um dos mais importantes da bacia do rio Araranguá, abrangendo sua bacia de drenagem grande parte da Bacia Carbonífera de Criciúma. O rio Mãe-Luzia tem como afluentes principais os rios Manuel Alves, Sangão, do Cedro, São Bento, Jordão, Manim, do Pio e Fiorita. Apresenta um típico padrão de canal sinuoso, sujeito a variações locais ao longo do perfil longitudinal do canal.

Entre a sua confluência com o rio Itoupava e a localidade de Nova Veneza, o rio Mãe-Luzia no seu baixo curso exhibe padrão sinuoso, intercalado com seções de canal retilíneas e notáveis cotovelos de drenagem, como observado junto à localidade de Maracajá. Neste trecho, a bacia de drenagem apresenta um padrão dendrítico, percorrendo os amplos terrenos planos dos leques aluviais, e um gradiente do canal extremamente baixo, da ordem de 0,0004m/m. O baixo curso do rio Mãe-Luzia caracteriza-se pelo desenvolvimento de uma extensa planície aluvial, observando-se, próximo à confluência com o rio Itoupava, ainda uma sedimentação flúvio-lagunar.

A montante da localidade de Nova Veneza, o rio Mãe-Luzia apresenta-se, em um curto trecho (aproximadamente 7 km), sinuoso, encaixado nas ombreiras das

colinas, sem apresentar sedimentação fluvial. A direção do rio, que segue um eixo predominante N-S, passa a correr, neste segmento do perfil longitudinal, sob orientação NE-SW. Neste trecho, a bacia de drenagem apresenta ainda um padrão dendrítico com média densidade de drenagem, onde o rio Mãe-Luzia serpenteia por entre um ambiente de colinas de baixa amplitude topográfica.

O médio curso do rio Mãe-Luzia, entre a confluência do rio Fiorita e a localidade de Treviso, demonstra o marcante impacto da atividade de mineração de carvão neste trecho da bacia. Pilhas de rejeito de minério, depositadas nas cercanias das cidades de Siderópolis, Rio Fiorita e Treviso intervêm, de forma irreversível, na morfologia dos fundos de vales dos rios Fiorita, do Pio e médio rio Mãe-Luzia. Lagos de decantação associados barram tributários menores e alteram a trajetória dos canais principais. A intervenção humana advinda do impacto da atividade mineira realizada no passado legou-nos um cenário de grande degradação ambiental de complexa recomposição tanto paisagística quanto da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

A despeito das derivações antropogênicas acima relatadas, a bacia do Médio rio Mãe-Luzia apresenta um padrão dendrítico com média a alta densidade de drenagem, num ambiente de pequenas colinas arrasadas e de expressiva sedimentação aluvial, possivelmente com importante contribuição antrópica. O baixo gradiente do canal, da ordem de 0,0023m/m, e o estrangulamento à jusante deste segmento do perfil longitudinal do rio Mãe-Luzia pode, localmente, contribuir com uma maior estocagem de sedimentos.

A montante de Treviso, no seu alto curso, o rio Mãe Luzia perde seu padrão sinuoso e passa a exibir um padrão mais retilíneo, devido ao aumento do gradiente do canal, da ordem de 0.0394m/m. Mesmo assim, nota-se uma importante sedimentação aluvial junto à calha do coletor principal entre Treviso e o sopé da escarpa. Neste trecho, a rede fluvial apresenta padrão dendrítico com alta densidade de drenagem, drenando uma pequena porção da escarpa da Serra Geral. Considerando-se apenas a cabeceira do rio Mãe-Luzia, que drena a escarpa, este rio apresenta um gradiente do canal muito elevado, semelhante ao calculado para o alto curso do rio Amola-Faca, da ordem de 0,107m/m.

#### 2.4.1.7 Rio Manuel Alves

O rio Manuel Alves consiste no mais importante afluente da margem direita

do rio Mãe-Luzia e, assim como as bacias dos rios da Pedra e Amola-Faca, tem sua bacia inserida em duas situações morfológicas distintas: o alto curso do rio Manuel Alves e seus afluentes principais (rios Morto e do Meio, Pingador, Três Barras e Seco) drenam uma extensa porção a escarpa da Serra Geral, com um padrão de drenagem treliça a retangular e alta densidade de drenagem, sob forte controle estrutural da rede de canais, sendo que o gradiente dos canais é muito elevado neste trecho; o médio-baixo curso, por sua vez, assenta-se sobre expressivos depósitos de leques aluviais, retrabalhados por ação fluvial, instalando-se um padrão de canal entrelaçado (tipo *braided*) no sopé da escarpa. Este rio entrelaçado vem gradando à jusante para um padrão de canal anastomosado, conforme se pode observar próximo à localidade de Morro Grande. À jusante do Morro Grande, o rio Manuel Alves torna-se um típico rio de planície, assim como os rios Itoupava e Baixo Mãe-Luzia, e adquire um padrão de canal meandrante de média para alta sinuosidade. Este baixo curso do rio Manuel Alves drena extensos terrenos aplainados com densidade de drenagem muito baixa e apresenta uma larga planície aluvial. Um fato relevante a ser analisado é a orientação paralela de direção NW-SE dos baixos cursos dos rios Amola-Faca e Manoel Alves e os rios Turvo e Jundiá quando atravessam os terrenos aplainados dos leques aluviais.

O principal afluente do rio Manuel Alves é o rio Morto, à margem esquerda. Este rio drena uma faixa da escarpa da Serra Geral, apresentando elevado gradiente de canal e ocupa um vale amplo e profundo, delimitado por espigões longos e dissecados que se projetam do *front* da escarpa principal. Esse fundo de vale é entulhado, nas bordas, por rampas de tálus/colúvio, e na porção central, por depósitos de leques aluviais retrabalhados por ação fluvial, onde se instala um padrão de canal entrelaçado (tipo *braided*), demonstrando logo um notável padrão de canal anastomosado, correndo os rios Morto e do Meio paralelamente no mesmo fundo de vale por dezenas de quilômetros. Em certos trechos desse vale pode-se observar mesmo 3 canais bem definidos correndo paralelamente. Este padrão anastomosado só se justifica por um intenso aporte de sedimentos convergindo para o eixo do vale principal. De fato, a intensidade do recuo erosivo dessas encostas íngremes é tão expressiva que destruiu um trecho do divisor entre os rios Morto e do Cedro, sendo, inclusive, difícil delimitar-se o divisor topográfico entre essas bacias. O padrão de drenagem da bacia do rio Morto/do Meio é predominantemente treliça e

a densidade de drenagem é alta até desembocar no rio Manuel Alves.

#### 2.4.1.8 Rio do Cedro

Outro afluente da margem direita do rio Mãe-Luzia, o rio do Cedro e seu importante tributário, o Braço rio do Cedro, compõem uma bacia hidrográfica adjacente ao do rio Morto/do Meio, com situação morfológica similar às anteriores: No baixo curso, os canais principais divagam na extensa planície dos leques aluviais retrabalhados com padrão de canal meandrante e densidade de drenagem baixa a média. O percurso do baixo rio Cedro demonstra, contudo, certa peculiaridade, pois não se instala na porção central da planície dos leques aluviais, mas mantém-se encostado aos espigões alinhados, como se observa próximo à localidade de Rio Cedro Médio. Já próximo à desembocadura com o rio Mãe-Luzia, o rio do Cedro assume orientação NW-SE, já observada em outros canais da planície.

No médio-alto curso, a rede de canais drena a escarpa da Serra Geral e seus espigões, estes já dissecados e rebaixados, apresentando um padrão de drenagem treliça e alta densidade de drenagem, sob forte controle estrutural e elevado gradiente dos canais formadores. O padrão de drenagem dos canais, no alto curso é, mais uma vez, entrelaçado, gradando à jusante para um padrão de canal anastomosado. O grau de anastomosamento dos canais é tão evidente que um tributário do rio do Cedro (rio Sanga) ocupa, parcialmente, o fundo de vale do rio São Bento, como se observa junto à localidade de São Bento Alto.

#### 2.4.1.9 Rio Guarapari/São Bento

Outro afluente da margem direita do rio Mãe-Luzia, o rio Guarapari/São Bento compõe uma bacia hidrográfica adjacente à do rio do Cedro, drenando, contudo, uma porção mais expressiva da escarpa da Serra Geral, juntamente com seus dois formadores (os rios da Serra e da Mina) e seus tributários principais (os rios Serrinha e Seco).

No médio-alto curso desta bacia, este rio caracteriza-se por um vale amplo, ladeado de espigões longos e dissecados, em parte destruídos pela ação erosiva. . Esse fundo de vale é entulhado, nas bordas, por rampas de tálus/colúvio, e na porção central, por depósitos de leques aluviais retrabalhados por ação fluvial, onde se instala um padrão de canal entrelaçado (tipo *braided*). A Figura 3 ilustra o médio-alto curso desta bacia junto ao local onde se construiu a barragem do rio São Bento.

O padrão de drenagem dos canais é entrelaçado e apresenta um padrão de drenagem treliça a retangular e alta densidade de drenagem, sob forte controle estrutural e elevado gradiente dos canais formadores. O baixo curso da bacia, já em ambiente de planície, adquire um padrão anastomosado até desaguar no rio Mãe-Luzia. O canal principal, até então denominado São Bento, divide-se em dois braços principais, denominados, respectivamente, São Bento e Guarapari, conforme se vê entre as localidades de São Bento Alto e São Bento Baixo. Na foz com o rio Mãe-Luzia, este rio denomina-se Guarapari.



Figura 3: Nas bordas da bacia, depósitos de tálus, e no centro, depósitos de leques aluviais. A figura mostra o padrão de canal entrelaçado (tipo *braided*) onde se pode verificar a migração de canais e a formação de pequenas ilhas sobre as barras longitudinais. Local: Alto curso do rio São Bento, a montante da barragem. Foto cedida pelo prof. Jöel PÉllérin.

#### 2.4.1.10 Rios Jordão, Manim e do Pio

Os rios Jordão, Manim e do Pio consistem em afluentes um pouco menores da margem direita do rio Mãe-Luzia e confluem no médio curso do rio principal em área de intensa exploração da Bacia Carbonífera de Criciúma, entre Siderópolis e Treviso. Deste modo, o baixo curso destes três rios também sofreu intervenção antrópica decorrente da atividade mineira.

Exceto o rio Jordão, que nasce num espigão elevado, os rios Manim e do Pio

drenam apenas a escarpa da Serra Geral. Os três canais demonstram padrão de drenagem subdendrítico a treliça, e alta densidade de drenagem, com elevado gradiente de canal. Mas, devido ao fato de suas bacias apresentarem dimensões mais reduzidas, não conseguiram desenvolver amplos vales com padrão de drenagem entrelaçada ou anastomosada. Já no baixo curso das sub-bacias, estes rios percorrem um relevo de colinas baixas até desaguar no amplo fundo de vale do rio Mãe-Luzia, apresentando padrão de drenagem dendrítico e média a alta densidade de drenagem. O rio Jordão notabiliza-se por apresentar rampas de colúvio espaiadas ao longo de seu perfil longitudinal no seu médio-baixo curso.

#### 2.4.1.11 Rio Sangão

Afluente da margem esquerda do rio Mãe-Luzia, o rio Sangão exibe um padrão meandrante de alta sinuosidade, divagando sobre uma extensa planície plana de leques aluviais retrabalhados. Este rio corre paralelamente ao baixo curso do rio Mãe-Luzia em direção N-S, desenvolvendo uma expressiva planície aluvial. No baixo-médio curso, até a localidade de Sangão, consiste num típico rio de planície, apresentando uma bacia de muito baixa densidade de drenagem. No médio-alto curso, o rio Sangão ainda mantém o padrão de canal meandrante de alta sinuosidade e um amplo fundo de vale. Mas, à montante da localidade de Sangão, o relevo plano da bacia cede lugar a terrenos com colinas de baixa amplitude topográfica e é delimitado por baixos platôs e cristas sustentadas por rochas de derrames basálticos, formando as cabeceiras da bacia. Apesar destas cristas e platôs alcançarem cotas entre 300 e 500m, são relativamente modestas frente às altitudes atingidas pelo topo da escarpa da Serra Geral, que sustentam cotas entre 1100 e 1 500m.

No relevo de colinas, o padrão de drenagem é dendrítico a sub-dendrítico, com densidade de drenagem média. Já sobre os terrenos íngremes das escarpas dos baixos platôs e das cristas, o padrão de drenagem é paralelo a treliça, com densidade de drenagem alta. Sobre sub-bacias tributárias do rio Sangão estão assentados os sítios urbanos de Criciúma, Rio Maina e Metropolitana e também áreas de mineração de carvão. Este fato acarretou uma grande descarga de sedimentos e poluentes no médio curso do rio Sangão, implicando sua degradação ambiental.



#### 2.4.1.12 Rio Fiorita

Pequeno afluente da margem esquerda do rio Mãe-Luzia, o rio Fiorita caracteriza-se por atravessar três domínios morfológicos distintos: no alto curso, o rio Fiorita percorre um baixo platô aplainado, sustentado por rochas de derrames basálticos e alçados a cotas entre 380 e 500m. Neste trecho o rio divaga sobre essa superfície num padrão de canal meandrante, apresentando o alto rio Fiorita um baixo gradiente de canal, e sua bacia, uma baixa densidade drenagem.

O médio curso do rio Fiorita caracteriza-se por uma grande ruptura de gradiente do perfil longitudinal do canal, onde o rio desce o degrau litoestrutural do platô e converge para o vale de colinas do médio rio Mãe-Luzia. Assim sendo, o gradiente do canal é muito elevado, com padrão retilíneo e atuação mais importante dos processos erosivos. Esse trecho da bacia apresenta média a alta densidade de drenagem e padrão paralelo à treliça.

O baixo curso da bacia, onde estão assentadas a vila Fiorita e a cidade de Siderópolis, está fortemente impactado pela atividade mineral, num cenário de pilhas de rejeito e lagoas ácidas que descaracterizaram totalmente o vale do rio Fiorita. À jusante desta cidade, o rio apresenta um típico padrão de canal meandrante, a despeito da alta descarga de sedimentos, que percorre um relevo de colinas baixas e arrasadas, em parte transformadas pela ação antrópica.

### 2.5 Cobertura vegetal

A região sul de Santa Catarina foi, originalmente, coberta pela Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica de Encosta). O termo Ombrófila deve-se à excelente distribuição de chuvas (em grego = ombros). O termo Densa revela que a floresta se desenvolvia de forma exuberante, constituída de árvores vigorosas, com largas copas perenifoliadas, resultando uma cobertura fechada, de aspecto denso.

Os primeiros colonizadores europeus aqui chegados iniciaram a derrubada desta floresta para implantarem suas casas e benfeitorias e para estabelecerem áreas de cultivo para subsistência e para a criação de gado. Em conseqüência disso, o desmatamento foi-se acelerando. Abriram-se estradas, novas áreas agropecuárias, e passou-se a utilizar progressivamente maiores quantidades de lenha com fins energéticos nas estufas de fumo, olarias, cerâmicas e outras

indústrias. As espécies de valor comercial tais como canela, louro, cedro, ipê e itaúba passaram a ser exploradas intensamente, de forma seletiva, para atender às demandas dos setores da construção civil, mobiliário, entre outros. Nas áreas mais planas, onde as árvores mais freqüentes eram baguaçu, peroba, ipê-amarelo, figueira, sobragi, palmitero, bacopari, entre outras, ocorreu o desmatamento para a implantação de áreas de cultivo de arroz em rotação com a pecuária.

Com isso, na bacia do rio Araranguá, os remanescentes da floresta nativa estão localizados quase exclusivamente nas escarpas da Serra Geral, onde a vegetação florestal encontra-se quase inteiramente preservada devido a condições de pouca acessibilidade, aliadas a sua inaptidão agrícola. Apenas esparsos segmentos das baixas vertentes apresentam alguma ocupação, ainda que de forma rarefeita. Ocorrem ainda em pequenos nichos ao longo da bacia, distribuídos nas propriedades rurais.

A despeito da pouca espessura dos solos existentes ao longo do escarpamento, este é recoberto por floresta tropical (“Mata Atlântica”) montana e sub-montana, estando próximo aos limites meridionais de sua ocorrência fitogeográfica (TEIXEIRA *et al.*, 1986). Tal fato deve-se ao clima extremamente chuvoso neste trecho de borda de planalto, condicionado por chuvas orográficas, onde a muralha montanhosa, representada pela Serra Geral, retém boa parte da umidade trazida pelos sistemas frontais e propicia um aumento da pluviosidade na serra em detrimento do planalto, situado a sotavento.

As áreas florestadas existentes ao longo de cursos d’água são denominadas matas ciliares ou ripárias e de galeria (HUECK; AB’SABER apud CITADINI-ZANETTE, 1995). As matas ciliares são definidas como “matas ecológicas”, pois, de acordo com as condições locais de topografia, clima e solos, apresentam tipos fisionômicos bem definidos. Porém, em Santa Catarina, a maior parte da vegetação marginal aos cursos d’água foi substituída por culturas cíclicas e pastagem devido à proximidade da água e à fertilidade do solo. De acordo com KLEIN *et al.* apud CITADINI-ZANETTE (1995, p. 3), “a ocorrência dessa formação ficou restrita aos trechos de difícil acesso, como depressões e encostas íngremes.”

Ao longo do litoral encontram-se formações vegetais de origem primária, denominadas restinga (SANTA CATARINA, 1997a). Por sua localização junto ao litoral, as restingas têm sido, desde a colonização européia, submetidas a um intenso processo de degradação ambiental.

O termo restinga está associado às planícies formadas por sedimentos arenosos marinhos, praias e/ou eólicos, terciários e quaternários.

De acordo com a resolução CONAMA N<sup>o</sup> 261, de 30 de junho de 1999, entende-se por restinga um conjunto de ecossistemas que compreende comunidades vegetais florísticas fisionomicamente distintas, situadas em terrenos predominantemente arenosos, de origem marinha, fluvial, lagunar, eólica ou combinações destas, de idade quarternária, em geral com solos pouco desenvolvidos.

Esses ecossistemas foram os primeiros a sofrer os impactos antrópicos pela ampla exploração de seus recursos naturais. As restingas foram e continuam sendo os locais preferenciais para o desenvolvimento urbano e turístico. Como resultado disto, vários locais situados ao longo do litoral brasileiro apresentam hoje grande comprometimento ambiental.

Os cordões arenosos representam um dos mais importantes ambientes litorâneos, tanto por sua extensão como por seu significado ecológico. Este é um dos ambientes costeiros que vem sofrendo maior descaracterização em razão de sua natural vulnerabilidade, da ocupação urbana e da supressão da cobertura vegetal original.

As planícies arenosas são ocupadas por uma grande variedade de comunidades vegetais devido à diversidade da sua origem geológica-topográfica e das condições ambientais. Esta diversidade proporciona a formação de muitos *habitats* e, conseqüentemente, de uma flora rica e variada, englobando-as na categoria geral de restinga. Os processos ecológicos na restinga são pouco conhecidos e sua vegetação vem sendo cada vez mais descaracterizada pelo homem.

CALDAS *et al.* (2003) realizaram a caracterização geoambiental da área de restinga do município de Içara. Para o levantamento da vegetação arbórea-arbustiva subdividiram a área estudada em dunas, campos e banhados. Nas dunas (cordões litorâneos atual e subatual) as espécies que mais se destacaram foram as: *Panicum rancemosum* (capim panicum), *Hidrocotile bonariense* (erva-capitão) e *Androtrichum trigynum* (junco). No campo, *Panicum rancemosum* (capim panicum) e *Androtrichum trigynum* (junco) foram as espécies que apresentaram maior incidência. E nos banhados destacaram-se *Scirpus maritimus* (tiririca) e *Typha domingensis* (taboa). Os campos e os banhados correspondem aos terraços marinhos e depósitos

lagunares e lacustres, respectivamente.

Sabe-se que o equilíbrio ambiental desta porção costeira é muito sensível e que por esse motivo qualquer ação antrópica mal planejada poderá desencadear a ação de processos erosivos, a degradação dos recursos hídricos bem como a modificação substancial da paisagem local.

Nesta bacia ocorre também a prática do reflorestamento por eucalipto e *Pinus*, visando às florestas energéticas de rápido crescimento, cuja madeira é também utilizada no escoramento de instalações subterrâneas de mineração e para fins industriais. Em amplas áreas da bacia do rio Araranguá a vegetação original deu lugar a este tipo de cobertura vegetal.

## 2.6 Clima e Hidrologia

A caracterização do clima de uma determinada região deve tomar em consideração vários fatores, tais como: radiação solar, latitude, continentalidade, massas de ar, correntes oceânicas. Estes fatores condicionam os elementos climáticos como temperatura, precipitação, umidade do ar, pressão atmosférica, entre outros (BACK, 1999). Segundo estudos realizados por PANDOLFO; BRAGA (2002), “existe alta correlação entre as temperaturas do Estado de Santa Catarina em relação à longitude, latitude e a altitude”.

A bacia do rio Araranguá caracteriza-se por ter uma expressiva variação na altitude. Na faixa costeira a altitude é pequena, inferior a 100 metros; nas proximidades do sopé da escarpa até o seu topo, varia de 200 a mais de 1400 metros. Este relevo, por sua vez, proporciona o aparecimento de chuvas orográficas e convectivas regionais, afetando a espacialidade das precipitações.

### 2.6.1 Classificação climática

De acordo com o Atlas Climatológico do estado de Santa Catarina (2002), a bacia do Araranguá insere-se em uma região que, segundo o sistema de classificação climático de Köppen, se enquadra no clima do grupo C - mesotérmico, uma vez que as temperaturas médias do mês mais frio estão abaixo dos 18°C e acima de 3°C, e neste grupo, ao tipo (f) sem estação seca distinta (Cf), pois não há

índices pluviométricos mensais inferiores a 60 mm. Quanto à altitude da região, o clima se distingue por subtipo de verão (a), com temperaturas médias nos meses mais quentes de 28°C (Cfa).

O clima da região sul é caracterizado pela ação de massas de ar intertropicais quentes e massas polares frias, sendo as últimas responsáveis pelo caráter mesotérmico do clima, de efeito acentuado, atuando, porém, em ondas esparsas, dominadas parcialmente pelas massas intertropicais - "Tropical Atlântica" de ação complementar. As oscilações da frente polar que atingem o território catarinense durante todo o ano imprimem sobre o seu clima dois aspectos característicos: a instabilidade do tempo e a elevada pluviosidade no decorrer do ano. O predomínio das chuvas de verão se faz por interferência de expansão da massa equatorial continental para o sul, estendendo-se até o litoral sul do Estado.

Para a descrição climática da área em estudo utilizaram-se os dados da estação meteorológica da Epagri, de Urussanga, por ser representativa da região, e os dados de precipitação de algumas estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA). A tabela 1 apresenta valores médios mensais das variáveis meteorológicas registradas em Urussanga (BACK, 1997). Os dados de precipitação pluviométrica referem-se ao período de 1949 a 1996. Nas demais variáveis meteorológicas foram utilizadas as séries de dados registradas no período de outubro de 1980 a dezembro de 1996. A evapotranspiração potencial de Urussanga foi calculada de pelo método Penman-Monteith.

### 2.6.2 Temperatura

No território catarinense evidenciam-se as características subtropicais, sendo que os valores de temperatura sofrem forte influência da altitude, com os menores valores registrados nos pontos de cota mais elevada. Segundo EPAGRI (1999), na sub-região sul do estado a temperatura média anual varia de 17,0 a 19,3° C. A temperatura média das máximas varia de 23,4 a 25,9° C, e das mínimas, de 12,0 a 15,1° C. Podem ocorrer, em termos normais, de 0,3 a 11,0 geadas por ano. Os valores de horas de frio abaixo ou iguais a 7,2° C são relativamente baixos (de 164 a 437 horas acumuladas por ano). A insolação total normal anual varia de 1.855 a 2.182 horas nesta sub-região (THOMÉ *et al.*, 1999).

### 2.6.3 Precipitação Pluviométrica

O litoral sul do estado é caracterizado pelos menores valores de precipitação total anual, variando de 1.220 a 1.660 mm, com um total anual de dias de chuva entre 98 e 150 dias (EPAGRI, 1999). Em geral, a precipitação está bem distribuída durante o ano devido às características do relevo e à atuação da Massa Polar Atlântica e da Massa Tropical Atlântica que, por sua constância, fazem com que não ocorra uma estação seca (SANTA CATARINA, 1986).

Tabela 1: Valores médios mensais das variáveis meteorológicas registradas na estação meteorológica de Urussanga, SC .  
(Adaptado de BACK, 1997).

Variável	Mês do ano												média anual	total anual
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago	Set.	Out.	Nov.	Dez.		
Temp. média (°C)	24,0	24,0	22,7	20,4	17,0	14,5	14,1	14,4	16,5	18,3	20,9	22,6	19,1	
Temp. máxima (°C)	29,9	30,0	28,9	26,8	24,0	22,0	21,6	22,0	23,6	24,4	27,1	28,9	25,8	
Temp. mínima (°C)	19,1	19,2	18,0	15,6	12,0	9,2	8,9	9,0	10,9	13,2	15,4	17,2	14,0	
Precipitação (mm)	200,1	201,8	174,8	99,1	94,2	81,8	95,5	112,8	129,5	130,4	119,2	154,3	132,8	1593,5
Umid. Rel. (%)	83,2	84,1	85,4	86,1	87,1	87,5	86,8	85,2	82,2	82,5	80,5	79,1	84,1	
vento(m.s-1)	2,1	2,3	2,5	2,4	2,3	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0	2,8	2,5	
insolação (h/dia)	5,4	5,6	5,6	5,2	5,0	4,8	4,6	4,9	4,6	4,6	5,7	5,6	5,1	
Insolação (h/mês)	167,4	158,2	173,6	156,0	155,0	144,0	142,6	151,9	138,0	142,6	171,0	173,6	156,2	1873,9
Evapotranspiração (mm)	131,9	116	108,9	82,0	62,9	51,0	57,1	70,8	84,6	112,2	126,1	135,4		1138,9

As medições obtidas na Estação Meteorológica de Araranguá refletem uma amplitude pluviométrica com valores menores em comparação com outras regiões do Estado. A amplitude pluviométrica no Estado é de 1.254 mm, considerando-se as estações de Xanxerê (2.373 mm), no oeste do estado, a estação de Urussanga (1.474,9 mm), na região carbonífera, a estação de Turvo (1868 mm), situada dentro da bacia, nas proximidades do sopé da encosta do planalto, e a estação de Araranguá (1.219 mm), no litoral. Sabe-se que nas proximidades da encosta do planalto, onde se situa grande porção da área, as precipitações pluviométricas são mais abundantes do que no restante da bacia, DUARTE (1995), BACK (1997 e 1999) e PANDOLFO; BRAGA (2002).

Observa-se uma acentuada variação na precipitação pluviométrica dentro da bacia do Rio Araranguá, a qual aumenta no sentido de leste para oeste. Esta variação da precipitação foi demonstrada nos estudos do EIA/Rima da Barragem do Rio do Salto (SANTA CATARINA, 2000), comparando-se os dados de precipitação de três estações pluviométricas da bacia do rio Araranguá e da Estação Meteorológica de Urussanga, tida como referência para os estudos na região Sul do Estado. Na tabela 2 constam as coordenadas e o período analisado das estações utilizadas

Tabela 2: Estações pluviométricas estudadas.

Estação	Código	Entidade	latitude	Longitude	altitude	Período de análise
ARARANGUÁ	02849004	DNAEE	28°57'00"	49°36'36"	10 M	1946-1998
MELEIRO	02849005	DNAEE	28°49'00"	49°38'38"	80 M	1943-1998
TIMBÉ DO SUL	02849019	DNAEE	28°49'00"	49°50'50"	115 M	1977-1998
URUSSANGA	02849011	EPAGRI	28°31'00"	49°19'19"	48 M	1949-1998

Para a comparação dos regimes pluviométricos consideraram-se as séries de dados de 1977 a 1998. Na tabela 3 constam os totais mensais e anuais de cada estação e na tabela 4 estão os valores de número de dias de chuva igual ou maior que os limites de 0,1; 1,0; 5,0; 10,0; e 50,0 mm. Na tabela 5 está indicada a intensidade média diária das chuvas, calculada pela divisão da precipitação média mensal pelo número de dias de chuva maior ou igual a 0,1 mm.



Tabela 3: Totais médios mensais e anuais de precipitação pluviométrica observada no período de 1977 a 1998.

Mês	Estação			
	Araranguá	Meleiro	Timbé	Urussanga
Janeiro	147,1	178,2	224,0	210,4
Fevereiro	142,5	178,7	257,8	222,3
Março	123,1	136,6	189,6	154,0
Abril	95,4	94,6	119,0	106,0
Mai	98,7	97,1	110,4	111,1
Junho	94,1	85,4	104,8	86,3
Julho	113,6	97,9	125,6	122,6
Agosto	112,2	111,7	137,8	106,7
Setembro	122,8	118,9	154,3	123,0
Outubro	129,6	123,5	180,2	149,4
Novembro	123,2	122,1	174,2	137,2
Dezembro	140,1	181,8	205,2	195,5
Anual	1435,8	1526,6	1982,9	1724,5

Tabela 4: Número de dias de chuva observada nas diferentes estações pluviométricas no período de 1977-1998

Araranguá													
Limite	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
>0,1 mm	10,7	10,2	9,6	6,9	6,1	6,5	7,9	7,7	8,5	8,7	8,2	8,8	97,5
>1,0 mm	10,4	10,1	9,6	6,9	6,1	6,5	7,8	7,7	8,5	8,7	8,2	8,8	97,0
>5,0 mm	7,6	7,3	7,0	4,8	4,6	4,6	6,0	5,8	6,5	6,2	6,3	6,3	71,2
>10 mm	5,2	5,0	4,2	2,8	3,0	2,7	3,7	4,2	4,5	4,0	3,9	4,0	46,1
>50 mm	0,19	0,41	0,32	0,27	0,32	0,27	0,48	0,29	0,24	0,19	0,27	0,57	3,73
Meleiro													
Limite	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
>0,1 mm	12,6	11,2	11,0	7,5	7,2	7,1	7,8	8,0	9,4	9,7	9,9	12,0	111,8
>1,0 mm	12,2	10,8	10,3	7,1	6,8	6,5	7,4	7,6	9,0	9,4	9,8	11,6	106,9
>5,0 mm	9,0	8,6	6,9	4,6	4,4	4,0	5,3	5,5	6,0	6,4	6,7	7,8	74,0
>10 mm	6,7	6,0	5,2	3,2	3,1	2,5	3,5	4,1	4,0	4,5	4,1	5,7	51,8
>50 mm	0,45	0,57	0,32	0,27	0,55	0,27	0,18	0,50	0,32	0,23	0,09	0,65	4,32
Timbé do Sul													
Limite	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
>0,1 mm	14,5	14,0	12,0	8,0	6,9	6,1	8,9	8,7	9,7	11,6	10,6	11,9	120,1
>1,0 mm	14,1	13,9	11,6	7,7	6,6	5,9	8,6	8,5	9,5	11,5	10,5	11,9	117,5
>5,0 mm	10,6	10,6	9,2	5,6	4,9	4,4	6,4	6,9	7,0	8,2	8,3	8,8	88,8
>10 mm	7,1	7,4	6,7	4,2	3,5	3,0	4,4	4,5	4,8	5,6	5,9	6,0	61,8
>50 mm	0,95	0,82	0,55	0,27	0,36	0,35	0,30	0,52	0,43	0,24	0,41	0,68	5,77
Urussanga													
Limite	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
>0,1 mm	16,1	15,0	14,0	10,7	9,3	9,0	10,5	10,0	12,0	14,0	13,0	14,1	147,6
>1,0 mm	14,5	13,4	12,1	8,5	7,9	7,0	8,8	8,4	9,8	11,2	11,1	12,5	125,0
>5,0 mm	9,8	9,3	7,6	4,8	4,8	4,1	5,8	5,5	6,0	7,1	7,0	8,1	79,9
>10 mm	6,7	6,6	4,7	3,2	3,5	2,3	4,0	3,8	3,9	4,7	4,4	5,6	53,4
>50 mm	0,64	0,55	0,23	0,23	0,36	0,18	0,32	0,27	0,32	0,32	0,36	0,64	4,41

Tabela 5: Intensidade média da precipitação (mm/dia)

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov	Dez	Ano
Araranguá	13,8	13,9	12,8	13,8	16,2	14,4	14,5	14,5	14,4	14,9	15,0	15,9	14,7
Meleiro	14,1	16,0	12,5	12,7	13,5	12,0	12,5	13,9	12,7	12,7	12,3	15,2	13,7
Timbé	15,4	18,5	15,8	14,9	16,0	17,2	14,2	15,9	15,9	15,6	16,4	17,2	16,5
Urussanga	13,1	14,9	11,0	9,9	11,9	9,6	11,7	10,6	10,2	10,7	10,5	13,8	11,7

Observa-se que em geral a pluviosidade é menor na planície litorânea e os maiores valores de pluviosidade são observados próximos à encosta. Essa variação se explica em parte pelo efeito da orografia na origem das chuvas.

VALDATI (2000) instalou 6 pluviômetros na sub-bacia do Rio da Pedra, dispostos no sentido W-E, com altitudes que variam de 220 m até 60 m, distanciados de 12 km, e encontrou variações de 2591,47 mm até 1766,79 mm na precipitação total do ano de 1998.

Quanto às características das precipitações, observam-se algumas diferenças sazonais. Os meses de dezembro a março são caracterizados por chuvas mais freqüentes e de maior intensidade. Por outro lado, os meses de maio a setembro são caracterizados pela menor intensidade e menor freqüência das chuvas.

Ainda segundo Santa Catarina (2000), o número de dias de chuva por ano é de 98, 112, 120 e 148 para as estações de Araranguá, Meleiro, Timbé e Urussanga, respectivamente. O número médio de dias de chuva maior que 50 mm varia entre 3,7 a 5,5, tendo sido os maiores valores de intensidade média de precipitação observados em Timbé e os menores em Urussanga.

#### 2.6.4 Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial refere-se à quantidade de água necessária para cobrir as perdas por evaporação e transpiração de uma área coberta por vegetação verde, de porte baixo, sem restrições de umidade. Os valores de evapotranspiração estão diretamente relacionados aos dados da temperatura, umidade do ar, insolação e velocidade do vento.

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios mensais de evapotranspiração potencial, estimados pelo método de Penman-Monteith para Urussanga (BACK, 1997). Observa-se que os valores são máximos no verão e mínimos no inverno. Somente no mês de novembro os valores de evapotranspiração

superam os valores de precipitação, caracterizando-se assim como o mês com maior risco de déficit hídrico.

### 2.6.5 Balanço Hídrico

O balanço hídrico climatológico, desenvolvido por THORNTHWAITTE; MATHER (1955), é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo pela chuva (P) e da demanda atmosférica pela evapotranspiração potencial (ETP), e com um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD) apropriada ao estudo em questão, o balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM), podendo ser elaborado desde a escala diária até a mensal.

Na figura 4 a 7 estão representados os balanços hídricos médios mensais, segundo a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), considerando-se a capacidade de armazenamento de 100 mm. Nestes balanços hídricos consideraram-se os dados de Evapotranspiração calculados pelo método de Thornthwaite com os dados da estação meteorológica de Urussanga, e os dados de precipitação das respectivas estações constantes na Tabela 3.

Observa-se que em termos médios a precipitação supera a evapotranspiração em todos os meses, sendo os excessos hídricos maiores na estação mais a oeste da bacia.

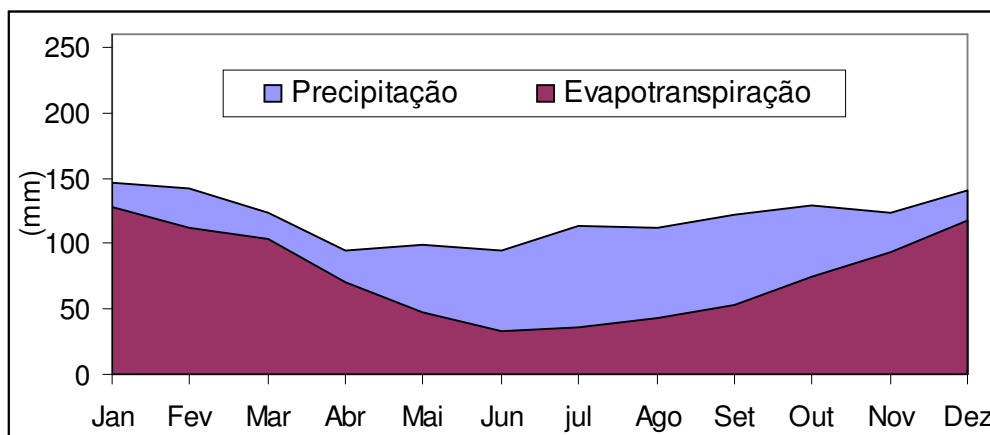


Figura 4: Balanço hídrico mensal de Araranguá.

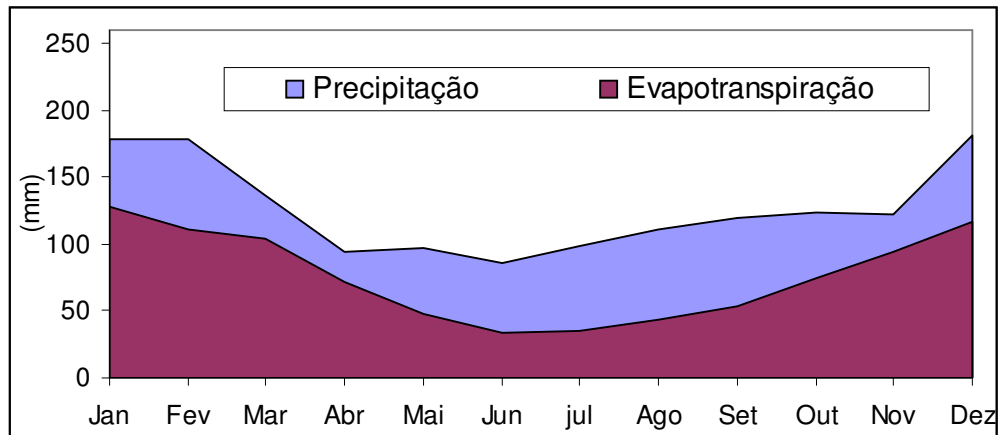


Figura 5: Balanço hídrico mensal de Meleiro.

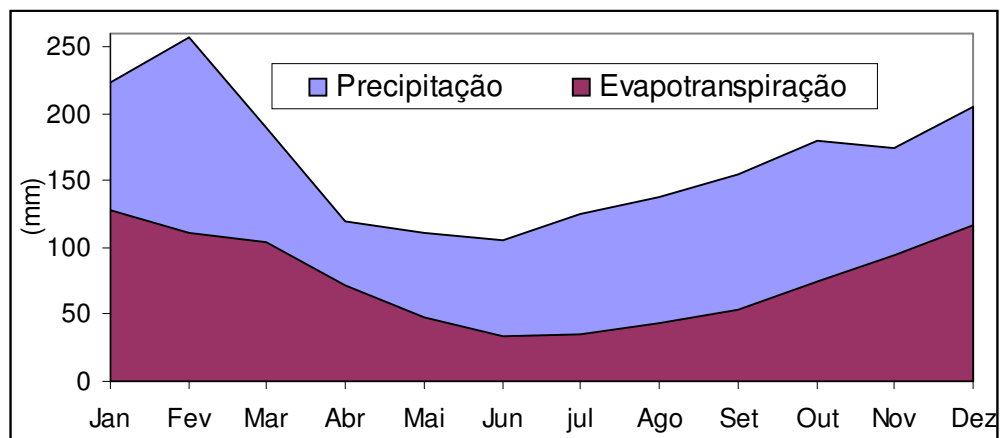


Figura 6: Balanço hídrico mensal de Timbé do Sul.

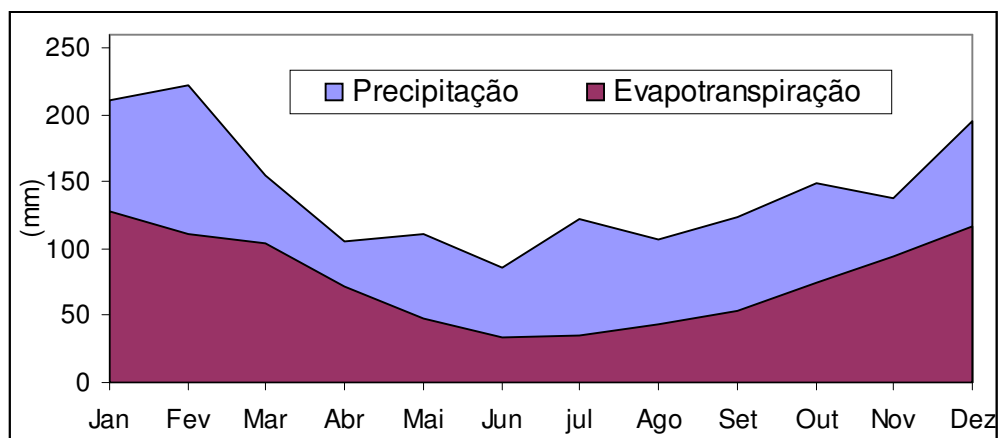


Figura 7: Balanço hídrico mensal de Urussanga.

### 2.6.6 Caracterização Hidrológica

A bacia do rio Araranguá tem área de drenagem de 3020 km<sup>2</sup>, com densidade de drenagem de 1,95 km/km<sup>2</sup>. As vazões específicas médias anuais variam de 32 a 49 l/s/km<sup>2</sup>. O regime fluviométrico acompanha o regime pluviométrico, variando a vazão específica máxima média de 900 a 500 l/s/km<sup>2</sup>, e as vazões específicas de 7 dias de estiagem com período de retorno de 10 anos, de 1,5 a 7,5 l/s/km<sup>2</sup> (SANTA CATARINA, 1997).

Vários municípios da bacia do Rio Araranguá apresentam problemas de enchentes, causando danos expressivos tanto às áreas urbanas como às rurais, decorrentes em alguns casos da ocupação inadequada do solo (urbanização das planícies de inundação dos rios).

SANTA CATARINA (2000), no estudo do EIA/Rima da barragem do Rio do Salto, apresentou o estudo dos dados de vazão dos rios Amola Faca e Itoupava, cujos dados se encontram na Tabela 6.

Tabela 6: Estações fluviométricas estudadas.

Estação	Código	Local	Latitude	Longitude	Área (km <sup>2</sup> )	Período
Turvo	84949000	Rio Amola Faca	28°56'00"	49°42'42"	336	1977-1996
Taquaruçu	84950000	Rio Itoupava	28°57'00"	49°36'00"	898	1942-1996

Na tabela 7 encontram-se os dados das vazões específicas médias, mínimas e máximas mensais no período analisado para a estação de Turvo bem como a vazão média para a estação de Taquaruçu.

Com estes dados verifica-se que as vazões apresentam uma variação muito grande em função do regime pluviométrico e das características físicas, principalmente características geomorfológicas da bacia. As descargas médias mensais mais elevadas ocorrem nos meses de outubro a abril, de acordo com a variação sazonal da pluviometria.

Apesar de os maiores valores de vazões máximas médias mensais também ocorrerem no período da primavera e verão, em todos os meses se observam valores absolutos extremos. Assim, pode-se observar que há risco de enchente em todos os meses do ano.

Tabela 7: Vazões específicas (l/s/km<sup>2</sup>) do Rio do Salto (Área 336 km<sup>2</sup>) e Rio Itoupava (Área 898 km<sup>2</sup>)

Mês	Rio do Salto			Rio Itoupava
	Média	Máxima	Mínima	Média
Janeiro	48,28	264,81	12,381	37,76
Fevereiro	51,21	272,65	13,533	59,74
Março	51,08	235,76	12,381	51,80
Abril	34,86	220,55	12,051	33,41
Maiο	27,58	180,68	9,914	23,73
Junho	17,76	200,85	2,827	22,07
Julho	23,90	171,46	3,486	23,80
Agosto	32,60	295,04	4,348	29,79
Setembro	32,49	292,92	4,861	43,58
Outubro	35,29	308,62	3,744	38,07
Novembro	40,64	331,16	4,189	35,64
Dezembro	55,04	398,74	4,103	31,06
Anual	32,36	1037,5	0,726	36,12

## 2.7 A Área da Bacia do Rio Araranguá e a Questão Ambiental

Por um longo período, perdurou a crença de que era possível empreender-se um processo de desenvolvimento sem levar em conta as barreiras naturais. Em decorrência disso, construiu-se uma sociedade urbano-industrial assentada na utilização maciça dos recursos naturais. Este fato ocorreu tanto nos países capitalistas como nos países socialistas. Em ambos os casos, os padrões de produção e consumo apoiavam-se na mesma base técnico-científica e na hipótese economicista de que o homem seria capaz de gerar conhecimentos que compensariam os estragos ambientais.

O que emergia como verdade suprema desta visão de desenvolvimento era sintetizado como desenvolvimento socioeconômico, sinônimo de progresso e de crescimento.

Com a globalização da economia, desenvolvida lentamente na década de 60 e acelerada nas décadas posteriores, verificou-se uma maciça transferência de indústrias dos países desenvolvidos para outras partes do mundo. A revolução nos transportes e na comunicação tornou possível uma economia de produção em escala mundial (SANTOS, 1996).

Do ponto de vista social, ocorreu uma dinâmica crescente e continuada de exclusão, gerando, especialmente nos países em desenvolvimento, um contingente cada vez maior de desempregados.

Em todo o mundo o lençol freático se contamina, as áreas florestais diminuem e os desertos se multiplicam. O clima sofre profundas alterações, a camada de ozônio se depaupera, colocando em risco o tempo que a humanidade tem para habitar o planeta.

As estratégias de desenvolvimento adotadas nos países do Terceiro Mundo privilegiaram o crescimento econômico a curto prazo, às custas dos recursos naturais vitais, provocando verdadeira crise ambiental global. O homem, na busca de seu bem-estar social e econômico, modificou o espaço natural, tornando-o cada vez mais territorializado (RAMPAZZO, 1997).

O modelo de desenvolvimento econômico atual, fortemente embasado em um sistema capitalista segundo o qual quem possui capital detém o poder, resultou, com o passar dos anos, um comprometimento dos recursos naturais que em alguns casos tem conduzido a enormes conflitos de ordem social, cultural e ambiental.

Dentro dessa ótica, na área correspondente à bacia do rio Araranguá, o carvão mineral, a argila, os recursos hídricos, a potencialidade do solo para atividades agropastoris e para a expansão urbana aparecem como objeto de disputa territorial.

As atividades de mineração e beneficiamento de carvão, as atividades industriais, a falta de rede de coleta e de tratamento de esgoto em todos os municípios e a utilização de defensivos agrícolas nas áreas cultivadas estão entre os principais fatores responsáveis pela contaminação dos recursos hídricos, degradação do solo e, conseqüentemente, pelo comprometimento ambiental de grande parte da área correspondente à bacia do rio Araranguá.

#### 2.7.1 Problemática dos recursos hídricos subterrâneos

Os principais problemas relacionados aos recursos hídricos subterrâneos referem-se à possibilidade de sua contaminação pelas diferentes fontes de poluição presentes na área de estudo e, no caso da porção costeira, à possibilidade de salinização dos aquíferos. Nas proximidades de Criciúma, pode haver problemas de exaustão do aquífero devido à sua superexploração.

As atividades de mineração e de beneficiamento de carvão são as maiores responsáveis pela contaminação dos aquíferos da bacia do rio Araranguá. Em casos extremos, provocam a destruição total de importantes intervalos aquíferos devido à inversão de todo o maciço de cobertura da camada de carvão Barro Branco, como ocorreu em épocas passadas nas proximidades de Siderópolis, em áreas mineradas a céu aberto pela *dragline* conhecida como Marion.

Nos balneários da porção costeira de Morro dos Conventos e Arroio do Silva (este último fora do limite da bacia) bem como nas proximidades da cidade de Araranguá, existe um grande número de poços (sistema de ponteiros interligadas para captação de água para fins domésticos e industriais) que exploram água dos sistemas aquíferos relacionados aos depósitos arenosos costeiros sem nenhuma preocupação com a possibilidade de salinização dos referidos sistemas. Porém, sabe-se que a água salgada, devido a sua maior densidade, forma uma cunha, penetrando pela parte inferior da porção de água doce. A pressão da água doce e o contínuo escoamento para o mar conseguem manter a posição da cunha salina em equilíbrio. No entanto, quando se dá a exploração do aquífero costeiro, o bombeamento reduz a pressão de água doce, diminuindo sua descarga para o mar. A cunha salina começa, então, a avançar, podendo atingir poços e contaminar todo o aquífero.

A poluição dos aquíferos pelas cargas difusas rurais, originadas pelo uso de agrotóxicos nas áreas de cultivo de arroz irrigado, fumo e maracujá, também é um problema que ocorre nesta bacia.

Outro tipo de fonte difusa muito preocupante com relação aos recursos hídricos subterrâneos constitui o lançamento dos efluentes industriais e domésticos. Sabe-se que grande parte das indústrias da região não possui sistema de tratamento e lança seus efluentes diretamente nos cursos d'água. Sabe-se também que nenhuma cidade da área dispõe de rede coleta e estação de tratamento de esgoto, o qual também é lançado diretamente nos corpos d'água. Estes dois tipos de carga poluente difusa, em algum ponto da bacia, atingirão certamente o nível freático e, com o passar do tempo, acabarão por contaminar o aquífero. No capítulo 3, item 3.7, aborda-se o problema de contaminação do lençol freático por nitratos e outros poluentes.

Os trabalhos de cadastramento dos poços tubulares profundos realizados no município de Criciúma indicaram que dentro da mancha urbana existe um grande



número de poços que captam um enorme volume de água, várias horas por dia, durante o ano todo, para atender à demanda industrial. Todos estes poços captam água do mesmo sistema aquífero (aquífero poroso relacionado ao topo da Formação Rio Bonito - Membro Siderópolis). Este fato vem causando a gradativa exaustão do referido sistema devido à superexploração que acarretará a retirada de parte da reserva permanente. As áreas de recarga deste aquífero têm sido alvo de intensa ocupação urbana, resultando a impermeabilização do solo, a modificação do regime de escoamento superficial, a dificuldade de infiltração, não permitindo, por conseguinte, que as reservas reguladoras reponham a reserva permanente.

Em 1997, no município de Criciúma, uma comunidade local (comunidade do Morro Esteves) mobilizou-se e impediu a mineração de carvão naquela área, o que culminou com o fechamento da mina e a paralisação das atividades da empresa mineradora. O motivo do conflito foi a possibilidade de fuga de águas superficiais, bem como subterrâneas, devido à mineração em subsolo. A pedido do Ministério Público, a UNESCO procedeu à elaboração de um diagnóstico dos impactos da mineração de carvão na referida área para embasar a decisão final sobre a questão. O resultado deste estudo é apresentado por REBOUÇAS *et al.* (1997).

No município de Siderópolis, também houve mobilização por parte da comunidade no sentido de protegerem-se os recursos hídricos em uma área em que os mesmos se encontram ainda preservados e na qual atualmente estão sendo reiniciadas as atividades de mineração subterrânea (Mina do Trevo). A comunidade acionou o Ministério Público e exigiu da empresa mineradora o monitoramento qualitativo e quantitativo por período indeterminado, a contar da data de abertura da mina, ou seja, a partir de outubro de 1998.

Segundo SANTA CATARINA (1997e), dados preliminares demonstram que na bacia do Rio Araranguá e, com maior intensidade, no município de Criciúma, existe um problema ainda não identificado de contaminação das águas provenientes de poços tubulares, evidenciando, principalmente, concentrações de ferro total que ultrapassam em até 59 vezes os padrões de potabilidade (padrão de ferro total, Ministério de Estado da Saúde = 0,3 mg/L, concentrações encontradas = 17, 70 mg/ L. O problema pode estar relacionado às atividades de mineração de carvão em subsolo, disposição de rejeitos piritosos em áreas de recarga do aquífero, infiltração a partir das águas superficiais já contaminadas ou ainda a aspectos construtivos do próprio poço.

### **3 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS: CONCEITOS GERAIS E TRABALHOS ANTERIORES NA ÁREA**

Este capítulo apresenta a revisão de tópicos relacionados à ocorrência, ao comportamento e à qualidade da água subterrânea. A seguir é dada uma visão geral do mecanismo da poluição das águas subterrâneas e atividades causadoras da contaminação. Também são abordadas as técnicas auxiliares para o estudo da vulnerabilidade e risco de contaminação de aquíferos e comentados alguns artigos de caráter regional, referentes ao tema.

#### **3.1 Importância e Distribuição da Água Subterrânea**

A água é um recurso imprescindível ao desenvolvimento das diferentes atividades socioeconômicas, além de ser o elemento vital para a existência de toda a biodiversidade. Adquire valor econômico pelo seu caráter limitado como recurso natural. Como recurso ambiental é um patrimônio comum que a sociedade deve preservar e conservar, garantindo-lhe a disponibilidade.

No entanto, ao longo dos tempos, a água vem se transformando em um recurso cada vez mais escasso, tanto pela sua disponibilidade quantitativa como pelo seu aspecto qualitativo. A civilização do Pós-Segunda Guerra Mundial promoveu uma redução na disponibilidade de água doce em cerca de 62,7% das reservas mundiais, sendo que na América do Sul tal redução foi estimada em 73% (BRUCE apud LEOPOLDO; HERRERA, 1997).

Entre os vários motivos da degradação da água pode-se citar a explosão do crescimento da população mundial, a expansão industrial desordenada, o desmatamento, o aumento das áreas de agricultura. Os recursos hídricos superficiais têm sido tratados de forma negligente, como, por exemplo, pelo lançamento de esgotos urbanos e efluentes industriais nos cursos d'água e fontes e pela intensa utilização de pesticidas e fertilizantes que, juntamente com as partículas do solo, são carregados pela chuva e levados aos cursos d'água. Estatísticas revelam que no mundo cerca de 1,3 bilhão de pessoas não têm acesso à água potável, demonstrando, desta forma, que o século XXI estará marcado pela "Crise da Água"

(OLIVEIRA, 1996).

O potencial hídrico do planeta Terra é da ordem de 1,4 bilhões de km<sup>3</sup>/ano. Porém, a parcela de água doce econômica e de mais fácil aproveitamento para as diversas necessidades humanas é de aproximadamente 14.000 km<sup>3</sup>/ano. Em 1996, a demanda mundial de água era de 5.692 km<sup>3</sup>/ano contra uma oferta de 3745 km<sup>3</sup>/ano, representando quase 41% dos 14.000 km<sup>3</sup>/ano disponíveis. Desta maneira, a oferta de água só atende a 66% da demanda dos usos múltiplos (OLIVEIRA, 1996).

Tal panorama tem levado a sociedade a recorrer cada vez mais aos recursos hídricos subterrâneos, dando às águas subterrâneas uma importância cada vez maior como fonte de abastecimento doméstico, industrial e rural (irrigação e pecuária). Estimativas da UNESCO (1992, apud MANOEL FILHO, 1997), indicam que cerca de 300 milhões de poços foram construídos no mundo durante os últimos 25 anos e que mais de 50% da sua população consomem exclusivamente água subterrânea. Por sua vez, dos 270 milhões de hectares irrigados, cerca de um terço é abastecido por poços (REBOUÇAS, 1996).

Nos Estados Unidos têm sido construídos 400.000 poços por ano nas últimas décadas, para o abastecimento de 39% dos serviços municipais de água, para a irrigação de aproximadamente 13 milhões de hectares, para o abastecimento de 75% da população rural e de indústrias. Por volta de dois terços do volume anual de 300 milhões de m<sup>3</sup> são extraídos nos Estados da Califórnia, Texas, Idaho, Nebraska, Arizona e Kansas. Algumas cidades dependem exclusivamente de água subterrânea, como é o caso de Tucson no Arizona, que possui uma população de 400.000 habitantes (SOLLEY *et al.* apud REBOUÇAS, 1996).

Na Europa, o uso da água subterrânea para o atendimento dos serviços públicos é prioridade, abastecendo em média 75% dos sistemas. Países como a Dinamarca, Suécia, Alemanha, Bélgica e Áustria têm mais de 90% do sistema abastecido por esse recurso (OECD apud REBOUÇAS, 1996).

Por volta de 60% da Austrália dependem totalmente da água subterrânea, com estimativa de cerca de 400.000 poços em operação.

Em algumas capitais da América do Sul, incluindo-se Buenos Aires e Santiago do Chile, as águas subterrâneas contribuem significativamente para o abastecimento público (FOSTER *et al.*, 1987).

No Brasil, onde não há um controle da utilização das águas subterrâneas,

torna-se difícil precisar sua participação no abastecimento de água. REBOUÇAS (1996) ressalta que, conforme dados do penúltimo censo do IBGE, de 1992, cerca de 61% da população se abastecem de água subterrânea, sendo 43% através de poços tubulares, 12% por meio de fontes ou nascentes e 6% com poços escavados. Cidades como São Luís do Maranhão, Natal, Mossoró, Maceió e cerca de 76% das cidades do estado de São Paulo, 90% das cidades do Paraná e Rio Grande do Sul têm grande parcela (ou a totalidade) de seu abastecimento feito por poços tubulares.

Água subterrânea é, por definição, a parcela de água do Ciclo Hidrológico que se encontra transitando pela subsuperfície da Terra. Segundo TODD (1973), menos de 3% da água disponível em nosso planeta provêm de cursos d'água e lagos. A outra parte, mais de 97%, estimada em cerca de 10 quatrilhões de m<sup>3</sup>, encontra-se em subsuperfície. A Tabela 8 mostra a potencialidade hídrica mundial.

Tabela 8: Potencialidade hídrica mundial

Localização	Ocorrência	Área (Km <sup>2</sup> )	Volumes (km <sup>3</sup> )	Volume (% do total)
Água doce superficial	Lagos de água doce	8,5.10 <sup>5</sup>	1,25.10 <sup>5</sup>	0,01
	Rios	-	1,25.10 <sup>3</sup>	0,0001
Água doce subterrânea	Umidade do solo e percolação	-	6,66.10 <sup>4</sup>	0,005
	Água subterrânea até 800 m	1,2.10 <sup>8</sup>	4,17.10 <sup>6</sup>	0,31
Água doce sólida	Água subterrânea abaixo de 800 m	-	4,17.10 <sup>6</sup>	0,31
	Geleiras e glaciares	1,8.10 <sup>7</sup>	2,92.10 <sup>7</sup>	2,15
Água salgada	Lagos salgados e mares interiores	7,0.10 <sup>5</sup>	1,05.10 <sup>5</sup>	0,008
	Oceanos	3,6.10 <sup>8</sup>	1,32.10 <sup>9</sup>	97,21
Vapor d'água	Atmosfera (nível do mar)	5,1.10 <sup>8</sup>	1,29.10 <sup>4</sup>	0,001
<b>Total</b>			1,36.10 <sup>9</sup>	

Fonte: COSTA (1997).

Duas importantes características diferenciam a água subterrânea: sua distribuição e qualidade. A distribuição é tanto espacial como temporal, isto é, em geral, ocorre em uma área, reagindo lentamente às alterações e às descargas. Estes fatores caracterizam a água subterrânea como água armazenada (reservas), que vem se acumulando há milhares de anos, tendo leves acréscimos anuais de volume. Em relação à qualidade, por sofrer processos de filtração e amortecimento, os quais retêm a carga sólida e biológica, a água subterrânea tende a ser límpida e pura.

### 3.2 Origem e Circulação das Águas Subterrâneas

De acordo com MANOEL FILHO (1997), quase toda a água existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico, isto é, no sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e daí para os continentes, de onde retorna, superficial e subterraneamente, ao oceano. A Figura 8 ilustra esquematicamente o ciclo hidrológico. Este ciclo é controlado no solo, subsolo, oceano e atmosfera, por diversos fatores, tais como gravidade, superfícies líquidas, condições climáticas, entre outros.

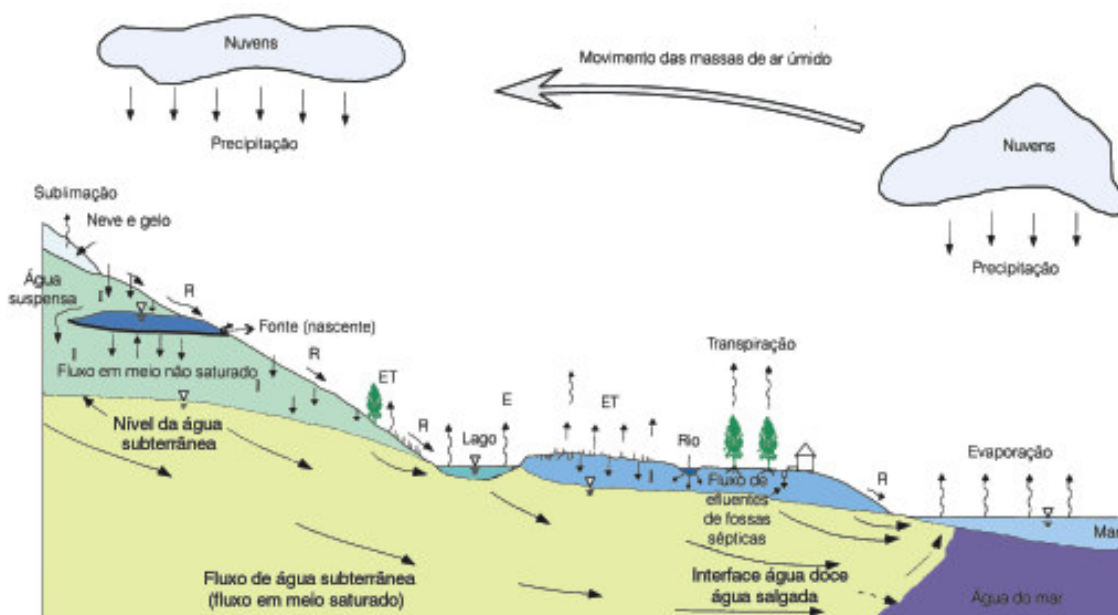


Figura 8: Representação esquemática do ciclo hidrológico. Onde: E: evaporação, ET: evapotranspiração, I: infiltração, R: escoamento superficial (deflúvio). Fonte: BEAR; VERRUIHT (apud MANOEL FILHO, 1997), modificado.

Para o estudo das águas subterrâneas é necessário, antes, revisarem-se alguns conceitos fundamentais como: precipitação pluviométrica, evapotranspiração real, escoamento superficial, infiltração, porosidade, permeabilidade, transmissividade, retenção específica e vazão específica.

Precipitação pluviométrica são todas as formas de umidade oriundas da atmosfera e depositadas na superfície da terra (MARTINS; SOUZA PINTO, 1976). Quando na forma líquida, denomina-se chuva, orvalho ou neblina. Quando na forma sólida, denomina-se neve, gelo ou geada. A medida das precipitações pluviométricas é realizada por meio de pluviômetros que medem a quantidade de

chuva em um determinado período de tempo.

De acordo com TUCCI (1993), as precipitações podem ser classificadas em convectivas, orográficas e frontais ou ciclônicas.

As convectivas formam-se de uma brusca ascensão local de ar menos denso que atingirá seu nível de condensação com formação de nuvens e, muitas vezes, precipitações. São, geralmente, chuvas de grande intensidade e pouca duração que podem causar importantes inundações em pequenas bacias.

As orográficas dão-se quando ventos quentes e úmidos, soprando do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa, elevam-se e se resfriam adiabaticamente, havendo condensação do vapor, formando nuvens e ocorrência de chuvas. São chuvas de pequena intensidade e longa duração, que cobrem pequenas áreas.

As frontais, ou ciclônicas, são as provenientes da interação de massas de ar quentes e frias. São chuvas de longa duração que atingem grandes áreas com intensidade média. Podem produzir cheias em grandes bacias.

Evapotranspiração real corresponde ao somatório de todos os processos de evaporação da água no solo e transpiração dos seres vivos, especialmente dos vegetais. De acordo com CUSTÓDIO; LLAMAS (1976), a evaporação é um processo físico pelo qual a água muda do estado líquido para o gasoso. Depende de vários fatores tais como radiação solar, teor de umidade do ar e ventos reinantes. É também um processo biofísico pelo qual a água passa do estado líquido para o gasoso, através do metabolismo dos vegetais. Neste caso, depende do período de iluminação solar, da umidade do ar e da temperatura.

Escoamento superficial, deflúvio ou *run off*, é o processo pelo qual a água da chuva, precipitada na superfície da terra, flui por ação da gravidade, das porções mais altas para as porções mais baixas, nos leitos dos rios e riachos. Ou é o excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa e que se desloca livremente pela superfície do terreno em direção às calhas de drenagem. Depende da intensidade e do tempo de duração das chuvas como da cobertura vegetal, permeabilidade, topografia e obstáculos de origem natural e antrópica, área da bacia de drenagem, geometria dos canais dos rios e riachos, profundidade das águas subterrâneas e distribuição espacial das chuvas.

Infiltração corresponde ao processo pelo qual a água flui a partir da superfície, por ação da gravidade, através dos poros do solo, até alcançar a

superfície do lençol freático.

De acordo com MANOEL FILHO (1997), o conceito de infiltração foi introduzido no ciclo hidrológico por HORTON, que definiu a capacidade de infiltração potencial como sendo a taxa máxima com que um solo pode absorver a precipitação numa certa condição. Desta forma, corresponde ao processo pelo qual a água flui a partir da superfície, por ação da gravidade, por entre os poros do solo, até alcançar a superfície do lençol freático. É função de vários fatores, como granulometria das partículas do solo, porosidade, permeabilidade, profundidade do horizonte saturado, características do fluido que se infiltrou, declividade do terreno e intensidade da chuva.

Porosidade total, ou simplesmente porosidade de um solo ou rocha, pode ser definida como a relação existente entre o volume de vazios e o volume total. Desta forma, as águas subterrâneas podem mover-se pelos poros ou vazios originais das rochas (porosidade primária) ou nas fissuras e cavidades de dissolução, desenvolvidas após sua formação (porosidade secundária).

A porosidade primária ocorre geralmente, à exceção de algumas rochas vulcânicas, nas rochas sedimentares ou sedimentos, dando origem aos aquíferos porosos. Depende do tamanho e forma dos grãos. Se os grãos forem de tamanho variado, a porosidade tende a ser menor do que no caso de se ter grãos de tamanho uniforme, porque os grãos pequenos ocupam os espaços vazios entre os grãos maiores. Está presente nas rochas sedimentares clásticas (arenitos) como também nos sedimentos inconsolidados, ocorrendo também nos elúvios, colúvios e camadas relacionadas ao manto de intemperismo.

A porosidade secundária está associada aos chamados meios anisotrópicos, originando o aquífero fissural, no caso de fraturas, fissuras, em rochas cristalinas (ígneas e metamórficas), e o aquífero cárstico, no caso de dissolução de rochas carbonáticas.

Permeabilidade, de acordo com CEDERSTROM (1964), é a habilidade de uma formação de transmitir água. Ocorre quando os poros estão intercomunicados, fazendo com que a água se mova pela ação da gravidade para baixo em direção à base do aquífero (permeabilidade vertical ou infiltração) e horizontalmente (permeabilidade horizontal) que regula o fluxo das águas. A permeabilidade pode ser calculada para uma seção vertical qualquer do aquífero ou para toda a espessura do mesmo. Neste último caso, determina-se a transmissividade, que é o

produto entre o coeficiente de permeabilidade e a espessura total do aquífero.

A retenção específica do aquífero, de acordo com TODD (1980), é a relação entre o volume de água retido após a saturação, contra a força de gravidade, em relação ao seu próprio volume.

Vazão específica (JOHNSON apud TODD, 1980) é a razão entre a quantidade de água, após a saturação, possível de ser drenada por gravidade, e o volume total de material.

Os valores de vazão específica dependem da granulometria, da forma e da distribuição dos poros, da compactação do material e do tempo de drenagem. A Tabela 9 mostra valores representativos de vazão específica para vários tipos litológicos.

Tabela 9: Valores representativos de vazões específicas para alguns tipos litológicos (adaptado de JOHNSON apud TODD, 1980).

<b>MATERIAL</b>	<b>VAZÃO ESPECÍFICA (%)</b>
Cascalho grosso	23
Cascalho médio	24
Cascalho fino	25
Areia grossa	27
Areia média	28
Areia fina	23
Silte	8
Argila	3
Arenito fino	21
Arenito médio a grosso	27
Calcário	14
Areia de duna	38
Siltito	12

### 3.3 Ocorrência de Águas Subterrâneas

Conforme TODD (1980), a ocorrência de água no subsolo pode dividir-se em duas zonas bem definidas: zona não saturada, ou de aeração, e zona de saturação. A zona de aeração é constituída de interstícios ocupados por água e ar enquanto na zona de saturação todos os interstícios estão ocupados por água. A Figura 9 mostra a distribuição vertical de água no solo e no subsolo.



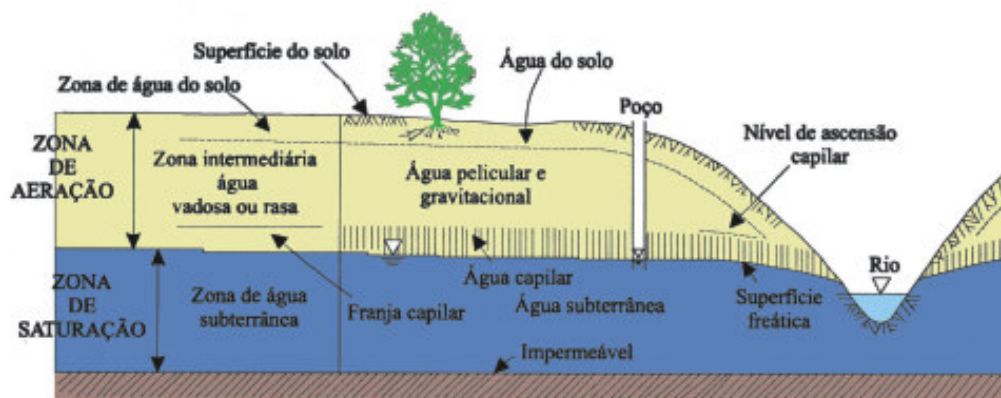


Figura 9: Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e no subsolo. Fonte: BEAR; VERRUIJT (apud MANOEL FILHO, 1997), modificado.

Na zona de aeração, ocorre a chamada água vadosa ou suspensa que, em geral, pode subdividir-se em zona de água do solo, zona intermediária e zona capilar.

A zona da água do solo é classificada por BRIGGS (apud TODD, 1980) em três categorias: água higroscópica, adsorvida sob a forma de película na superfície das partículas do solo; água capilar, película contínua em volta das partículas do solo; e água gravitacional, que corresponde ao excesso de água no solo, drenado sob a influência da gravidade.

Situada entre o limite inferior da zona da água no solo e o limite superior da zona capilar, ocorre a zona intermediária ou vadosa. Esta zona serve de conexão entre a zona próxima da superfície do terreno e a zona próxima do nível da água. Através dela pode passar água em movimento vertical descendente. A extensão da zona capilar é do nível da água para cima até o limite da subida capilar e sua espessura varia com a textura do solo ou rocha.

A zona de saturação corresponde à zona que contém água subterrânea sob pressão maior que a atmosférica, preenchendo todos os interstícios (TODD, 1980). Desta maneira, a porosidade é uma medida direta da água contida por unidade de volume. Nem toda a água pode ser removida do subsolo por drenagem ou bombeamento devido às forças de tensão molecular e superficial que retêm uma determinada porção da água no local (água retida). CEDERSTROM (1964) ressalta que para se saber quanta água pode o solo fornecer é preciso medir-se sua vazão específica. Considerando-se um cilindro de 1000 ml de areia seca, Figura 10, com a torneira inferior fechada, precisa-se de 300 ml de água para encherem-se os

espaços entre as partículas. Isto é a porosidade da areia, 30%. Abrindo-se a torneira, somente se recolhem 200 ml no frasco abaixo. Isto é a vazão específica, 20%. O resto da água, 100 ml ou 10%, retido na areia, chama-se retenção específica.

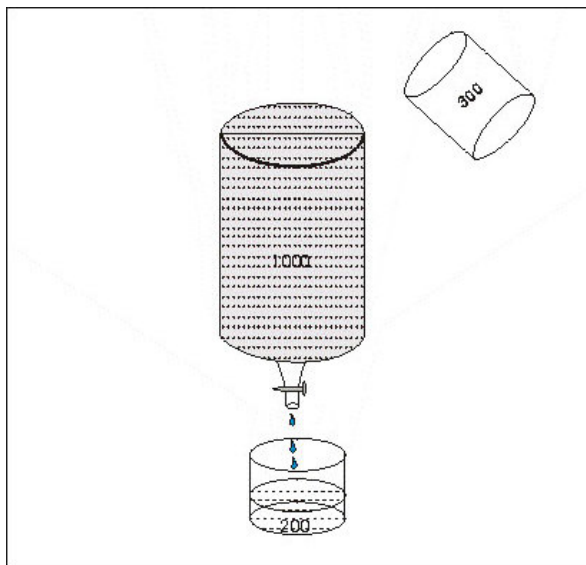


Figura 10: Diagrama mostrando porosidade, retenção específica e vazão específica. Fonte: CEDESTROM (1964).

O entendimento de vazão específica é fundamental para se compreenderem as mudanças do nível de água no solo e subsolo.

No oeste dos Estados Unidos, utiliza-se a vazão específica para a determinação de reservas de água (água de armazenamento). Conhecendo-se a vazão específica, área e espessura da camada saturada, pode-se calcular o volume de água efetivamente disponível.

### 3.4 Aqüíferos

Aqüífero é a formação geológica capaz de armazenar e conduzir volumes significantes de água subterrânea. A condição essencial para a formação de um aqüífero é a sua capacidade de armazenar água em seus poros, definida como porosidade.

Aqüitardo é o conjunto litológico que possui porosidade, mas baixa permeabilidade, que retarda, mas permite o fluxo das águas subterrâneas.

A porosidade é função dos espaços intergranulares em aqüíferos de meio

poroso e do fissuramento nos aquíferos de meio fraturado. As rochas sedimentares clásticas constituem, em geral, aquíferos de meio poroso, enquanto que os aquíferos de meios fraturados são representados pelas rochas ígneas e metamórficas. As rochas vulcânicas, apesar de apresentarem alguma porosidade primária, como juntas de resfriamento e zonas amigdaloidais, têm comportamento hidrogeológico de meio fraturado. Existem ainda os aquíferos gerados por dissolução em calcários, denominados cársticos. Os aquíferos cársticos podem ser classificados ainda em função da capacidade de transmissão de água das respectivas camadas limítrofes: do topo (camada confinante superior) e da base (camada confinante inferior). A Figura 11 ilustra alguns diferentes tipos de aquífero.

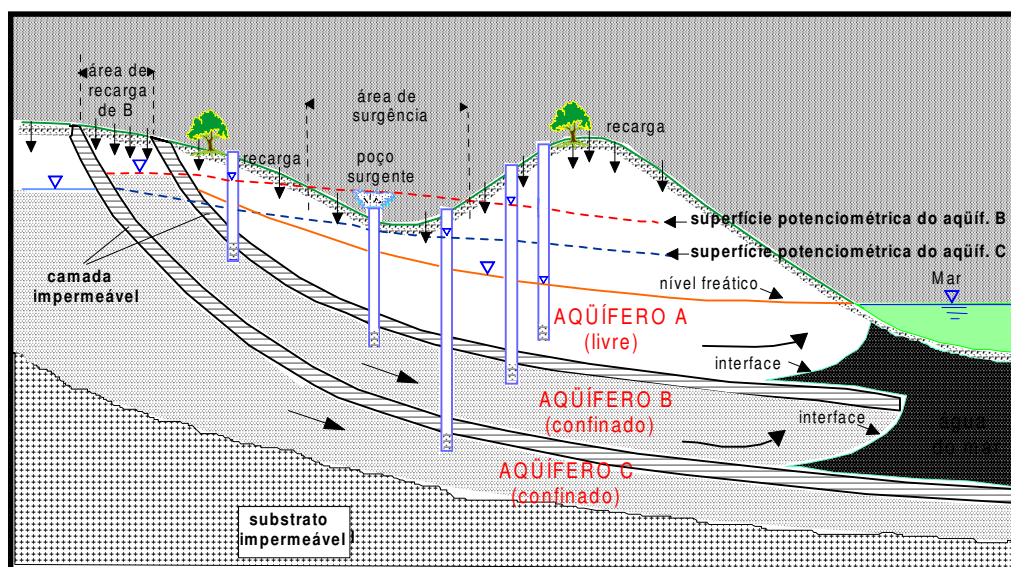


Figura 11: Tipologia de aquíferos. Fonte: FREITAS (1998, adaptado de MANOEL FILHO, 1997).

Aquífero confinado, também chamado “sob pressão”, é um aquífero no qual a pressão da água no topo é maior que a pressão atmosférica. Compreende dois tipos: drenante e não drenante.

Aquífero confinado não drenante é um aquífero cujas camadas limítrofes, superior e inferior, são impermeáveis. Também conhecido como artesiano, está confinado sob uma pressão maior que a atmosférica por meio de camadas impermeáveis sobrejacentes.

Aquífero confinado drenante é um aquífero no qual pelo menos uma das camadas limítrofes é semipermeável, permitindo a entrada ou saída de fluxos pelo topo ou pela base, por drenagem ascendente ou descendente, respectivamente.

Aqüífero livre (também chamado freático ou não confinado), é aquele cujo limite superior é uma superfície freática na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica.

Nas suas áreas de recarga, os aquíferos confinados são aquíferos livres, através dos quais o excesso de água da chuva consegue penetrar por infiltração. A exemplo dos aquíferos confinados, os aquíferos livres também são classificados em drenantes e não drenantes.

Aqüífero suspenso é um tipo especial de aquífero livre, originado sobre uma camada impermeável ou semi-permeável de extensão limitada e situada entre a superfície freática regional e o nível do terreno.

### 3.5 Constituintes Iônicos das Águas Subterrâneas

De acordo com TODD (1980), em uma água subterrânea natural, a maioria das substâncias dissolvidas se encontram em estado iônico. Dentre os íons presentes, alguns quase sempre se encontram na água subterrânea e a sua soma freqüentemente representa a totalidade dos constituintes. De acordo com DAVIS; DeWIEST (1966), os constituintes iônicos principais são aqueles que têm concentrações superiores a 1mg/l, a saber: cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

De acordo com SCUDINO (1992), os íons nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ) e mesmo o ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) são às vezes incluídos dentro do grupo dos íons fundamentais, ainda que em geral se apresentem em menores proporções. Substâncias dissolvidas pouco ionizadas como alguns ácidos, o ferro (hidróxido) e a sílica em estado coloidal ( $\text{SiO}_4\text{H}_4$ ), podem ser importantes, assim como seus íons derivados ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $^{3+}$  e  $\text{SiO}_4\text{H}_3^-$ ), como integrantes da solução aquosa natural.

Entre os gases dissolvidos na água, o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) devem ser considerados como constituintes fundamentais, ainda que não sejam analisados sistematicamente nas águas subterrâneas.

DAVIS; DeWIEST (1966) apresentam uma relação dos constituintes principais, constituintes secundários, constituintes menores e elementos traços presentes nas águas subterrâneas:

- *Constituintes maiores (concentrações > 1,0 mg/l): sódio, bicarbonato, cálcio, sulfato, magnésio e cloreto;*
- *Constituintes secundários (concentrações entre 0,01 e 10,0 mg/l): ferro, carbonato, estrôncio, nitrato, potássio, flúor, boro e sílica;*
- *Constituintes menores (concentrações entre 0,00001 e 0,1 mg/l): antimônio, lítio, alumínio, manganês, arsênio, molibdênio, bário, níquel, bromo, fosfato, cádmio, rubídio, cromo, selênio, cobalto, titânio, cobre, urânio, germânio, vanádio, iodo, zinco e chumbo;*
- *Constituintes traço (concentrações menores do que 0,001 mg/l): berílio, rutênio, bismuto, escândio, cério, prata, césio, tálio, gálio, tório, ouro, estanho, índio, tungstênio, lantânio, térbio, nióbio, ítrio, platina, zircônio e rádio.*

De acordo com SCUDINO (1992), os constituintes traços são aqueles que, todavia presentes na solução, estão em geral sob concentrações menores do que  $10^{-4}$  ppm, o mais das vezes dificilmente quantificáveis pelos métodos analíticos clássicos, exigindo o emprego de métodos sofisticados (fluorescência R-X, absorção atômica etc, e câmaras de ionização comumente usadas para elementos radiativos e isótopos da água). São geralmente elementos traços os íons metálicos derivados do As, Sb, Cr, Pb, Cu, Ni, Zn, Ba, Cd, V, Ag, Hg, U e alguns outros menos freqüentes, podendo apresentar concentrações superiores ao *background* regional, em áreas correlacionadas a jazimentos metálicos naturais, e/ou mesmo relacionados a zonas de contaminação antrópica de diversas origens e naturezas, merecendo investigações de caráter ambiental na área da saúde pública, devido aos seus efeitos nocivos.

As águas doces têm, no máximo, cerca de 1.000 ppm de sólidos totais dissolvidos, chegando a ser considerado, em algumas regiões, o limite de até 2.000 ppm; as águas ditas salobras têm concentrações entre 2.000 e 5.000 ppm, enquanto a água do mar tem entre 18.000 e 21.000 ppm e as salmouras naturais chegam a 220.000 ppm, o que corresponde à saturação dos solutos na água.

Com relação às substâncias e constituintes artificiais presentes nas águas subterrâneas, SCUDINO (1992) ressalta que uma água subterrânea natural pode sofrer notáveis modificações quanto à sua composição química original, sob circunstâncias em muitos casos corroboradas por atividades antrópicas às vezes contínuas, prolongadas e nocivas ao meio ambiente, provocando contaminações e

comprometendo a qualidade das águas.

Dentre as substâncias e constituintes especiais originários de fontes de contaminação de naturezas diversas, podem ser encontrados germes, bactérias e vírus patogênicos, sendo os mais comuns os coliformes e estreptococos, os quais são sistematicamente medidos nas águas para a sua verificação de qualidade para o consumo nos sistemas de abastecimento público.

Em áreas de maior industrialização e ocupação humana, encontram-se hidrocarbonetos, óleos e graxas, originários de infiltrações, vazamentos e despejos diversos; metais pesados de lixiviação de chuvas ácidas, de poluição atmosférica e do solo, e também fenóis e cianetos; produtos e complexos químicos de fotodegradação e hidrodgradação de resíduos de aplicação agrícola e agroindustrial oriundos de fertilizantes, corretivos de solo, pesticidas (fungicidas, inseticidas e herbicidas), higienizantes e desinfetantes.

Dentre os pesticidas, os mais conhecidos são a seguir discriminados em ordem de magnitude de tempo de persistência nas águas (CANTER et al, 1988):

- inseticidas clorados e hidrocarbonados: clordane (5 anos); DDT (4 anos); BHC e dieldrin (3 anos); heptacloro, aldrin e metabólitos (2-3 anos);
- inseticidas fosfatados: o diazinon (12 anos); disulfoton (4 anos); fosfatos (2 anos); malation e paration (1 ano);
- herbicidas de uréia, triazina e picloram: propazine e picloram (18 anos); simazine (12 anos); atrazine, monuron (10 anos); fenuron, diuron (8 anos); linuron (4 anos); prometrin (3 anos);
- herbicidas de ácido benzóico e amidas: 2,3,6-TBA (12 anos); bensulida (10 anos); difenamida (8 anos); amiben (3 anos); CDAA e dicamba (2 anos);
- herbicidas fenóxidos, toluidina e nitrila: trifluralin (6 anos); 2,4,5-T (Weedar2,4,5-T, Esteron 245 BE) (5 anos); diclorobenil (4 anos); MCP (3 anos); 2,4-D (1 ano).

O  $Al^{+3}$ ,  $+2$  é mais comumente lixiviado do solo como resultado de aportes de chuvas ácidas; os “metais pesados” As, Ba, Bo, Cd, Cu, Cr (hexa e trivalentes), Pb, Se, Sn, Ag, Hg, Ni, Zn e outros, alguns de natureza radiativa (radiações de partículas alfa e beta) são os mais freqüentes de serem considerados para análises e verificações sistemáticas de suas concentrações, segundo os padrões limites de aceitabilidade estabelecidos para os diversos usos da água, sobretudo para o

consumo humano.

### **3.6. Qualidade das águas subterrâneas**

A água subterrânea em condições naturais tende a ter uma estabilidade em suas propriedades físico-químicas tanto no espaço como no tempo. No entanto, com a percolação da água através dos interstícios há uma evolução natural do fluido.

Em relação às suas características químicas, há uma tendência de aumento da concentração de sólidos dissolvidos, principalmente quando a velocidade de percolação é muito baixa, o que proporciona uma interação mais demorada entre os minerais do aquífero e a água. Fisicamente a água subterrânea sofre um processo de depuração por filtração, tornando-se incolor e translúcida. Um processo natural de depuração também ocorre com os organismos vivos, os quais são retidos tanto pela filtração como pela adsorção dos grãos minerais, ocasionando sua morte por inanição ou sufocamento.

De posse do conhecimento hidrogeológico de uma região, pode-se prever a composição físico-química natural das águas subterrâneas. A composição química e sua característica biológica vão definir qual a aptidão da água, ou seja, se serve para uso doméstico, industrial, agrícola etc. Portanto, o conceito de qualidade da água é uma noção relativa que se refere ao tipo de uso ao qual é destinada, definindo-se, assim, normas ou padrões diferentes para cada situação.

Os padrões da água para uso na irrigação são bastante simples, pois o número de parâmetros a serem considerados é restrito. A qualidade das águas para fins agrícolas é determinada pela concentração de alguns íons, tais como o sódio, potássio, cloreto, sulfato e borato, além de parâmetros como condutividade elétrica e concentração total de cátions e sais dissolvidos, que influenciam, de maneira diferenciada, no crescimento de cada espécie vegetal.

A água para o consumo animal é avaliada nos aspectos químico, físico-químico, biológico e radiológico, com o objetivo de evitarem-se assim contaminações, intoxicações e até a morte do animal. Os padrões são adotados, portanto, em conseqüência da diversidade das espécies animais e suas variadas raças, levando em consideração, ainda, aspectos referentes ao clima, cadeia alimentar, tamanho, sexo, etc.

Os padrões da água para fins industriais são complexos em função da diversidade de uso da água, pois dependem do tipo da indústria e dos processos de industrialização, gerando necessidades diferentes de qualidade de água para cada uso. Dentre os vários parâmetros analisados nas águas para fins industriais, o que mais afeta a maioria das indústrias é a capacidade de ataque químico, que revela o seu caráter de agressividade, neutralidade e incrustabilidade.

A água utilizada para recreação de contato direto (natação, hidroginástica etc.) exige um controle constante na sua qualidade química, físico-química, biológica e radiológica, pois oferece risco à saúde humana, principalmente quando contém organismos patogênicos e metais pesados.

Os padrões para uso na piscicultura levam em consideração, principalmente, aspectos ecológicos referentes à manutenção da vida aquática.

Em relação ao conceito de potabilidade, diz-se que uma água é potável quando ela pode ser consumida pelo homem sem perigo para sua saúde, não apresentando efeitos tóxicos, carcinogênicos ou mutagênicos. Os aspectos organolépticos, como odor, sabor e cor, são considerados de importância secundária como critérios de qualidade de água potável, garantindo que o consumidor aceitará a água e não optará por uma fonte aparentemente melhor. Os padrões de potabilidade podem ser estabelecidos, exigidos, adotados ou recomendados pelos diferentes organismos relacionados à saúde pública, usualmente com pouca variação dos valores máximos toleráveis. Entre esses órgãos, podemos citar:

- Poder público: Governo Federal, através dos Ministérios da Saúde ou do Meio Ambiente;
- Governos Estaduais ou Municipais (Secretarias de Saúde, de Obras e de Meio Ambiente);
- Órgãos internacionais: Organização Mundial da Saúde;
- Associações técnicas: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, American Water Works Association – AWWA, etc.

No Brasil, os padrões de potabilidade da água são estabelecidos pela Portaria nº. 1469, de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde. Na Tabela 10 são apresentadas as concentrações máximas admitidas de substâncias que representam riscos à saúde e de aceitação para consumo humano.



Tabela 10: Resumo dos guias da OMS para a qualidade da água potável, adaptado de FOSTER; HIRATA (1993).

CONSTITUINTE <sup>a</sup>	VALOR (mg/l)	CRITÉRIO <sup>b</sup>	FONTE DE ÁGUA SUBT. <sup>c</sup>
Alumínio (Al)	0.2	E	N
Amônio (NH <sub>4</sub> -N)	0.01	E	Pn
Arsênico (As)	0.5	S	Np
Cádmio (Cd)	0.005	S	P
Cloreto (Cl)	250	E	NP
Cobre (Cu)	1.0	E	Np
Cromo (Cr)	0.05	S	P
Cianeto (Cn)	0.1	S	P
Detergentes	0.2	E	P
Fluoreto (F)	1.5	S	N
Ferro (Fe)	0.3	E	NPO
Chumbo (Pb)	0.05	S	Np
Manganês (Mn)	0.1	E	NPO
Mercúrio (Hg)	0.001	S	Np
Nitrato (NO <sub>3</sub> -N)	10.0	S	Pn
Selênio (Se)	0.01	S	Np
Sódio (Na)	200	E	Np
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	400	E	Np
Zinco (Zn)	5.0	E	Np

a. Omitiram-se parâmetros tais como condutividade elétrica, sólidos totais, pH, etc.

b. S - de consideração para saúde (tóxico, cancerígeno, mutagênico)

E - aspectos estéticos (sabor, cheiro, cor)

c. N - ocorrência natural

P - poluição

PO - produto indireto de poluição orgânica mediante redução de Eh a níveis em que Fe e Mn são solúveis.

As letras maiúsculas indicam ocorrência mais freqüente.

Entre os constituintes nocivos à saúde mencionados nos guias de qualidade, o nitrato é o que tem ocorrência mais generalizada e problemática devido à sua alta mobilidade e estabilidade nos sistemas aeróbicos de águas subterrâneas (FOSTER; HIRATA, 1993). Constituintes como o fluoreto e o arsênico, em menor grau, encontram-se nas águas subterrâneas com origem natural. Os metais pesados (cádmio, cromo, chumbo, mercúrio) tendem a ser imobilizados por precipitação, mas migram significativamente em águas subterrâneas com baixo pH e Eh.

Vários constituintes inorgânicos citados por questão estética (Tabela 10) podem ser encontrados com freqüência nas águas subterrâneas, em geral devido a causas naturais e, em alguns casos, relacionados à poluição; destaca-se o cloreto, o ferro, o manganês, o sulfato e o sódio.

No que se refere aos constituintes orgânicos, destacam-se os compostos mais ameaçadores à qualidade das águas subterrâneas como alguns alcanos,

alquenos e benzenos clorados, relativamente solúveis em água e que uma vez no subsolo não provocam grande retardo ou rápida degradação (FOSTER; HIRATA, 1993). Tais compostos são os solventes sintéticos e os desinfetantes, cujo uso é bastante difundido em todas as áreas industriais.

Alguns pesticidas, como DDT, HCB, HCH, heptacloro/epóxi, podem representar uma ameaça para a qualidade das águas subterrâneas apesar de mostrarem uma alta sorção nos solos.

Em relação à qualidade microbiológica, os guias atuais da OMS recomendam que um abastecimento não é satisfatório quando são detectadas bactérias do tipo coliforme fecal em qualquer amostra de 100 ml de água. No entanto, são aceitáveis, em alguns tipos de abastecimento, níveis de até 10/100 ml.

### **3.7 Poluição da Água Subterrânea**

É importante proceder-se inicialmente à revisão de alguns conceitos de contaminação e de poluição.

De acordo com MANOEL FILHO (1997), a poluição pode ser definida como uma alteração artificial da qualidade físico-química da água, suficiente para superar os limites ou padrões preestabelecidos para um determinado fim.

O conceito de água poluída depende do ponto de vista do qual se encara o problema, ou seja, uma água pode ser considerada poluída para um determinado fim e não para outro.

Água contaminada é uma água que possui organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas, em teores prejudiciais à saúde do homem (MANOEL FILHO, 1997). Assim, toda a água contaminada é poluída, mas nem toda a água poluída é contaminada.

FOSTER; HIRATA (1993) referem-se à necessidade de se dar maior atenção à carga contaminante no subsolo, gerada por atividades humanas em superfície, observando que mesmo havendo uma grande variedade somente algumas delas são responsáveis pelo risco máximo de contaminação das águas subterrâneas.

Os referidos autores afirmam que as fontes de poluição podem ser de dois tipos: pontual ou difusa. A fonte é pontual quando está concentrada numa pequena superfície como, por exemplo, uma indústria poluente, uma pilha de rejeito de

beneficiamento de carvão. É difusa quando a fonte de contaminação se estende, mesmo com baixa concentração, sobre uma grande superfície como, por exemplo, áreas de irrigação e áreas densamente urbanizadas.

Em geral, as contaminações pontuais dão origem a concentrações elevadas, localizadas em plumas que podem permanecer estratificadas em um aquífero. As fontes difusas tendem a criar uma estratificação regionalizada. E as águas superficiais e subterrâneas sofrem com o passar do tempo uma contaminação em proporções crescentes.

Também é fundamental a subdivisão das atividades em que a geração da carga contaminante no subsolo é parte integral do projeto, das atividades em que é componente incidental.

Teoricamente é necessário estabelecerem-se no subsolo, para cada atividade, quatro características semi-independentes de carga contaminante (FOSTER, *et al.*, 1987):

- a) A classe de contaminante envolvida;
- b) A intensidade da contaminação;
- c) A forma de disposição no subsolo;
- d) O tempo de aplicação da carga contaminante.

Sempre segundo FOSTER *et al.* (1987), a classe envolvida de contaminante em uma dada atividade pode ser definida por sua tendência à degradação ou transformação *in situ*, resultante da atividade bacteriológica ou reação química; e da sua tendência para o retardamento em relação ao fluxo da água subterrânea, como resultado de processos de troca catiônica, sorção etc.

A intensidade da contaminação tem por definição a concentração relativa de cada contaminante envolvido em relação aos valores recomendados pelos órgãos mundiais de saúde para qualidade de água potável e também a proporção de recarga local da água subterrânea afetada pela contaminação.

O modo de disposição do contaminante no subsolo é definido pela carga hidráulica associada, incluindo a infiltração natural da precipitação; e pela superfície em que o efluente é disposto ou onde a lixiviação de resíduos sólidos ocorre.

Para o tempo de aplicação da carga contaminante deve-se considerar também o período durante o qual se aplica a mesma, que mostrará uma alta

variação de horas a décadas.

Cada uma destas características interage com um diferente componente de vulnerabilidade de contaminação do aquífero, determinando o grau de risco de contaminação das águas subterrâneas.

No entanto, em função do atual conhecimento técnico e das restrições financeiras em relação a estudos de campo, é impossível obterem-se todos os dados ideais necessários. No caso das indústrias, a dificuldade está em se estabelecer como são dispostos os seus efluentes. Em relação às áreas agrícolas e saneamento *in situ*, em solos permeáveis, é difícil coletarem-se amostras de infiltração para análise de lixiviados. Com respeito à classe de contaminante, o retardamento físico e a transformação química de contaminantes orgânicos são citados somente para solos nitidamente férteis, alcalinos e aeróbicos (FOSTER; HIRATA, 1993).

Os perfis naturais de solo atenuam vários, mas não todos os poluentes da água. Isso tem sido reconhecido como um sistema potencialmente efetivo para a disposição de excretas humanas e águas residuais domésticas. Os processos de atenuação prosseguem, em menor grau, com o aumento da profundidade, principalmente em locais de sedimentos não consolidados.

Segundo FOSTER *et al.* (1987), a dispersão hidrodinâmica, que acompanha o fluxo das águas subterrâneas, resulta na diluição dos poluentes persistentes e móveis, especialmente na zona não saturada dos aquíferos (Figura 9). Nos poços em produção haverá mistura e uma diluição mais pronunciada, uma vez que interceptam ou induzem fluxo de água de diversas profundidades e direções, que nem sempre estará poluído.

Entretanto, nem todos os perfis de solos, como nem todas as condições hidrogeológicas são igualmente efetivos para a atenuação dos poluentes. Também, o grau de atenuação variará amplamente segundo os tipos e disposição dos contaminantes.

O maior problema da poluição das águas subterrâneas está ligado principalmente aos aquíferos não confinados, sobretudo em locais onde a zona não saturada é pouco espessa e o nível freático raso. Geralmente os aquíferos mais profundos e altamente confinados estão protegidos da poluição a partir da superfície, com exceção do caso de poluentes muito persistentes e longos períodos de tempo envolvido.

### **3.8 Principais Atividades Responsáveis pela Contaminação das Águas Subterrâneas**

De acordo com FOSTER *et al.* (1987), os maiores e mais sérios riscos de contaminação das águas subterrâneas estão relacionados aos sistemas de saneamento sem coleta e tratamento, às atividades agrícolas, à infiltração de águas contaminadas provenientes de rios e a várias atividades industriais, especialmente aquelas com disposição de efluentes líquidos.

A qualidade dessas águas vem sofrendo degradação à medida que o homem ocupa o solo, gerando efluentes e/ou resíduos domésticos e industriais, dispostos no meio ambiente sem tratamento ou de forma inadequada. Outro fator agravante é a impossibilidade de recuperação de aquíferos muito contaminados, principalmente quando os contaminantes são extremamente tóxicos, como os compostos organo-sintéticos. Em vários países as tentativas de limpeza têm demonstrado que os resultados obtidos são muito limitados. O problema, além de econômico, é principalmente de ordem técnica, pois até então não existem métodos que permitem a remoção completa de produtos contaminantes dos aquíferos. Diante deste panorama, chega-se à conclusão que o melhor caminho é a prevenção da contaminação. A preservação consiste em estabelecer-se um programa claro e eficiente de proteção de aquíferos e de controle das atividades humanas, planejando-se e ordenando-se a ocupação e o uso do solo. A identificação das áreas com maior risco de degradação dos aquíferos é condição essencial para o desenvolvimento de estratégias que visem à preservação dos recursos hídricos, priorizando a aplicação de recursos técnicos e financeiros nos locais de maior interesse socioeconômico e ambiental.

É conveniente lembrar que em grande parte da bacia do rio Araranguá o maior comprometimento das águas subterrâneas está relacionado às diversas atividades de lavra e beneficiamento de carvão.

A poluição hídrica causada pela drenagem ácida é provavelmente o impacto mais significativo das operações de mineração e beneficiamento do carvão mineral. Essa poluição decorre da infiltração da água de chuva sobre os rejeitos gerados nas atividades de lavra e beneficiamento, que alcança os corpos hídricos superficiais e/ou subterrâneos. Essa água adquire baixos valores de pH (<3), altos valores de ferro total, sulfato total e vários outros elementos tóxicos que impedem a sua

utilização para qualquer uso e destroem a flora e a fauna aquáticas (ALEXANDRE; KREBS, 1995). Também há potencial de contaminação do solo e subsolo em áreas não recobertas por material oriundo da mineração. Isso ocorre através da inundação de regiões não contaminadas com águas de drenagens ácidas e pelo avanço da pluma de poluição, a partir das áreas já poluídas. Nas proximidades de Criciúma, onde ocorre uma grande concentração de indústrias com alto potencial poluidor e uma alta concentração urbana, o comprometimento das águas superficiais e de parte das águas subterrâneas é ainda maior devido à interferência destas outras fontes de poluição.

FOSTER *et al.* (1987) ressaltam ainda que as ameaças mais sérias no tocante à orientação da OMS, no que se refere à qualidade da água potável, relacionam-se às concentrações de nitratos que se incrementam em grandes proporções e, mais ainda, a episódios cada vez mais freqüentes de contaminação causada por hidrocarbonetos halogenados voláteis.

Sob certas condições hidrogeológicas, algumas unidades de tratamento de esgoto apresentam riscos de uma migração de bactérias e vírus patogênicos para o interior dos aquíferos e fontes de água subterrânea, sendo responsáveis pela transmissão de agentes patogênicos em surtos de epidemia. Os compostos de nitrogênio nos excrementos não representam um perigo imediato para as águas subterrâneas. Porém, podem causar problemas mais amplos e persistentes. Ainda de acordo com FOSTER *et al.* (1987), uma população de 20 pessoas/ha representa uma descarga de cerca de 100 kg/ha/a ao solo que, oxidada e lixiviada, com 100mm/a de infiltração, poderá resultar uma recarga local de água subterrânea com uma concentração de 100 mg de  $\text{NO}_3\text{-N/l}$ . É provável que provoque maiores problemas em zonas áridas que não têm um significativo fluxo regional no aquífero.

A magnitude no incremento da concentração de nitrato em águas subterrâneas foi constatada na ilha atlântica de Bermudas, onde se verificou que existe uma relação entre a densidade da população servida por fossas sépticas e os altos níveis de nitrato nas águas subterrâneas. Caso semelhante também foi verificado na área de Merida, na península de Yucatã, no México.

Caso bem mais grave relacionado a altas concentrações de nitratos foi verificado no aquífero de Puelche, junto à cidade de Buenos Aires. O referido aquífero relaciona-se a depósitos arenosos estuarinos e marinhos, onde foram observados 40 mg de  $\text{NO}_3\text{-l}$ . Cerca de 60% da população da grande Buenos Aires

utilizam fossas sépticas. De acordo com FOSTER *et al.* (1987), supõe-se que a oxidação de amônia das descargas dos tanques sépticos é a principal causa da contaminação por nitrato das águas subterrâneas. Ressaltam, porém, que ocorrem outras significativas fontes de poluição as quais poderão também estar contribuindo.

BORGES (1996), estudando o aquífero do Campeche, na Ilha de Santa Catarina, detectou valores do íon amônia acima do permitido pelo Ministério da Saúde em 18 pontos amostrados, sendo que em 6 deles os teores foram muito superiores ao valor máximo permitido. O referido autor constatou que os valores anômalos situavam-se em uma área bem definida e provavelmente estavam relacionados à criação de cavalos que havia em um sítio. BORGES (1996) apresenta uma síntese dos componentes químicos presentes na água que afetam a saúde humana. Ressalta ainda a contaminação das águas devido à intrusão salina dentro do aquífero.

O uso de fertilizantes, herbicidas e pesticidas nas atividades agrícolas também é outro importante fator de contaminação dos recursos hídricos. Nos países industrializados é mais freqüente o uso de fertilizantes inorgânicos, produzidos industrialmente, enquanto que nos países em desenvolvimento empregam-se geralmente dejetos humanos ou de animais como fertilizantes orgânicos.

Dentre os fertilizantes, o principal contaminante é o nitrogênio na forma de nitrato. O nitrato move-se com a água subterrânea e pode atingir extensas áreas. Concentrações superiores aos limites permissíveis para a água potável são encontradas em muitas regiões agrícolas do mundo como, por exemplo, na Inglaterra (FOSTER; CREASE, 1972), Alemanha (GROBA; HAHN, 1972) e Estados Unidos (SPALDING *et al.*, 1978).

GAUJOUS (1993), estudando a vulnerabilidade de sistemas aquíferos na França, ressalta, em particular, a forte vulnerabilidade daqueles aquíferos relacionados aos leques aluviais. Alguns são objeto de um cuidado específico (planície do Reno, Mosele, leste de Lyon) devido a problemas de poluição por fontes difusas, relacionadas a atividades agrícolas (nitratos, pesticidas).

O referido autor conclui que é conveniente realizar-se uma vigilância muito grande sobre a evolução da qualidade das águas subterrâneas, garantir dispositivos da preservação da qualidade (perímetros de proteção) e lembrar-se do caráter pernicioso (fenômenos hidrogeológicos longos, micro poluentes) de certas fontes de poluição.

Sempre de acordo com GAUJOUS (1993), as principais fontes de poluição dos lençóis subterrâneos na França são nitratos, pesticidas e tóxicos. No caso da poluição por nitratos, as principais causas são poluição doméstica e industrial, agricultura e criação (chiqueiros de porco na Bretanha) e poluição atmosférica. O aumento do teor em nitratos é constatado em toda a França. Os problemas são freqüentemente difusos.

Os problemas para a saúde são a transformação dos nitratos em nitritos no estômago dos lactentes, o que causa um problema de oxigenação do sangue e um risco cancerígeno (por transformação em nitrosamina).

Sob certas condições, os nitratos desaparecem naturalmente nas águas subterrâneas. É o caso da seqüência de calcário ao sul de Lille, onde se observa uma brusca redução dos nitratos quando o aquífero passa sob cobertura argilo-arenosa. Esta redução se deve a fenômenos bacterianos.

No caso da poluição por pesticidas, alguns são encontrados em doses críticas nas águas subterrâneas. É o caso da atrazina. É uma poluição difusa, com doses muito fracas. Este problema é muito preocupante para o abastecimento da água potável, mesmo se pensando que certos limites legais são atualmente muito rígidos em relação ao risco sanitário efetivo e que estudos toxicológicos e epidemiológicos mais avançados poderão, no futuro, modular-se à norma atual (1 µg/l), segundo as substâncias identificadas.

No caso dos tóxicos, trata-se geralmente de poluição pontual, de caráter "acidental", de natureza e de origem diversas. Uma causa freqüente é a infiltração de resíduos estocados (em descargas, em áreas industriais). O problema surge por ocasião da localização e identificação das substâncias, com vistas à busca das origens e da responsabilidade. Por exemplo, uma poluição em Ilzach (planície da Alsácia) conduziu a litígios com os industriais durante vários anos (GAUJOUS, 1993).

Por sua vez, o impacto da agricultura irrigada sobre as águas subterrâneas pode ser muito grande. Em algumas zonas áridas com solos permeáveis, o cultivo das terras com sistemas ineficientes de irrigação tem gerado, como efeito, um novo recurso de água subterrânea. A sobre-irrigação, contudo, pode causar grandes incrementos no nível freático e resultar na salinização do solo e da água subterrânea devido à evaporação freática direta (FOSTER *et al.*, 1987).

Na bacia do rio Araranguá, ocorrem extensas áreas de cultivo de arroz



irrigado e, de maneira subordinada, fumo e maracujá, que utilizam grandes quantidades de fertilizante e de pesticida. Os trabalhos de campo desenvolvidos neste estudo, mais uma vez evidenciaram que grande parte das áreas de rizicultura é irrigada com águas ácidas aduzidas do rio Mãe Luzia. Esta prática continua causando uma recarga artificial do aquífero relacionado aos Depósitos de Leques Aluviais e, conseqüentemente, contribuindo para a degradação do referido aquífero.

Na área costeira, onde ocorrem excelentes sistemas aquíferos relacionados aos depósitos arenosos de origem praias e retrabalhamento eólico, existe um sério risco de contaminação das águas subterrâneas devido à possibilidade de avanço da cunha salina, que poderá ser ocasionado pela sobre-exploração do referido aquífero. Durante a fase de cadastramento de pontos de água (SANTA CATARINA, 1997e), constatou-se que nas proximidades de Araranguá a maioria das indústrias capta água destes aquíferos para suprir suas demandas, utilizando sistemas integrados de ponteiros (corresponde a várias ponteiros interligadas, explotadas por uma única bomba). Na região balneária, praticamente todo o abastecimento doméstico é realizado utilizando-se poços-ponteiros. Com o passar do tempo o bombeamento constante pode deslocar a cunha salina e contaminar os aquíferos.

### **3.9 Vulnerabilidade Natural e Riscos de Contaminação dos Aquíferos**

Em se tratando de uma área onde os recursos hídricos superficiais estão seriamente comprometidos pelas diferentes fontes de poluição e os recursos hídricos subterrâneos são abundantes e ainda pouco explorados, a determinação da vulnerabilidade natural às cargas contaminantes e a definição do risco de contaminação dos diferentes sistemas aquíferos são ferramentas necessárias ao planejamento das ações governamentais de controle e proteção desses mananciais subterrâneos, bem como à futura implantação de um sistema de gestão de recursos hídricos nesta bacia.

Segundo FOSTER *et al.* (1987), a definição de risco de poluição das águas subterrâneas é conceituada como a interação entre dois fatores semi-independentes:

a) a carga poluente que é, será ou poderá ser aplicada no solo como resultado da atividade humana;

b) a vulnerabilidade natural à poluição do aquífero.

O termo “vulnerabilidade de aquíferos” surgiu pela primeira vez no início da década de 1960, introduzido pelo hidrogeólogo francês J. Margat (VRBA; ZOPOROZEC, 1994). Entretanto, foi a partir da década de 1970, com a criação da legislação americana para proteção de recursos hídricos subterrâneos, que começaram a ser difundidos vários métodos de classificação, objetivando a criação de classes comparativas de vulnerabilidade de aquíferos. O crescente uso da água subterrânea e a necessidade de preservação deste recurso dentro de uma estratégia adequada de planejamento forçaram a criação de normas e regulamentações que visassem à proteção das águas subterrâneas. Segundo ALLER *et al.* (1987), muitos métodos foram desenvolvidos com o objetivo de definir-se locais para a disposição de rejeitos variados, seja em aterros sanitários ou resíduos líquidos. Porém, os autores destacam o sistema desenvolvido por LeGRAND (1964) e uma versão modificada utilizada pela U. S. EPA (Environmental Protection Agency).

O conceito de vulnerabilidade natural dos aquíferos é baseado no fato de que o meio físico possui características capazes de atenuar e proteger a água disposta no subsolo de cargas contaminantes específicas, sejam estas naturais ou de contribuição humana.

É importante o entendimento claro das diferenças entre risco e vulnerabilidade à contaminação. O conceito de risco é muito comumente confundido com o de vulnerabilidade natural do sistema aquífero. Porém, cabe chamar a atenção de que o primeiro envolve a existência de uma fonte potencial contaminante, enquanto o segundo, como dito, depende apenas das características do meio físico.

Vários métodos, dentro das mais variadas concepções, foram desenvolvidos para a avaliação da vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos. Entretanto, todos se equivalem no conceito de que o resultado é sempre comparativo, sem apresentar valores absolutos que reflitam um padrão universal de vulnerabilidade. O objetivo final é sempre o de classificarem-se áreas com graus homogêneos de vulnerabilidade, que podem ser maiores ou menores que os das áreas vizinhas. A aplicabilidade destes métodos, além da limitação óbvia de necessitar de informações sobre o meio físico, tem uma outra grande restrição que é o fator de escala, não sendo indicados em estudos de detalhe de casos específicos, pois, para este

objetivo deveriam ser agregadas técnicas mais apropriadas.

A principal utilidade dos mapas de vulnerabilidade está no suporte à decisão de planejadores, principalmente ligados a órgãos governamentais municipais, estaduais ou federais, no gerenciamento do uso e ocupação de seus territórios, auxiliando-os na escolha de áreas mais favoráveis à implantação de empreendimentos potencialmente poluidores. VRBA; ZOPOROZEC (1994) apresentam interessante tabela (Tabela 11) sobre os principais tipos de mapa de vulnerabilidade:

Tabela 11: Classificação de mapas de vulnerabilidade da água subterrânea (adaptado de VRBA; ZAPOROZEC, 1994).

<b>Tipo de Mapa</b>	<b>Escala</b>	<b>Propósito e Conteúdo</b>	<b>Representação Gráfica</b>
Regionais, sinópticos	1:500.000 ou menor	Planejamento geral, tomada de decisão e cenário político em proteção de água subterrânea nacional ou internacional; propósito educacional. Mapas sintéticos mostrando a vulnerabilidade intrínseca da água subterrânea, sem detalhes locais.	Mapas compilados manualmente ou atlas com notas explanatórias; mapas utilizando processos computacionais não são freqüentes.
Esquemáticos	1:500.000 a 1:100.000	Planejamento regional, regulamentação e gerenciamento da proteção da água subterrânea, determinação de problemas de contaminação difusa. Alguns detalhes locais não aparecem, devem ser seguidos de mapeamentos específicos.	Mapas compilados manualmente ou mapas e atlas bi- e/ou tri-dimensionais feitos com auxílio computacional
Operacionais	1:100.000 a 1:25.000	Desenvolvimento de programas de proteção de água subterrânea e planejamento de uso do solo local. Mapas analíticos descrevendo a vulnerabilidade da água subterrânea em uma extensão de área em relação ao tempo de trânsito de um contaminante específico.	Mapas digitais bi- ou tri-dimensionais ou mapas compilados manualmente; perfis e diagramas incrementam sua utilidade.
Específicos ou com propósito especial	1:25.000 ou maior	Mapas com propósitos e locais específicos, para planejamento de cidades e proteção de poços. Expressa problemas locais de vulnerabilidade da água subterrânea. Requer dados representativos; investigações específicas do local são normalmente necessárias.	Mapas digitais bi ou tri-dimensionais ou diagramas e mapas de grids.

A partir das informações inerentes a cada sistema aquífero e unidades estratigráficas associadas, será possível determinar-se sua vulnerabilidade natural. Sabe-se que a vulnerabilidade natural do aquífero à poluição está relacionada à maior ou menor suscetibilidade apresentada por determinadas litologias à contaminação através de agentes externos, sendo controlada principalmente pela inacessibilidade hidráulica da zona saturada e pela capacidade de atenuação da zona não saturada. Cientificamente, é mais coerente avaliar-se a vulnerabilidade em

relação a cada tipo de contaminante, ou a cada classe de contaminante (nutrientes, microorganismos, metais pesados etc, separadamente. (FOSTER *et al.*, 1987).

É possível configurar-se uma situação de alta vulnerabilidade, porém sem alto risco de poluição, devido à ausência da carga poluente ou vice-versa. A carga poluidora pode ser controlada, alterada ou até prevista; o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural do aquífero.

A zona não saturada desempenha importante papel na defesa contra a contaminação das águas subterrâneas (MATTHESS *et al.*, apud FOSTER *et al.*, 1987), pois, devido a sua posição, representa a primeira linha de defesa natural entre a superfície e os aquíferos. Outro fator a contribuir para o processo de proteção é a característica favorável para a atenuação e a eliminação de poluentes que este ambiente proporciona.

O fluxo de água na zona não saturada é geralmente lento e restrito aos menores poros, com maior superfície específica. Sua condição físico-química é normalmente aeróbica e freqüentemente alcalina. Assim, na zona não saturada espera-se um potencial maior para interceptação, sorção e eliminação de organismos como vírus e bactérias; atenuação de cargas contendo metais pesados e outros compostos inorgânicos (carbonatos, sulfatos e hidróxidos) por meio de precipitação, sorção ou troca de cátions; e sorção e biodegradação de muitos hidrocarbonetos e compostos orgânicos sintéticos. Cada um destes processos continuará ocorrendo na zona de saturação, mas geralmente a taxas menores, e a redução das concentrações dos poluentes dependerá essencialmente da diluição proveniente da dispersão hidrodinâmica, a qual não é adequada a poluentes altamente tóxicos (FOSTER *et al.*, 1987).

Assim, é de fundamental importância considerar-se a zona não saturada para proceder-se à avaliação da vulnerabilidade de um aquífero. No entanto, a zona não saturada poderá demonstrar uma grande complexidade e sua capacidade de atenuação de contaminantes poderá ser de difícil predição. FOSTER *et al.* (1987) referem-se a marcantes mudanças que podem ocorrer no comportamento de alguns poluentes caso a atividade gere suficiente carga orgânica ou ácida, capaz de produzir uma variação significativa no Eh e pH do meio. Além disso, em se tratando de contaminantes persistentes e móveis, a zona não saturada poderá apenas aumentar o tempo de chegada à zona de saturação sem, entretanto, causar qualquer atenuação composicional. Em vários casos o grau de atenuação vai

dependem do tempo de trânsito ou de residência na zona não saturada, o que é função das características hidráulicas do meio.

As taxas de fluxo natural na zona não saturada da maioria das formações não ultrapassam a velocidade de 0,2 m/dia, a curto prazo, e são menores considerando-se períodos mais longos. O fluxo d'água e as taxas de infiltração de poluentes em formações fissuradas podem ter uma ordem de magnitude maior na presença de uma sobrecarga hidráulica artificial. Portanto, o caráter litológico e o grau de consolidação e de fissura são fatores-chave na avaliação da vulnerabilidade de aquíferos, principalmente no tocante à poluição microbiana, biodegradável e normalmente retardada (FOSTER, *et al.*, 1987).

De uma forma simplificada, é razoável afirmar-se que, em condições naturais, o tempo de residência na zona não saturada é uma função da taxa de infiltração anual por precipitação e da média do conteúdo de umidade no meio, que alcançará a capacidade de campo após uma drenagem prolongada.

Apesar da importância dos fatores climáticos e sua influência nos tempos de residência na zona não saturada, é mais lógico tratar-se a carga hidráulica, incluindo-se a componente natural da infiltração por precipitação, como parte da carga contaminante por causa da alta recarga hidráulica artificial ligada às várias atividades contaminantes (FOSTER *et al.*, 1987).

MUÑOZ; LANGEVIN (1991), utilizando técnicas de geoprocessamento, desenvolveram um estudo que resultou os mapas de vulnerabilidade e sensibilidade dos aquíferos da cidade de Guatemala. Foram levantadas características físicas da área como a geomorfologia, aspectos climáticos, geologia, geologia estrutural e hidrogeologia. Os aspectos socioeconômicos, caracterizados com o intuito de verificar sua influência sobre a qualidade da água subterrânea, dividiram-se em dois setores: setor social e setor econômico. No primeiro setor foi levado em conta o número de habitantes e a densidade populacional, baseando-se na idéia de que quanto maior a densidade populacional maior a chance de poluição dos aquíferos. No setor econômico a agricultura representa a principal atividade econômica (cana-de-açúcar e café), seguida da atividade industrial, ligada principalmente à indústria de alimentos.

### 3.10 Principais Métodos para Avaliação da Vulnerabilidade Natural de Aquíferos

Vários pesquisadores têm desenvolvido metodologias com a finalidade de agrupar os sistemas aquíferos em classes, com elementos hidrogeologicamente similares, que definem a maior ou menor suscetibilidade à contaminação das águas.

ALLER *et al.* (1987), THORNTHWAITTE; MATHER (1957), desenvolveram métodos de balanço hídrico para prever a lixiviação de materiais em depósitos de resíduos sólidos. A teoria segue a premissa de que, conhecendo-se a infiltração no terreno e o contorno da célula, pode-se definir a quantidade de material lixiviado.

Ainda segundo ALLER *et al.* (1987), desenvolveram um esquema de avaliação no qual estabelecem uma classificação para depósitos de lixo com base em fatores de risco para a saúde humana. Esta classificação envolve quatro fatores: 1 - Tipo de lixo e risco para a saúde; 2 – População sob risco; 3 – Proximidade de poços ou aquíferos; e 4 – Suscetibilidade do aquífero. Vários outros métodos podem ser enumerados, no qual utilizam-se onze fatores do meio físico e acrescentam-se mais oito características do rejeito, combinando valores que resultam em um escore o qual varia de 0 a 100.

BEKESI; McCONCHIE (2002) citam que vários métodos incluem considerações das propriedades hidráulicas do material subsuperficial, incluindo-se informações qualitativas do meio aquífero. Porém, ressaltam que estudos de vulnerabilidade regional tanto podem utilizar dados qualitativos do meio aquífero, baseados em dados de mapas geológicos e dados de poços perfurados, como podem utilizar uma aproximação, dependendo da disponibilidade de informações.

Uma vasta gama de métodos e metodologias pode ser encontrada na literatura. Entretanto, dentre estes destaca-se o método DRASTIC, definido por ALLER *et al.* (1987), e o método GOD, definido por FOSTER; HIRATA (1991), que servem de referência a praticamente todos os trabalhos sobre estudos de vulnerabilidade natural de aquíferos, sendo amplamente utilizados no mundo e no Brasil. Estes dois métodos são apresentados detalhadamente no capítulo 4 desta tese.

### 3.11 Principais Métodos para Avaliação dos Riscos de Contaminação

O conceito de risco de contaminação (FOSTER *et al.*, 1987; FOSTER; HIRATA, 1991) leva em conta a interação de dois fatores: a intensidade da carga contaminante e o grau de vulnerabilidade do aquífero. A carga contaminante é tanto maior quanto maior for sua carga hidráulica e sua concentração, mobilidade e persistência; a vulnerabilidade é tanto maior quanto menor for a inacessibilidade hidráulica e a capacidade de atenuação do aquífero. Assim, aquíferos submetidos a elevadas cargas contaminantes e de alta vulnerabilidade apresentam maiores riscos de contaminação.

Para os mesmos autores, a intensidade da carga contaminante dá-se em função dos seguintes aspectos:

- classe de contaminante envolvida: tendência ou não para a degradação ou transformação *in situ* como resultado da atividade bacteriológica ou de reações químicas;
- intensidade da contaminação: concentração relativa de cada contaminante em relação aos valores permissíveis recomendados pela OMS para a qualidade da água potável; a proporção da recarga local da água subterrânea afetada pela contaminação; ao modo de disposição do contaminante no substrato: carga hidráulica associada com o contaminante, incluindo-se a infiltração natural das precipitações; e ao nível de pequena profundidade em que o efluente é disposto, ou ao nível onde ocorre a lixiviação dos resíduos. A inacessibilidade hidráulica é função do grau de confinamento e profundidade do nível freático do aquífero, do conteúdo de umidade da zona não saturada, da condutividade hidráulica vertical da zona não saturada ou do aquífero. Por sua vez, a capacidade de atenuação do aquífero dá-se em função da distribuição dos tamanhos dos grãos e fissuras e da mineralogia da zona não saturada ou da matriz do aquífero.

Nas últimas duas décadas têm sido aplicadas metodologias empíricas para a gestão da qualidade das águas, baseando-se nas informações disponíveis, de uso simples e de fácil representação cartográfica, utilizáveis para uma avaliação preliminar do território e prevenção da contaminação, requerendo-se, *a posteriori*,



avaliações em estudos de detalhe.

Existem várias metodologias aplicadas para avaliar-se o risco de contaminação em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos ou de rejeitos industriais. Estas metodologias empregam índices numéricos ou classificações do potencial de poluição das águas subterrâneas. SCUDINO (1992) destaca as seguintes:

- S.I.A.-"Surface Impoundment Assessment", baseada no trabalho de Le GRAND (1964), que estabeleceu um sistema de avaliação do potencial de contaminação de alguns sítios de disposição de resíduos nos Estados Unidos. Metodologia geralmente aplicada para a avaliação de sítios de represamento de líquidos existentes, de diversas naturezas e em formas de cavas, pequenos lagos e lagoas;
- "Landfill Site Rating" - aplicada na avaliação de sítios de aterros sanitários existentes;
- "Waste-Soil-Site Interaction Matrix" - método aplicado na avaliação de novos sítios de disposição de resíduos industriais, sólidos ou líquidos;
- "Site Rating System" - aplicado na seleção ou avaliação de aterros de materiais e substâncias químicas de natureza diversa;
- "Hazard Ranking System" - estabelece uma graduação (ranking) ponderada de magnitude de periculosidade para sítios de depósitos de resíduos, visando a ações mitigadoras;
- "Site Rating Methodology" - também aplicado através de uma graduação ponderada de periculosidade em sítios de depósitos de resíduos, objetivando ações mitigadoras;
- "Brine Disposal Methodology" - aplicado para avaliar-se a disposição de salmouras nas atividades sistemáticas planejadas em campos de petróleo e gás natural;
- "Pesticide Index" - procedimento análogo de graduação ponderada de magnitude de periculosidade dos pesticidas, baseada no seu respectivo potencial de poluição;
- O método "DRASTIC" - de avaliação do potencial de poluição de uma determinada área em função de sua caracterização hidrogeológica.

Utiliza-se também a metodologia IMPACT, segundo CUSTÓDIO (1992a,

1992b) para a avaliação do risco básico de contaminação, levando-se em conta as seguintes interações, com ponderações de importância relativa:

- I - gradiente hidráulico “i” (desnível piezométrico e o sentido)
- M - distância “m” horizontal, da fonte contaminante,
- P - população exposta, seja humana ou animal,
- A - aplicação - taxa e forma de aplicação (pulso, intermitente, contínua)
- C - concentração do poluente
- T - toxicidade do poluente.

De acordo com SCUDINO (1992), os métodos anteriormente citados possuem as seguintes características básicas:

- índices numéricos ou classificações do potencial (alto, médio, baixo) de poluição;
- ponderações com pesos diferenciados, de importância relativa;
- ponderações de importância relativa através de técnicas de medições por fatores envolvidos e seus respectivos *scores*, tomados de modo representativo;
- índices finais representados pela somatória dos fatores e seus respectivos *scores*;
- necessitam interpretações cuidadosas com adequados julgamentos por profissionais das diversas áreas multidisciplinares envolvidas.

Nesta tese empregar-se-á o método definido por FOSTER; HIRATA (1991) o qual propõe o seguinte procedimento para a avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas (Figura 12):

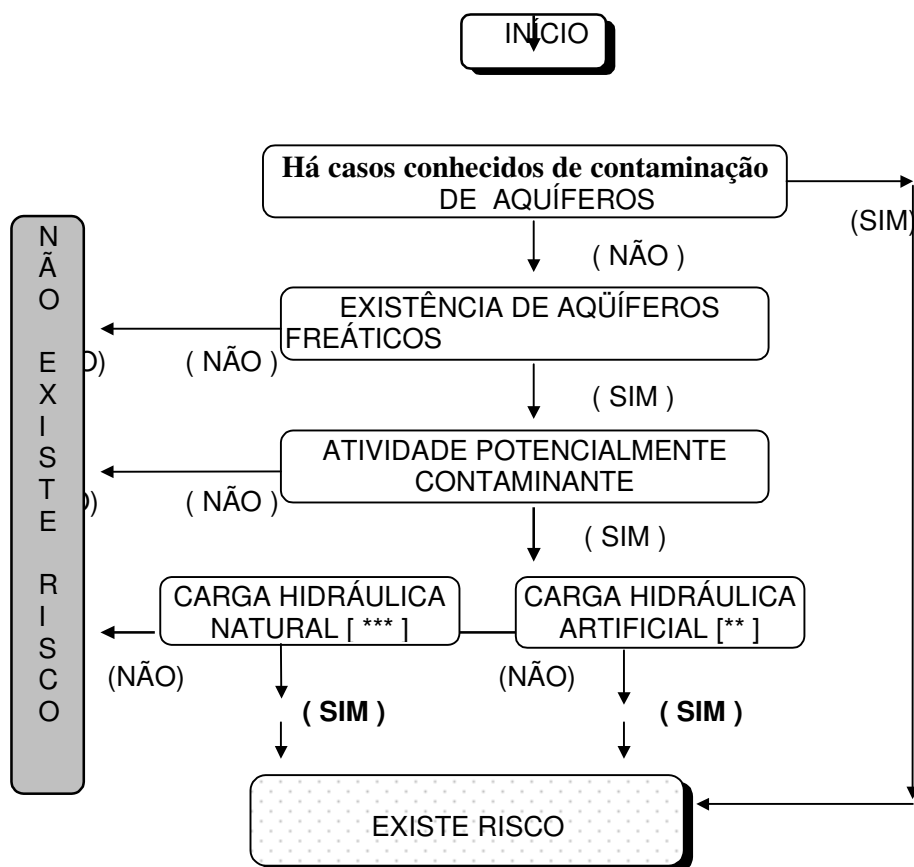


Figura 12: Avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas. FOSTER; HIRATA (1991).

[ \* ] atividades que incluem principalmente: urbanização com saneamento in situ, indústrias que utilizam substâncias tóxicas, aterro sanitário e lixões, reuso de águas servidas, rios contaminados, agricultura de cultivo intensivo, atividade mineral e petrolífera; acidentes ambientais, vazamentos de rede de esgoto e tanques de armazenamento; cemitérios etc, que podem causar riscos de contaminação.

[ \*\* ] carga hidráulica artificial associada ao contaminante e dirigida ao subsolo.

[ \*\*\* ] carga hidráulica natural, resultando em possibilidade de lixiviação de resíduos sólidos.

### 3.12 Principais Trabalhos Relacionados à Caracterização dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do Rio Araranguá

Diversos trabalhos fazem menção aos recursos hídricos da bacia do rio Araranguá. Porém, somente alguns deles se referem especificamente aos recursos hídricos subterrâneos da aludida bacia.

Dentre os primeiros trabalhos que abordam de maneira detalhada os recursos hídricos subterrâneos nesta bacia, pode-se destacar aquele desenvolvido por MACHADO *et al.* (1984). Os referidos autores realizaram um estudo bastante detalhado da vulnerabilidade à contaminação dos mananciais subterrâneos pelas fontes de poluição relacionadas às atividades de lavra e de beneficiamento de carvão na área de Siderópolis. Ressaltam que em alguns locais, situados próximos a pilhas de rejeito piritoso, o comprometimento das águas subterrâneas é muito intenso e pode ser comparado ao das águas superficiais nesta mesma região, ou seja, as águas apresentam baixos valores de pH (em torno de 3) e altas concentrações em ferro total e sulfato total. Citam como principais contaminantes das águas subterrâneas ferro, manganês, cobre, zinco, chumbo, cromo, alumínio, estrôncio e níquel. Apresentam resultados de análises químicas de diversos pontos de água existentes nas proximidades da cidade de Siderópolis.

MACHADO (1996) descreve e caracteriza os sistemas aquíferos relacionados aos sedimentos Cenozóicos presentes na porção sul do Estado de Santa Catarina. Identifica quatro aquíferos ligados aos sedimentos originados a partir das transgressões marinhas, representados atualmente por terraços, depósitos lagunares, barreiras marinhas e depósitos marinhos/eólicos holocenos. Os critérios utilizados pelo autor basearam-se no esquema evolutivo da costa durante o Cenozóico. A partir deste esquema, individualizaram-se quatro sistemas aquíferos que apresentam entre si diferenças marcantes nas condições hidrodinâmicas e nas características hidroquímicas. Os sistemas aquíferos individualizados foram:

- Aquífero da Fácies Marinha Transgressiva Pré-Barreira Pleistocênica;
- Aquífero da Fácies Areno-Lamosa de Fundo e Praia Lagunar;
- Aquífero da Barreira Marinha;
- Aquífero da Fácies Arenosa Marinho/Eólica Holocênica.

De acordo com o referido trabalho, o aquífero da Fácies Marinha Transgressiva Pré-Barreira Pleistocênica apresenta condições excelentes devido à presença de litologias grossas. Entretanto, seu posicionamento topoestrutural sugere a possível existência de problemas de salinização dos poços.

O aquífero da Fácies Areno-Lamosa de Fundo e Praia Lagunar engloba as seqüências areno-argilosas do terraço lagunar pleistocênico e dos terraços holocênicos que, segundo aquele autor, possuem características hidrogeológicas idênticas. É o aquífero de menor importância e com águas de pior qualidade da

região costeira.

O aquífero da Barreira Marinha é constituído apenas por litologias arenosas finas a médias, com capacidade específica média para os poços nele perfurados de 3m<sup>3</sup>/h/m. Do ponto de vista de sais dissolvidos e teores de ferro total, é o melhor aquífero para fins de abastecimento público.

O aquífero da Fácies Marinho/Eólica Holocênica compõe-se principalmente de arenitos finos a muito finos, com matriz argilosa e intercalações de níveis de conchas. Apresenta altos valores de capacidade específica e suas águas possuem um teor mais elevado de sais dissolvidos, ferro total e gás sulfídrico por redução dos sulfatos que as águas do aquífero da Barreira Marinha.

Além dos trabalhos acima comentados, MACHADO (1997), por ocasião do mapeamento da Folha SH-22-X-B de Criciúma, individualizou em uma carta de escala 1:250.000 os diferentes sistemas aquíferos que ocorrem na área da referida Folha (que cobre uma parte pequena da área da bacia do rio Araranguá).

O referido autor baseou-se nos critérios de estrutura, do modo e da ordem de grandeza da permeabilidade e das condições de superfície passíveis de interferência no comportamento das águas subterrâneas. Considerou também informações relativas ao tipo de aquífero e à melhor maneira de aproveitamento do sistema.

A partir da definição da estrutura dos sistemas aquíferos e de seus limites, com base no comportamento hidrogeológico dos grupamentos de litologias predominantes e do arcabouço estrutural da área, obteve uma representação hidrolitológica, onde cada unidade é constituída por um sistema mais ou menos complexo, com um ou mais níveis aquíferos associados a níveis semipermeáveis ou impermeáveis.

Os aquíferos intergranulares descontínuos livres englobam as litologias representadas pelos depósitos aluviais recentes e pelos depósitos de leques aluviais. Na área de Forquilha, os poços tubulares relacionados a este aquífero apresentaram níveis de água subterrânea rasos, variando de 1,30 m até 7,50 m, e capacidade específica, variando entre 0,611 a 1,33 m<sup>3</sup>/h/m. Ainda de acordo com MACHADO (1997), a qualidade da água é muito variável. Na área de Forquilha, o pH é ácido e o teor de sais dissolvidos está entre 100 mg/l e 200 mg/l. Ocasionalmente, os valores de ferro podem superar os limites recomendados para a potabilidade.

KREBS (1997), durante o desenvolvimento do PROGESC, baseado em critérios geológicos e geomorfológicos, individualizou em carta 1:100.000 os diferentes sistemas aquíferos presentes na área correspondente à Bacia Carbonífera Catarinense.

Os estudos realizados por este autor demonstram, outrossim, que os depósitos arenosos costeiros correspondem a uma área de descarga das águas subterrâneas que fluem da encosta do planalto em direção ao mar. Constatou-se também que os depósitos conglomeráticos-arenosos, os quais constituem os leques aluviais na bacia do Rio Araranguá possuem excelentes perspectivas para atuarem como unidade aquífera.

O modelo hidrogeológico, estabelecido a partir das características de relevo, características granulométricas, variações litológicas, variações de permeabilidade e do fato de esta porção atuar como uma área de descarga importante, sugere um regime de fluxo livre a semiconfinado, com nível estático próximo à superfície.

Outro importante trabalho relacionado aos recursos hídricos subterrâneos da bacia do rio Araranguá é aquele referente ao estudo realizado pela UNESCO/CPRM para o Governo do Estado (SANTA CATARINA, 1997e) com o objetivo de subsidiar a futura implantação do Plano Estadual de Recursos Hídricos.

Além dos trabalhos acima comentados, de cunho regional, pode-se destacar outros realizados em áreas específicas que também trazem importante contribuição para o conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia do rio Araranguá.

SILVA (1984), estudando a área urbana de Içara, realizou uma prospecção hidrogeológica, utilizando técnicas de geofísica aplicada e sensoriamento infravermelho, o que resultou na detecção de excelente estrutura aquífera urbana, na qual foi construído o poço tubular mais produtivo do Estado até a presente data, com água potável de excelente qualidade. O referido poço, relacionado às rochas areníticas da Formação Rio Bonito, apresentou uma profundidade final de 120 m, nível estático 4,15 m, nível dinâmico 30 m e vazão de 132 m<sup>3</sup>/h. O autor ressalta que as intrusões de diabásio nesta área são portadoras de treliças de fraturamento e que no caso do poço mais produtivo elas são as maiores responsáveis pelo alto valor de vazão.

O autor apresenta a descrição litológica de quatro poços tubulares construídos na área urbana de Içara. Para cada um deles fornece também informações hidrogeológicas como profundidade final, nível estático, nível dinâmico,

vazão original e vazão atual. Aborda também aspectos relacionados ao desempenho hidrodinâmico (somente do poço mais produtivo, P-3) e, por último, apresenta uma caracterização hidroquímica da água de cada poço.

A empresa Engenharia, Mineração e Meio Ambiente, responsável pelo Relatório de Impacto Ambiental da Mina do Trevo em Siderópolis, elaborou uma série de estudos relacionados aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos na área da mina. Dentre os documentos apresentados, consta um mapa hidrogeológico, escala 1:10.000, o qual indica que o aquífero principal daquela área relaciona-se ao topo da Formação Rio Bonito.

O monitoramento ambiental da Mina do Trevo, realizado de novembro de 1998 até julho de 1999, ficou a cargo da UNESC. Uma síntese dos resultados obtidos foi apresentada no relatório do mês de julho de 1999 (UNESC, 1999).

As análises realizadas nas amostras de água coletadas no interior da mina e no interior da cava de mineração a céu aberto permitiram concluir-se que a cava atua efetivamente como área de recarga do intervalo aquífero relacionado às litologias arenosas que constituem parte do maciço de cobertura da camada de carvão Barro Branco, na porção da Mina do Trevo.

Outra informação importante com relação às águas subterrâneas, obtida através dos trabalhos de monitoramento, relaciona-se ao fato de o rio Fiorita, em um trecho onde afloram litologias arenosas pertencentes à Formação Rio Bonito, apresentar caráter influente, isto é, contribuir para a recarga do aquífero. Este fato foi definido a partir do acompanhamento mensal das medidas de vazão de pontos situados à montante das instalações da mina e à jusante, respectivamente. Constatou-se que o volume de água (m<sup>3</sup>/s) medido no ponto situado a montante é superior ao volume medido à 4 jusante.

KREBS; NOSSE (1998) avaliaram o potencial hidrogeológico da área correspondente ao município de Criciúma. As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral constituem os aquíferos fraturados. As rochas sedimentares da Formação Rio Bonito (Membro Siderópolis) e os sedimentos marinhos transgressivos constituem os aquíferos porosos.

No caso da Formação Rio Bonito (Membro Siderópolis), individualizaram-se em mapa três intervalos aquíferos distintos, a saber:

- Associação Litofaciológica Superior (Areias Transgressivas)
- Associação Litofaciológica Média (Seqüência Barro Branco);

- Associação Litofaciológica Inferior (Seqüência Bonito).

Em dezembro de 2000, criou-se um Comitê Gestor para a Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense, através de Decreto Presidencial. Implantou-se então o Programa de Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense, coordenado pelo Sindicato das Indústrias de Extração de Carvão de Santa Catarina – SIECESC em parceria com a CPRM, o DNPM e o CETEM, entre outros. Através deste Programa, diversas medidas estão sendo tomadas em nível de Gestão Ambiental, visando à recuperação do passivo ambiental desta área a fim de harmonizar a atividade carbonífera em andamento com a preservação do meio ambiente. Dentre estas medidas está contemplado o estudo hidrogeológico escala 1:100.000 das três bacias hidrográficas (Araranguá, Urussanga e Tubarão) que drenam a região carbonífera de Santa Catarina. Cabe ressaltar que no caso da bacia hidrográfica do Araranguá, os resultados obtidos através desta tese serão totalmente incorporados ao referido estudo. Além deste estudo hidrogeológico regional estão sendo realizados estudos hidrogeológicos de detalhe em locais específicos que necessitam de medidas corretivas imediatas.

Com relação aos trabalhos acadêmicos realizados nesta bacia, vários deles abordam aspectos geológicos, geomorfológicos, ambientais e de recursos hídricos. Dentre estes, cabe ressaltar os seguintes:

GOMES (1976), em sua Tese de Livre Docência, apresenta aspectos da evolução geomorfológica da escarpa oriental do Planalto Meridional durante o Quaternário.

ÁVILA (1992), em sua Dissertação de Mestrado, aborda aspectos da poluição das águas subterrâneas relacionadas à Formação Rio Bonito nas áreas de Siderópolis, Criciúma e Nova Veneza. Realiza a caracterização hidroquímica das águas nas três porções referidas, apresenta vários histogramas e mapas de isotores de sais dissolvidos. Descreve as fontes de poluição presentes em cada área, identifica os elementos poluentes e descreve a maneira pela qual estes elementos alcançam a zona saturada. Através de diferentes análises físicas, químicas e fisico-químicas, determina a qualidade das águas subterrâneas e sua propriedade para os diferentes usos.

GIANNINI (1993), em sua Tese de Doutorado, apresenta aspectos relacionados aos sistemas deposicionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC.



DUARTE (1995), em sua Tese de Doutorado, descreve detalhadamente os Depósitos Cenozóicos costeiros, com ênfase nos depósitos de leques aluviais. Descreve também a morfologia do Extremo Sul de Santa Catarina.

ALEXANDRE (2000), em sua Dissertação de Mestrado, realiza um detalhado trabalho a respeito da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Araranguá, SC. Realiza, apresenta e integra informações de campanhas de monitoramento da qualidade das águas superficiais realizadas em diferentes datas por diferentes empresas ou instituições.

Atualmente, encontram-se em fase final de elaboração mais duas Teses de Doutorado, cujos temas relacionam-se à questão das águas subterrâneas. São as seguintes:

NOSSE (2004, em andamento), aborda a questão de gestão de recursos hídricos subterrâneos no município de Criciúma, SC. O referido autor apresenta resultados de análise de água dos diferentes sistemas aquíferos presentes naquele município e aborda os conflitos de interesses relacionados aos usos da água subterrânea.

PONTELLI (2004, em andamento), aborda aspectos relacionados à estratigrafia e alterações dos clastos que constituem os depósitos de leques na porção oeste desta bacia. Seu trabalho dá continuidade aos temas abordados por esta autora em sua Dissertação de Mestrado.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA O ESTUDO HIDROGEOLÓGICO

Para realizar-se a caracterização hidrogeológica da área da bacia do rio Araranguá, adotaram-se os procedimentos a seguir descritos.

### 4.1 Obtenção de Dados Existentes

Inicialmente consideraram-se as informações obtidas através do inventário de todos os pontos de água, constituídos por poços tubulares profundos, ponteiras, poços escavados e nascentes, disponíveis em trabalhos já realizados. Dentre estes trabalhos destaca-se o Projeto Disponibilidades Quantitativas e Qualitativas dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (SANTA CATARINA, 1997 a, b c, d, f) e o Projeto Potencial Hidrogeológico do Município de Criciúma, SC (KREBS; NOSSE, 1998). Nesta fase, procurou-se obter informações junto à CASAN, ao SAMAE, à CIDASC e a empresas perfuradoras de poços que atuam nesta área.

A partir de outubro de 1999, com o objetivo de buscarem-se mais informações a respeito dos pontos de água, foram feitas várias visitas a campo para complementar o cadastro destes pontos.

A partir destas informações, montou-se um banco de dados em Access o qual contém todas as informações do ponto de água cadastrado tais como identificação do poço, proprietário, local, laudos de análises (se existentes), dados construtivos (no caso de poços tubulares profundos), perfis litológicos, nível estático e nível dinâmico, entre outras.

Com relação aos aspectos hidrogeológicos, consideraram-se as informações disponibilizadas através do Mapa Hidrogeológico da Folha de Criciúma, escala 1:250.000, elaborado por MACHADO (1996), e do Projeto Disponibilidades Qualitativas e Quantitativas dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do Rio Araranguá, SC, realizado pela UNESC e CPRM (SANTA CATARINA, 1997) para a SDM. A este respeito, foram também buscadas informações nos trabalhos de ÁVILA (1992), MACHADO *et al.* (1984), MACHADO (1997), SILVA (1984), DNPM (1999), JICA (1997) e KREBS; NOSSE (1998).

Com relação aos aspectos geológicos e estruturais, consideraram-se as informações disponíveis nos diversos relatórios de mapeamento geológico realizado na região pela CPRM para o DNPM, tais como: SCHULZ; ALBUQUERQUE e RODRIGUEZ (1970) pela CPRM, através do Programa de Levantamento Geológico Básico – PLGB; SILVA e LEITES (2001), PETROBRÁS (1970) e, com relação à geologia da planície costeira, foram consideradas as informações disponibilizadas por CARUSO (1995), CARUSO (1997) e DUARTE (1995).

Examinaram-se também vários documentos relacionados à pesquisa de carvão, os quais contêm informações a respeito da geologia da região e do contorno estrutural da lapa da camada de carvão (Camada Barro Branco e Camada Bonito). Dentre estes documentos, pode-se destacar os seguintes: ABORRAGE; LOPES (1986), FABRÍCIO *et al.* (1973), CAYE *et al.* (1975), KREBS *et al.* (1982 e 1983). Também foram analisados mapas de controle de lavra de carvão em superfície e subsuperfície, obtidos junto ao DNPM e a empresas que desenvolvem ou já desenvolveram atividades na região carbonífera do sul de Santa Catarina.

Com o objetivo de verificar-se a espessura dos depósitos arenosos, analisaram-se centenas de perfis litológicos das sondagens executadas para carvão, realizadas pela CPRM para o DNPM, bem como perfis litológicos de furos executados pelas próprias empresas mineradoras de carvão.

A leitura e a análise dos referidos relatórios e mapas geológicos deixaram evidente a necessidade de elaborar-se um novo mapa geológico para demonstrar principalmente o comportamento estrutural dos blocos falhados bem como detalhar melhor a geometria dos principais lineamentos estruturais presentes nesta bacia, visto que os mapas existentes não correspondem às informações constantes nos perfis litológicos e mapas de controle de lavra em subsolo.

Por este motivo, antes de realizar-se o estudo hidrogeológico, procedeu-se à execução de um novo mapeamento geológico, dando-se atenção especial aos aspectos estruturais e litofaciológicos, principalmente no que se refere à Formação Rio Bonito e aos Depósitos de Leques Aluviais.

## **4.2 Elaboração do Mapa Geológico**

Para a elaboração do referido mapa, realizou-se a seguinte série de

procedimentos:

- Reinterpretação das fotografias aéreas e imagens de satélite;
- Elaboração de seções geológicas de detalhe, considerando-se as informações dos perfis litológicos e dos mapas de controle da lavra subterrânea;
- Elaboração do modelo digital da lapa da camada de carvão Barro Branco e do topo e lapa dos Depósitos de Leques Aluviais;
- Trabalhos de campo;
- Confecção do Mapa Geológico.

#### 4.2.1 Reinterpretação das fotografias aéreas e imagens de satélite

Sabe-se que mesmo em aquíferos com porosidade intergranular, como é o caso da Formação Rio Bonito e dos Depósitos de Leques Aluviais, a presença de falhas geológicas pode ampliar a capacidade de exploração dos poços tubulares posicionados nestes locais. Por outro lado, sabe-se que estas zonas de falha que seccionam rios com águas contaminadas ou seccionam áreas onde ocorrem fontes de poluição poderão atuar como caminhos para estas fontes de poluição alcançarem os diferentes intervalos aquíferos presentes nesta bacia. Por este motivo, foram reinterpretadas fotografias aéreas convencionais, escala 1:25.000, datadas de 1976/78, obtidas pelos Serviços Aéreos Cruzeiro do Sul S.A, fotografias aéreas escala 1:40.000, datadas de 2002, obtidas pela Aeroimagem S.A, e fotografias em branco e preto, escala 1:60.000, datadas de 1965, obtidas pelo Serviços Aéreos Cruzeiro do Sul S.A, disponíveis na CPRM/PA e no DNPM. Também foram interpretadas imagens do satélite LANDSAT – TM, escala 1:100.000, nos diversos canais obtidos em diferentes datas disponíveis na CPRM/PA. Através da análise das referidas fotos e imagens, foi possível delimitarem-se os principais sistemas de falha que seccionam toda a área correspondente à bacia do Rio Araranguá.

Os trabalhos de fotointerpretação serviram também para definirem-se com maior precisão os contatos geológicos entre as diferentes unidades geológicas presentes. Constatou-se que todos os mapas geológicos consultados apresentam muitas inconsistências no que se refere a contatos geológicos e a basculamento de blocos falhados.

Todos os elementos fotointerpretados foram lançados em uma base cartográfica, escala 1:50.000, do IBGE, para posterior cheque de campo.

#### 4.2.2 Elaboração de seções geológicas de detalhe considerando-se as informações dos perfis litológicos e mapas de avanço da lavra subterrânea.

Com o objetivo de entender-se o comportamento estrutural das rochas gonduânicas na área desta bacia, executaram-se várias seções geológicas com diferentes graus de detalhe.

Inicialmente elaborou-se uma seção com direção N – S, posicionada junto à coordenada UTM 652.000, que cortou toda a área da bacia desde próximo de algumas cabeceiras do rio Mãe Luzia, ao norte, até além do seu limite, ao sul, já próximo ao litoral.

Tendo-se em vista a complexidade estrutural que esta bacia apresenta à medida que se aproxima da porção costeira, realizou-se outra seção com direção NE – SW, aproximadamente paralela à linha de costa.

Além destas duas seções, foram realizadas várias outras em locais específicos que careciam de maior detalhe. Desta forma, foram executadas seções para definir-se a largura de uma calha estrutural N 30<sup>0</sup>W, que ocorre no alto curso do rio Mãe Luzia, para definir-se o limite de um alto do embasamento que existe na porção situada entre a cidade de Treviso e a localidade de Forquilha, para definir-se a variação lateral de fácies arenosas nos Membros Siderópolis e Triunfo da Formação Rio Bonito nos municípios de Criciúma, Siderópolis e Treviso, e do conglomerado basal da Formação Rio do Sul no alto curso do rio Mãe Luzia bem como para definir-se a espessura dos depósitos rudáceos em diferentes locais da bacia.

#### 4.2.3 Elaboração do modelo digital da lapa da camada de carvão Barro Branco

Para a realização desta atividade preparou-se uma tabela em Excel, na qual foram plotadas as informações referentes à cota de superfície, à cota dos diferentes contatos geológicos e à cota da lapa das diferentes camadas de carvão. Estas informações foram obtidas a partir da análise de mais de 2000 perfis litológicos de furos de sonda executados para a pesquisa de carvão pela CPRM e pelas várias

empresas mineradoras que atuam ou já atuaram nesta área. Através de *softwares* SURFER 8, obteve-se o modelo digital da lapa da camada de carvão Barro Branco na bacia do rio Mãe Luzia.

Os procedimentos metodológicos realizados para a obtenção deste modelo digital foram os mesmos utilizados para o caso dos leques aluviais e serão a seguir explicados.

#### 4.2.4 Elaboração do modelo digital do topo e base dos Depósitos de Leques aluviais

Com relação aos leques aluviais, consideraram-se as informações disponíveis a partir das sondagens executadas pela Carbonífera Criciúma para a pesquisa de carvão na porção situada entre Nova Veneza e Maracajá, e furos executados pela CPRM (sigla SW, MA, AR e PB) na porção central e oeste desta bacia. Consideraram-se também as informações dos poços cadastrados durante esta etapa de campo e que atravessaram todo o depósito de leque (poços tubulares profundos e ponteiras). Desta forma, com as informações referidas e utilizando-se recursos de informática, obtiveram-se os MNTs e calculou-se o volume de cascalho existente nos depósitos de leques aluviais .

Através da consistência e análise das informações obtidas durante os trabalhos de campo, foram selecionados 56 pontos estrategicamente localizados dentro do domínio dos Leques Aluviais.

Os dados utilizados para a geração dos *grids* foram: localização (coordenadas x,y,z), cota da superfície, cota da capa e cota da lapa do depósito. Os dados processados foram: espessura da camada, espessura da cobertura, capa e lapa do depósito.

No processo de geração dos *grids*, dos dados acima citados, executou-se a interpolação dos dados por IQD (inverso do quadrado da distância). Optou-se pela utilização deste método por ser ele fácil e que não requer um tratamento geoestatístico. Sabe-se que uma análise geoestatística permitiria que se chegasse a um resultado mais preciso. Porém, para o escopo desta tese a utilização de um método geoestatístico não traria resultados mais significativos, comparando-se com os resultados obtidos a partir da técnica do IQD. Esta escolha justifica-se também pela quantidade de dados para a geração de variogramas que determinam parâmetros de interpolação.

Com respeito à geração do *grid* de espessura do depósito, empregaram-se também como dados para a interpolação os limites do depósito, aos quais foram atribuídos valores de espessura igual a zero.

Os dados de espessura da camada foram obtidos de forma diferenciada, pois foi possível considerar-se como valores nulos de espessura os limites do depósito. Este diferencial foi viabilizado a partir da transformação do vetor georreferenciado em tabela com dados de coordenadas UTM e espessura do depósito, neste caso, todas nulas.

A partir do processamento destes dados foi possível avaliar-se a espessura da cobertura, a espessura do depósito, o volume de cascalho contido nos depósitos de Leques Aluviais bem como estimar o volume de água armazenada.

O volume foi calculado em software de modelamento 3D (Surfer8®) a partir dos *grids* de cotas da lapa e capa do depósito.

Os produtos desta etapa de trabalho foram MNTs (Modelos Numéricos de Terreno) da lapa e da capa do depósito e os volumes deste calculados por três métodos distintos, conforme a Tabela 12 abaixo:

Tabela 12: Volume de cascalho contido nos depósitos de leques aluviais na área da bacia do Araranguá

Método	Volume (m <sup>3</sup> )
Trapezoidal	16679169480
Simpson' s	16697479900
Simpson' s 3/8	16681388415

#### 4.2.5 Trabalhos de campo

Para a realização deste mapeamento, contou-se com o apoio da CPRM e com a infra-estrutura disponibilizada pelo Sindicato da Indústria de Extração de Carvão de Santa Catarina – SIECESC, em Criciúma, através de seu Núcleo de Meio Ambiente. Contou-se também com o apoio da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, através do seu Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT.

Utilizando-se um *jeep* Toyota, percorreu-se e mapeou-se toda a área correspondente à bacia do rio Araranguá. Para o mapeamento propriamente dito empregou-se uma bússola modelo Brunton, um estereoscópio de bolso, fotografias aéreas escala 1:20.000 e 1:40.000, um GPS Garmin 12, uma caderneta de campo,

uma prancheta, um martelo de geólogo e uma máquina fotográfica digital.

Tendo-se em vista que o objetivo maior deste estudo geológico é subsidiar a caracterização hidrogeológica das diferentes unidades geológicas presentes nesta bacia, procurou-se, durante o mapeamento, definir a espessura do capeamento e dos depósitos rudáceos que constituem o sistema aquífero relacionado aos leques aluviais.

Embora não fosse objetivo deste mapeamento o detalhamento litofaciológico e a individualização em mapa das diferentes unidades geológicas, procurou-se, neste trabalho, principalmente no domínio dos leques aluviais, seguir critérios litofaciológicos para se entender a distribuição lateral e vertical das fácies rudáceas. Da mesma forma procurou-se entender a distribuição das fácies areníticas da Formação Rio Bonito bem como das fácies conglomeráticas da Formação Rio do Sul.

A partir da leitura do mapa fotointerpretado, dos perfis litológicos dos furos de sonda, dos mapas de controle de lavra em subsolo e, principalmente, do mapeamento de detalhe realizado para esta tese no subsolo de várias minas, onde estão presentes as principais falhas conhecidas, identificadas por ocasião do avanço de lavra em subsolo (Falha Criciúma, Nova Veneza, Mãe Luzia, entre outras sem denominação específica), foi possível detalhar-se melhor os aspectos estruturais da área, com definição precisa do basculamento dos blocos falhados bem como do valor do rejeito das referidas falhas em diferentes locais desta bacia hidrográfica.

A partir do trabalho de campo, iniciado em janeiro de 2002 e concluído em fevereiro de 2003, elaborou-se um novo Mapa Geológico, escala 1:100.000, que serviu de base para o estudo hidrogeológico desta bacia.

A base cartográfica utilizada neste trabalho foi obtida a partir das folhas topográficas em escala 1:50.000, do IBGE, que cobrem a área da bacia do rio Araranguá. As folhas utilizadas foram: Bom Jardim da Serra – SH-22-X-A-III-4; Orleães SH-22-X-B-I-3; Silveira – SH-22-X-A-VI-1; Turvo - SH-22-X-A-4; Araranguá - SH-22-X-B-IV-3; Jacinto Machado - SH-22-X-A-VI-1; Turvo SH-22-X-A-V-4; São Bento Baixo - SH-22-X-A-VI-2; Criciúma SH-22-X-B-IV-1; Rincão SH-22-X-B-IV-4; Vila Santana SH-22-X-A-V-4; Cambará do Sul SH-22-X-C-II-2; Praia Grande SH-22-X-C-III-1 e a folha sem denominação específica SH-22X-V-2. Constatou-se que nem todas as folhas estão disponíveis em meio digital. Assim, no caso da Folha



Criciúma e Turvo, foi necessário escanear a folha impressa em papel e depois digitalizá-la.

#### 4.2.6 Confeção do mapa geológico

Após terem sido estabelecidos os contatos geológicos e as relações de fácies bem como definido o comportamento estrutural do maciço rochoso e dos depósitos de cobertura, procedeu-se à elaboração do Mapa Geológico em escala 1:100.000.

A representação em mapa das diferentes unidades geológicas foi realizada utilizando-se letras e cores. Para a representação dos elementos estruturais, falhas, diques e fraturas, entre outros, consideraram-se os mesmos traços e legendas utilizados nos Mapas Geológicos do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos – PLGB, desenvolvido pela CPRM em todo o território nacional. Com relação aos recursos minerais, empregaram-se diferentes símbolos para a indicação de ocorrência mineral, jazida, mina em atividade e mina desativada. Ao lado do símbolo colocou-se a sigla do mineral.

### 4.3 Elaboração do Estudo Hidrogeológico

Para a elaboração do referido estudo, realizou-se uma série de procedimentos:

- Interpretação dos dados geológicos;
- Etapa de campo;
- Avaliação da permeabilidade e capacidade de infiltração da Formação Rio Bonito e das pilhas de rejeito;
- Estudo hidroquímico;
- Cálculo do índice de estabilidade do carbonato de cálcio (Ryznar) e índice de saturação (Langelier);
- Ensaio de bombeamento;
- Métodos de amostragem;
- Técnicas analíticas utilizadas;
- Elaboração do Mapa de Fontes de Poluição;

- Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aqüíferos;
- Elaboração do Mapa Hidrogeológico.

#### 4.3.1 Interpretação dos dados geológicos

As unidades geológicas cartografadas foram analisadas e hierarquizadas levando-se em consideração sua maior ou menor capacidade de armazenamento de água. No domínio das rochas sedimentares (Formações Rio do Sul, Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova, Rio do Rasto e Botucatu) bem como sedimentos terciários e ou quaternários (Depósitos de Leques Aluviais, Depósitos de Laguna Barreira III e Depósitos de Laguna Barreira IV), o armazenamento é controlado pelo maior ou menor grau de permeabilidade das rochas ou sedimentos. Neste sentido, quanto mais arenosa for a rocha ou o sedimento, maior quantidade de espaços intergranulares ela terá e, conseqüentemente, maior permeabilidade ela apresentará. Sabe-se que tanto as rochas sedimentares quanto os sedimentos inconsolidados presentes nesta bacia hidrográfica apresentam freqüentes variações laterais e verticais de litofácies.

No caso das rochas cristalinas, o armazenamento é controlado pelas fraturas. Desta forma, quanto mais fraturada a área maior possibilidade de ocorrência de água subterrânea ela terá.

A presença de fraturas pode ampliar a vazão de poços construídos em aqüíferos com porosidade intergranular. Sabe-se também que a presença de falhas com diques de diabásio encaixados geralmente ampliam a vazão de poços construídos em aqüíferos com porosidade intergranular devido às fraturas de resfriamento existentes nestes corpos intrusivos (SILVA,1984; MACHADO,1997). Constatou-se, no entanto, por ocasião da construção do poço tubular profundo para a futura USITESC, realizado na localidade de São Pedro, município de Treviso em setembro de 2000, que isto nem sempre acontece. No caso do referido poço, a proximidade com uma falha que continha um espesso dique de diabásio resultou no recozimento das camadas de arenito, alterando suas características físicas como transmissibilidade e condutividade hidráulica. O dique atua como barreira à circulação da água subterrânea, influenciando negativamente no comportamento aqüífero da Formação Rio Bonito neste local.

#### 4.3.2 Etapa de campo

Procedeu-se primeiramente à complementação do cadastro de pontos de água. Procurou-se cadastrar todos os poços tubulares profundos construídos até então. No caso do Sistema Aquífero relacionado aos Depósitos de Leques Aluviais, verificou-se que grande parte da população rural que habita esta bacia utiliza este sistema aquífero para fins de complementação do abastecimento doméstico, através da construção de poços escavados ou sistema de poços-ponteiras. Desta forma, para efeito de cadastramento de pontos de água neste sistema, optou-se por realizar uma malha de amostragem com equidistância média de 2km. Entretanto devido a escala utilizada, houve uma demasiada concentração de poços e esta equidistância posteriormente foi ampliada para 4km no restante da área, como mostra o Mapa de Pontos de Água, Anexo 2.

Procurou-se obter o maior número possível de pontos, tendo sido cadastrados 582 pontos de água, sendo 148 poços tubulares profundos 316 poços escavados, 60 poços-ponteiras e 58 fontes. Estes pontos distribuem-se ao longo de toda a área da bacia, como se vê no Mapa de Pontos de Água, Anexo 2.

Cada ponto cadastrado foi identificado no campo através de coordenadas UTM, tomadas no local com o emprego de um GPS. Estes pontos foram imediatamente plotados em uma base cartográfica escala 1:50.000, devidamente georreferenciada. Para a confirmação do local eram observadas as fotos aéreas escala 1:20.000 e 1:40.000, datadas de 2000. Ao final da campanha de cadastramento de pontos de água, com o objetivo de definir-se perfeitamente o local do ponto, utilizaram-se também as ortofotocartas escala 1:5.000, as quais eram colocadas em um *notebook*.

Para cada ponto preencheu-se uma ficha com todas as informações referentes à localização, ao proprietário, aos tipos de uso da água, às características geológicas e hidrogeológicas do local, à existência ou não-existência de laudos técnicos ou resultados de análises físico-químicas e bacteriológicas, aos aspectos construtivos, entre outros. Estas fichas, ao final de cada dia, eram lançadas em uma tabela Excel que alimenta o banco de dados referentes aos pontos de água desta bacia, permitindo a plotagem de todos estes pontos em uma base cartográfica escala 1:100.000, georreferenciada. Foram tomadas medidas de pH, de condutividade e de temperatura em todos os pontos cadastrados, inclusive naqueles

que já haviam sido cadastrados em trabalhos anteriores, ou nos poços construídos pela CIDASC, CASAN e SAMAE que possuem laudos de análises. Utilizou-se também uma máquina fotográfica digital para registrar o estado de cada ponto.

Para tomarem-se as medidas de condutividade e pH, utilizou-se um equipamento tipo ORION, modelo 1230, portátil. Utilizaram-se também conditivímetros portáteis e pHmetros. A temperatura foi medida usando-se o ORION. Para a medida do nível estático e do nível dinâmico, quando possível, empregaram-se trenas elétricas de 25m e de 50m. A profundidade dos poços escavados foi medida com uma trena metálica acoplada a uma roldana.

Os valores pH, condutividade, temperatura, níveis estáticos e dinâmicos, profundidade do poço, além das coordenadas UTM e cota da boca, foram lançados em tabelas do Excel para posterior tratamento hidroquímico através do *software* AquaChem da Waterloo. A cota da boca de cada ponto de água foi definida através do modelo digital do terreno, obtido a partir das ortofotocartas escala 1:5.000, com curvas de nível de 1m de intervalo entre si.

Os valores de condutividade foram transformados em valores de sais dissolvidos, apresentados no Anexo 3. Os valores de pH também foram lançados em mapas, apresentado no Anexo 4.

Devido à grande variação lateral e vertical de litofácies que ocorrem nas Formações Rio do Sul e Rio Bonito bem como ao fato de existirem áreas extensas onde esta última formação é aflorante cobertas por pilhas de rejeito de beneficiamento de carvão, optou-se por avaliar a permeabilidade e a capacidade de infiltração em vários intervalos estratigráficos da Formação Rio Bonito como das pilhas de rejeito.

#### 4.3.3 Avaliação da permeabilidade e capacidade de infiltração da Formação Rio Bonito e das pilhas de rejeito

Realizou-se a coleta de dados de infiltração pelo método dos cilindros concêntricos e de condutividade hidráulica pelo método invertido do trado e pelo “teste do piezômetro”. No capítulo 6 são apresentados com detalhe os referidos métodos.

#### 4.3.4 Cálculo do índice de estabilidade do carbonato de cálcio (Ryznar) e índice de saturação (Langelier)

No caso do poço construído na localidade de São Pedro, município de Treviso, que teve por objetivo específico avaliar a disponibilidade quantitativa e qualitativa deste local para abastecimento da futura USITESC, realizou-se o cálculo do índice de estabilidade do carbonato de cálcio (Ryznar) e índice de saturação (Langelier) para caracterizar a água.

#### 4.3.5 Ensaios de bombeamento

O ensaio de bombeamento no poço construído na localidade de São Pedro foi realizado em 3 patamares e observado no piezômetro Pz distante 280 metros. O ensaio iniciou-se no dia 25 de julho de 2000 e estendeu-se por 97 horas, após as quais foram medidos os níveis de recuperação do poço P1 e do piezômetro Pz durante 24 horas. No capítulo 6 são apresentados com detalhe os referidos ensaios de bombeamento.

#### 4.3.6 Estudo hidroquímico

Após a conclusão do cadastramento, realizou-se uma criteriosa seleção de pontos, tomando-se em consideração aspectos geológicos, estruturais, resultados de medidas de pH e condutividade, e posicionamento com relação a alguma fonte de poluição. Estes pontos selecionados foram amostrados para a realização de um estudo hidroquímico das águas dos dois principais sistemas aquíferos presentes nesta bacia: Sistema Aquífero Rio Bonito e Sistema Aquífero Leques Aluviais.

A caracterização hidroquímica das águas dos diferentes sistemas aquíferos individualizados no Mapa Hidrogeológico, Anexo 2, foi baseada na elaboração de gráficos semi-logarítmicos de Schöeller e de diagramas de Stiff e de Piper. Objetivando avaliar-se a utilização das águas subterrâneas para fins de irrigação, determinou-se a razão de adsorção de sódio (SAR). Tendo em vista a construção da termelétrica USITESC no município de Treviso, calculou-se também o índice de estabilidade do carbonato de cálcio (RYZNAR, 1944) e o índice de saturação definido por LANGELIER (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

Desta forma, os parâmetros analisados foram aqueles necessários ao tratamento hidroquímico através do *software* AquaChem o qual permite a elaboração de diferentes gráficos e diagramas. Para este tratamento hidroquímico utilizou-se também o *software* Qualigraf.

Optou-se por utilizar o Diagrama de Piper para a caracterização hidroquímica das águas de cada sistema aquífero pelo fato de este permitir que se obtenha uma série de outras informações além da referida classificação hidroquímica. Nesse diagrama, os cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) e os ânions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ ) são plotados em porcentagem de miliequivalentes, em duas bases triangulares. Os dados contidos nesses triângulos são projetados em um losango, possibilitando a classificação das águas em função da concentração de íons.

Com base no diagrama de Stiff, elaborou-se um mapa hidroquímico. Desta forma, sobre o mapa hidrogeológico simplificado foram lançados os diagramas de Stiff, com representação da composição química das águas. Neste mesmo mapa construiu-se um diagrama de Piper, com representação de todos os pontos de água relacionados ao aquífero do tipo poroso e outro com todos os pontos de água relacionados ao aquífero do tipo fraturado.

Através do gráfico semi-logarítmico de Schöeller correlacionaram-se várias análises de água de um mesmo ponto em épocas diferentes ou de diferentes pontos bem como compararam-se amostras de águas superficiais e subterrâneas de uma mesma porção desta bacia hidrográfica.

Este gráfico ressalta as relações entre íons de uma mesma amostra e variações temporais e espaciais existentes. O número de elementos representados variou de acordo com os objetivos da interpretação. Por exemplo, na área carbonífera procurou-se realizar comparações entre amostras de água de diferentes pontos, objetivando verificar-se a influência das atividades relacionadas à lavra e ao beneficiamento de carvão. No município de Criciúma, procurou-se realizar comparações entre amostras de água para verificar-se a influência de outras fontes de poluição que possam ter alterado a qualidade da água subterrânea. Na porção correspondente à planície costeira, procurou-se correlacionar amostras de água, visando definir-se a interferência de elementos químicos relacionados às práticas agrícolas realizadas nesta porção da bacia do rio Araranguá.

#### 4.3.7 Métodos de amostragem

Amostrou-se cada ponto selecionado, tendo sido as amostras encaminhadas para análise no laboratório do IPAT, em Criciúma. O laboratório cedeu todos os frascos necessários e um técnico para auxiliar as amostragens.

No caso dos poços tubulares profundos, a água foi coletada na boca do poço ou em uma saída mais próxima antes de passar por reservatórios. Antes da amostragem procurou-se deixar a bomba ligada por pelo menos 30 minutos para que a água captada apresentasse suas características físico-químicas originais. Durante as coletas procurou-se representar as condições climáticas do momento, o fato de o poço estar ou não em bombeamento bem como verificar-se a existência ou ausência de alguma fonte de poluição nas proximidades.

#### 4.3.8 Técnicas analíticas utilizadas

As análises físico-químicas, químicas e bacteriológicas das amostras de água foram realizadas no laboratório do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, em Criciúma.

O laboratório do IPAT segue os procedimentos analíticos apresentados no Standard Methods for the Examination of Water and Waste-water (1998). A Tabela 13 mostra os parâmetros analisados durante este trabalho de tese.

Tabela 13: Parâmetros analisados durante este trabalho de tese no laboratório do IPAT/UNESC

<b>Parâmetros</b>	<b>Mínimo Detectável</b>	<b>Método de Análise</b>
pH (22,1 °C)	0,1	Potenciométrico
Alcalinidade Total (mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> )	1	Titulométrico à pH 4,3
Alcalinidade Fenolftaleína (mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> )	1	Volumétrico à pH 8,3
Alcalinidade Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) (mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> )	1	Relação entre alcalinidade total e fenolftaleína
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	1	Argentométrico
Condutividade (mS.cm <sup>-1</sup> – 22,1 °C)	0,001	Conducométrico
Fósforo Total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,01	Colorimétrico
Nitrogênio Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,1	Colorimétrico
Sulfatos (mg.L <sup>-1</sup> )	1	Colorimétrico
Alumínio (mg.L <sup>-1</sup> )	0,1	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Cálcio (mg.L <sup>-1</sup> )	0,01	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Ferro total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,02	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Magnésio (mg.L <sup>-1</sup> )	0,01	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Manganês (mg.L <sup>-1</sup> )	0,01	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Potássio (mg.L <sup>-1</sup> )	0,01	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Sódio (mg.L <sup>-1</sup> )	0,01	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Coliformes Totais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	Ausentes em 100mL	Tubos Múltiplos
Coliformes Fecais (NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	Ausentes em 100mL	Tubos Múltiplos
Alcalinidade Total (mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> )	1	Titulométrico à pH 4,3
Alcalinidade Fenolftaleína (mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> )	1	Titulométrico à pH 8,3
Alcalinidade Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> ) (mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> )	1	Relação entre alcalinidade total e fenolftaleína



#### 4.3.9 Elaboração do mapa de fontes de poluição

Para a elaboração deste mapa, partiu-se das informações disponibilizadas por ALEXANDRE (2000) e pelo Programa de Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina (em andamento), do qual este autor é o coordenador dos trabalhos pela CPRM.

Durante a elaboração desta tese, realizaram-se várias campanhas de campo com o objetivo de complementarem-se as informações necessárias à elaboração deste mapa. Nesta fase, procurou-se cadastrar o maior número possível de poços de gasolina, de cemitérios, de pocilgas e de indústrias.

A delimitação dos terrenos degradados pelas atividades de lavra e de beneficiamento de carvão, além da geometria da área minerada para carvão em subsolo, foram obtidas a partir dos mapas mineiros do DNPM, atualizados anualmente pelo núcleo de Meio Ambiente do SIECESC.

Procurou-se delimitar neste mapa as porções que atuam como fontes difusas de poluição. Estas áreas correspondem àquelas de cultivo de arroz com uso de defensivos agrícolas, áreas mineradas em subsolo, rios que recebem efluentes industriais e domésticos e rios que possuem águas ácidas devido à contaminação por efluentes da mineração, drenagem ácida de mina e ou lixiviação das pilhas de rejeito piritoso.

Através de símbolos, letras, elementos e cores e, utilizando-se uma base cartográfica 1:100.000, foi então elaborado o Mapa de Fontes de Poluição da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá.

#### 4.3.10 Elaboração do mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos

Para a avaliação da vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos, foram testados dois métodos: *DRASTIC* e *GOD*.

Com as informações disponíveis, constatou-se que o método *GOD* apresentou melhores resultados, visto que para aplicar-se o método *DRASTIC* torna-se necessário detalhar melhor os aspectos do meio físico, principalmente no que se refere aos diferentes tipos de solo, ao comportamento da zona vadosa, à declividade do terreno e às áreas de recarga.

De qualquer forma, devido à importância do método *DRASTIC*, optou-se na

presente tese, por apresentá-lo detalhadamente.

#### 4.3.10.1 Método *DRASTIC*

O método *DRASTIC* foi desenvolvido por ALLER *et al.* (1987), com o objetivo de criar modelos de avaliação do índice de vulnerabilidade adaptável a qualquer lugar dos Estados Unidos. Para tal, foi instituído um comitê de especialistas que avaliou várias situações na tentativa de que o método fosse o mais abrangente possível. O método é indicado para a definição de áreas vulneráveis em terrenos maiores que 100 acres, baseado no conceito de sistemas hidrogeológicos. O sistema hidrogeológico é entendido como o conjunto das características geológicas e hidrogeológicas predominantes que afetam e controlam o movimento da água subterrânea, dentro, através ou fora de uma área. Como os poluentes variam em sua mobilidade e características de atenuação, foi necessário assumir como padrão um contaminante com a mobilidade da água, introduzido na superfície do terreno e carregado pela recarga do aquífero. Basicamente, o *DRASTIC* foi desenvolvido para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos livres. A presença de uma camada confinante impõe algumas alterações que devem ser observadas. A profundidade do nível da água utilizada, neste caso, deve ser a do topo do aquífero e não a da superfície piezométrica. No modelo, o peso da rede de recarga tem de considerar as restrições naturais impostas pela camada confinante. As características do meio aquífero devem ser avaliadas contando-se com informações existentes e com inferências impostas pelo usuário, visto que não podem ser identificadas em rochas ou sedimentos aflorantes e podem variar espacialmente. Ao avaliar-se o impacto da zona vadosa, deve-se considerar o impacto da camada confinante na atenuação de contaminantes que possam atingir o sistema aquífero, sendo também necessária uma distinção de critérios, pelo usuário, das características das demais camadas sobrepostas ao aquífero.

No modelo, a definição das características a serem incorporadas para a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos passou por uma série de conjeturas técnicas acerca da importância relativa das características físico-hidrogeológicas que alteram o potencial de poluição. O resultado desta avaliação definiu como fatores mapeáveis mais importantes, que controlam o potencial de poluição das águas subterrâneas, os seguintes:

D – Depth of water – Profundidade da água, ou do nível da água.

R – (Net) Recharge – Recarga do Aqüífero.

A – Aquifer Media – Meio Aqüífero, características físicas.

S – Soil Media – Solos

T – Topography – Topografia, declividade.

I – Impact of Vadose Zone Media – Impacto da Zona Vadosa, atenuação.

C – Conductivity (Hydraulic) of the Aquifer – Condutividade hidráulica.

- Nível da água: importante por marcar a profundidade que o poluente vai ter de percorrer até encontrar a água, ou seja, a substância a ser poluída. Quanto maior a profundidade do nível da água maiores as chances de que ocorra a atenuação do contaminante.
- Recarga do aqüífero: definida como o volume de água que passa pela zona não saturada, chegando até o nível d'água subterrânea. Este volume é calculado considerando-se uma quantidade de água por unidade de área. No método, é utilizada a unidade de polegadas por ano.
- Meio aqüífero: refere-se a rochas consolidadas ou inconsolidadas que servem como aqüífero. Rochas porosas onde a água se movimenta por espaços intergranulares possuem porosidade primária enquanto rochas onde a água se movimenta por fraturas ou espaços criados após sua formação caracterizam-se por ter uma porosidade secundária. O fluxo da água é afetado diretamente pelo meio aqüífero assim como a rota e as distâncias percorridas pela água dentro do aqüífero são condicionados pelo sistema de fluxo. Estes fatores são importantes, pois caracterizam as condições naturais de atenuação por processos de sorção, reatividade e dispersão que porventura venham a ocorrer.
- Solos: Dentro da metodologia do *DRASTIC*, o termo solo é considerado como sendo a camada superior da terra, sujeito a processos climáticos, onde a espessura pode variar até seis pés (cerca de 2 metros) de profundidade. Dentro desta camada pode ocorrer uma intensa atividade biológica e variações de diâmetro das partículas, importantes para processos que influenciem a contaminação das águas subterrâneas. A espessura da camada é fundamental, pois seu aumento pode incrementar a atenuação por meio de filtração, biodegradação, sorção e volatilização. A presença de matéria orgânica e o tipo de argila no solo devem ser

considerados, visto que também são fundamentais para os processos de degradação de cargas contaminantes ocorrentes no subsolo, com óbvia importância dentro dos modelos de vulnerabilidade.

- Topografia: No método, o termo topografia leva em conta a maior possibilidade de ocorrer o escoamento superficial com o incremento da declividade.
- Impacto da zona vadosa: A zona vadosa é definida como o nível do terreno entre o típico perfil de solo e o nível da água, ou seja, a faixa que não está saturada de água. O tipo de zona vadosa é determinante para as características de atenuação do material contaminante. Dentre os processos, pode ser citada a biodegradação, a neutralização, a filtração mecânica, as reações químicas, a volatilização e a dispersão. A espessura da zona vadosa influencia diretamente estes processos, pois muitas características estão atreladas a este condicionante. A biodegradação e a volatilização podem diminuir com a profundidade. Além disso, a espessura influencia diretamente o tempo de circulação e o tempo disponível para que processos de atenuação natural ocorram.
- Condutividade: A condutividade define a habilidade do meio aquífero de transmitir água, caracterizando desta forma a velocidade de fluxo da água em um determinado gradiente hidráulico.

A combinação destes fatores é feita através de um sistema de valoração numérica, contendo três partes: peso, variações e razões.

O conceito de pesos diferencia a importância relativa de um fator do *DRASTIC* para outro, variando de 1 a 5, e serve para indicar a importância relativa de cada um dos sete fatores, isto é, quanto maior o peso maior sua importância. O fator mais importante tem peso 5 enquanto o de menor importância tem peso 1. Segundo ALLER *et al.* (1987), os pesos determinados pelo método são constantes e não devem ser alterados. Um segundo peso, também constante, foi criado para avaliar-se a vulnerabilidade de áreas nas quais existe o emprego de pesticidas na agricultura. Ambos são mostrados na Tabela 14.

Tabela 14: Pesos dos fatores envolvidos na metodologia do *DRASTIC*

	Pesos para as Feições do <i>DRASTIC</i>	Pesos para as feições <i>DRASTIC</i> - Pesticidas
Fator	Peso	Peso
Profundidade do nível d' água	5	5
Recarga	4	4
Meio aquífero	3	3
Solo	2	5
Topografia	1	3
Impacto da zona vadosa	5	4
Condutividade	3	2

Fonte: adaptado de ALLER et al. (1987).

Alguns fatores utilizados no *DRASTIC* dividem-se em tipos significativos, seja pela média ou por variações, que denotam um determinado impacto no potencial à poluição. As Tabelas 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21 mostram as variações e as médias adotadas no modelo.

Tabela 15: Valores relativos a faixas de variação do nível d'água

<b>Profundidade do Nível d' Água (Pés)</b>	
Variação	Razão
0-5	10
5-15	9
15-30	7
30-50	5
50-75	3
75-100	2
>100	1

Fonte: adaptado de ALLER et al. (1987).

Tabela 16: Valores relativos a faixas de variação de recarga

<b>Rede de Recarga (polegadas)</b>	
Variação	Razão
0-2	1
2-4	3
4-7	6
7-10	8
>10	9

Fonte: adaptado de ALLER et al. (1987).

Tabela 17: Valores relativos a faixas de variação do meio aquífero

<b>Meio Aquífero</b>		
Varição	Razão	Razão Tipo
Argila Compacta	1 a 3	2
Metamórfico/Igneo	2 a 5	3
Metamórfico/Igneo alterado	3 a 5	4
Till (Glacial)	4 a 6	5
Interdigitações de Arenitos, Calcários e Argilitos	5 a 9	6
Arenito Maciço	4 a 9	6
Calcário Maciço	4 a 9	6
Areia e Seixos	4 a 9	8
Basalto	2 a 10	9
Calcário Kárstico	9 a 10	10

Fonte: adaptado de ALLER et al. (1987).

Tabela 18: Valores relativos a faixas de variação dos solos

<b>Solos</b>	
Varição	Razão
Fino ou ausente	10
Seixos	10
Areia	9
Turfa	8
Argila	7
	6
	5
	4
	3
	2
	1

Fonte: adaptado de ALLER et al. (1987).

Tabela 19: Valores relativos a faixas de variação da topografia

<b>Topografia (% Declividade)</b>	
Varição	Razão
0 a 2	10
2 a 6	9
6 a 12	5
12 a 18	3
>18	1

Fonte: adaptado de ALLER et al. (1987).

Tabela 20: Valores relativos a faixas de variação do impacto da zona vadosa

<b>Impacto da Zona Vadosa</b>		
Varição	Razão	Razão Típica
Camada Confinante	1	1
Silte/Argila	2 a 6	3
Argilito	2 a 5	3
Calcáreo	2 a 7	6
Arenito	4 a 8	6
Interdigitação de Argilito, Calcáreo e Arenito	4 a 8	6
Areia e Seixos com significativa silte e argila	4 a 8	6
Metamórfico/Igneo	2 a 8	4
Areia e Cascalho	6 a 9	8
Basalto	2 a 10	9
Karst	8 a 10	10

Fonte: adaptado de ALLER et al. (1987).

Tabela 21: Valores relativos a faixas de variação da condutividade hidráulica

<b>Condutividade Hidráulica (GPD/FT<sup>2</sup>)</b>	
Varição	Razão
1 a 100	1
100 a 300	2
300 a 700	4
700 a 1000	6
1000 a 2000	8
>2000	10

Fonte: adaptado de ALLER et al. (1987).

As faixas de variação para cada fator do *DRASTIC* foram correlacionadas para determinarem uma combinação que indicasse as diferenças do potencial de poluição. Os fatores D, R, S, T e C têm um valor determinado para cada razão enquanto os fatores A e I podem ter tanto um valor típico como uma faixa de valores que pode ser ajustada de acordo com o conhecimento do meio avaliado.

Através da equação:

$$DrDp + RrRp + ArAp + SrSp + TrTp + Irlp + CrCp = \text{Potencial de poluição}$$

Aonde: r = razão e p = peso.

O usuário pode determinar um valor numérico para cada unidade hidrogeológica avaliada. O modelo utilizado pelo *DRASTIC* é adicional (soma) e o resultado deve ser expresso sempre de maneira comparativa, indicando índices de maior ou menor vulnerabilidade.

O resultado da análise da vulnerabilidade é dado por um índice que pode variar de 0 a 350. ALLER *et al.* (1987) dividem estes índices em oito faixas de variação segundo a Tabela 22 abaixo, sugerindo padrões de cores para a

representação cartográfica.

Tabela 22: Faixas de variação dos índices *DRASTIC*  
**Código de cores para as faixas de variação do DRASTIC:**

Faixas de variação dos Índices do DRASTIC	Cor
<79	Violeta
80 a 99	Indigo
100 a 119	Azul
120 a 139	Verde escuro
140 a 159	Verde claro
160 a 179	Amarelo
180 a 199	Laranja
>200	Vermelho

Fonte: adaptado de ALLER et al. (1987).

Os valores das taxas e pesos foram desenvolvidos por um grande número de consultores e especialistas na hidrogeologia norte-americana e provavelmente representam razoáveis hipóteses em relação à importância relativa dos parâmetros. O índice computado pelo modelo é considerado um indicador relativo do potencial de poluição. No entanto, deve ser interpretado dentro de uma faixa hidrogeológica específica, "com uma descrição composta de todos os principais fatores geológicos e hidrogeológicos que afetam e controlam o movimento para dentro, através de e para fora de uma área, numa unidade mapeável, com características hidrogeológicas comuns, tendo como consequência comum vulnerabilidade à contaminação" (ALLER *et al.*, apud MERCHANT, 1994).

O modelo *DRASTIC* foi formulado e projetado com base nas condições de que os dados utilizados são de fácil obtenção; que as variáveis inclusas no modelo são intimamente relacionadas à vulnerabilidade da água subterrânea; e que as taxas, pesos e relações matemáticas entre as variáveis são adequadamente válidas no procedimento *DRASTIC*. Outra importante condição é que o modelo deve ser usado somente para estudos regionais.

Embora muito usado, o modelo *DRASTIC*, por ser formulado segundo uma combinação linear, apresenta algumas limitações especialmente aparentes quando implementadas em um sistema de informações geográficas. Segundo HOPKINS (1977, apud MERCHANT, 1994), os modelos de combinação linear são inerentemente propensos a incertezas sobre a possível interdependência dos parâmetros. MERCHANT (1994) cita que alguns estados americanos (Michigan, Minnesota, Wisconsin) utilizaram a metodologia "*DRASTIC* modificada" para mapear



a vulnerabilidade de seus aquíferos, adotando modelos com quatro ou cinco parâmetros somente ao invés dos sete originais. Não se sabe se tal decisão é decorrente da pertinência acerca da possível redundância ou interdependência entre as muitas variáveis do modelo *DRASTIC*. Por outro lado, estes mapas sugerem claramente que resultados equivalentes ao *DRASTIC* podem ser obtidos usando-se um menor número de parâmetros. NEWCOMER; SZAJGIN (apud MERCHANT, 1994) discutem o potencial de propagação de erro no cruzamento entre os mapas, concluindo que a precisão do mapa final, resultante do cruzamento, é menor que a dos mapas individuais utilizados na operação. Também afirmam que há vantagens potenciais quando se utiliza um menor número de parâmetros exigidos para produzir um melhor resultado, particularmente no caso do *DRASTIC*, quando os dados são provenientes de várias escalas e desconhecidos os níveis de precisão. Além do mais, há outras vantagens como o menor custo para aquisição do banco de dados quando se diminui o número de variáveis (MERCHANT, 1994).

#### 4.3.10.2 Método *GOD*

Segundo FOSTER (1987), o termo vulnerabilidade à contaminação de um aquífero é usado para representar as características intrínsecas que determinam a suscetibilidade de um aquífero de ser afetado adversamente por uma carga contaminante.

Os fatores a serem analisados para a determinação da vulnerabilidade dos aquíferos são basicamente a inacessibilidade da zona saturada, no sentido hidráulico, e a capacidade de atenuação dos estratos sobrepostos ao aquífero. A interação destas características intrínsecas ao meio físico com as propriedades específicas das cargas contaminantes, como o modo da disposição do contaminante no solo e sua mobilidade e persistência, definirá o tempo de residência na zona não saturada e o retardamento desta carga para atingir o aquífero.

Segundo FOSTER; HIRATA (1991), cientificamente é mais coerente avaliar-se a vulnerabilidade, individualmente, para cada contaminante, ou para cada classe de contaminante. Outra forma de avaliação seria a caracterização, separadamente, de grupos de atividades com potencial de contaminação. Estas análises seriam apresentadas na forma de mapas que comporiam um atlas de vulnerabilidades específicas. Entretanto, a falta de dados e informação é uma das maiores limitações para a colocação em prática desta idéia, sendo mais aplicável a análise por sistemas

generalistas e menos refinados. Assim, tais mapas devem sempre ser interpretados com precaução, pois cientificamente o conceito de uma “Vulnerabilidade Geral a um Contaminante Universal em um Cenário Típico de Contaminação” não tem validade (Andersen apud FOSTER; HIRATA, 1991).

FOSTER; HIRATA (1991) citam que os componentes para a classificação da vulnerabilidade não são diretamente mensuráveis, não estão normalmente disponíveis e nem podem ser estimados com facilidade. Desta forma, a simplificação da listagem de parâmetros analisados é inevitável, reduzindo-a consideravelmente aos que seguem:

- Profundidade do nível freático
- O tipo de ocorrência da água subterrânea
- As características do meio físico, em termos de litologia e grau de consolidação dos estratos da zona não saturada.

O sistema de classificação proposto no método *GOD* envolve a indexação de parâmetros em três fases diferentes. A primeira é a identificação do tipo do aquífero, indexada dentro de uma faixa de variação de 0 a 1. A segunda, a caracterização das camadas acima da zona saturada, pode ser feita por meio da avaliação do grau de consolidação, envolvendo desta forma a presença de permeabilidade secundária, o caráter litológico que caracteriza indiretamente a porosidade relativa, a permeabilidade e o conteúdo de umidade e a retenção específica da zona não saturada. Os índices variam em uma escala de 0.4 a 1.0, com a possibilidade de incorporar uma variável em casos de presença de fissuras e baixas capacidades de atenuação. O passo final, para o caso de aquíferos livres, é determinar a profundidade do nível freático. Para o caso de aquíferos confinados deve ser determinada a profundidade da capa confinante. Estes fatores revertem em um índice de 0.4 a 1.0.

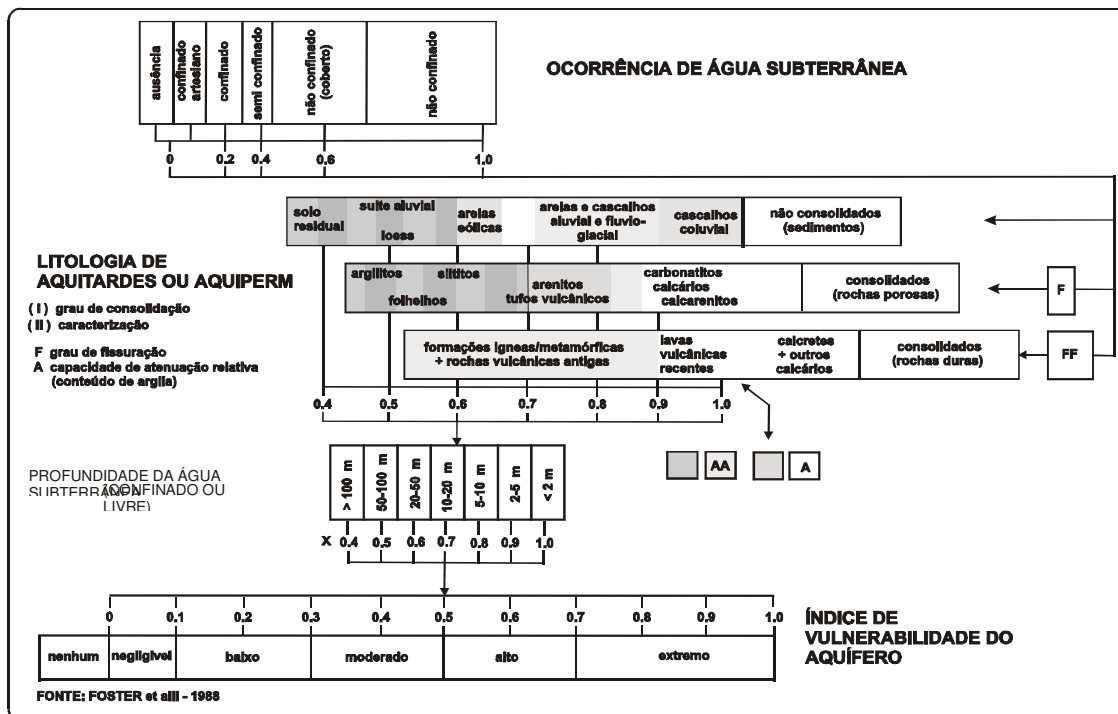


Figura 13: Esquema de combinação dos parâmetros utilizados no método *GOD*.  
Fonte: adaptado de FOSTER; HIRATA (1991).

A figura 13 mostra o esquema de combinação dos índices para a avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos pelo método *GOD*. A análise deve ser feita pelo produto dos componentes indicados, recomendando-se que sejam mantidas as variáveis externas “A” e “F”. Dentro da descrição do método, os autores ainda aconselham que sejam indicados em mapa os dados básicos utilizados para a elaboração do índice final de vulnerabilidade.

As classes de vulnerabilidade são mostradas na Figura 13, variando de nenhum até extremo (Índice de Vulnerabilidade do Aquífero), obtidas através da conversão direta do índice numérico obtido com o produto dos termos, adaptado dentro das classes de variação.

#### 4.3.11 Confecção do mapa hidrogeológico

Este trabalho partiu das informações disponíveis no Mapa Geológico elaborado durante esta tese. Também foram utilizadas as informações levantadas quando do desenvolvimento do Projeto Zoneamento das Disponibilidades e da

Qualidade Hídrica<sup>1</sup>, que reuniu um grande número de informações a respeito da disponibilidade qualitativa e quantitativa dos diferentes sistemas aquíferos bem como realizou o cadastramento dos pontos de água (poços tubulares profundos, ponteiras, poços escavados e fontes). Foram consolidadas também as informações obtidas através do Mapa Hidrogeológico da Folha de Criciúma, escala 1:250.000, que MACHADO (1997) elaborou por ocasião do mapeamento da Folha SH-22-X-B, como parte integrante do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos – PLGB que a CPRM está desenvolvendo em todo o território nacional.

O Mapa Hidrogeológico foi elaborado na escala 1:100.000, em base digital. O referido documento contém uma síntese dos dados geológicos interpretados do ponto de vista hidrogeológico, complementada por dados relativos às águas subterrâneas. Obteve-se, assim, por superposição de símbolos, ornamentos e cores, uma representação dos principais temas relativos à estrutura, usos e potencialidade dos aquíferos (sistemas, importância hidrogeológica e produtividade), além daqueles referentes aos dados geológicos (litológicos, estratigráficos e estruturais), ao cadastramento e à hidrodinâmica dos aquíferos. A produtividade dos aquíferos foi caracterizada por faixas de valores da capacidade específica (l/s/m). Na representação pontual, a dimensão do símbolo do poço varia de acordo com a sua vazão, definida para um rebaixamento do nível da água de 25 metros. A ordem de grandeza das classes de produtividade dos sistemas aquíferos foi fixada segundo os limites: <0,033 l/s/m; 0,033 a 0,11 l/s/m; 0,11 a 0,44 l/s/m; 0,44 a 1,11 l/s/m; e >1,11 l/s/m LEAL (1983 e 1992). A importância hidrogeológica relativa local (grande, mediana, pequena, muito pequena, e negligenciável) tem conceituação subjetiva. A definição e a delimitação das áreas foi efetuada mediante um confronto equilibrado entre disponibilidade, necessidade e qualidade da água (salinidade, contaminação), e explorabilidade do aquífero (possibilidade técnica e econômica de captação).

Objetivando atender-se não só ao setor técnico especializado, mas também ao usuário das águas subterrâneas, conterà esse documento um grande número de informações práticas (explorabilidade, profundidade de captação, usos da água e produtividade). Dados adicionais são contemplados por simbologias específicas para os pontos de água, incluindo-se características dimensionais e hidrodinâmicas,

---

<sup>1</sup> Constituído por nove volumes que abordam diferentes temas relacionados à Bacia do Rio Araranguá, executados pela UNESC/EPAGRI/CPRM (SANTA CATARINA, 1997), para a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/SDM.

fraturas com potencial para ocorrência de água subterrânea e limites de áreas de importância hidrogeológica relativa local. O uso da água será indicado por uma letra minúscula, em vermelho, situada ao lado do símbolo do ponto de água, a saber: H - para consumo humano, G - para consumo animal, I - para irrigação e F- para abastecimento industrial.

#### 4.3.12 Elaboração de outros mapas temáticos

Para a complementação deste estudo hidrogeológico, foram elaborados vários mapas temáticos: mapas hidroquímicos dos principais sistemas aquíferos; mapa de pontos de água, de concentração de sais na água e de alguns parâmetros de qualidade da água.

No caso dos mapas hidroquímicos, optou-se por utilizar símbolos, figuras e cores para representar a qualidade da água.

Desta forma, para cada ponto d'água analisado, construiu-se o diagrama de Stiff e colocou-se no mapa ao lado da indicação do ponto. A indicação do ponto foi realizada com um pequeno círculo com cores que identificam a classificação hidroquímica de cada água. Objetivando-se permitir a visualização do comportamento hidroquímico de todas as amostras de água analisadas, plotaram-se as mesmas no diagrama de Piper, apresentado na margem do mapa.

## 5 O NOVO MAPA GEOLÓGICO DA BACIA DO RIO ARARANGUÁ

O conhecimento dos aspectos geológicos, principalmente no que se refere aos diferentes tipos litológicos, suas características físicas, seus respectivos condicionamentos e grau de fraturamento, é fundamental para a definição dos sistemas aquíferos presentes em uma determinada área.

A seguir, são apresentados os resultados da elaboração de um novo mapeamento geológico da bacia, dando atenção especial aos aspectos estruturais e litofaciológicos, principalmente no que se refere à Formação Rio Bonito e aos Depósitos de Leques Aluviais.

Na área correspondente à bacia hidrográfica do Rio Araranguá, afloram rochas sedimentares e vulcânicas que constituem a seqüência da borda leste da Bacia do Paraná e sedimentos inconsolidados que constituem a Planície Costeira ou formam depósitos aluviais atuais. O embasamento cristalino regional (não aflorante) é composto de rochas granitóides tardi a pós-tectônicas.

Logo ao norte da área situa-se a Serra do Rio do Rastro, onde, em 1908, White definiu a consagrada Coluna White. Partindo-se da cidade de Lauro Müller, em direção a Bom Jardim, pode-se verificar com detalhe toda a seqüência acima referida.

Na faixa costeira também ocorre uma diversidade enorme de depósitos de areia, silte e argila, relacionados a processos marinhos e continentais. A Figura 2 sintetiza a coluna estratigráfica da área correspondente à bacia do Rio Araranguá.

Com relação às rochas sedimentares que constituem a seqüência gonduânica da borda leste da Bacia do Paraná, procurou-se detalhar melhor as formações Rio Bonito e Rio do Sul por serem estas as que apresentam freqüentes camadas de arenito com boas perspectivas de contenção de água.

A Formação Rio do Rasto (terço superior) e a Formação Botucatu constituem unidades aquíferas no município de Jacinto Machado. Nas demais porções da bacia hidrográfica do Rio Araranguá isto não acontece pelo fato de as referidas formações aflorarem nas bordas do planalto, atuando, portanto, somente como áreas de recarga para as unidades aquíferas subjacentes.

## 5.1 Cristalino

### 5.1.1 Granitóides tardi a pós-tectônicos

Estas rochas graníticas não afloram na área correspondente à bacia do Rio Araranguá. Identificou-se um afloramento de rocha granítica em um recente corte de estrada realizado no bairro Demboski em Criciúma, praticamente junto ao limite desta bacia hidrográfica. São identificadas nas sondagens realizadas para prospecção de carvão, executadas pela CPRM em diversos locais da bacia carbonífera catarinense (Furo PB-6: 6.838.885 X 660.188, furo PB-13: 6.850.050 X 662.000, furo PB-15: 6.854.000 X 659.400, furo PB-18: 6.858.050 X 652.070 e furo PB-19: 6.852.080 X 651.480). Recentemente, a Carbonífera Criciúma se dispôs a realizar vários furos estratigráficos os quais estão sendo aprofundados até o embasamento, tendo por objetivo a avaliação da favorabilidade dos locais perfurados para captação de água. Estabeleceu-se que este autor seria responsável pela indicação dos locais a serem perfurados bem como pela descrição dos testemunhos de sondagem e interpretação dos dados obtidos durante os testes de bombeamento. Até o presente momento foram realizadas 03 perfurações, todas elas nas proximidades da cidade de Treviso, no alto vale do Rio Mãe Luzia. As coordenadas UTM das referidas perfurações são as seguintes: PTR-01 (651.570 x 6.845.716), PTR-02 (651.201 x 6.845.548) e PTR-03 (651.335 x 6.845.655).

TEIXEIRA *et al.* (1969), estudando as rochas graníticas do sul de Santa Catarina, onde se encontram as principais ocorrências de fluorita, individualizou vários tipos de granitóides, os quais receberam denominações regionais que se distinguem pela granulometria, composição, cor e modo de ocorrência. Os principais termos individualizados por aquele autor foram: Granodiorito Tubarão, Granito Pedras Grandes, Granito Pindotiba, Granito Morro da Fumaça e Granito Jaguaruna.

(CASTRO; CASTRO, 1969), mapeando a quadrícula de Laguna, escala 1:250.000, gruparam vários termos graníticos e definiram o Complexo Pedras Grandes. Posteriormente, SCHULZ JR. *et al.* (1970) subdividiram o Complexo Pedras Grandes em quatro fácies graníticas: Imaruí, Rio Chicão, Jaguaruna e Palmeira do Meio.

MORGENTAL; KIRCHNER (1983), estudando a área de ocorrência de

fluorita do sul do estado, denominaram Granitóide Pedras Grandes as rochas graníticas de quimismo calcialcalina que ocorrem naquela área.

Na porção compreendida entre as cidades de Pedras Grandes e Morro da Fumaça (em locais próximos ao limite da bacia), ocorre o denominado Granitóide Pedras Grandes, bastante conhecido por conter filões de fluorita e várias ocorrências de água mineral. Trata-se de uma rocha granítica de cor rósea, granulação média à grossa, textura porfírica ou porfiróide, constituída principalmente de quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e biotita. Como mineral acessório ocorre titanita, apatita, zircão e opacos. É aparentemente isótropa e freqüentemente recortada por veios aplíticos ou pegmatíticos.

A Figura 14 mostra um granito porfiróide, que constitui o embasamento cristalino na porção correspondente ao alto vale do Rio Mãe Luzia. A referida foto corresponde a um testemunho de sondagem do furo PTR-03 (UTM 651.201 x 6.845.548), com 152,60 m de profundidade, executado pela Carbonífera Criciúma em março de 2003, junto à cidade de Treviso, para prospecção de água para abastecimento da futura USITESC. Este furo foi locado e descrito por este autor.



Figura 14: Embasamento cristalino no alto vale do Rio Mãe Luzia. Na base, granito porfiróide de cor rósea a verde-escuro. Na porção superior, conglomerados e diamictitos da Formação Rio do Sul. Testemunho de sondagem do furo PTR-03, Treviso, SC.



## 5.2 A Seqüência Gonduânica

### 5.2.1 Formação Rio do Sul

A exemplo do que acontece com as rochas graníticas, as litologias da Formação Rio do Sul tampouco afloram na área correspondente à área da bacia do Rio Araranguá. São identificadas nas sondagens realizadas para prospecção de carvão executada pela CPRM em diversos locais da bacia carbonífera (Furos PB já citados anteriormente, em furos para prospecção de água executados pela Carbonífera Criciúma e nos laudos técnicos de poços tubulares profundos). Sabe-se, no entanto, que em áreas próximas, situadas na bacia do rio Urussanga e do Tubarão, onde ocorrem preenchendo paleovales, constituem uma excelente unidade aquífera.

OLIVEIRA (1916) introduz pela primeira vez esta denominação, referindo-se aos sedimentos com influência glacial que ocorrem no vale do Rio Itararé, na divisa dos Estados de São Paulo e Paraná. Este autor amplia os conceitos de WHITE (1908) e destaca os dois membros basais da “Série Tubarão” em uma seqüência distinta, para a qual propôs o nome “Série Itararé”.

OLIVEIRA (1918 e 1927), MORAES REGO (1930), CARVALHO (1932) e LEINZ (1937) conservam a proposição de OLIVEIRA (1916) e reconhecem a existência da “Série Itararé”.

ROCHA; SCORZA (1940) revisam a coluna clássica de WHITE (1908), visando a comparar e generalizar os conhecimentos adquiridos na seção catarinense com outros Estados, e admitem a “Série Itararé” como base do “Sistema de Santa Catarina”, atribuindo-lhe uma idade permocarbonífera.

GORDON JR. (1947) e MAACK (1947) elevam a “Série Itararé” para a categoria de Grupo, subdividindo-o em duas formações: Palmira-basal ( fácies continental-glacial) e Taió-superior ( fácies glacial-marinho).

LANGE (1954) divide o Grupo Itararé em duas formações: Palmeira (inferior) e Teixeira Soares (superior), denominações bastante empregadas em Santa Catarina e no Paraná.

Trabalhos posteriores realizados por GUAZELLI; FEIJÓ (1970) MEDEIROS (1971), de caráter mais abrangente e regional, definiram a Formação Rio do Sul como sendo constituída de um espesso pacote de rochas sedimentares com

litologias bem características, contendo referências à seção tipo e provável ambiente deposicional.

MÜHLMANN *et al.* (1974) e SCHNEIDER *et al.* (1974), adotando critérios desenvolvidos pela PETROBRÁS, através dos trabalhos de TOMMASI; RONCARATI (1970), TOMMASI (1973) e GONÇALVES; TOMMASI (1974), apresentam uma revisão estratigráfica da Bacia Sedimentar do Paraná e propõem formalmente a subdivisão do Grupo em quatro formações: Campo do Tenente, Aquidauana, Mafra e Rio do Sul, respectivamente, da base para o topo. A Formação Aquidauana seria restrita aos Estados de Mato Grosso, Goiás e nordeste de São Paulo enquanto as outras três foram mapeadas somente em Santa Catarina e sul do Paraná.

SCHNEIDER; CASTRO (1975) e CASTRO (1980) apresentam um quadro sedimentológico-estratigráfico com detalhe para Formação Rio do Sul no leste de Santa Catarina. SILVA; BORTOLUZZI (1987) Apresentam o Mapa Geológico de Santa Catarina, acompanhado de um texto explicativo.

KREBS; MENEZES FILHO (1986) realizaram o mapeamento faciológico da porção compreendida entre Taió e Rio do Sul e individualizaram em mapa escala 1:50.000 várias seqüências litológicas relacionadas geneticamente a diferentes ambientes deposicionais que fazem parte da Formação Rio do Sul. Nesta tese, a interpretação genética das diferentes seqüências litológicas será realizada de acordo com estes autores bem como com a interpretação das estruturas sedimentares e seqüências litológicas verificadas por ocasião das saídas de campo no percurso compreendido entre Orleans e Lauro Muller.

Na área correspondente à bacia do rio Araranguá, o Grupo Itararé não aflora. Em subsuperfície, encontra-se representado apenas por seus níveis mais superiores, correspondentes à Formação Rio do Sul.

Furos executados a partir de 1971, através do Convênio DNPM/CPRM, na Bacia Carbonífera de Santa Catarina, constataram que a espessura máxima apresentada pela Formação Rio do Sul atingiu cerca de 130 m, no furo 1 PB-15-SC-01, situado entre as localidades de Santana e Lauro Müller. Os furos PB 18 e 19, situados no município de Lauro Müller, próximos ao alto curso do rio Mãe Luzia, apresentaram espessura de 80 m e 115 m, respectivamente. Nas proximidades de Treviso, junto à localidade denominada São Pedro, construiu-se um poço tubular profundo para a futura USITESC. O perfil litológico do referido poço indicou que

neste local a Formação Rio do Sul possui espessura superior a 100m. Junto à cidade de Treviso, a Carbonífera Criciúma realizou 3 furos estratigráficos até o embasamento (furos PTR-01, PTR-02 e PTR-03).

A correlação estratigráfica e faciológica realizada neste trabalho entre estes furos de sigla PTR e o poço tubular construído para USITESC em São Pedro mostrou claramente que existe uma grande variação de espessura litológica bem como uma grande variação faciológica, geneticamente relacionadas com ao paleo-relevo. Os perfis litológicos indicaram um aumento gradativo de espessura desta formação de leste (furo PTR-01 que apresentou uma espessura de 38 m) para oeste (poço tubular de São Pedro espessura superior a 100 m). A descrição dos testemunhos de sondagem indicou que também existe uma grande variação faciológica, dependendo do posicionamento na bacia e do paleo-relevo. Os furos PTR-01 e PTR-02 praticamente não apresentaram conglomerados e diamictitos, ao contrário do furo PTR-03 que no seu terço inferior, junto ao embasamento, apresentou uma seqüência faciológica constituída por conglomerado, arenito conglomerático e diamictito, originada a partir de correntes de turbidez de alta densidade. FRITZ e MOORE (1988), HAMPTON (1970) e LOWE (1982) apresentam vários exemplos semelhantes de seqüências e as relacionam a correntes de turbidez de alta densidade. Dentro desta ótica, o conglomerado e o arenito conglomerático seriam originados a partir de um fluxo de detrito (*debris flow*) e o diamictito, a partir de um fluxo de lama (*mud flow*).

A leitura das Figuras 15 e 16 mostra que os locais dos furos PTR-01 e PTR-02 correspondem a um alto do embasamento e o local do furo PTR-03, a um baixo do embasamento.



Figura 15: Foto aérea mostrando a localização dos furos PTR-01, PTR-02 e PTR-03. Mostra também a falha N30°W que limita o bloco alto e o bloco baixo. Local: vale do Rio Ferreira, proximidades da cidade de Treviso.

Nas proximidades de Siderópolis, os furos PB-08 e PB-09 apresentaram espessuras de 31,60 m e 33,95 m, respectivamente. Ao norte da cidade de Criciúma, o furo PB-11 apresentou espessura de 47,75 m. Esta mesma espessura foi verificada em laudos técnicos de poços tubulares profundos, executados no centro da cidade de Içara, na rua Duque de Caxias (P 1 e P 2). A espessura média desta formação é da ordem de 55 metros.

Do ponto de vista litológico, a Formação Rio do Sul, na porção sudeste do Estado, é caracterizada por um conjunto de folhelhos e siltitos cinza-escuro a preto, conglomerados, diamictitos, ritmitos, varvitos e depósitos de arenito com estratificações plano-paralela, cruzada de baixo ângulo e cruzada *hummocky*. Todas estas litologias podem ser verificadas em bons afloramentos, existentes ao longo da SC 466, no trecho compreendido entre Urussanga e Orleans, e através da SC-438, a partir de Orleans até Lauro Müller.

Figura 16: Seção litofaciológica mostrando o alto do embasamento nas proximidades da cidade de Treviso (ver plantas referenciadas no volume I A).

Os folhelhos e siltitos apresentam coloração cinza-escuro a preto (cinza-esverdeado, amarelado e avermelhado por alteração), possuem matéria orgânica carbonosa, são micáceos, piritosos, localmente com aspecto várvido, mostrando laminações plano-paralelas e onduladas, às vezes seixos pingados, com lentes de arenito muito fino, fratura conchoidal e freqüentes estruturas de carga, escorregamento.

Nas proximidades da cidade de Rio do Sul, distante da área estudada, em afloramentos ao longo da BR-470, ocorre um espesso pacote de folhelhos pretos, denominado Folhelho Lontras, que apresenta freqüentes estruturas *cone-in-cone*.

Ao longo da SC-446, 3 km ao sul de Orleans (na frente da indústria Madeiras da Amazônia), em um corte de encosta, pode-se verificar uma espessa seqüência de siltitos e folhelhos com aspecto várvido que intercala leitos de arenito síltico. São freqüentes seixos pingados e, localmente, verifica-se um matacão de rocha granítica com mais de 1 m de diâmetro, imerso nesta seqüência.

Na margem direita do Rio Tubarão, na cidade de Orleans, encontra-se o “Conglomerado Orleans”, em um paredão de aproximadamente 10 metros, intercalado em pacotes irregulares com arenitos finos a grossos, amarelados, exibindo estratificação cruzada e sigmoidal. Este conglomerado possui clastos subarredondados a arredondados, predominantemente de rochas graníticas e quartzíticas, com diâmetro variando entre 3 cm até 30 cm, mostrando acamadamento gradacional incipiente, e uma matriz constituída por um arenito fino a médio, silicificado, de cor cinza-esbranquiçado, feldspático e mal selecionado.

Este mesmo conglomerado surge novamente na entrada da cidade de Orleans, junto às esculturas de Zé Diabo, feitas na rocha, na estrada que segue à margem esquerda do Rio Tubarão, onde apresenta um aspecto um pouco distinto do ponto anterior. Neste local, verificou-se que os clastos não se tocam e existe uma predominância de matriz. O fato de o conglomerado ser do tipo matriz transportado indica que neste local o fluxo era confinado (canalizado).

Aproximadamente 20 metros ao lado deste conglomerado, ocorre um pacote de mais ou menos 8 metros de arenitos finos a grossos, amarelados, apresentando camadas com geometria sigmoidal, que alcançam até 2 metros de espessura, com marcas onduladas no topo e marcas de carga na base. Localmente algumas camadas apresentam *climbing ripples* e *drapes* de lama.

Do ponto de vista genético, a proximidade com as rochas do embasamento, a



geometria sigmoidal das camadas de arenitos e a interpretação do conjunto de estruturas sedimentares permitem interpretar estes arenitos como depósitos de leque deltáico proximal.

Os diamictitos apresentam cores em tons cinza-escuro e são constituídos por clastos com tamanhos que variam de grânulos até matacões, formados principalmente por rochas graníticas e, subordinadamente, arenitos. Estes clastos encontram-se dispostos caoticamente em uma matriz síltica a arenosa, quartzo-feldspática, mal selecionada, geralmente maciça ou com estratificação irregular incipiente, às vezes apresentando estruturas de escorregamento ou convolutas.

Do ponto de vista genético, o fato de estes diamictitos aparecerem cortando seqüências de ritmitos sugere tratar-se de depósitos gerados a partir de fluxos canalizados em uma plataforma rasa em ambiente glacial a periglacial.

Os ritmitos e varvitos mostram tonalidades cinza-claro a esverdeado e cinza-escuro; quando intemperizados, adquirem cores esbranquiçadas, amareladas e avermelhadas, apresentando uma composição síltico-argilosa.

Os ritmitos possuem, normalmente, lâminas alternadas de silte (cinza-claro) e argila (cinza-escuro), com espessuras variáveis entre poucos milímetros até aproximadamente 0,5 centímetros, enquanto nos varvitos esta alternância é menos espessa, com uma variação milimétrica entre suas lâminas. A fissilidade, laminações plano-paralelas e convolutas, marcas onduladas, estruturas de carga e micas entre as placas são características marcantes destas litologias (Figura 17).



Figura 17: Ritmitos com estruturas convolutas e estruturas de carga *slurry*. Testemunhos da sondagem PTR-03. Local Rio Ferreira, nas proximidades da cidade de Treviso.

Com relação aos ritmitos, KREBS; MENEZES FILHO (1984), descrevendo seqüência similar na área de Taió-Rio do Sul, baseados em critérios de MUTTI; RICCI LUCCHI (1972) bem como na tabularidade das camadas e conjunto de estruturas sedimentares presentes, atribuem-nos a uma sedimentação marinha, não influenciada por ondas, relacionada a processos de turbidez. São turbiditos finos, constituídos por seqüência cíclica (Bouma Tcde e Tde), regionalmente persistente e monótona. Correspondem à porção mais distal da franja de leques submarinos em um ambiente plataformal.

Com relação aos varvitos, a predominância de material argiloso, a laminação fina plano-paralela, a alternância de silte e argila e a presença de seixos e matacões de rochas graníticas, sugerem uma sedimentação lacustre (ou corpo d'água isolado), formada em zonas de baixadas, rodeada por altos do embasamento cristalino, em regime de clima glacial a periglacial.

Os arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo são muito finos a médios, eventualmente grossos, creme-amarelado a esbranquiçados e cinza-claro (amarelo-ocre com tons castanhos e avermelhados por alteração), friáveis, bem selecionados, com grãos arredondados a subarredondados de quartzo, apresentando estratificações plano-paralelas, mais comumente, e cruzadas de baixo ângulo, às vezes maciços e micáceos, entre os planos de fratura.

Estas rochas são indicativas de deposição em zonas de praia supramaré (*backshore*) e intermaré (*foreshore*).

Os arenitos com estratificação *hummocky* são finos a muito finos, de coloração castanho a cinza-esverdeado. Quando intemperizados, adquirem tons amarelados e esbranquiçados, bem selecionados, micáceos, mostrando estruturas do tipo laminação plano-paralela, ondulada, *flaser*, convoluta, cruzada cavalgante (*climbing-ripple cross-lamination*) e, principalmente, estratificação cruzada, truncada por ondas (*hummocky*) de pequeno a médio porte. Às vezes, são maciços ou então se apresentam conglomeráticos (conglomerado de grânulos) na base, ocorrendo, no topo, finas intercalações de camadas pelíticas com *wavy* e *linsen*. Sua principal característica é a tabularidade de suas camadas, que possuem espessuras bastante variáveis, desde centimétricas até aproximadamente alguns poucos metros entre um e outro ciclo. Estes ciclos são granodecrescentes e no conjunto essas litologias exibem a seqüência de BOUMA, geralmente incompletas, sendo as combinações mais freqüentes Tab, Tbc, Tabc, Tbde e Tabde.



Do ponto de vista genético, a persistência de estruturas sedimentares tipo estratificação *hummocky* indicam que estes arenitos correspondem a barras de costa-a-fora (*offshore*), formadas em um ambiente marinho de plataforma rasa, ao nível de ação das ondas de tempestades.

A Formação Rio do Sul contém restos de flora e uma grande quantidade de palinórfos, referenciados na Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná, executada pela PETROBRÁS (1970). Através da análise destes dados palinológicos, os sedimentos desta unidade foram situados no Permiano Inferior, mais especificamente entre o topo do Sakmariense e a base do Artinskiano. DEMON; QUADROS (1970) realizaram estudos palinológicos e posicionaram a Formação Rio do Sul no andar Kunguriano do Permiano Médio.

### 5.2.2 Formação Rio Bonito

O mapa geológico da região carbonífera, elaborado por KREBS (1997) durante o desenvolvimento do PROGESC - Programa de Informações Básicas para Gestão Territorial, mostra que esta formação na área desta bacia hidrográfica é aflorante na sua porção leste, ao longo de uma extensa faixa descontínua, orientada segundo norte-sul, desde as proximidades da cidade de Criciúma, ao sul, até o norte da localidade de Forquilha, no alto curso do rio Mãe Luzia.

WHITE (1908) propõe a denominação “Camada Rio Bonito” para caracterizar o conjunto de rochas areníticas associadas a pelitos e camadas de carvão descritas na seção-tipo, entre as cidades de Lauro Müller-Guatá-São Joaquim, em Santa Catarina.

MEDEIROS; THOMAZ (1973) realizam a primeira tentativa de divisão da Formação Rio Bonito em três intervalos: inferior, médio e superior, dando-lhes conotação de empilhamento estratigráfico, porém sem denominações formais.

MÜHLMANN *et al.* (1974), no trabalho “Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná”, propõem a formalização das denominações Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis na categoria de membros, tendo ampla aceitação e uso em toda a Bacia do Paraná.

Com relação ao Membro Siderópolis, no município de Criciúma, através dos trabalhos desenvolvidos pelo PROGESC, DIAS (1995) individualizou três subintervalos com base nos ciclos de carvão, reconhecidos como de expressão

regional pelos trabalhos de pesquisa e exploração desenvolvidos na região (camadas de carvão Barro Branco e Bonito).

Neste trabalho, através de correlações litofaciológicas com informações dos perfis litológicos dos furos de sonda, pôde-se individualizar em mapa, pela primeira vez, o Membro Siderópolis em três seqüências litofaciológicas na área da bacia hidrográfica do rio Araranguá.

#### 5.2.2.1 Descrição Litológica

##### Membro Triunfo

O Membro Triunfo, não aflorante nesta bacia hidrográfica, caracteriza a porção basal da Formação Rio Bonito, sendo constituído essencialmente de arenitos e conglomerados cinza-claros a esbranquiçados, com intercalações de folhelhos e siltitos maciços ou laminados de coloração cinza ou preta.

Do ponto de vista litológico, os arenitos variam de finos a grossos, são argilosos, micáceos, feldspáticos, com grau de selecionamento regular e grãos, geralmente, subarredondados. Apresentam estratificações paralelas, cruzadas tabulares e acanaladas de pequeno a grande porte, e ciclos onde predominam lobos sigmoidais.

Descrições dos testemunhos de sondagem (furos PTR-01, PTR-02 e PTR-03), realizadas por este autor, evidenciaram a ocorrência de arenitos finos, quartzosos, com estruturas de ondas de tempestades (*hummockys*), que intercalam siltitos arenosos com estratificação lenticular. Localmente estes arenitos estão fluidizados e apresentam estruturas de afundamento (*flisch-like delta front*) ou de deslizamento (*slurry*) e os siltitos apresentam estruturas convolutas. A Figura 18 ilustra estas estruturas.



Figura 18: Arenitos fluidizados com estruturas de carga e escorregamento e siltitos com estruturas convolutas. Testemunhos da sondagem PTR-03. Local Rio Ferreira, nas proximidades da cidade de Treviso.

Localmente, ocorrem conglomerados constituídos de areia grossa, grânulos e seixos de composição variada (quartzo, folhelhos, argilitos e siltitos), imersos em uma matriz fina (areno-pelítica), feldspática e micácea.

Secundariamente, são encontrados folhelhos e siltitos cinza-escuros a quase pretos, carbonosos, micáceos, com nódulos de pirita, às vezes maciços ou com laminações plano-paralela, ondulada e lenticular. Ocorrem ainda arenitos muito finos, com laminação *flaser*.

De acordo com os perfis litológicos dos referidos furos, a espessura do Membro Triunfo, varia de 24,30m no furo PTR 02, a 80,00m no furo executado na localidade de São Pedro, ambos situados nas proximidades da cidade de Treviso. Cabe ressaltar que o furo PTR 02 posiciona-se na borda de uma calha estrutural N30°W, a qual será descrita detalhadamente no capítulo referente à Geologia Estrutural, e que o furo executado na localidade de São Pedro posiciona-se exatamente no centro da referida calha.

Medidas de paleocorrentes, efetuadas por KREBS; CARUSO JUNIOR em afloramento de arenitos situados à entrada de Lauro Müller, no ponto 1, por ocasião

da elaboração do roteiro geológico da COLUNA WHITE (1994), obtiveram em estratificações cruzadas 240° e 250°, e em sigmóides, uma variação de 250° a 280°, indicando um sentido da corrente para oeste e sudoeste, sendo que a área-fonte estaria situada a leste-nordeste.

Pelas características litológicas e geometria sigmoidal das camadas, o Membro Triunfo pode ser interpretado como formado em um ambiente deltáico, dominado por rios e ondas. A ocorrência de arenitos lenticulares com intenso retrabalhamento por ondas de tempestade (*hummockys*), sugere a presença de barras marinhas de costa fora. A persistência de marcas de onda no topo das camadas sugere profundidade de deposição pequena, provavelmente inferior a 30 metros, partindo-se do pressuposto que se trata de uma bacia intracratônica.

#### Membro Paraguaçu

O Membro Paraguaçu, também não aflorante na área desta bacia, constitui a parte média da Formação Rio Bonito, sendo caracterizado por uma sedimentação predominantemente pelítica. É formado principalmente por siltitos e folhelhos cinza-médios a esverdeados e subordinadamente apresenta intercalações de camadas de arenitos muito finos, quartzosos, micáceos, com laminação plano-paralela e ondulada, e bioturbação. Mais raramente, podem ocorrer camadas e leitos de margas. As Figuras 19 e 20 ilustram a seqüência litológica desta formação nas proximidades da cidade de Treviso.



Figura 19: Membro Paraguaçu. Intercalação de siltitos e arenitos finos com estratificação ondulada. Testemunhos de sondagens do furo PTR 02, próximo à cidade de Treviso.

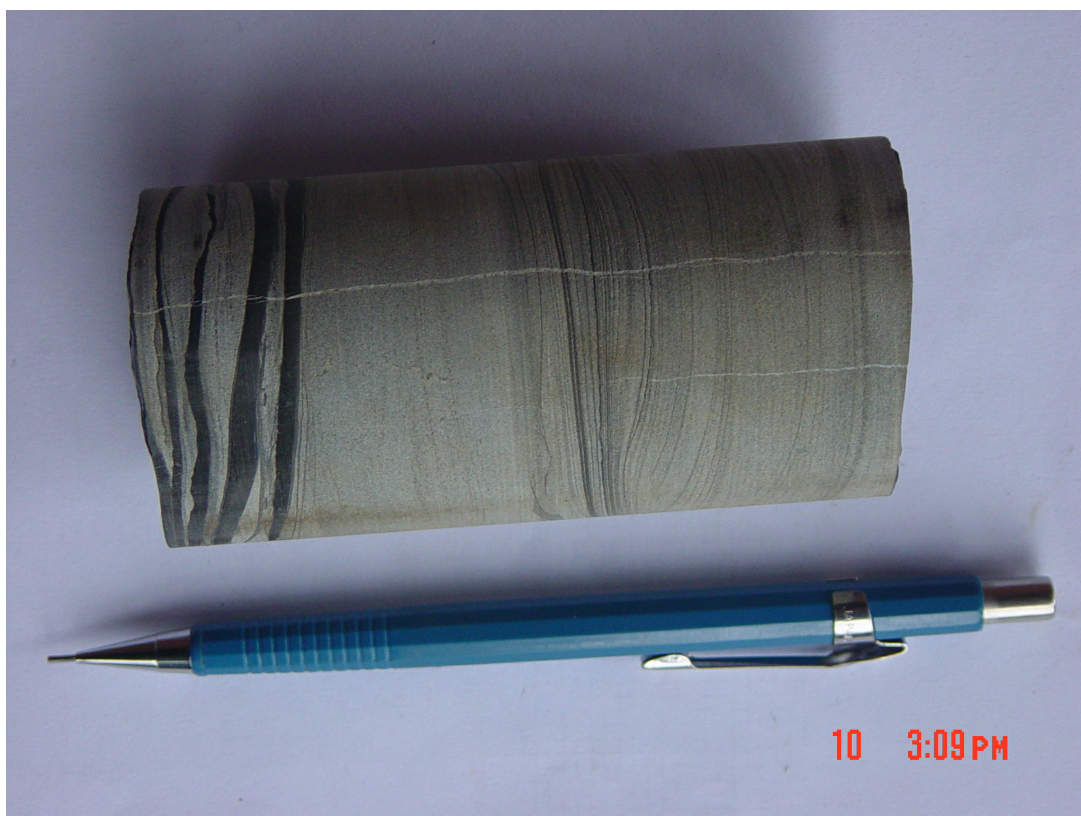


Figura 20: Membro Paraguaçu. Detalhe da estratificação ondulada em arenitos finos. Testemunhos de sondagens do furo PTR 02, próximo à cidade de Treviso.



Com relação à espessura desta unidade, a correlação litológica realizada através dos perfis dos furos PTR 01, PTR 02, PTR 03 e o furo executado para USITESC na localidade de São Pedro, Município de Treviso, permitiram verificar-se que a espessura varia de 22,60m no furo PTR 03 a 46,00m no furo realizado na localidade de São Pedro.

A sedimentação do Membro Paraguaçu deu-se em um ambiente marinho de plataforma rasa, de caráter transgressivo sobre os sedimentos flúviodeltaicos do Membro Triunfo, que lhe é subjacente. Caracteriza o afogamento do delta do Membro Triunfo.

#### Membro Siderópolis

O Membro Siderópolis constitui um espesso pacote de arenitos, com intercalações de siltitos, folhelhos carbonosos e carvão. Como foi dito, pela primeira vez o Membro Siderópolis está sendo subdividido em três seqüências litológicas distintas e individualizado em mapa na área correspondente à bacia hidrográfica do Rio Araranguá.

##### a) Seqüência basal:

Nesta seqüência, geralmente os arenitos possuem cor cinza-amarelado, textura média, localmente grossa, sendo moderadamente classificados, com grãos arredondados a subarredondados de quartzo e, raramente, feldspato. Possuem abundante matriz quartzo-feldspática. As camadas apresentam espessuras variáveis, desde alguns centímetros até mais de metro, geometria lenticular ou tabular, sendo a estruturação interna constituída de estratificação acanalada, de médio e pequeno porte. Ocorrem também arenitos com granulometria fina a muito fina; sua cor é normalmente cinza-claro a cinza-médio, tendo como principais estruturas a laminação plano-paralela, truncada por ondas e cruzada cavalgante (*climbing*), acamadamento *flaser* e *drapes* de argilas, bioturbação e fluidização.

No topo da seqüência basal do Membro Siderópolis, ocorre uma espessa camada de carvão, conhecida como Camada Bonito. Em alguns locais da bacia, principalmente na região litorânea, onde esta seqüência possui espessuras superiores a 60m, há outras camadas de carvão. Na área da bacia do rio Araranguá, esta porção basal possui espessura máxima de 35m, como pode ser verificado nos perfis litológicos dos furos PB 01 e MA 69, ambos situados nas proximidades da

cidade de Criciúma, sendo aflorante nas proximidades da referida cidade, como se vê no Mapa Geológico, Anexo 1.

b) Seqüência média:

A seqüência média é a mais espessa da três. O Mapa Geológico (Anexo 1) mostra que ela ocupa uma extensa faixa posicionada ao longo dos vales dos rios Sangão e Criciúma, estando presente também no alto vale do rio Mãe Luzia, onde aflora de maneira contínua desde a localidade de Forquilha, ao norte, até a confluência do rio Morozini, ao sul. No terço superior desta seqüência, ocorre a camada de carvão Irapuá. De maneira subordinada, intercaladas nessa seqüência arenosa, ocorrem camadas de siltito e folhelho carbonoso.

Trabalhos de campo, realizados durante os trabalhos de elaboração desta tese, demonstraram que os arenitos do topo desta seqüência apresentam estruturas tipo *heringbone*, evidenciando a parte inferior da antepraia, com ação de ondas. As Figuras 21 e 22 ilustram os arenitos desta seqüência, na estrada que dá acesso à Mina Esperança, em Treviso.

Na sua porção média predominam arenitos finos quartzosos, cor cinza-claro, com microestratificação cruzada acanalada ou ondulada, com truncamento por ondas e *hummocky*. Intercalados neste pacote arenoso ocorrem siltitos e, subordinadamente, siltitos carbonosos, folhelhos e delgadas camadas de carvão. Próximo à base desta seqüência ocorre um espesso pacote de arenitos cinza-claro, textura média, com pouca matriz feldspática. A estruturação interna das camadas é constituída principalmente por estratificação cruzada acanalada de pequeno porte, percebendo-se, localmente, gradação normal.



Figura 21: Arenitos com estruturas tipo *heringbone* que ocorrem no topo desta seqüência. Local: acesso à Mina Esperança, Município de Treviso.



Figura 22: Detalhe da estrutura tipo *heringbone*. Local: acesso à Mina Esperança, Município de Treviso.



As litologias pelíticas são caracterizadas por siltitos de coloração cinza-média a cinza-escura, com acamadamento *wavy* e *linsen*, associados aos arenitos finos com laminação truncada por ondas. Aparecem também siltitos cinza-escuro a pretos, carbonosos, geralmente maciços, com impressões de plantas, que se agregam, em alguns locais, a camadas de carvão. Neste intervalo médio, as intercalações de camadas de carvão são muito subordinadas.

c) Seqüência superior:

Na seqüência superior do Membro Siderópolis, ocorrem arenitos finos a médios, cor cinza-claro, bem retrabalhados, com grãos bem arredondados, quartzosos, com ou sem matriz silicosa. Estes arenitos apresentam geometria lenticular e a estruturação interna das camadas é formada por estratificação ondulada, com freqüentes *hummockys*, que evidenciam retrabalhamento por ondas (Figuras 23 e 24). Neste intervalo ocorre a mais importante camada de carvão existente na Formação Rio Bonito, denominada camada Barro Branco. Além dessa, em locais isolados da bacia carbonífera, ocorre outra camada de carvão, denominada Treviso.

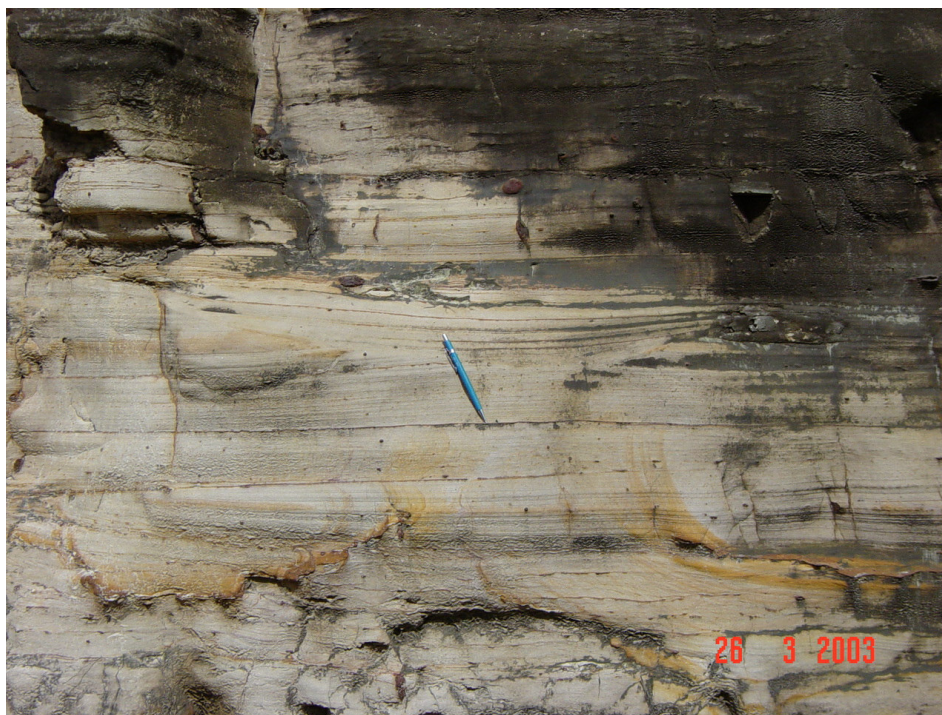


Figura 23: Arenitos com estruturas tipo *hummocky*, que constituem a lapa da camada de carvão Barro Branco. Local: acesso à Mina Esperança, Município de Treviso.



Figura 24: Detalhe da estrutura tipo *hummocky*. Local: acesso à Mina Esperança, Município de Treviso.

A espessura do Membro Siderópolis é bastante variável ao longo da bacia do Araranguá. De acordo com os mapas de isópacas das camadas Barro Branco e Bonito Inferior (KREBS *et al.*, 1982) e com os furos de sonda dos diversos projetos executados para pesquisa de carvão pela CPRM (ABORRAGE; LOPES, 1986; FABRÍCIO *et al.* 1973), a espessura média é de 80 m. Porém, na localidade de São Pedro, no município de Treviso, onde foi executado um furo para a futura USITESC, a espessura do Membro Siderópolis medida foi de 168m. Em vários outros locais deste mesmo município a espessura é superior a 120m, como demonstram os perfis litológicos dos furos EP-12 (6.847.500 X 648.000), FO-14 (6.849.228 X 649.834), BG-27 (6.852.000 X 648.500), entre outros.

A interrelação das diferentes unidades de fácies identificadas nos Membros Siderópolis e Triunfo sugere um ambiente de deposição relacionado a um sistema lagunar e deltáico, influenciado por rios e ondas. A presença de cordões litorâneos, evidenciada pelo arenito de cobertura da camada de carvão Barro Branco, que apresenta freqüentes estruturas tipo *microhummocky*, indica que este ambiente lagunar/deltáico era periodicamente invadido pelo mar. Por outro lado, a persistência de fácies predominantemente pelíticas no Membro Paraguaçu sugerem a atuação de correntes de maré.

O conteúdo fossilífero da Formação Rio Bonito é evidenciado pela abundância de restos vegetais e palinomorfos encontrados nos carvões e rochas associadas, caracterizados na Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná (PETROBRÁS, 1970), em que, através de sua análise, permitiram situar esta formação no Permiano Inferior, mais especificamente entre o Artinskiano e a base do Kunguriano.

### 5.2.3 Formação Palermo

WHITE (1908) emprega pela primeira vez o termo Palermo para descrever uma seqüência de siltitos arenosos e argilosos, aflorantes na região sudeste de Santa Catarina. Neste trabalho, o autor define esta unidade litoestratigráfica em duas seções: uma aflorante, ao longo da antiga estrada do Rio do Rastro, entre as cidades de Lauro Müller e São Joaquim, e a outra nas proximidades da Vila Palermo, também no município de Lauro Müller.

Devido ao fato desta unidade preservar uma constância de caracteres, tanto litológicos como estruturais internos, a sua caracterização não difere da atualmente aceita pela maioria dos autores.

O Mapa Geológico, Anexo 1, mostra que esta formação aflora de maneira contínua, desde as proximidades da BR-101, ao sul-sudeste, até o limite norte desta bacia, ao longo do alto curso dos rios Mãe Luzia e Dória. À medida que se dirige para oeste, é encoberta pela Formação Irati ou pelos depósitos de leques aluviais.

A Formação Palermo, que caracteriza o início do evento transgressivo, é constituída de um espesso pacote de ritmitos, com interlaminação de areia-silte e argila, com intenso retrabalhamento por ondas. A alternância de tonalidades claras e escuras evidencia a intercalação de leitos arenosos e siltico-argilosos, respectivamente.

A análise dos perfis de sondagem para carvão (furos de sigla MB, na região de Criciúma, e furos de sigla EP, na região de Treviso) demonstra claramente que há um decréscimo de areia da base para o topo desta formação. A espessura das camadas é variável e estas apresentam, caracteristicamente, laminação plano-paralela, ondulada ou lenticular. Na base, são freqüentes as estruturas de fluidização e bioturbação e na porção média e superior predominam estruturas do tipo *microhummocky*. Verificações realizadas em testemunhos de sondagem

realizada pela Carbonífera Metropolitana, evidenciam que no terço médio desta formação ocorrem com freqüência leitões carbonáticos de cor cinza-claro.

A espessura total dessa formação, na região de Criciúma e Forquilha, de acordo com a correlação dos perfis de sondagens realizados na área da Mina B por KREBS *et al.* (1982), é da ordem de 92 m.

A presença de fácies areno-pelíticas intercaladas bem como a freqüência de estruturas tipo *microhummocky*, bioturbação e estruturas de fluidização, sugerem um ambiente marinho raso, com intensa ação de ondas e atuação de microorganismos. Este evento marca o início da transgressão marinha que afogou o ambiente deltaico-lagunar da Formação Rio Bonito.

O conteúdo fossilífero da Formação Palermo é representado pela freqüência de troncos fósseis silicificados (Dadoxilon) e pela abundância de palinórfos, representados principalmente por esporórfos. GORDON JUNIOR (1947) localizou a presença de pelecípodes em Santa Catarina e PUTZER (1955) relata a ocorrência do gênero *Loxomma* na região de Criciúma.

Na Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná (PETROBRÁS, 1970), esta formação é situada no Permiano Inferior-Superior, entre o Kunguriano e a base do Kazaniano.

A natureza predominantemente argilosa de suas litologias indica que, do ponto de vista hidrogeológico, esta formação deve atuar principalmente como aquífero. Localmente, onde ocorrem intercalações de fácies arenosas, principalmente no seu terço inferior ou onde esta formação é seccionada por falhamentos, pode atuar como unidade aquífera de baixa potencialidade. Poço tubular profundo recentemente construído totalmente dentro desta formação, no bairro Primeira Linha, Criciúma, apresentou vazão de 10 m<sup>3</sup>/h, com pequeno rebaixamento.

#### 5.2.4 Formação Irati

A Formação Irati foi definida por White (1908) para designar os folhelhos pretos com restos do réptil *Mesosaurus Brasiliensis* que ocorrem na região de Criciúma e na estrada da Serra do Rio do Rastro, em Santa Catarina.

Neste estado, esta formação costuma ser dividida em dois Membros, designados Taquaral (base) e Assistência (topo), definidos por MÜHLMANN *et al.*

(1974). Por fugir ao escopo deste trabalho, estes membros não foram individualizados em mapa.

Sua espessura na área da bacia do rio Araranguá é muito constante, de aproximadamente 40 m, verificada nos furos de sondagens BG 41, 27, 28 e 125. Com muita freqüência, parte desta formação é consumida por intrusões de diabásio.

Do ponto de vista litológico caracteriza-se por ser essencialmente pelítica, sendo constituída, na sua base, por folhelhos e siltitos cinza-escuro, eventualmente cinza-claro a azulados. Quando intemperizados, os folhelhos adquirem tons amarelados, micáceos, mostrando desagregação conchoidal (Membro Taquaral). No seu topo, (Membro Assistência) é formada por um pacote de folhelhos cinza-escuro a pretos, intercalados com folhelhos pirobetuminosos e associados a lentes de margas creme a cinza-escuro, dolomíticas. Localmente, é comum encontrar-se estes folhelhos pirobetuminosos interestratificados com as camadas de margas, dando ao conjunto um aspecto rítmico, onde se destacam laminação plano-paralela, convoluta, concreções silicosas, marcas onduladas e estruturas de carga. Cristais euédricos e disseminados de pirita são encontrados nas margas, e nos folhelhos pirobetuminosos são observadas exsudações de óleo em fraturas e amígdalas.

Na área do Montanhão e em outros morros-testemunhos de menor expressão, esta formação é intrudida por rochas ígneas que constituem as soleiras que sustentam a topografia.

As características litológicas e sedimentares da Formação Irati indicam um ambiente marinho de águas rasas e calmas, abaixo do nível de ação das ondas, com os folhelhos pirobetuminosos tendo sido depositados em ambiente restrito, e as margas, em áreas plataformais.

Seus melhores afloramentos localizam-se ao longo do vale do rio Manim, nas proximidades das cidades de Criciúma e Nova Veneza.

A Formação Irati apresenta um conteúdo fossilífero representativo, abrangendo desde restos de peixes, crustáceos do gênero *Clarkecaris*, vegetais, palinórfos e répteis dos tipos *Mesosaurus brasiliensis* e *Stereosternum tumidum*.

Na Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná (PETROBRÁS, 1970), esta formação é situada no Permiano Superior, no andar Kazaniano.

A natureza predominantemente argilosa desta formação indica que ela atua principalmente como aquíclode. Localmente, onde é intrudida por diabásio, pode apresentar algum intervalo aquífero. As sondagens realizadas para prospecção de



água para a USITESC evidenciaram que no seu terço superior, onde ocorre uma marga com aspecto brechóide, esta formação atua como unidade aquífera de baixa potencialidade.

Do ponto de vista hidroquímico, a presença de folhelhos pirobetuminosos indica que a água resultante desta formação é de má qualidade.

#### 5.2.5 Formação Estrada Nova

Está presente na porção norte, junto à encosta inferior à média do planalto gonduânico, onde aflora de maneira contínua entre as cotas 450 e 600 metros. A partir do extremo norte da área desde as cabeceiras do rio Dória, constitui uma faixa que se estende para sudoeste até o alto curso do rio Cedro Alto, onde aflora entre as cotas 450m e 250m, sendo então coberta pelos depósitos de leques aluviais. No alto vale do Rio Mãe Luzia aflora em cotas mais baixas devido a basculamento de blocos por falhas. De maneira subordinada está presente também no topo do Montanhão, Morro Cechinel, Morro Santa Luzia e de outros morros existentes na área, sem denominação específica, como mostra o Mapa Geológico, Anexo 1.

GORDON JUNIOR (1947) propõe o termo Serra Alta para designar como membro da Formação Estrada Nova um pacote de folhelhos cinza-escuro, situado entre as atuais formações Irati e Teresina. SANFORD; LANGE (1960) elevaram a unidade Serra Alta à categoria de formação, onde ela tem sido mais comumente usada.

MORAES REGO (1930) foi quem empregou pela primeira vez o termo Teresina, sob a designação de Grupo Teresina, para os sedimentos encontrados na seção-tipo, expostos na margem direita do rio Ivaí, próximos à localidade de Teresa Cristina (antiga Teresina), no Paraná.

MÜHLMANN *et al.* (1974), no trabalho “Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná”, mantêm a subdivisão desta Formação em Formação Serra Alta e Formação Terezina. Porém, nesta tese, os trabalhos de campo indicaram que é muito difícil realizar-se sua individualização em mapa visto que ambas são constituídas por material predominantemente pelítico, que apresentam as mesmas formas de relevo e que, quando intemperizadas, possuem aspecto muito semelhante. Por este motivo, optou-se por utilizar o termo Formação Estrada Nova que engloba ambas as formações acima citadas.

Do ponto de vista litológico, na sua porção inferior (Formação Serra Alta) compreende uma seqüência constituída por folhelhos, argilitos e siltitos cinza-escuro a pretos. Quando intemperizados, mostram cores cinza-claro a cinza-esverdeado e avermelhadas, com tons amarelados. Normalmente, são maciços ou possuem uma laminação plano-paralela incipiente, às vezes micáceos. Localmente, contêm lentes e concreções calcíferas, com formas elipsoidais e dimensões que podem alcançar até 1,5 m de comprimento por 50 cm de largura.

Sua porção superior (Formação Terezina) é constituída por argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuro e esverdeados, ritmicamente intercalados com arenitos muito finos, cinza-claro. Quando alteradas, estas rochas mostram cores diversificadas em tons violáceos, bordôs e avermelhados. Comumente apresentam lentes e concreções carbonáticas, com formas elípticas e dimensões que podem atingir 2 m de comprimento por 80 cm de largura. A Figura 25 ilustra um afloramento das litologias que constituem o terço superior desta formação.



Figura 25: Espesso pacote de folhelhos, siltitos e arenitos muito finos, intercalados ritmicamente. Local: Estrada que liga Caravagio à Nova Veneza.

As principais estruturas sedimentares encontradas nesta seqüência são a laminação *flaser*, plano-paralela, ondulada e convoluta, estratificação *hummocky*, marcas onduladas e gretas de contração.

Do ponto de vista genético, o pacote da porção inferior, por suas características litológicas e sedimentares, foi depositado em um ambiente marinho de águas calmas, abaixo do nível de ação das ondas normais. Já o pacote rochoso que constitui sua porção superior, pelas características litológicas e estruturas sedimentares exibidas, indica uma deposição em ambiente marinho de águas rasas e agitadas, dominado por ondas e pela ação de marés (inframaré a supramaré).

Esta formação, em sua porção inferior, constitui-se paleontologicamente de restos de peixes, pelecípodes, conchostráceos e palinórfos. Na sua porção superior é constituída por restos de plantas, lamelibrânquios e palinórfos.

Na Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná (PETROBRÁS, 1970), a Formação Serra Alta é localizada no Permiano Superior, mais especificamente entre o topo da andar Kazaniano e a base do andar Tatariano.

Do ponto de vista hidrogeológico, a natureza de suas litologias predominantemente pelíticas e o fato de ocorrerem geralmente ao longo da encosta do planalto, indicam que esta formação deve atuar principalmente como área de recarga para as demais formações gonduânicas sotopostas.

#### 5.2.6 Formação Rio do Rasto

WHITE (1908) designa pela primeira vez o termo Rio do Rasto para uma sucessão de camadas vermelhas, expostas nas cabeceiras do rio do Rastro, situado ao longo da estrada Lauro Müller – São Joaquim, em Santa Catarina, como a seção-tipo desta formação.

GORDON JUNIOR (1947) divide esta formação em dois membros: um inferior, denominado Serrinha, e um superior, denominado Morro Pelado, designações atualmente utilizadas pela maioria dos autores. Porém, como fuge ao escopo desse trabalho, optou-se por não individualizar em mapa os dois membros. Sua espessura média, aflorante na subida da Serra do Rio do Rastro, medida por Krebs e Caruso Jr. por ocasião da elaboração do roteiro geológico da COLUNA WHITE (1994), é da ordem de aproximadamente 200 m.

A Formação Rio do Rasto aflora de maneira contínua ao longo da encosta média do planalto. No extremo norte da área aflora a partir da cota 580m e, à medida que se dirige para sudoeste, aflora em cotas inferiores até ser encoberta pelos depósitos de leques aluviais ao norte da cidade de Jacinto Machado, como



mostra o Mapa Geológico, Anexo 1. Tem ampla distribuição na porção centro-oeste desta bacia hidrográfica, onde aparece capeando morros alongados que constituem os divisores de água de importantes mananciais. Está presente também capeando ou no terço superior de pequenos morros que ocorrem na área costeira.

O Membro Serrinha, inferior, é constituído por arenitos finos, bem selecionados, intercalados com siltitos e argilitos cinza-esverdeado, amarronados, bordôs e avermelhados, podendo localmente conter lentes ou horizontes de calcário margoso. Os arenitos e siltitos possuem laminação cruzada, ondulada, *climbing* e *flaser*, sendo, às vezes, maciços. As camadas siltico-argilosas mostram laminação plano-paralela, *wavy* e *linsen*. Os siltitos e argilitos exibem desagregação esferoidal bastante desenvolvida, a qual serve como um critério para a identificação desta unidade. Nesta porção inferior, as camadas de arenitos são pouco espessas, raramente superiores a 40cm, e subordinadas.

O Membro Morro Pelado, superior, é constituído por lentes de arenitos finos, avermelhados, intercalados em siltitos e argilitos arroxeados. O conjunto mostra também cores em tonalidades verdes, chocolate, amareladas e esbranquiçadas. Suas principais estruturas sedimentares são a estratificação cruzada acanalada, laminação plano-paralela, cruzada, e de corte e preenchimento. As camadas de arenitos apresentam geometria sigmoidal ou tabular e geralmente possuem espessuras superiores a 50cm, podendo alcançar em alguns casos mais de 2m. A Figura 26 mostra uma ocorrência desta formação no município de Araranguá.



Figura 26: Afloramento da Formação Rio do Rasto. Intercalação rítmica de arenitos finos e siltitos muito laminados e físseis, ambos de cor bordô. Local: Município de Araranguá.



Figura 27: Detalhe do afloramento da Formação Rio do Rasto. Local: Município de Araranguá.

A deposição da Formação Rio do Rasto é atribuída inicialmente a um ambiente marinho raso (supra a inframaré) que transiciona para depósitos de planície costeira (Membro Serrinha), passando posteriormente à implantação de uma sedimentação flúviodeltaica (Membro Morro Pelado).

O conteúdo fossilífero desta formação é principalmente de pelecípodes, conchostráceos, palinórfos, restos de plantas e do anfíbio Labirintodonte.

Impressões de folhas e caules foram descritas por BORTOLUZZI (1975), que identificou os espécimes *Dichophyllites* e *Paracalamites*, e por KLEPZIG (1978), que descreveu *Schizoneura*, *Paracalamites*, *Dizeugotheca*, *Pecopteris*, *Neoggerathiopsis* e *Glossopteris*. Estes fósseis foram observados no km 81 da SC-438 (estrada Lauro Müller – São Joaquim).

Na Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná (PETROBRÁS, 1994), a Formação Rio do Rasto é situada entre o Permiano Superior (topo do andar Tatariano) e o Triássico Inferior (andar Anisiano).

Nos municípios de Jacinto Machado e Meleiro, devido ao condicionamento geológico e geomorfológico, esta formação constitui uma importante unidade aquífera no seu terço superior onde predominam litologias arenosas.

#### 5.2.7 Formação Botucatu

WHITE (1908) intitula Arenito São Bento a seqüência atualmente designada Formação Botucatu.

Aflora de maneira contínua ao longo do terço superior da encosta do planalto, no qual pode ser acompanhada desde o extremo norte da área onde constitui escarpas de arenitos capeadas por rochas ígneas extrusivas da Formação Serra Geral. Nesta mesma porção, ocorre localmente, capeando morros alongados que devido à erosão diferencial apresentam relevo ruiforme. À medida que se dirige para sudoeste, ocorre também capeando morros alongados nos municípios de Meleiro, Morro Grande e Timbé do Sul.

Litologicamente esta formação é constituída de arenitos bimodais, médios a finos, localmente grossos e conglomeráticos, com grãos arredondados ou subarredondados, bem selecionados. Apresentam cor cinza-avermelhado e é freqüente a presença de cimento silicoso ou ferruginoso. Constituem expressivo pacote arenoso, com camadas de geometria tabular ou lenticular, espessas, que



podem ser acompanhadas por grandes distâncias.

No terço inferior, apresenta finas intercalações de pelitos, sendo comuns interlaminções areia-silte-argila, ocorrendo freqüentes variações laterais de fácies. À medida que se dirige para o terço médio, desaparecem as intercalações pelíticas, predominando espessas camadas de arenitos bimodais, com estratificação acanalada de grande porte, indicando que as condições climáticas se tornavam gradativamente mais áridas, implantando definitivamente um ambiente desértico.

A persistência de estruturas sedimentares, tais como estratificação cruzada acanalada de grande porte, estratificação cruzada tabular tangencial na base e estratificação plano-paralela, a bimodalidade dos arenitos, evidenciada por processos de *grain fall* e *grain flow* e ainda as freqüentes intercalações pelíticas, *ripples* de adesão e marcas onduladas de baixo-relevo sugerem ambiente desértico com depósito de dunas e interdunas. A Figura 28 ilustra o espesso pacote de arenitos desta formação.



Figura 28: Porção basal de arenitos da Formação Botucatu. Pedreira no município de Jacinto Machado.



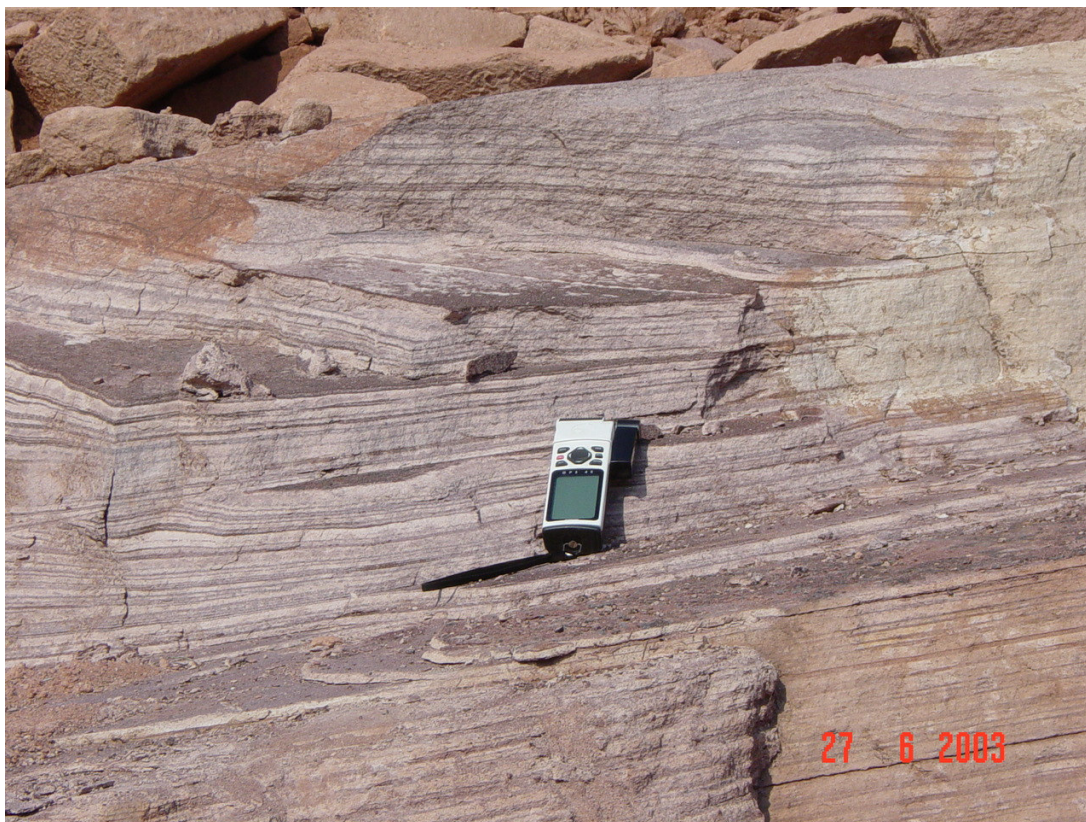


Figura 29: Detalhe dos arenitos da Formação Botucatu. Arenitos bimodais com estratificação acanalada de grande porte. Nota-se a intercalação de alguns *drapps* de lama. Local: Pedreira no município de Jacinto Machado.

Sua idade é atribuída aos períodos Jurássico Superior - Cretáceo Inferior, através de relações estratigráficas com as formações que lhe são subjacentes, conforme referência na Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná (PETROBRÁS, 1994).

Recentemente, técnicos da CPRM encontraram moldes externos que lembram restos vegetais em arenitos bimodais desta formação. Porém, até o presente momento não se dispõe de informações mais concretas a respeito desta descoberta. Em 2004 foram encontradas pegadas possivelmente de répteis, no arenito de uma pedreira do município de Jacinto Machado. As pegadas estão sendo atualmente estudadas no laboratório do IPAT em Criciúma.

Com relação aos aspectos hidrogeológicos, sabe-se que esta formação, devido à natureza predominantemente arenosa de suas litologias, constitui excelente unidade aquífera. Porém, esta bacia hidrográfica, pelo fato de ocorrer principalmente na encosta superior do Planalto Gonduânico, atua principalmente como área de

recarga para as unidades aquíferas subjacentes, com exceção de uma pequena porção localizada nas proximidades de Jacinto Machado, onde os condicionamentos geológico e geomorfológico propiciaram condições desta formação atuar como unidade aquífera de média à baixa potencialidade.

#### 5.2.8 Formação Serra Geral

WHITE (1908) utiliza pela primeira vez a denominação Serra Geral para indicar como seção-tipo as exposições que ocorrem na Serra Geral, ao longo da estrada que liga as cidades de Lauro Müller a São Joaquim (SC-438), em Santa Catarina.

LEINZ (1949), também na mesma estrada Lauro Müller – São Joaquim (Serra do Rio do Rastro), estabelece um perfil clássico e individualiza o caráter interno de um derrame em: zona vítrea basal, com disjunção horizontal; zona intermediária, com juntas verticais; zona superior, com disjunção vertical e horizontal; e basalto vesicular no topo.

WILDNER; LIMA (1998 e 1999) apresentam mapa geológico do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, separando conjunto de derrames cujas características petrográficas permitem uma correlação com a divisão litoquímica, na categoria de Fácies. PEATE *et al.* (1992) utilizaram esta denominação na divisão litoquímica das rochas extrusivas da Formação Serra Geral, nos dois estados, a saber: Fácies Gramado; Fácies Caxias; Fácies Paranapanema-Pitanga; Fácies Esmeralda e Fácies Chapecó.

FREITAS *et al* (2003), baseados em critérios de campo, tendo por área-tipo a região da cidade de Campo Erê, no norte do Estado de Santa Catarina, definem a Fácies Campo Erê, descrevendo-a como “derrames de basaltos altamente vesiculares, contendo cristais aciculares centimétricos de augita *branching* e vesículas preenchidas por zeolitas, cobre nativo e cuprita, contendo intercalações de camadas sedimentares”.

Como o objetivo desta tese é a avaliação das formações geológicas quanto às suas potencialidades aquíferas, optou-se por não utilizar nenhuma dessas proposições para individualizarem-se em mapa as diferentes fácies litológicas que constituem os derrames da Formação Serra Geral. Procurou-se, isto sim, caracterizar as zonas de disjunção horizontal e vertical bem como a zona

amigdalóide, por ser nelas que ocorre água.

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral constituem a escarpa superior do planalto gonduânico. KREBS; CARUSO JUNIOR, por ocasião da elaboração do Roteiro Geológico da COLUNA WHITE (1994), verificaram que estas rochas afloram a partir da cota 760 m. No topo do planalto ocorrem cotas de 1450 m, indicando uma espessura de 690 m para esta formação neste local.

Ocorrem também sob a forma de *sills*, capeando morros, principalmente na porção compreendida entre Nova Veneza, Criciúma e Siderópolis, onde há um morro-testemunho conhecido como Montanhão, capeado por rochas vulcânicas com 90 m de espessura. Ocorre também na porção costeira ou central onde capeia pequenos morros.

A análise dos perfis litológicos das sondagens executadas para a pesquisa de carvão mostra que nas proximidades de Morro dos Conventos estas rochas vulcânicas ocorrem freqüentemente intrudidas nos intervalos estratigráficos correspondentes às camadas de carvão. Nas proximidades de Criciúma bem como na porção correspondente ao alto curso do rio Mãe Luzia, ocorrem sob a forma de diques encaixados em falhas distensionais.

Do ponto de vista litológico, estas rochas abrangem uma sucessão de derrames de lavas, predominantemente básicas, contendo domínios subordinados intermediários e ácidos, principalmente no terço médio e superior. Nas observações de campo, foram verificados termos básicos a intermediários, de cor cinza-escuro a preto, de granulação fina à afanítica, com termos variando desde amigdaloidal até maciços. Geralmente encontram-se bastante fraturados, exibindo fraturas conchoidais características.

Em escala de afloramento, verificam-se nitidamente três zonas de resfriamento: amigdaloidal, disjunção vertical e disjunção horizontal. As zonas de disjunção horizontal e vertical são espessas, algumas vezes com espessuras superiores a 10m. A zona amigdalóide normalmente não ultrapassa 2m de espessura.

É muito freqüente a intrusão de diabásios em rochas sedimentares gonduânicas. Constatou-se que estas intrusões ocorrem principalmente no intervalo estratigráfico correspondente às Formações Rio Bonito e Irati e à base da Formação Estrada Nova.

Em trabalhos realizados no ano de 1993 pela Superintendência Regional de

Porto Alegre da CPRM, através do Projeto Platina, nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, foram executadas diversas lâminas petrográficas, sendo uma delas em um corpo básico intrusivo situado nas imediações da cidade de Maracajá, que resultou na seguinte descrição: “essencialmente, esta rocha é constituída por uma trama dominante de plagioclásios (40-60%), com tendência  $An_{30-50}$ , acrescidos por proporções menores de clinopiroxênios (augita e pigeonita). Como subordinados, aparecem hornblenda basáltica, quartzo intersticial e matriz vítrea ou micrográfica a quartzo e K-feldspático. Os acessórios estão representados por magnetita esquelética, opacos e apatita acicular. Como produtos de alteração aparece o carbonato, zeolitas, quartzo, epidoto, sericita e clorita. Texturalmente há um intercrescimento simplectítico entre o plagioclásio e o clinopiroxênio, especialmente augita, indicando uma evolução simultânea e prolongada destas duas fases minerais. Localmente, há também o desenvolvimento de texturas subofítica e variolítica. Em conjunto, as características petrográficas apontam para uma dominância de padrões toleíticos normais, evidenciando pequenas variações composicionais situadas entre o campo dos basaltos e basaltos granofíricos”.

A Seção Geológica N-S, Figura 30, mostra que este corpo básico constitui uma estrutura tipo *neck*. A definição desta estrutura foi baseada no fato de que durante o cadastramento de pontos de água constatou-se que dentro da área urbana de Maracajá perfurou-se um poço que atingiu a profundidade de 221m somente através de rochas básicas. O referido poço resultou seco. A CPRM, em 1972, também executou uma sondagem para a pesquisa de carvão em Maracajá que foi encerrada com 240m, atravessando somente rochas basálticas.

Esta formação é consequência de um intenso magmatismo de fissura, correspondendo este vulcanismo ao encerramento da evolução gonduânica da bacia do Paraná.



Figura 30: Seção geológica N-S (ver plantas referenciadas no volume I A).

MÜHLMANN, *et al.* (1974) situa a Formação Serra Geral no Cretáceo Inferior (entre 120 e 130 milhões de anos) através de dados radiométricos obtidos por diversos autores.

Do ponto de vista hidrogeológico, somente a área correspondente ao Montanhão apresenta condições de constituir uma unidade aquífera. A verificação realizada em fotografias aéreas escala 1:60.000 mostra que existem locais no topo do referido morro, nos quais ocorre interseção de falhas. Este condicionamento estrutural pode permitir a formação de um aquífero do tipo fraturado. Um poço tubular com 82 m de profundidade, construído em um local correspondente a um desses cruzamentos de falhas, resultou uma vazão de 8 m<sup>3</sup>/h.

As demais porções desta bacia, por ocorrerem em áreas desfavoráveis, junto às encostas do planalto gonduânico ou capeando pequenos morros, onde são seccionadas pela superfície do terreno, não constituem unidades aquíferas. Elas atuam principalmente como áreas de recarga para os aquíferos subjacentes.

### **5.3 Os Depósitos Cenozóicos**

São resultados de processos pertencentes a dois tipos de sistemas deposicionais: Sistema de Leques Aluviais, que abrange os depósitos proximais de encostas e fluviais de canais sinuosos, e Sistema Laguna-Barreira, englobando uma série de depósitos lagunares, deltaicos, paludiais, praias marinhos e eólicos, acumulados no Pleistoceno Superior e/ou Holoceno (CARUSO JUNIOR, 1997; SUGUIO *et al.*, 1986 e SUGUIO; MARTIN, 1987).

O subsistema barreira possibilitou a acumulação de depósitos praias marinhos e eólicos produzidos em ambiente costeiro.

O subsistema laguna instalou-se através das barreiras arenosas, constituídas pelos sedimentos dos depósitos praias marinhos e eólicos, que isolaram corpos aquosos entre o mar e o continente. O subsistema de interligação é caracterizado pelos canais que ligam o oceano e a laguna.

Adotou-se neste trabalho a mesma terminologia em relação aos sistemas deposicionais, utilizada por CARUSO JUNIOR (1995 e 1997), SILVA; LEITES (2000), que se basearam no trabalho de VILLWOCK *et al.* (1986) no mapeamento da região costeira do Rio Grande do Sul. Porém, os trabalhos de campo executados

durante a elaboração desta tese demonstraram que na porção correspondente a esta bacia hidrográfica não ocorre nenhum depósito com fácies e estruturas sedimentares que permitam caracterizá-lo como depósito lagunar típico. Admite-se também que nesta bacia hidrográfica não ocorrem depósitos deltáicos, embora esta última hipótese careça ainda de estudos litofaciológicos mais detalhados, pois se sabe que a distribuição e o tipo de sedimentos em um ambiente deltáico são complexos. Claro que não seria de se esperar encontrar-se nesta bacia um delta típico como aquele definido por GILBERT (1890) no lago Boneville. Porém, é possível que ocorra um complexo tectônico deltáico tal como foi definido por FRIEDMAN; JOHNSON (1966). De acordo com a definição de PRITCHARD (1967), admite-se um ambiente estuarino para a foz do rio Araranguá (DUARTE, 1995).

Desta forma, para a individualização em mapa dos diferentes ambientes deposicionais representativos da Planície Costeira presentes na área desta bacia, adotou-se a proposição de CARUSO JUNIOR (1997), com a diferença de que o Sistema Laguna-Barreira III está representado por Depósitos Praiais Marinhos e Eólicos e de Retrabalamento Eólico, Depósitos Paludiais e Depósitos Flúvio-Lagunares com Retrabalamento Eólico. Estes últimos estão sendo propostos para a bacia do Araranguá pela primeira vez. O Sistema Laguna Barreira IV está representado por depósitos Praiais Marinhos e Eólicos e de Retrabalamento Eólico, e Depósitos Flúvio-Lagunares com Retrabalamento Eólico.

Com relação aos depósitos de Leques Aluviais, consoante já comentado, pretende-se dar um maior enfoque, objetivando-se definir sua potencialidade como unidade aquífera.

A seguir, apresenta-se uma descrição dos sistemas e de seus respectivos depósitos identificados na área estudada.

### 5.3.1 Sistema de leques aluviais

Leques aluviais, de acordo com BULL (1968), é um depósito com forma de um segmento de cone, distribuído radialmente mergulho abaixo a partir do ponto onde os cursos de água deixam as montanhas. MEDEIROS (1971) define leques aluviais como sedimentos em forma cônica, depositados onde as correntes aluviais deixam as terras altas, penetrando em áreas baixas adjacentes. Define como fácies

de leques os depósitos compostos por sedimentos mal classificados, de granulação fina à grossa, depositados no sopé das montanhas ou em outras áreas de relevo acentuado onde as encostas íngremes se tornam mais suaves.

No caso da bacia do Araranguá, os principais processos deposicionais são fluxos torrenciais não canalizados, fluxos torrenciais canalizados, correntes normais e fluxo de detritos.

As litologias resultantes são cascalhos, areias e lamas. Na parte superficial e mais moderna do pacote, predominam depósitos fluviais de canais sinuosos.

A implantação deste sistema ocorreu provavelmente no Plioceno, e os processos responsáveis por sua gênese perduram desde o Plioceno até o Holoceno, podendo ser constatados até nos dias atuais como, por exemplo, o evento catastrófico ocorrido em dezembro de 1995 em Timbé do Sul. PELLERIN *et al.* (1996) e PONTELLI; PELLERIN (1998) descrevem com detalhe o referido evento.

A Figura 31 ilustra o momento da formação dos processos de *debris flow* e *mud flow* onde ainda o fluxo era canalizado.



Figura 31: Movimentos de massas na encosta superior da escarpa, evoluindo para *mud flow* e *debris flow*, onde o fluxo era canalizado. Local: Vale do rio Figueira, município de Timbé do Sul. Foto cedida por Joel Pélérin.

### 5.3.1.1 Depósitos de encostas e de retrabalhamento fluvial

A bacia do rio Araranguá apresenta, em geral, um recuo mais pronunciado da escarpa da Serra Geral, comparando-se ao conjunto da costa oriental catarinense. JUSTUS, *et al.* (1986). Durante o soerguimento da referida serra ocorreu um progressivo recuo das escarpas de borda de planalto ao longo do Cenozóico, o que propiciou o estabelecimento de uma extensa área plana, cujo substrato era constituído de rochas sedimentares de idade Permiana. A partir do Plioceno, esta área plana que originou a planície costeira foi coberta pelos depósitos de encostas que originaram os leques aluviais.

A leitura do Mapa Geológico, Anexo 1, mostra que ao noroeste e a oeste desta bacia hidrográfica estes depósitos ocorrem desde o sopé da Serra Geral, aproximadamente a partir da cota 200 metros. Ao leste ocorrem até o vale do rio Sangão, onde são limitados pelas rochas sedimentares da Formação Palermo.

Na porção central da bacia, estes depósitos estendem-se desde o sopé da Serra Geral até serem encobertos pelos depósitos fluvio-lagunares e marinhos, com retrabalhamento eólico Neo-Pleistocênicos e Holocênicos, que ocorrem a partir da planície do rio Mãe Luzia, nas proximidades da cidade de Maracajá, até junto à atual linha de costa.

De uma maneira geral, os leques aluviais consistem de depósitos rudáceos, mal selecionados, com presença de grandes blocos envoltos numa matriz de granulometria fina, que se espraiam pela baixada costeira. À medida que esses depósitos se aproximam da linha da costa, a presença da fração rudácea tende a diminuir nas porções distais dos leques.

Do ponto de vista genético, constituem-se de sucessivos eventos episódicos de movimentos de massa generalizados e de grande magnitude, com transporte através de fluxos canalizados relacionados a processos de *debris flow* e *mud flow* e fluxos aquosos relacionados a processos fluviais, ocorridos na escarpa da Serra Geral durante o Neo-Cenozóico, que originaram os depósitos de leques aluviais. A continuidade destes processos até os dias atuais resultou um grande depósito com topografia suave ondulada, com inclinação inferior a 1° a partir do sopé da Serra Geral no sentido da faixa costeira, constituído pela superposição de leques de forma coalescente.

Na década de 60, BIGARELLA, *et al.* (1961) e BIGARELLA; SALAMUNI,

(1961), através de técnicas de análise morfo-estratigráfica, estudaram detalhadamente estas feições deposicionais situadas nos sopés das escarpas do centro-norte catarinense. Baseados no escalonamento das formas de relevo e no posicionamento topográfico dos depósitos, relacionado à análise dos depósitos rudáceos, estes autores admitiram estes depósitos como pedimentos detríticos, produzidos durante pelo menos duas fases glaciais pleistocênicas de nível marinho mais baixo que o atual, sob condições de semi-aridez, resultando uma sedimentação continental do tipo *bajada*, ou leque distal.

Sabe-se que os leques aluviais continentais formam-se predominantemente em áreas secas, incluindo desertos, regiões áridas. Porém, foram descritos em regiões glaciais. MELTON (1954) enfatiza que somente a aridez não é suficiente para a formação de leques aluviais. O referido autor, estudando fanglomerados Cenozóicos do sul do Arizona, verificou que os mesmos se depositaram sob duas condições diferentes: clima frio, com intensa fase de congelamento nas altas montanhas e, clima quente, árido, em áreas de encostas íngremes. KING (1963) concluiu que os piemontes não estão confinados às áreas áridas e semi-áridas.

Trabalhos bem mais recentes, realizados por DUARTE, (1995 e 1998); PELLERIN, *et al.*, (1996); PONTELLI; PELLERIN (1998) têm classificado esses depósitos simplesmente como leques aluviais.

Trabalhos de campo desenvolvidos durante a elaboração deste trabalho de tese, como já enfatizado no capítulo referente à geologia estrutural, permitiram reunir informações que indicam também a atuação de eventos neotectônicos para a formação desses depósitos rudáceos.

Do ponto de vista litológico, constatou-se que estes depósitos apresentam diferentes fácies, dependendo do seu posicionamento com relação à área-fonte, bem como processos deposicionais atuantes. De acordo com BLISSENBACH (1954), a formação dos leques aluviais está relacionada a três tipos de agentes deposicionais: enxurradas (*sheetfloods*), torrentes em canal (*stream floods*) e cursos d'água em geral (*streams*). Os depósitos de enxurradas ocorrem quando uma grande quantidade de água carregada de detritos emerge em um vale de montanha. Agindo como meio viscoso, o fluxo tende a se espalhar sob a forma de lençóis que cobrem parte do leque aluvial já depositado. As torrentes em canal resultam de fluxos confinados e canais bem definidos nos leques aluviais. Os cursos d'água formam-se quando a quantidade de água é insuficiente para causar uma torrente em

lençol ou em canal. O referido autor ressalta que a gradação entre os três tipos é comum.

Pelo exposto, constata-se que existem várias maneiras de enfocar o estudo dos depósitos de leques aluviais. Porém, no caso deste estudo, como o enfoque maior é a avaliação da potencialidade aquífera e a vulnerabilidade natural destes depósitos, optou-se por descrevê-los em três zonas distintas, de acordo com suas posições com relação ao sopé da encosta, de acordo com MEDEIROS (1979) e HOOKE (1967). Os referidos autores separam o leque aluvial em três partes (fig. 32):

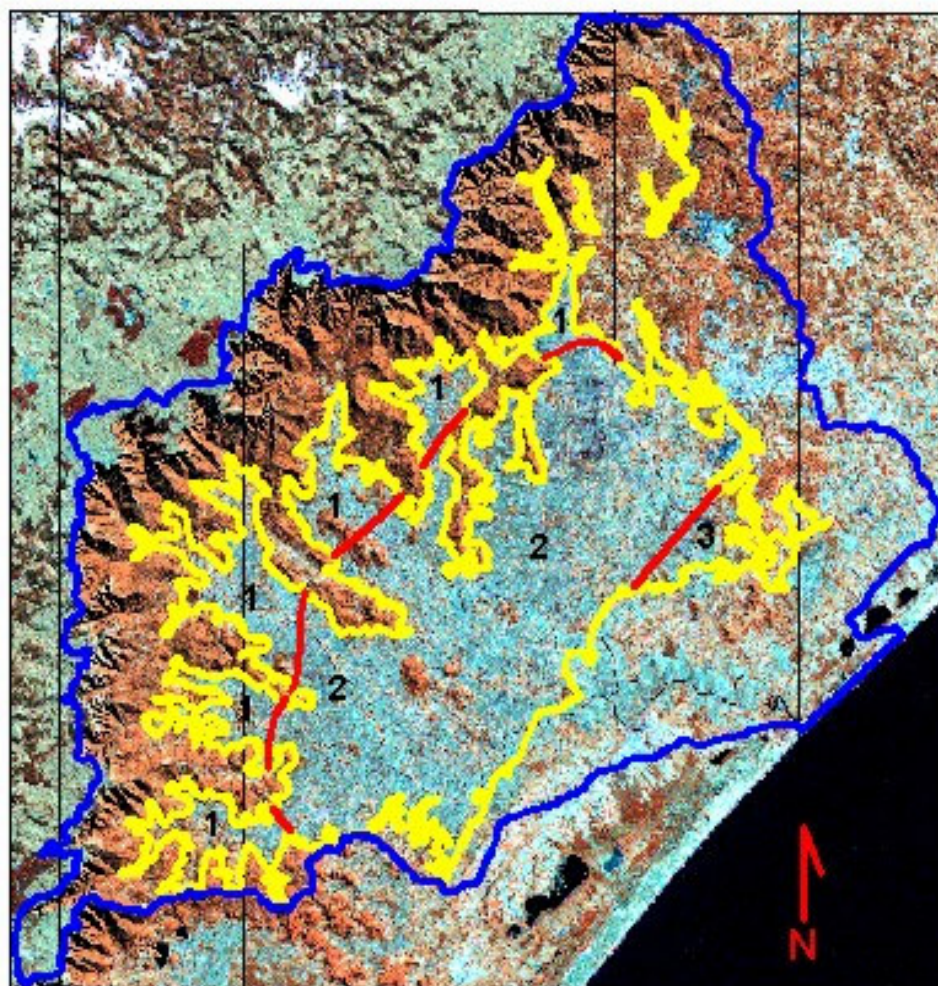
- Cabeceira do leque – Ápice do leque
- Leque proximal – Parte superior
- Leque distal – Parte inferior

#### 5.3.1.2 Cabeceira do leque – Ápice do leque

Nas proximidades da encosta da Serra Geral, onde os vales são fechados e as vertentes são íngremes, os movimentos de massa, através de processos gravitacionais e fluviais associados, controlam a distribuição dos depósitos ao longo dos vales, como se pode observar na Figura 31.

Este mecanismo é favorecido pela declividade acentuada, desmatamento, condições climáticas e substrato rochoso à baixa profundidade (Figura 33). Como resultado disto, formam-se espessos depósitos rudáceos, matriz-transportados, com clastos subarredondados variando de seixos a matacão, com tamanhos superiores a 2m, como mostra a Figura 34. Estes depósitos proximais geralmente possuem estruturação interna caótica, com seleção muito pobre, unidades individuais não estratificadas e os clastos não estão imbricados. A Figura 34 mostra também, que nestas áreas proximais, mesmo os eventos atuais, semelhantes àquele ocorrido em dezembro de 1995, originam depósitos com clastos do tamanho de blocos e matações. Mostra também que o depósito atual secciona o depósito mais antigo, indicando que é comum nestes depósitos proximais a presença de estruturas de corte e preenchimento.





- Limite da Bacia Hidrográfica do Aranguá
- Limite dos leques aluviais
- Limite entre porções dos leques

ESCALA GRÁFICA EM KM  
5 0 10

#### PORÇÕES DOS LEQUES

- 1** Cabeceira do leque - Ápice do leque
- 2** Leque proximal - Parte superior
- 3** Leque distal - Parte inferior

Figura 32: Delimitação das porções dos depósitos de leques aluviais.





Figura 33: Escorregamentos que originam os *debris flow* e *mud flow*. Local: alto vale do rio Fortuna. Município de Timbé do Sul. Foto cedida pelo Prof. Pélérin.



Figura 34: Na encosta, aspecto de um antigo depósito de leque proximal, matriz suportado, com clastos variando do tamanho bloco a matacão. Local: alto vale do rio Fortuna, município de Timbé do Sul. Foto cedida pelo Prof. Pélérin.

Estas fácies grossas, matriz-transportadas, foram identificadas também na base dos depósitos de leques, a 10m da superfície do terreno, nas escavações para retirada de cascalho na barragem do rio São Bento. Porém, neste local a possança do depósito proximal é bem inferior àquela do rio Fortuna, onde o fluxo é bem mais canalizado.

Nas proximidades de Timbé do Sul, fazendo parte destes depósitos proximais, foram identificadas fácies lamosas, originadas a partir de fluxos de lama (*mud flow*). Esta fácies tem espessura geralmente inferior a 30cm e são constituídas por lamas de cor escura, com grânulos e seixos dispersos caoticamente. Ocorrem de maneira muito subordinada, intercaladas com as fácies rudáceas.

Desta forma, nesta cabeceira de leque ocorrem principalmente depósitos matriz-sustentados, com pouca ou nenhuma organização interna, seleção granulométrica ou composicional. De acordo com HAMPTON (1970), são estas as principais características de depósitos associados com movimentos de massa.

O tamanho dos clastos varia desde grânulos de 2 a 10 cm até matacões. A Figura 34 ilustra que alguns matacões possuem tamanhos superiores a 2m. A matriz é constituída por areia grossa com alguns grânulos, com ou sem material argiloso.

No que se refere à composição dos clastos, verificou-se que nesta porção proximal eles são formados predominantemente por rochas ígneas extrusivas, da Formação Serra Geral. De maneira subordinada, ocorrem também clastos de arenitos pertencentes à Formação Botucatu e, raramente, de rochas pelíticas de outras formações. A presença de clastos de rochas pelíticas pouco resistentes aos processos de transporte sugere que estes materiais constituem sedimentos de primeiro ciclo que sofreram pequeno transporte.

Constatou-se que a morfologia dos clastos pouco tem a ver com o transporte sofrido. No alto vale do rio Manim, junto ao curso do rio homônimo, aflora um *sill* de rocha basáltica que possui disjunção colunar. O contínuo trabalho da água sobre este corpo, principalmente em épocas de picos de chuva, provoca o deslocamento de blocos que geram matacões de forma irregular ou ovalada, os quais geralmente constituem a base dos atuais depósitos de cascalho existentes ao longo da calha do referido rio.

Este fato também é ressaltado por SANTOS (2003), que estudou estes depósitos ao longo do médio curso do rio Mãe Luzia. De acordo com o referido autor, embora os constituintes do depósito mostrem um baixo grau de maturidade, é

interessante salientar-se que o grau de arredondamento dos clastos de basalto é elevado, sendo paradoxal relacionar esta feição com um intenso mecanismo de abrasão devido a um longo processo de transporte. Mais difícil seria entender a sua associação com clastos de rochas lábeis como os folhelhos, cuja presença evidencia um ciclo de transporte muito curto. Na porção proximal, as áreas-fonte e os depósitos estão muito próximos. Aquele autor observou também que, em geral, a alteração intempérica é bastante ativa nos basaltos. A alteração evolui a partir do diaclasamento original da rocha, formando uma capa concêntrica argilosa nos blocos de basalto. O arranjo da alteração em torno dos blocos dá origem a uma capa bastante frágil (esfoliação esferoidal), a qual contém na sua porção interior um núcleo não alterado do basalto. Durante o processo de instabilização dos perfis de solo, materializado na região proximal pelos movimentos de massa, o fluxo destes blocos provoca a remoção da frágil capa de alteração. Assim, a presença de blocos esféricos nestes depósitos não estaria relacionada a um arredondamento produzido no ciclo sedimentar, mas associada ao processo de alteração intempérica da rocha.

Com relação à cobertura destes depósitos, constatou-se que geralmente eles estão desprovidos de cobertura ou ela se constitui de uma camada resultante da alteração *in situ* dos clastos de rochas ígneas efusivas. No vale do rio Amola Faca, PONTELLI (1998) realiza uma seção detalhada em um destes locais onde os clastos se encontram totalmente alterados.

Durante o cadastramento de pontos de água realizados para este estudo, constatou-se que nas proximidades de Timbé do Sul ocorrem vários locais onde os clastos se encontram totalmente alterados, resultando um material argiloso, utilizado como material de empréstimo. A Figura 35 ilustra um leque aluvial com espessura de 4m e totalmente alterado.





Figura 35: Leque aluvial totalmente alterado. Local: arredores de Timbé do Sul.

No alto curso do rio Amola Faca, de acordo com o perfil litológico do furo executado para pesquisa de carvão SW – 04, a cobertura dos depósitos rudáceos é de 2,50m e a espessura dos depósitos rudáceos 7,10m.

Na porção centro – norte, junto ao alto curso do rio Morto, foi executado o furo SW – 03, que indicou uma espessura de cobertura de 2m e uma espessura de 16.40m para os depósitos rudáceos. Nas proximidades deste furo foram cadastradas 2 fontes e dois poços escavados.

No alto curso do rio São Bento, no local onde foi construída a barragem, constatou-se que estes depósitos de leques apresentam pequena cobertura de material areno-argiloso, de cor castanho-escuro. A espessura desta cobertura na área da barragem é de no máximo de 1m e a espessura dos depósitos rudáceos, superior a 8m.

Do ponto de vista hidrogeológico, o posicionamento junto ao pé da encosta com gradientes mais elevados, onde ocorrem grandes oscilações do nível freático, sugere que estas áreas atuam mais como áreas de recarga e/ou circulação do que



como áreas aquíferas. Outro fator negativo do ponto de vista hidrogeológico refere-se ao fato de que estes depósitos rudáceos, em vários locais próximos de Timbé do Sul e Jacinto Machado, encontram-se totalmente alterados, resultando um material argiloso de cor amarela, pouco permeável. Durante o cadastramento de pontos de água, constatou-se também que em muitos locais nas imediações de Timbé do Sul e Jacinto Machado obtiveram-se valores baixos de pH (em torno de 3.5). Em um destes locais verificou-se a presença de um material pastoso, de cor amarela, resultante da alteração dos clastos de rochas basálticas. A Figura 36 ilustra este material.



Figura 36: Clastos de rochas basálticas alterados. Nota-se um material pastoso, resultante desta alteração. Local: rio Pinheirinho do Meio, município de Jacinto Machado.

#### 5.3.1.3 Leque proximal – Parte superior

O Mapa Geológico, Anexo 1, mostra que grande parte da porção central da bacia do Araranguá é coberta pelos depósitos de leques aluviais. Desta maneira, esta porção intermediária possui ampla distribuição em área.

Como foge ao escopo desta tese, não será realizado o detalhamento

litofaciológico, mas sim uma descrição sucinta das diferentes fácies identificadas nesta porção.

De acordo com MEDEIROS (1971, 1979 e 1980), os depósitos de leques aluviais podem formar parte de vários ambientes e suas fácies características variam de lugar para lugar, de acordo com as características topográficas e, principalmente, com as condições climáticas. De acordo com o referido autor, as mudanças climáticas influenciam a evolução e a geometria dos leques aluviais. O aumento da precipitação causa a dissecação do leque e o desenvolvimento de gradientes mais suaves. Desta forma, os depósitos de leques formados em climas úmidos são comumente mais planos que os de áreas secas. TWIDALE (1967) verificou que as superfícies planas desenvolvidas em áreas de piemontes podem ser preservadas devido ao seu capeamento por detritos de granulometria grossa.

No caso da bacia do rio Araranguá, na porção um pouco mais distante do sopé da encosta, onde o fluxo já é pouco confinado ou desconfinado, de acordo com os trabalhos de FRITZ; MOORE (1988), ALLEN (1965), BLISSENBACH (1954), pode-se considerar que os processos deposicionais atuantes são relacionados a fluxos de enxurradas (*sheetfloods*), torrentes em canal (*stream floods*) e cursos d'água em geral (*streams*).

FRITZ; MOORE (1988) afirmam que *debris flow* e *mud flow* são eventos episódicos resultantes de chuvas torrenciais sobre áreas de pouca vegetação e dependem da capacidade de coesão da matriz para suportar os grãos durante o fluxo. Os referidos autores apresentam vários tipos de fácies e processos de sedimentação associados.

Desta forma, se considerarmos o aspecto dos afloramentos de leques aluviais que ocorrem com freqüência ao longo dos principais rios desta porção intermediária, pode-se constatar que há uma gradativa diminuição no tamanho dos clastos, à medida que se distancia do sopé da encosta, diminuindo também a freqüência de fácies, relacionadas a fluxos densos, canalizados ou não. Análise mais detalhada do excelente afloramento que existe ao longo de ambas as margens do rio Mãe Luzia, logo abaixo da cidade de Forquilha, permitiu verificar-se que nesta porção intermediária dos depósitos predominam totalmente os processos fluviais, resultando uma associação de fácies que indica ambiente subaquoso, em regimes de fluxo superior ou inferior, com processos de tração e suspensão. Com relação à estruturação interna destes depósitos, o trabalho de campo realizado



permitiu verificar-se que eles são clastos suportados, com gradação normal ou inversa, estratificação incipiente e já apresentam imbricação dos clastos, indicando o sentido de transporte. Os clastos apresentam orientação segundo o eixo c, indicando que o fluxo nesta porção já é desconfinado. As fácies dominantes são barras longitudinais e cascalhos imbricados. A presença de estruturas sedimentares tipo acamamento horizontal incipiente em leitos arenosos em contato abrupto com os depósitos rudáceos e intercalações centimétricas de lamas, de acordo com ALLEN (1965), classifica-os como depósitos de transbordamento (Figura 37).



Figura 37: Depósito de transbordamento. Local: Rio Mãe Luzia, à jusante da cidade de Forquilha.

No alto curso dos rios São Bento, Amola Faca, Manuel Alves e Rocinha, como resultado de fluxos torrenciais, tipo torrentes em lençol (*sheet flood*), formam-se pequenos diques marginais (*levee*) de cascalho, onde se verifica nitidamente a gradação inversa dos clastos.

Ainda fazendo parte desta porção proximal do leque, constatou-se que no alto vale dos principais cursos d'água desta bacia, a partir de onde o fluxo é pouco confinado ou já é desconfinado e controlado por processos fluviais, ocorrem fácies

areno-conglomeráticas, relacionadas a depósitos de barras de canal ou de migração de barras na planície aluvial em um sistema *braided*. Ocorrem também depósitos de barras, as quais são largamente explotadas para obtenção de cascalho.

De acordo com MIALL (1978a e b); ALLEN (1982) e SMITH (1970), estes sistemas *braided* são caracterizados pela existência de múltiplos canais rasos interligados e separados por barras de areias e cascalhos ou ilhas. Ocorrem em áreas com declividade acentuada, com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, com rápidas flutuações na descarga. Ainda segundo estes autores, os depósitos resultantes de rios *braided* são lateralmente instáveis porque os bancos da planície de inundação são pouco espessos, com baixa coesão e mais erodíveis que os demais tipos de rio.

No que se refere à composição dos clastos, constatou-se que nesta porção proximal eles são formados exclusivamente por rochas ígneas extrusivas, da Formação Serra Geral.

No que se refere ao tipo de material de cobertura, os trabalhos de campo evidenciaram que nas proximidades dos principais rios e a partir de onde a superfície do terreno se torna relativamente plana, estes depósitos rudáceos são encobertos por material areno-argiloso ou argilo-arenoso, relacionados a depósitos de transbordamento. Trata-se de acumulações de material da granulometria areia ou argila, praticamente sem material mais grosso, de cor castanho-clara. As estruturas sedimentares identificadas foram intercamamento incipiente de material arenoso e argiloso e fendas de lama (Figura 38).





Figura 38: Depósito de transbordamento. Nota-se a presença de estruturas sedimentares tipo fendas de lama. Local: Rio Mãe Luzia, à jusante da cidade de Forquilha.

De maneira subordinada, ao longo do médio curso do rio Mãe Luzia, onde este apresenta um padrão meandrante, no trecho compreendido entre Maracajá e Forquilha, foram identificados alguns depósitos de diques marginais (*levee*), depósitos de rompimento de diques marginais (*crevasse splay*) e depósitos de avulsão de leito. Os diques marginais (*levee*) são de comprimento pequeno, inferior a 50m, ocorrem geralmente em uma só margem e apresentam forma levemente cônica com porção mais alta situada junto à margem. Com relação aos depósitos de planície aluvial, verificou-se que alcançam até mais de 1000m a partir do canal e que se caracterizam por apresentar uma variação de fácies lateral, com posicionamento das fácies mais grossas junto ao canal. Optou-se por colocar estes depósitos de transbordamento dentro do domínio dos leques aluviais por entender-se que os referidos depósitos fazem parte dos processos atuantes em um sistema de leque terrígeno, como parece ser o que acontece na bacia do rio Araranguá.

Com relação à espessura da cobertura dos depósitos rudáceos, a Figura 39 mostra que ela varia de praticamente zero até no máximo 21,50m, em Maracajá.

Baseado nas informações obtidas durante o cadastramento de pontos de água, pode-se verificar que ao longo do vale do rio Mãe Luzia a cobertura média é de 2m nas proximidades da cidade de Nova Veneza, aumentando para 5m nas proximidades de Forquilha; e nas proximidades de Maracajá, já próximo ao limite com a porção inferior do leque, a cobertura média é de 17,50m.

Com relação à espessura dos depósitos rudáceos, o Mapa de Isópaca dos depósitos rudáceos, Figura 39, mostra que ela varia de >5m a 43,60m, no município de Meleiro. No município de Nova Veneza, estes depósitos apresentaram espessura média de 7m; em Forquilha apresentou 10,50m, e em Maracajá, 19,30m. Entre Jacinto Machado e Ermo verificou-se que existe um baixo estrutural onde se constatou uma espessura máxima de 31,30m. No Município de Timbé do Sul as espessuras variam de >5 a mais de 10m.

Do ponto de vista hidrogeológico, o fato de esta porção estar posicionada sobre uma superfície com baixa declividade, possuir uma eficiente área de recarga, além de apresentar uma boa espessura de depósitos rudáceos, porosos e permeáveis, indica que esta porção do leque constitui um bom aquífero.

Figura 39: Mapa de Isópacos da espessura dos depósitos rudáceos (ver plantas referenciadas no volume I A).

#### 5.3.1.4 Leque distal – Parte inferior

Ao se proceder a uma leitura no Mapa Geológico, Anexo 1, percebe-se que a partir da cidade de Maracajá, onde o rio Mãe Luzia apresenta uma inflexão para sudoeste, os depósitos de leques aluviais estão encobertos pelos depósitos flúvio-lagunares ou depósitos marinhos com retrabalhamento eólico. Ao longo da porção inferior da encosta do vale do rio dos Porcos e ao longo dos vales de alguns tributários pela margem esquerda do rio Sangão em seu médio curso, também ocorrem depósitos de leques aluviais, incluídos como pertencentes aos leques distais. Nestes dois últimos locais citados, os depósitos são pouco espessos, raramente atingindo espessuras superiores a 3m e constituídos predominantemente por seixos, grânulos e areia grossa. Apresentam geometria tabular ou lenticular e as camadas de cascalho e areia encontram-se amalgamadas. A estruturação interna é constituída principalmente de imbricação dos seixos de gradação normal.

No restante da área, esta porção distal dos leques encontra-se encoberta pelos demais depósitos quaternários, presentes na faixa costeira. A leitura dos perfis litológicos das sondagens executadas pela CPRM para pesquisa de carvão nesta porção (furos de sigla AR e ARA) permitiu constatar-se que estes depósitos se estendem pelo menos até a faixa costeira. A Figura 40 mostra que nesta porção distal a espessura destes depósitos raramente ultrapassa 20m, como se constatou no perfil litológico do poço tubular PT 02 AR (UTM E646400 x 6.797.700N), que apresentou 25m de cascalho e uma cobertura de 40m de areia.

Figura 40: Seção litofaciológica Jacinto Machado-Maracajá (ver plantas referenciadas no volume I A).

O perfil do furo AR 28 (Figura 40), demonstra que neste local ocorrem três intervalos de cascalho, separados por camadas essencialmente arenosas. O ciclo mais antigo possui 2m de espessura e encontra-se a uma profundidade de 30m; o ciclo intermediário posiciona-se 3m acima do mais antigo e possui 7m de espessura; o mais jovem dos três situa-se 5m acima do intermediário e possui espessura de 1,50m. O perfil litológico do furo AR 29 (Figura 40), apresenta a maior espessura destes depósitos rudáceos nesta porção distal do leque. O ciclo mais antigo possui 22,50m de espessura e encontra-se a uma profundidade de 42m; e o ciclo mais jovem posiciona-se a 8m estratigraficamente acima do mais antigo e possui 14,50m de espessura. A soma dos dois intervalos de depósitos rudáceos indica que neste local o leque distal possui 37m de espessura, sugerindo que este local corresponda a um vale inciso que deve se estender através da plataforma continental. FONTANA (1994) em seu trabalho de mestrado, identificou, através da interpretação de dados geofísicos, vários vales incisos neste trecho da plataforma continental.

Pelo fato de que grande parte desta porção distal do leque se encontra encoberta e também porque a maior parte das informações foi buscada em perfis litológicos e não em afloramentos, não se abordará os tipos de depósitos resultantes nem o tamanho dos clastos.

Do ponto de vista hidrogeológico, da mesma forma que a porção proximal, esta porção distal do leque apresenta boas características para a exploração de água.

### 5.3.2 Sistema Laguna-Barreira III

Este sistema instalou-se sobre os depósitos continentais, retrabalhando-os no decorrer dos ciclos de transgressão e regressão marinha resultantes das oscilações de nível do mar que caracterizaram o Quaternário (MARTINS, *et al.*, 1988). Pelo menos em dois momentos, Pleistoceno Superior (Sistema Laguna-Barreira III) e Holoceno (Sistema Laguna-Barreira IV), ele esteve constituído de três subsistemas perfeitamente individualizados: o subsistema barreira, o subsistema laguna e o subsistema canal de interligação.

Procurou-se, nesta tese, manter a designação dos depósitos pertencentes a este sistema de acordo com a proposição apresentada por CARUSO (1995 e 1997) e mantida no trabalho de SILVA; LEITES (2002), com algumas modificações.

CARUSO (1995) correlaciona estes depósitos àqueles designados na Província Costeira do Rio Grande do Sul por VILLWOCK, *et al.* (1986), ou aos da Transgressão Cananéia, assim denominados por SUGUIO; MARTIN (1987), na costa paulista, e que também são similares aos da Penúltima Transgressão, considerados por BITTENCOURT, *et al.* (1978), na costa nordeste do Brasil. De acordo com os autores referidos acima estes depósitos estão geneticamente, relacionados ao último evento transgressivo marinho ocorrido no Pleistoceno, há mais ou menos 120.000 anos.

Os trabalhos de campo realizados para este estudo permitiram verificar-se que nesta bacia hidrográfica este Laguna Barreira III está representado por Depósitos Marinhos com Retrabalramento Eólico, Depósitos Flúvio- Lagunares com Retrabalamento Eólico e Depósitos Paludiais.

#### 5.3.2.1 Depósitos praias marinhos e eólicos e de retrabalamento eólico

O Mapa geológico, Anexo 1, mostra que estes depósitos ocorrem de maneira contínua ao longo da bacia do rio dos Porcos, onde a limitam, estando presentes também nas proximidades da cidade de Maracajá, onde evidenciam a geometria de antigos cordões litorâneos. Estão presentes também nas proximidades da cidade de Araranguá, onde constituem um grande terraço. Do ponto de vista genético, são interpretados como sendo de origem praias e marinho raso, recobertos por areias eólicas.

Os cordões litorâneos se formam à medida que o mar avança ou recua. Se verificarmos as fotografias aéreas escala 1:40.000, datadas de 2002, percebe-se que os antigos cordões litorâneos que ocorrem nas proximidades de Maracajá, como mostra o Mapa Geológico, Anexo 1, apresentam forma alongada, com comprimento bem maior que a largura. A geometria deste depósito indica tratar-se de depósitos de areias litorâneas regressivas. A disposição destes cordões junto a uma planície sugere tratar-se de pequenos cordões de *cheniers*, de acordo com a definição de PRICE (1963).

No vale do rio dos Porcos e nas proximidades de Araranguá, estes depósitos fazem parte da grande barreira que é bordejada por depósitos lagunares os quais separavam esta barreira do continente.

Do ponto de vista litológico, são compostos por areias bem classificadas, quartzosas, de finas até muito finas, de coloração amarela-clara até acastanhada.

Com o objetivo de definir-se a composição e as classes modais destas areias, foi coletada uma amostra do terraço posicionado no vale do rio dos Porcos e encaminhada para ensaios granulométricos no Laboratório de Mecânica dos Solos da UNESC. O laudo de análise n. 001/03 mostra que estas areias possuem 94% de areia fina, 3% de silte e 3% de argila.

Os sedimentos eólicos presentes nestes terraços são constituídos de areias quartzosas, finas a muito finas, de coloração amarelo-acastanhada até avermelhada. Ao longo da rodovia de acesso à praia do Rincão, nas proximidades desta bacia hidrográfica, pode-se verificar bons afloramentos de areias eólicas na porção superior destes terraços. São areias médias bimodais, com estratificação cruzada acanalada de grande porte, muitas vezes enriquecidas em matriz secundária composta por argilas e óxido de ferro. Estas estruturas encontram-se mascaradas pelos processos de intemperismo. Verificou-se que este depósito arenoso já apresenta um avançado processo de pedogênese, originando solos tipo podzólico vermelho-amarelo e, subordinadamente, solos tipo areias quartzosas (Figura 41).



Figura 41: Ao fundo terraço marinho pertencente ao Sistema Laguna Barreira III. Em primeiro plano cordão litorâneo atual. Ao centro Lagoa Mãe Luzia. Local: Barra Velha.



Em duas extrações de areia existentes nas proximidades da cidade de Araranguá, pode-se constatar que as estruturas sedimentares presentes nestes terraços marinhos foram estratificação cruzada plana, marcas onduladas, hummocky. CARUSO (1997) descreve ainda estruturas tipo espinha de peixe e tubos fósseis de *callichirus major*.

#### 5.3.2.2 Depósitos flúvio-lagunares com retrabalhamento eólico

Como foi dito, estes depósitos estão sendo propostos pela primeira vez. O motivo de tal proposição deve-se ao fato de que os trabalhos de campo desenvolvidos durante a elaboração desta tese evidenciaram que nesta bacia não aflora nenhum depósito com características exclusivas de um ambiente lagunar como ocorre com frequência na bacia do rio Tubarão. Verificou-se, isto sim, que nesta bacia hidrográfica existem porções cuja geometria evidencia que no passado constituíam parte de uma grande laguna que cobria parte do litoral sul catarinense, citada por vários autores, tal como foi amplamente comentado na descrição dos Depósitos Cenozóicos. As sondagens executadas para a pesquisa de argila nos municípios de Maracajá e Araranguá demonstram que os depósitos argilosos desta porção apresentam espessura média de 10m e fácies características de um sistema fluvial relacionado a depósitos de transbordamento. Desta forma, os depósitos lagunares típicos devem se encontrar a profundidades superiores a 10m. No caso das sondagens executadas na planície do rio dos Porcos, verificou-se que normalmente estes depósitos lamosos que podem corresponder a depósitos de fundo lagunar estão cobertos por depósitos arenosos oriundos dos terraços marinhos por ação eólica.

Sabe-se que nestes ambientes flúvio-lagunares ocorre um conjunto complexo de fácies fluviais, lagunares e de outros ambientes laterais associados que se interdigitam e/ou transicionam entre si.

A porção superficial deste pacote está relacionada à sedimentação aluvial dos rios, proveniente das terras altas situadas a oeste-noroeste, que em seus baixos cursos meandram ao drenar a planície costeira. Associados a esta sedimentação aluvial ocorrem depósitos de transbordamento, diques marginais (*levee*) e rompimento de diques marginais (*crevasse splay*). Este conjunto complexo de feições encontra-se bem representado na planície do rio Araranguá, nas proximidades da cidade homônima. Também ocorre no baixo curso dos rios Mãe

Luzia e Itoupava.

Constatou-se também que dentro do domínio destes depósitos, ao longo da planície do rio dos Porcos, ocorrem pequenas elevações arenosas que devem corresponder a paleodunas de origem eólica, a exemplo do que se verifica atualmente. Do ponto de vista litofaciológico, ocorrem camadas com espessura de alguns metros, essencialmente argilosas, de cor cinza-escura ou com cores variegadas, em tons amarelo-avermelhado.

Geralmente apresentam plasticidade média à alta. Intercalam-se camadas areno-argilosas ou arenosas de cores mais claras. A estrutura sedimentar mais freqüente é a laminação plano-paralela, evidenciada pela alternância de tonalidades. São considerados como de origem fluvial, relacionados a processos de transbordamento.

Na planície do rio dos Porcos, verificou-se que na porção superior ocorrem depósitos arenosos, constituídos de areias finas a médias, cor cinza-clara. Estes depósitos são pouco espessos, raramente ultrapassando 1m. A origem destes depósitos deve estar relacionada à ação eólica sobre as barreiras litorâneas anteriormente comentadas. Abaixo ocorre um espesso pacote de material argiloso com cores variegadas, explotado pelos oleiros de Içara para a fabricação de tijolos e telhas. A estes depósitos é atribuída origem fluvial relacionada a processos de transbordamento. Abaixo deste intervalo estratigráfico, ocorrem argilas escuras, com restos de matéria orgânica, que podem corresponder aos depósitos de fundo lagunar.

A interpretação das fotos aéreas 1:20.000, datadas de 2002, evidenciam que junto à margem direita do baixo curso do rio Itoupava e do rio Araranguá, a partir da confluência do rio Mãe Luzia até a cidade homônima, ocorre uma pequena e estreita elevação junto às margens direita dos referidos rios. Observações de campo indicam que tais elevações correspondem a depósitos de diques marginais. Esta afirmação é embasada no conjunto de estruturas sedimentares verificadas em afloramentos estudados neste trecho. Constata-se que bem junto à margem ocorrem areias médias com grânulos e à medida que se afasta da margem ocorrem sedimentos com granulometria silte e argila, evidenciando uma gradação inversa a partir da margem. Sabe-se que tais estruturas são um diagnóstico de depósitos de *levee*.

### 5.3.2.3 Depósitos paludiais

Os depósitos paludiais do Sistema Laguna-Barreira III englobam turfeiras, pântanos e alagadiços, sendo constituídos de turfas ou depósitos de lama muito ricos em matéria orgânica. Sua origem está associada ao processo natural de colmatação de corpos aquosos costeiros, progressivamente vegetados à medida que suas lâminas d'água diminuem. Este processo está muito bem representado na bacia do rio dos Porcos.

Na área da bacia do rio Araranguá, estes depósitos foram identificados em uma turfeira que ocorre na bacia do rio dos Porcos, dentro do domínio dos depósitos flúvio-lagunares com retrabalhamento eólico, como mostra o Mapa Geológico, Anexo 1.

Do ponto de vista litológico, trata-se de depósitos de turfa, intercalados com argilas ricas em matéria orgânica. Sondagens realizadas na turfeira evidenciaram que este depósito possui espessura superior a 3m. Abaixo do intervalo de turfa, ocorre um espesso pacote de argila preta, rica em matéria orgânica, com forte odor de enxofre.

### 5.3.3 Sistema Laguna-Barreira IV

De acordo com CARUSO (1995), o sistema deposicional Laguna-Barreira IV desenvolveu-se na região costeira durante o Holoceno, relacionado, em parte, aos depósitos correspondentes à Barreira III. Assim, os depósitos deste sistema podem ser correlacionados aos da Transgressão Santos (SUGUIO; MARTIN, 1987), da costa paulista, ou aos da Última Transgressão (BITTENCOURT, *et al.*, 1978), na região costeira do nordeste. Segundo o referido autor, são similares aos depósitos do Sistema Laguna-Barreira IV, da costa sul-rio-grandense, onde assim foram denominados por VILLWOCK, *et al.* (1986).

Aquele autor admite que este sistema está relacionado à última fase transgressiva pós-glacial, que atingiu seu apogeu há cerca de 5.150 anos. Este evento possibilitou a formação de uma barreira arenosa próxima à antiga planície costeira e a ingressão marinha pelos vales anteriormente escavados nesta planície, restabelecendo o sistema lagunar que, acompanhando a posterior progradação da barreira, evoluiu para um complexo de ambientes deposicionais.

Na bacia do rio Araranguá, identificaram-se Depósitos Marinheiros e Eólicos e de Retrabalimento Eólico e Depósitos Lagunares com Retrabalimento Eólico.

#### 5.3.3.1 Depósitos lagunares com retrabalimento eólico

Correspondem a uma estreita faixa alongada, paralela à linha de costa, que ocorre na localidade de Barra Velha e Lagoa Mãe Luzia.

Os trabalhos de campo ali executados indicaram que nas proximidades de Barra Velha ocorre uma estreita planície lagunar, totalmente colmatada por depósitos eólicos. O laudo de análise granulométrica (laudo 003/03) mostra que este depósito arenoso é constituído de 92% de areia fina e 8% de silte.

Devido à pequena profundidade do lençol freático, as areias estão sendo rapidamente fixadas nesta área pantanosa. Constatou-se, outrossim, que esta área está sendo rapidamente revegetada. Sondagens a trado realizadas neste local indicaram que as fácies arenosas de cobertura possuem espessuras inferiores a 40cm. Abaixo ocorre uma complexa intercalação de fácies arenosas e lamosas até uma profundidade de 3m. A partir desta profundidade, predominam totalmente as fácies lamosas do ambiente lagunar. Cabe ressaltar-se que em nenhuma sondagem realizada foi encontrado nível bem definido de conchas. Encontrou-se, isto sim, fragmentos de conchas em meio às fácies lamosas e arenosas.

Nas proximidades da Lagoa Mãe Luzia, ocorrem depósitos de lama escura, muito rica em matéria orgânica, incluídas neste depósito.

#### 5.3.3.2 Depósitos praias marinheiros e eólicos com retrabalimento eólico

O Mapa Geológico, Anexo 1, mostra que estes depósitos correspondem aos atuais cordões litorâneos e depósitos de dunas livres que ocorrem junto à atual linha de costa.

Os depósitos praias marinheiros são constituídos de areias quartzosas, finas a muito finas, bem selecionadas, com estratificação plano-paralela e suaves mergulhos em direção ao mar.

Os depósitos eólicos são compostos por areias quartzosas, finas a muito finas, bimodais, de coloração esbranquiçada, que se apresentam na forma de dunas, podendo ser classificadas como dunas vegetadas (fixadas por vegetação) ou dunas livres.

O laudo de análise granulométrica (laudo 001/03) mostrou que 96% são constituídos de areia fina, 2% de silte, e 2% de argila.

As dunas livres geralmente aparecem transgredindo um pequeno baixio de lama existente entre a barreira do Sistema Laguna-Barreira III e os cordões litorâneos atuais que constituem os depósitos marinhos com retrabalhamento eólico do Sistema Laguna Barreira IV. A contínua atuação do vento NE causa a migração deste campo de dunas livres sobre esta área baixa, ocasionando a cobertura total desta antiga área pantanosa. Como resultado, nestas áreas baixas formam-se planícies arenosas. A Figura 42 ilustra a migração destas dunas livres em resposta a um regime de ventos provenientes de NE.



Figura 42: Ilustra a colmatção deste baixio de lama pela migração destas dunas livres. Local: Barra Velha, Município de Araranguá.

Observando-se a porção correspondente à foz do rio Araranguá de cima do Morro dos Conventos, pode-se verificar diferentes tipos de dunas que, de acordo com a terminologia utilizada por MCKEE (1979), podem ser classificadas como dunas barcanas, cadeias barcanóides e dunas transversas, que migram de NE para SW, isto é, em direção ao continente.

#### 5.3.4 Depósitos aluviais atuais

Os trabalhos de campo realizados nesta área permitiram verificar-se que ocorrem ali diferentes tipos de depósitos aluviais, geneticamente relacionados à natureza de sua área-fonte.

Na porção oeste-noroeste, onde se posiciona a encosta do platô gonduânico, os vales são encaixados e têm gradientes acentuados. Nesta porção, os depósitos aluviais são pouco expressivos e se constituem, geralmente, de depósitos conglomeráticos ou areno-conglomeráticos que se concentram nas calhas dos cursos d'água, formando barras transversais ou longitudinais e barras em pontal.

Na porção situada entre as cidades de Criciúma, Nova Veneza e Siderópolis, onde os vales são mais abertos e afloram rochas pelíticas nas encostas dos morros, os depósitos aluviais resultantes são mais expressivos e predominantemente argilosos ou areno-siltico-argilosos. O material geralmente apresenta plasticidade média e cores variegadas, principalmente em tons cinza-amarelado.

A partir da cidade de Forquilha, para oeste, as rochas gonduânicas que ocorrem no fundo dos vales estão, em geral, capeadas pelos depósitos de leques aluviais.

#### 5.4 Aspectos Estruturais

Do ponto de vista hidrogeológico, os aspectos estruturais são parâmetros indispensáveis à determinação de estruturas aquíferas. Sabe-se que a capacidade de armazenamento e de transmissão de água subterrânea em rochas cristalinas está diretamente relacionada à existência de sistemas de juntas, fraturas ou falhas na rocha. Nos aquíferos do tipo poroso, a presença de zonas de falha pode contribuir substancialmente para uma melhor recarga, ampliando a vazão dos poços.

No caso da porção correspondente à bacia carbonífera, onde, no ano de 2000 foi criado o Comitê Gestor para a Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina e a partir do qual foram estabelecidos vários projetos de recuperação ambiental, a identificação e caracterização das unidades geológicas, falhas, fraturas, diques e blocos basculados constitui uma ferramenta fundamental para a definição de medidas mitigadoras bem como para a elaboração de projetos executivos que visem à recuperação ambiental da referida área. Por outro lado, o

Comitê da Bacia do Rio Araranguá está atualmente se preparando para implantar seu Plano de Bacia, a exemplo do que recentemente ocorreu na Bacia do rio Tubarão. Dentre os principais objetivos deste Plano de Bacia inclui-se a gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Por este motivo, procurar-se-á, ao longo desta tese, enfatizar os aspectos estruturais não só para se avaliar a potencialidade aquífera dos diferentes tipos de rochas ou depósitos de sedimentos presentes na área desta bacia hidrográfica, mas também para que se possa utilizar estas informações como subsídio de futuros projetos de recuperação ambiental ou programas de gestão dos recursos hídricos.

Desta forma, para efeito de caracterização estrutural, a área da bacia do rio Araranguá será abordada em três porções distintas, a saber:

- Área correspondente à bacia carbonífera;
- Área costeira, situada entre a BR -101 e o litoral;
- Área central e oeste da bacia do rio Araranguá.

#### 5.4.1 Área correspondente à bacia carbonífera

As principais feições estruturais presentes nesta porção são as falhas. Muitas destas falhas encaixam diques de diabásio que seccionam as rochas sedimentares gondwânicas. Ocorrem também *sills* de diabásio, relacionados a falhas regionais que sustentam a topografia em vários locais da bacia carbonífera.

A leitura de mapas de contorno estrutural da lapa das camadas de carvão bem como verificações realizadas em subsolo indicam que ocorrem também dobras abertas, geralmente controladas por falhas.

Verificações realizadas em minas de subsolo no município de Siderópolis (Mina do Trevo), município de Treviso (Mina Esperança), município de Forquilha (Mina Verdinho e Mina 3) e no município de Criciúma (Mina Santa Augusta) mostram que geralmente junto aos planos de falhas são comuns pequenos *drags*, *sliken sides* e *sliken lines*, os quais indicam o movimento relativo dos blocos. Mostraram também que muitas falhas possuem rejeitos verticais expressivos (> 20m) e, em alguns locais, encaixam espessos diques de diabásio (> 5m).

Para o estudo estrutural realizou-se primeiramente uma criteriosa fotointerpretação. Para esta atividade utilizaram-se fotografias aéreas em branco e preto, escala 1: 25.000 e 1: 60.000, datadas de 1965/66 e realizadas pela

SUDESUL; fotos em branco e preto, datadas de 1976/78, realizadas pelos Serviços Aéreos e Fotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A., disponíveis na CPRM/PA; e fotografias aéreas coloridas, escala 1:40.000 e 1:20.000, realizadas pela Aeroimagem Fotogrametria S.A., em março de 2002, disponíveis no SIECESC. A interpretação das referidas fotos demonstrou que as principais direções de falhamento são  $N5^{\circ}-30^{\circ}W$  e  $N45^{\circ}-75^{\circ}E$ . Subordinadamente ocorrem falhas com direção próxima de N-S,  $N30^{\circ}-45^{\circ}E$ , ou próxima de E-W. No próximo item deste capítulo serão abordadas com maior detalhe essas direções de falhamento.

As imagens do satélite LANDSAT-TM nos diversos canais de escala 1:100.000 e escala 1:250.000, obtidas em diferentes datas, disponíveis na CPRM, demonstram que estes sistemas principais de falha se interceptam com os demais e conferem à área uma forma de mosaico irregular. Demonstram também que o sistema  $N5^{\circ}-30^{\circ}W$  se prolonga por grande distância (dezenas de km) e encaixa trechos do rio Mãe Luzia e do rio São Bento. A geometria da zona de falha, verificada nas imagens, indica um traçado sinuoso para os grandes falhamentos de todos os sistemas citados. As falhas menores que 5 km, principalmente aquelas pertencentes aos sistemas  $N45^{\circ}E$ , próximas de N-S e de E-W, apresentam geralmente um traçado reto.

Ainda com relação à geometria da zona de falhas, estudos de detalhes realizados em subsolo bem como a interpretação das fotos aéreas 1:25.000 demonstram que as principais falhas identificadas na bacia carbonífera, tais como Falha Mãe Luzia, Falha Nova Veneza, Falha Criciúma e outras sem denominação específica, como aquela que passa junto ao Morro São Pedro, no município de Treviso, são na verdade constituídas de uma falha principal e de várias falhas secundárias que fazem um ângulo de cerca de  $15^{\circ}$  com a principal. Quando estas falhas secundárias partem do mesmo ponto com relação à falha principal, elas guardam um ângulo de  $15^{\circ}$  entre si, como se pode verificar na falha N-S que ocorre a noroeste de Nova Veneza, Figura 43. Este arranjo estrutural indica que se trata de falhas lítricas, unidas em profundidade.

A referida figura mostra o local onde foi realizado o furo PTN-03, que teve por objetivo a prospecção de água para a futura USITESC. A parte esquerda desta figura corresponde ao que está representado no Mapa Geológico (Anexo 1) e a parte direita, à fotografia aérea escala 1:25.000.



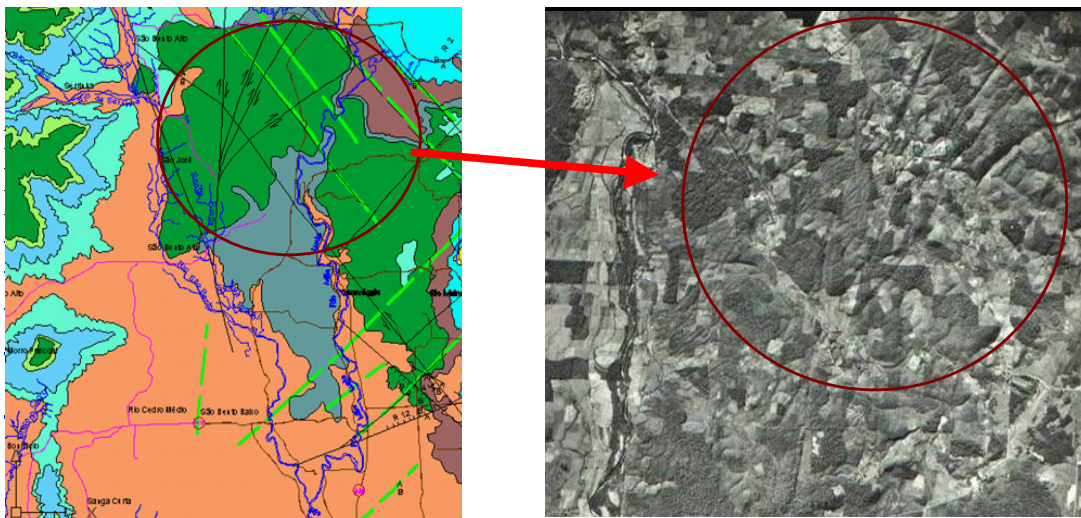


Figura 43: Comportamento estrutural da Falha Norte-Sul a noroeste da cidade de Nova Venéza (à esq.). A direita, detalhe na fotografia aérea na escala 1:25.000 de 1978.

Estudos de subsolo realizados na Mina Santa Augusta junto à Falha Criciúma permitiram verificar-se existência de quatro falhas secundárias, as quais constituem pequenos blocos em forma de cunha que afundam para sudeste. Esta conformação evidencia que este conjunto de falhas, conhecido como Falha Criciúma, constitui uma estrutura tipo hemiflor negativa. Fato semelhante ocorre na Mina União, onde a leitura do mapa de contorno estrutural da lapa da camada de carvão Barro Branco mostra que a Falha Nova Venéza possui um rejeito vertical de 34m e também pequenas falhas secundárias que provocam o afundamento gradativo dos blocos para o quadrante SW. A presença de estruturas tipo hemiflor negativa caracterizam áreas com esforços distensionais. Do ponto de vista hidrogeológico, este fato é muito importante porque indica áreas com falhas abertas e, conseqüentemente, com boas perspectivas aquíferas. O referido mapa mostra também que nesta mina ocorre a interseção da Falha Nova Venéza com a Falha Criciúma. A interseção das referidas falhas resultou um bloco em forma de cunha situado para W, com maior afundamento à medida que se aproxima da interseção das duas falhas, como mostra o Mapa Geológico, Anexo 1.

#### 5.4.1.1 Sistema $N5^{\circ}-30^{\circ}W$

A imagem de radar correspondente a Folha Criciúma – SH.22-X-B (Mi530) do PROJETO RADAMBRASIL, na escala 1:250.000, mostra que existe um falhamento

N 30° W seccionando diagonalmente toda a área estudada, passando logo ao norte de Siderópolis, estendendo-se para noroeste, sendo seu traço perfeitamente visível por uma distância superior a 50 km, já no domínio das rochas basálticas, fora dos limites superficiais desta bacia hidrográfica, mas com influência para nosso estudo.

A análise dos mapas de controle de lavra em subsuperfície e a correlação dos perfis litológicos dos furos de sonda mostram que as falhas do sistema N5<sup>0</sup>-30<sup>0</sup>W possuem rejeitos verticais expressivos, alcançando, em alguns casos, mais de 30m, como aquela que passa próxima ao Morro São Pedro, no município de Treviso, a Falha Nova Veneza que passa junto à cidade homônima, a qual na área da Mina União possui 34m de rejeito vertical, e a Falha Mãe Luzia, que na Mina Verdinho, no município de Forquilha, possui um rejeito vertical de 30 metros.

Na porção norte da bacia, como mostra o Mapa Geológico, Anexo 1, relacionadas a este sistema de falhas, ocorrem calhas estruturais extensas, como aquela existente nas proximidades de Treviso. Do ponto de vista hidrogeológico, sabe-se que tais estruturas podem atuar como áreas de descarga das águas subterrâneas para os sistemas aquíferos relacionados às formações Rio Bonito e Rio do Sul.

A correlação dos perfis litológicos dos furos de sonda realizados pela CPRM (furos de sigla FO, EP e FT) e pela Carbonífera Metropolitana permite concluir-se que no trecho compreendido entre a cidade de Treviso e a localidade de Forquilha, situada aproximadamente 4 km ao norte, ocorre um alto do embasamento. A análise faciológica realizada nos furos PTR - 01, PTR – 02 e PTR – 03, executados em 2003 pela Carbonífera Criciúma para prospecção de água para a futura USITESC, permitiu verificar-se que os dois primeiros furos foram executados sobre este alto estrutural e o PTR – 03 já se posiciona na encosta ou na base deste alto. Constatou-se também que este alto do embasamento é controlado por uma extensa falha deste sistema N5<sup>0</sup>-30<sup>0</sup>W (Figura 15). A Figura 44 ilustra a correlação litofaciológica entre os perfis dos furos acima referidos.

Figura 44: Seção litofaciológica entre os furos PTR-01, PTR-02 e PTR-03. Local: Vale do Rio Ferreira junto à cidade de Treviso (ver plantas referenciadas no volume I A).

Este alto estrutural pode ser confirmado verificando-se a geologia do entorno da Mina Esperança. Na estrada de acesso às dependências da referida mina, afloram arenitos que constituem o intervalo estratigráfico correspondente à cobertura da camada de Carvão Irapuá (Figura 21), abaixo, portanto, do intervalo estratigráfico da camada de carvão Barro Branco. Ao se descer no plano inclinado da referida mina, pode-se perceber que ao longo do plano ocorrem freqüentes variações verticais de fácies e na base do plano, a uma profundidade de 120m, ocorre a camada de carvão Barro Branco, com forte mergulho para sudoeste. Este condicionamento evidencia que a camada Barro Branco foi preservada por estar depositada em uma calha estrutural e que no bloco alto, situado a nordeste (acesso à mina), ela foi erodida ou não depositada.

Esta calha estrutural, com largura de 2 km e extensão mínima de 8 km, foi estudada em detalhe por ocasião da perfuração do poço tubular profundo realizado na localidade de São Pedro para a definição da potencialidade aquífera da referida área. Correlacionando-se o perfil litológico do referido poço tubular com o perfil litológico do furo PTR-03, pode-se admitir que ambos se posicionam dentro da calha estrutural, sendo que o local correspondente ao poço tubular (localidade de São Pedro) situa-se no centro da referida calha, onde as espessuras de sedimentos são maiores. Este fato é confirmado pela leitura da seção geológica (Figura 45), executada perpendicularmente a esta calha na localidade de São Pedro. A referida seção mostra que onde foi construído o poço tubular a espessura da formação Rio do Sul é muito superior à espessura desta mesma formação no local do furo PTR - 03, o qual foi aprofundado até o embasamento.

Figura 45: Seção geológica na localidade de São Pedro (ver plantas referenciadas no volume I A).

Este condicionamento tectono-sedimentar, com a presença de um alto do embasamento ao lado de uma calha estrutural controlada por falhas, e onde se observa uma rápida variação lateral e vertical de fácies nas litologias que compõem a Formação Rio do Sul, permite admitir-se que este sistema de falha N5°-30° W o qual condiciona esta calha estrutural era atuante e já estava implantado por ocasião da deposição da Formação Rio do Sul.

A análise dos perfis litológicos dos furos de sonda de sigla PB, executados na área da bacia do Araranguá e aprofundados até o embasamento (furos PB-6, PB-8, PB-9, PB-13, PB-15, PB-18, PB-19), com o perfil litológico do poço tubular executado na localidade de São Pedro, permite a conclusão de que é nesta calha estrutural noroeste que a Formação Rio do Sul apresenta maior espessura. Todas estas características geológicas e estruturais indicavam que o centro desta calha na qual foi construído o poço tubular era um local favorável para a exploração de água.

No capítulo referente à hidrogeologia, abordar-se-á com detalhe o resultado a que se chegou com a execução do referido poço.

KREBS, *et al.* (1982), através da correlação dos perfis litológicos dos furos realizados na área da Mina B (furos de sigla MB), constatou a existência de uma pequena calha tectônica, orientada segundo N30° W, que passa junto aos furos MB-2, 10, 17 e 18. A análise das fotos aéreas 1:25.000 mostra que a referida calha é limitada por duas falhas de orientação N30° W. ° W, a qual passa junto aos furos MB-2, 10, 17 e 18. Esta calha também constitui uma boa estrutura aquífera.

Do ponto de vista hidrogeológico, este sistema N5°-30° W é muito importante porque vários diques de diabásio identificados durante as visitas às minas de carvão de subsolo estão encaixados em falhas deste sistema, sugerindo tratar-se de um sistema de falha aberto. No município de Forquilha, o rio Mãe Luzia tem seu curso controlado por este sistema de falhas.

PUTZER (1952) atribui rejeito vertical para a Falha Mãe Luzia da ordem de 80 a 130m. Porém, os trabalhos de campo, visitas a minas de subsolo bem como correlações realizadas a partir dos perfis litológicos dos furos de sonda, efetuados ao longo da elaboração desta Tese de Doutorado, permitiram verificar-se que, na verdade, o rejeito desta falha é bem menor e que localmente ele praticamente não existe, como acontece no alto curso do rio Mãe Luzia, nas proximidades da Mina Esperança, sugerindo que esta falha tenha um comportamento de falha em tesoura. O rejeito máximo é da ordem de 50m e corresponde ao somatório de rejeitos de

várias falhas secundárias pertencentes a este sistema.

#### 5.4.1.2 Sistema N60<sup>0</sup>-75<sup>0</sup>E

O sistema N60<sup>0</sup>-75<sup>0</sup>E também é muito importante nesta porção correspondente à bacia carbonífera e está presente desde o alto curso do rio Mãe Luzia, como ocorre junto à cidade de Treviso, onde uma falha deste sistema controla o curso do rio Ferreira. As fotografias aéreas escala 1:40.000, datadas de 2000, bem como imagens do satélite LANDSAT-TM, datadas de 2002, mostram que esta falha pode ser acompanhada desde a localidade de São Bento Alto até a localidade de Rio Queimado, já fora da área da bacia do Rio Araranguá. A interpretação das referidas fotos e imagens, correlação dos perfis litológicos dos furos de sonda executados para a pesquisa de carvão, bem como a leitura dos mapas de controle de lavra em subsolo permitiram concluir-se que este sistema é mais jovem que o sistema N5<sup>0</sup>-30<sup>0</sup>W. A interseção destes dois sistemas, nas proximidades da cidade de Treviso, originou uma pequena calha estrutural orientada segundo N45<sup>0</sup>-75<sup>0</sup>E, como pode ser confirmado no Mapa Geológico (Anexo 1). Estas falhas geralmente possuem rejeitos significativos e nas proximidades da referida cidade colocam lado a lado áreas onde a camada de carvão Barro Branco foi minerada a céu aberto e áreas onde a mesma camada foi minerada em profundidades superiores a 60m, indicando rejeitos verticais para estas falhas superiores a 40m.

Ao sul da Mina do Trevo, em Siderópolis, as fotografias aéreas e verificações de campo executadas durante este estudo, evidenciaram que no *sill* de diabásio que sustenta a topografia neste local ocorre um sistema de fraturas paralelo ao sistema N60<sup>0</sup>-75<sup>0</sup>E.

No município de Criciúma, este sistema está muito bem impresso. Nesta porção da Bacia Carbonífera ocorre a denominada Falha Criciúma. Esta falha é muito importante do ponto de vista da mineração porque controla várias unidades mineiras no referido município. A leitura do mapa de controle de lavra em subsolo da antiga Mina União mostra que próximo à interseção desta falha com a denominada Falha Nova Veneza, pertencente ao sistema N5<sup>0</sup>-30<sup>0</sup>W, a Falha Criciúma apresenta um rejeito vertical de 26m, com bloco abatido situado para o quadrante NW. Ao longo da mesma falha, a uma distância de 4km deste local, praticamente junto à confluência do rio Criciúma com o rio Sangão, verificações realizadas em subsolo na Mina Santa Augusta indicaram que esta falha possui um rejeito vertical de 20m e o

bloco abatido se posiciona para SE, portanto, ao contrário do ponto anterior. Estas verificações de subsolo mostraram também que neste local esta falha é constituída de uma falha principal e de três falhas secundárias e que o rejeito de 20m corresponde à soma do rejeito de todas estas falhas. A leitura das imagens do satélite LANDSAT-TM, datadas de 2002, mostra que esta falha na verdade corresponde a um importante lineamento estrutural que se bifurca em dois ao norte da cidade de Forquilha, onde exerce forte controle estrutural no leito dos rios Sangão e Mãe Luzia, como pode ser verificado no Mapa Geológico (Anexo 1).

#### 5.4.1.3 Sistema N-S-N20°E

O sistema de falhas com direção próxima de N-S, como pode ser verificado no Mapa Geológico, é muito importante nesta porção da bacia carbonífera porque possui algumas falhas que se estendem por vários quilômetros e, geralmente, encaixam diques de diabásio, como a que ocorre junto ao rio Mãe Luzia, no município de Forquilha, e na porção correspondente à Mina Esperança, no município de Treviso.

Nas proximidades da cidade de Criciúma, os trabalhos de campo e análises de mapas de controle de lavra em subsuperfície permitiram a identificação de várias falhas N20° E que, geralmente, encaixam diques de diabásio, como se pode verificar na área da Mina A e na área da Mina 2 (proximidades do aeroporto), em Forquilha. Este sistema é muito importante do ponto de vista hidrogeológico pelo fato destas falhas terem caráter distensional, apresentando, portanto, grande perspectiva de conterem água e atuarem como aquíferos fraturados. Além disso, sabe-se que estes diques de diabásio apresentam geralmente intenso diaclasamento devido ao rápido resfriamento. Este fato contribui também para ampliar a potencialidade aquífera da porção situada nas proximidades destas falhas.

#### 5.4.1.4 Sistema N30°-45°E

Com relação ao sistema de falhas N30°-45°E, constatou-se que o mesmo está presente ao longo de praticamente toda a porção correspondente à bacia carbonífera, na área estudada. Geralmente ocorrem a partir de uma falha maior (principal) pertencente a outro sistema. Este condicionamento sugere tratar-se de falhas sintéticas e antitéticas, originadas por ocasião da reativação do sistema



principal. Algumas falhas deste sistema, identificadas através da correlação de perfis litológicos de furos executados para pesquisa de carvão, apresentam rejeitos verticais significativos. Porém, pelo fato de serem relativamente pouco extensas, são também, geralmente, pouco visíveis em fotos aéreas, como é o caso da falha que passa próximo aos furos EP-11 e LM-05, na Mina Esperança, município de Treviso. A referida falha apresenta rejeito vertical superior a 10m e não está encaixando nenhum curso d' água nem apresenta lineamento estrutural visível em fotos. Nos municípios de Forquilha e Criciúma, verificações realizadas em subsolo nas minas Verdinho e Mina 3 bem como interpretação das fotos aéreas escala 1:25.000 permitiram a constatação de que este sistema é muito freqüente e de que localmente controla trechos do rio Sangão.

#### 5.4.1.5 Sistema N30<sup>0</sup>-45<sup>0</sup>W

O sistema N30<sup>0</sup>-45<sup>0</sup>W, da mesma forma que o sistema N30<sup>0</sup>-45<sup>0</sup>E, embora esteja presente ao longo de toda a área, constitui-se de falhas de pequena extensão, geralmente associadas a uma falha principal pertencente a outro sistema. Estudos de detalhe, realizados ao longo deste trabalho na Mina do Trevo em Siderópolis, evidenciaram que neste local as falhas deste sistema possuem caráter compressional, indicando tratar-se de falhas inversas.

A presença de falhas inversas (falhas de empurrão) nas rochas gonduânicas, já era admitida por PAIVA; DUTRA (1934). Os referidos autores identificaram a presença de formações glaciais em níveis estratigráficos superiores ao do carvão em Ribeirão Novo, no norte do Paraná, entre os km 73 e 82 da via férrea. São palavras textuais dos autores.

Como as nossas observações de campo não podem recusar o fato que o tilito, em Ribeirão Novo, está a cavaleiro do grupo assimilado ao Bonito, poder-se-á pensar na existência de uma tectônica capaz de explicar este fato, no caso de uma falha de empurrão (*overthrust*) do Itararé sobre o Bonito. Todavia não se encontrou no campo documentação irrefragável da verdade desta hipótese. (PAIVA; DUTRA, 1934)

PUTZER (1955), quando do estudo das camadas de carvão no sul de Santa Catarina, menciona a existência de falhas inversas (falhas de empurrão). O referido autor descreve falhas de empurrão na Mina Spillere, situada a oeste da cidade de Criciúma.

Sabe-se que a definição destas zonas de esforço compressional é muito

importante do ponto de vista de lavra de carvão em subsolo porque constituem zonas preferenciais para a ocorrência de caimento de teto ou soerguimento da lapa da camada de carvão.

#### 5.4.1.6 Sistema E-W

O sistema de falha E-W, embora pouco freqüente na área, é muito importante do ponto de vista hidrogeológico visto que também encaixa diques de diabásio, devendo, portanto, tratar-se de um sistema de falhas aberto. Sabe-se que o resfriamento rápido destes corpos ígneos propicia a formação de um sistema de juntas perpendiculares ao comprimento do dique, por onde geralmente ocorre grande infiltração de água. A leitura do Mapa Geológico e as observações realizadas em subsolo permitiram verificar-se que estas falhas E-W seccionam-se e, às vezes, deslocam falhas de outros sistemas, sugerindo tratar-se de um sistema de falhas mais jovem. A imagem do satélite LANDSAT – TM, datada de 2002, mostra que as grandes falhas deste sistema, ao contrário das demais, apresentam um traço relativamente reto, com exceção da falha que passa na localidade de Volta Redonda, município de Treviso, a qual se apresenta em forma de arco.

Os mapas de controle de lavra em subsuperfície mostram que na região do alto curso do rio Mãe Luzia, na área da Mina Esperança, ocorrem alguns diques de diabásio encaixados em falhas E-W os quais podem ser acompanhados por vários km. Na porção de Siderópolis, o mapa de controle de lavra da antiga Mina Siderópolis Subsolo evidencia que este sistema E-W encaixa um espesso dique de diabásio que atravessa toda a área da referida mina. Mostra também que estas falhas E-W, nesta porção da bacia carbonífera, apresentam geralmente rejeitos verticais pequenos, raramente superiores a 5m.

Com relação às intrusões de soleiras de diabásio nas rochas sedimentares gonduânicas, as informações obtidas através dos perfis litológicos indicam claramente que elas se posicionam principalmente no intervalo estratigráfico correspondente à Formação Irati e, subordinadamente, nas litologias das formações Estrada Nova e Rio Bonito. Na área estudada, no caso da Formação Rio Bonito, as intrusões ocorrem preferencialmente no intervalo correspondente à camada de carvão Bonito Inferior.

Estas intrusões formam *sills* que sustentam a topografia da região, originando morros-testemunhos. Do ponto de vista hidrogeológico, estes morros-testemunhos

são muito importantes porquanto constituem eficientes áreas de recarga para os sistemas aquíferos das formações geológicas subjacentes.

Toda a área compreendida entre a cidade da Siderópolis e o alto curso do rio Mãe Luzia limita-se a leste e a sul por um enorme morro conhecido como Montanhão, correspondente a um *sill* de diabásio que se encaixou no intervalo estratigráfico da Formação Irati e na base da Formação Estrada Nova. Este condicionamento geológico confere a esta porção da bacia carbonífera enorme importância do ponto de vista hidrogeológico, visto que grande parte da água que drena das encostas do Montanhão dirige-se para a bacia, principalmente na porção compreendida entre a cidade de Siderópolis (ao sul) e a localidade de Forquilha (ao norte), pois que nesta porção da área afloram litologias predominantemente arenosas, pertencentes à Formação Rio Bonito.

Os trabalhos de campo executados durante este estudo evidenciaram que além deste *sill* que sustenta a topografia da área citada, na porção compreendida entre os rios Jordão e Manim, no município de Siderópolis, ocorre outro *sill* que aflora somente no fundo dos vales dos referidos rios. A presença deste *sill* à baixa profundidade permitiu que a atuação do escoamento superficial e subsuperficial imprimisse à superfície do terreno uma forma de pequenos blocos em forma de losango.

Do ponto de vista de mineração, a estimativa da cobertura original a que foram efetivamente submetidas as camadas de carvão é muito importante para o planejamento da lavra em subsolo, além, é claro, da cobertura atual. Constatou-se que algumas minas de subsolo da região vêm apresentando problemas de caimentos orientados do teto (Mina Esperança) ou de soerguimento da lapa (Mina do Trevo), os quais têm sido associados à concentração de tensões horizontais direcionais POZZA; VIEIRA (2002), POZZA (2003) e ZINGANO, *et al.* (2002).

Com relação à presença de dobras, os trabalhos executados na Mina do Trevo evidenciaram a existência de uma dobra sinclinal com caimento suave do eixo para 300°. A identificação de tais estruturas dentro das minas facilita a definição dos locais para a construção de barragens para bombeamento da água de subsolo. O mapa topográfico de detalhe da lapa da camada de carvão Barro Branco, na Mina 3, no município de Forquilha, também permitiu a identificação de uma dobra sinclinal com mergulho do eixo para 160°.

Os trabalhos desenvolvidos durante a elaboração desta tese, principalmente

as observações de subsolo e correlações de perfis litológicos de furos de sonda, evidenciaram que o rejeito das falhas muitas vezes coloca lado a lado litologias arenosas e pelíticas, das formações Palermo e Rio Bonito, principalmente. Este fato também é muito importante do ponto de vista hidrogeológico porque constitui *trapps* estruturais que podem atuar como aquíferos.

A variação lateral e vertical de fácies litológicas, que ocorre principalmente na Formação Rio Bonito e Rio do Sul, também é muito importante do ponto de vista hidrogeológico porque pode constituir *trapps* estratigráficos que poderão atuar como estruturas aquíferas.

Nesta porção da bacia do Araranguá, a configuração geral dos estratos verificada na seção geológica mostra um comportamento relativamente homogêneo desde seu limite norte, no qual a lapa da camada de carvão Barro Branco aflora na cota 220m até às proximidades da BR -101, onde ocorre na cota -185m, com um desnível de 395m, por uma distância de 56Km, com um greide de 1,4%. Seu arranjo sugere uma grande estrutura em homoclinal, com gradiente de mergulho voltado para sul-sudoeste. As camadas de carvão tendem a afundar neste sentido, na mesma proporção que, em superfície, os estratos mais superiores da seqüência gonduânica tendem a ficar expostos.

#### 5.4.2 Área costeira situada entre a BR-101 e o litoral

A seção geológica N-S (Figura 30) mostra que nas proximidades da BR-101 ocorre uma nítida mudança no comportamento estrutural das rochas sedimentares gonduânicas. Mostra também que junto à cidade de Maracajá ocorre uma estrutura tipo *neck*.

Considerando-se a cota da lapa da camada de carvão Barro Branco e a correlação dos perfis dos furos de sonda executados pela CPRM e pela Carbonífera Criciúma, constata-se que existe um rejeito vertical da ordem de 100m, com bloco alto para sul, ao contrário, portanto, do que vinha normalmente ocorrendo desde o início da seção no alto curso do rio Mãe Luzia, no limite norte da bacia do rio Araranguá, como pode ser observado na referida seção geológica.

Este basculamento de blocos com rápido afundamento a partir da BR-101 em direção à linha de costa permite supor-se que o rifteamento, ocorrido no Terciário e que deu origem à Bacia Sedimentar de Pelotas, inicia-se, na área estudada,

aproximadamente na altura da BR-101, estando especificamente neste local relacionado a grandes falhas E-W e  $N45^{\circ}-60^{\circ}E$ , estas últimas paralelas à linha de costa. A leitura da Seção Geológica sugere que tais falhas constituem uma grande estrutura tipo hemiflor negativa que tem continuidade na plataforma continental.

A leitura do mapa de contorno estrutural da lapa da camada de carvão Barro Branco (ABORRAGE; LOPES, 1986 e KREBS, 1984) bem como a correlação dos perfis litológicos de furos executados para pesquisa de carvão indicam que nesta região costeira existem várias falhas  $N45^{\circ}-60^{\circ}E$ , aproximadamente paralelas à linha de costa, que provocam um basculamento de blocos com afundamento das camadas geológicas à medida que se aproximam do litoral.

O mapa de contorno estrutural da lapa da camada de carvão Barro Branco (KREBS, 1984), na porção situada entre Morro dos Conventos e Arroio do Silva, mostra três falhas paralelas orientadas  $N45^{\circ}E$ , com rejeitos verticais da ordem de 50 m, que provocam o basculamento de blocos, com abatimento do bloco sudeste.

A primeira destas falhas passa ao sul da cidade de Araranguá, tendo sido identificada pelos furos ARA-7; 13; 36; 25 e 38. A segunda passa ao sul da Lagoa da Serra. Seu prolongamento para noroeste parece controlar as lagoas Faxinal e dos Esteves. Foi identificada pela interpretação da cota da lapa das camadas de carvão dos furos ARA-42; 3; 26; 21; 30 e 19. A terceira e última delas passa junto à região litorânea e foi identificada pela interpretação dos furos ARA-1; 20; 2 e 8. Este sistema nordeste é seccionado por falhas  $N 30-45^{\circ}W$  de menor expressão, que conferem aos blocos um aspecto de mosaico irregular.

Sabe-se que este condicionamento é resultante de reativações de falhamentos antigos que sofreram diversas reativações em diferentes épocas geológicas (TRAININI *et al.*, 1978; KREBS *et al.*, 1990). Vários autores, tais como FÚLFARO; SUGUIO (1980), ASMUZ (1981), DIAS NETO (1986), ZALÁN *et al.* (1987 e 1990a), fazem menção a estes falhamentos  $N45^{\circ}-60^{\circ}E$  que ocorrem junto à linha de costa. ZALÁN *et al.* (1990b), QUINTAS *et al.* (1999), apresentam modelo de evolução tectônica da Bacia do Paraná.

A leitura dos mapas de contorno estrutural acima referidos sugere que as diversas lagoas costeiras estejam geneticamente relacionadas a estas falhas nordeste. FONTANA (1994) e GONÇALVES *et al.* (1979) abordam aspectos relacionados à neotectônica e à sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas até a Plataforma de Florianópolis. Sabe-se que a área da bacia do Araranguá situa-se nas

proximidades do limite norte da bacia de Pelotas. FONTANA (1994) e GONÇALVES *et al.* (1979) mostram que estas falhas nordeste provocam um basculamento de blocos, com afundamento para sul-sudeste, isto é, em direção ao centro da referida bacia.

Com relação à atuação de esforços neotectônicos nesta porção da bacia, a leitura do Mapa Geológico (Anexo 1) mostra claramente que o leito do rio Araranguá, junto à cidade homônima, sofre uma grande inflexão, provavelmente devido à reativação das duas falha N-S que dão origem à denominada falha Mãe Luzia. A geometria da base dos depósitos de leques aluviais, obtida através do tratamento com o *software* Surfer, de 56 perfis litológicos de sondagens executadas para a pesquisa de carvão e de 42 laudos técnicos de pontos de água cadastrados durante ao longo deste estudo (Figura 39), evidencia que nesta mesma porção existe um grande baixo estrutural, o qual se aprofunda até a cota -50m, bem abaixo, portanto, do atual nível do mar. A definição destas estruturas é muito importante do ponto de vista hidrogeológico, visto que é junto ou nas proximidades delas que ocorrem as maiores espessuras dos depósitos rudáceos e, conseqüentemente, onde deverão ocorrer as melhores condições para exploração de água deste sistema aquífero.

MIALL (1978b e 1981) discute os efeitos de pulsos tectônicos para a geração de depósitos sedimentares. O referido autor relata que a zona marginal de muitas bacias aluviais, particularmente em ambientes tectônicos compressionais, apresenta forte controle tectônico, com reflexo na geometria dos depósitos e tipo de acamadamento resultante. Dentro desta ótica pode-se admitir que os espessos depósitos de leque que preencheram a calha estrutural orientada segundo N60<sup>0</sup>E, que ocorre no baixo curso do rio Mãe Luzia, desde Maracajá até a confluência do referido rio com o rio Araranguá, mostrada na Figura 40, podem ter sofrido controle tectônico.

A leitura do referido mapa mostra também que antigos cordões litorâneos pertencentes aos Depósitos Laguna-Barreira III, os quais afloram nas proximidades da cidade de Maracajá, apresentam deslocamento horizontal que pode ter sido causado por reativações recentes das referidas falhas. Outrossim, a geometria do curso do Rio dos Porcos, que no seu alto curso sofre uma inversão de sentido de fluxo, permite admitir-se que para que isto ocorresse houve forte controle tectônico.

TRAININI *et al.* (1978), interpretando as imagens de satélite escala 1:100.000 da porção correspondente ao litoral norte do Rio Grande do Sul, relaciona a

processos neotectônicos a disposição de alguns depósitos quaternários.

A seção geológica (Figura 46) mostra que os estratos rochosos mergulham de nordeste para sudoeste. Se considerar-se a cota da lapa da camada de carvão Barro Branco no furo PB-25-SC, situado no alto curso do Rio dos Porcos, verifica-se que ela apresenta valor de  $-41,11\text{m}$ . No furo ARA-15-SC, situado ao sul da cidade de Araranguá e distante  $37,5\text{km}$  para sudoeste do primeiro, a cota da lapa da referida camada de carvão é de  $-427,79$ , evidenciando uma diferença de cota de  $386,68\text{m}$  entre ambos.

As verificações dos perfis litológicos dos furos executados nesta porção da bacia mostram que as intrusões de diabásio são muito mais freqüentes e mais espessas que nas demais áreas desta bacia hidrográfica. Acredita-se que este fato tenha relação com a reativação destes falhamentos nordeste que condicionam a linha de costa.

Figura 46: Seção geológica C-D – Içara – Araranguá (ver plantas referenciadas no volume I A).



#### 5.4.3 Área central e oeste da bacia do rio Araranguá

Pelo fato de grande porção desta área encontrar-se encoberta pelos depósitos de leques aluviais bem como também porque estes depósitos constituem um excelente sistema aquífero, buscou-se, nesta tese, focar os aspectos estruturais considerados mais relevantes para o estudo deste sistema aquífero.

Apesar de os depósitos de leques terem idade relativamente recente, há evidências de que também teriam sido afetados por eventos tectônicos; para a caracterização estrutural desta porção da bacia do Araranguá, além das fotografias aéreas, imagens do Satélite LANDSAT-TM, perfis litológico dos furos de sonda executados para a pesquisa de carvão e laudos técnicos dos poços tubulares profundos, procurou-se, através de modelos digitais do terreno, definir a geometria do topo e da base dos leques aluviais bem como realizou-se um detalhado trabalho de campo em locais estratégicos, buscando-se a presença de marcadores cinemáticos que auxiliassem no estudo estrutural desta área.

Com relação ao início da formação dos depósitos de leques aluviais, de acordo com CARUSO JUNIOR (1995), admite-se que eles tiveram início no Plioceno. Sabe-se, no entanto, que estes processos continuam atuantes ainda hoje. Desta forma, para relacionar-se a atuação de processos neotectônicos a estes depósitos, deve-se avaliar os mecanismos atuantes dentro de um modelo evolutivo de uma margem continental do tipo passiva que teve início no Cretáceo.

Considerando-se os mecanismos atuantes durante o processo de evolução, pode-se supor que durante o Plioceno, além de soerguimento e erosão, houve também efetiva atuação de processos tectônicos para a formação de alguns intervalos iniciais destes depósitos de leque presentes nesta bacia. Verificações de campo, realizadas principalmente nos municípios de Timbé do Sul e Morro Grande, evidenciaram que localmente ocorrem grandes estruturas tipo corte e preenchimento, rápidas variações texturais no sentido vertical do depósito e também pequenos espelhos de falhas. A interpretação deste conjunto de estruturas permite supor que houve efetiva atuação de esforços tectônicos, pelo menos em determinadas fases de formação de alguns intervalos estratigráficos que compõem os depósitos de leques aluviais. Outro fator que reforça esta hipótese é a presença de alguns intervalos como, por exemplo, o mostrado na Figura 33.

No município de Araranguá, a leitura de perfis litológicos de furos executados para pesquisa de carvão (siglas ARA e AR) e o laudo técnico do poço tubular profundo executado no pátio do hospital de Araranguá mostram que estes depósitos rudáceos, junto ao contato com as rochas gonduânicas da Formação Rio do Rasto que constituem a base dos depósitos de leques neste local, em um pequeno intervalo vertical, se interdigitam com depósitos areno-argilosos. Este arranjo sugere que durante o início da deposição a área fonte era ativa e que a cada pulso tectônico havia uma resposta no tipo de deposição. Como resultado deste processo resultou então a interdigitação de fácies finos e grossos.

MEDEIROS (1971), menciona que algumas áreas como Sierra Nevada, na Califórnia, apresentam uma linha de leques aluviais coalescentes. Afirma o referido autor que este tipo de ocorrência, naquele caso específico, relaciona-se a escarpas de falha que periodicamente eram reativadas, permitindo, desta forma, que se formassem depósitos extensos por coalescência, que se distribuíram por várias milhas a partir do sopé da montanha.

Sabe-se que os depósitos de leques aluviais da bacia do rio Araranguá correspondem a um conjunto de leques coalescentes, os quais foram detalhadamente estudados por DUARTE (1995).

Dentro desta ótica, pode-se admitir que a geometria em forma de leques coalescentes verificada na bacia do Araranguá, além dos fatores topográficos e climáticos, a exemplo do que ocorre em Sierra Nevada, pode ter sido também influenciada por eventos neotectônicos. Desta forma, as reativações tectônicas ocorridas a partir do Cenozóico até o Recente teriam provocado mudanças no sentido dos cursos d'água e, conseqüentemente, no posicionamento dos leques resultantes.

Assim, como evidências principais da neotectônica na bacia do Araranguá, pode-se citar o controle estrutural que a reativação das falhas E-W e N45<sup>0</sup>-60<sup>0</sup>E exercem sobre os cursos dos principais rios desta bacia e o fato de que as maiores espessuras de fácies rudáceas estão posicionadas em uma calha estrutural orientada N 60<sup>0</sup>E, controlada por falhas de mesma direção.

Na localidade de São Jorge, no município de Maracajá, houve o rebaixamento do lençol freático algum tempo após esta área ter sido minerada em subsolo. Verificações realizadas em subsolo mostraram que os pilares não haviam sido recuperados e tampouco se verificou qualquer trinca nas paredes das galerias.

Portanto, a causa do rebaixamento não estava relacionada a processos de subsidência. Constatou-se, no entanto, que neste local ocorre a interseção de uma falha do sistema  $N5^{\circ}-30^{\circ}E$  com uma falha do sistema E-W. Em ambas as falhas ocorrem diques de diabásio encaixados, evidenciando tratar-se de falhas distensionais. Conclui-se então que o rebaixamento foi causado pela conexão vertical do aquífero freático com o aquífero profundo (Formação Rio Bonito), através destas falhas. Ressalta-se, no entanto, que este fato é o único registrado nesta área. Nos demais locais, onde já foi minerado carvão em subsolo e na superfície, ocorrem depósitos de leques aluviais, não tendo havido modificações no nível do aquífero freático após o avanço das galerias.

Com relação ao comportamento estrutural das rochas gonduânicas nesta porção da bacia do Araranguá, a Seção Geológica (Figura 46) mostra que há um gradativo afundamento dos estratos rochosos de nordeste para sudoeste. Verificações de campo realizadas no município de Jacinto Machado indicaram que as rochas areníticas da Formação Botucatu apresentam geralmente orientação  $N30^{\circ}-60^{\circ}W$ , com mergulhos suaves para SW. Do ponto de vista hidrogeológico, este fato indica que estas rochas areníticas aflorantes no referido município não constituem uma boa unidade aquífera, atuando principalmente como área de recarga.

Quanto às falhas e fraturas presentes nesta porção, a interpretação da imagem do satélite LANDSAT – TM, escala 1:100.000, datada de 2002, bem como fotografias aéreas escala 1:40.000, também datadas de 2002, mostram que nas proximidades da cidade de Meleiro ocorrem duas extensas falhas pertencentes ao sistema E- W. A interpretação da referida imagem demonstra também que os principais rios desta porção possuem trechos de seu curso encaixados ao longo de falhas do sistema  $N45^{\circ}W$ .

Com relação às rochas ígneas efusivas da Formação Serra Geral, a referida imagem mostra que algumas falhas pertencentes ao sistema  $N45^{\circ}-75^{\circ}E$ , já descritas na porção correspondente à bacia carbonífera, estão muito bem impressas nestas rochas basálticas. A falha deste sistema, que passa junto à cidade de Treviso, pode ser identificada nas cabeceiras do Rio Amola Faca, a uma distância de 40km da referida cidade. Na localidade de Morro do Chapéu, esta falha é seccionada por falhas do sistema  $N45^{\circ}W$  indicando que este último é mais jovem.

Com relação às fraturas, observou-se através da imagem que ao longo de

toda a encosta superior do planalto gonduânico as cabeceiras dos principais cursos d'água estão encaixados em fraturas de diferentes sistemas.

#### 5.4.4 Análise integrada das falhas e fraturas da bacia

A interpretação da imagem do satélite Landsat – ETM+, B<sub>1</sub> a B<sub>2</sub>, oito bandas separadas, escala 1:100.000, obtida em 13/05/02, confirmou que as principais direções de falhas são N5°-30° W e N45°-75° E. A leitura da referida imagem demonstrou também que, à medida que se aproxima da linha de costa, está muito bem impresso o sistema E-W. Subordinadamente ocorrem falhas com direção próxima de N-S, N30°-45°E e N30°-45°W. A Figura 47 mostra o limite da bacia do rio Araranguá na referida imagem e as falhas identificadas no âmbito da bacia. A Figura 48 mostra o diagrama de falhas e fraturas. O referido diagrama ilustra que as falhas N45°-70°E são as mais freqüentes, embora uma leitura do Mapa de Fraturas, apresentado na Figura 47, e o Mapa Geológico, Anexo 1, indiquem que tais falhas geralmente possuem pequena extensão. Constatou-se também, através dos trabalhos de campo, que estas falhas interceptam as do sistema N5°-30°W. Este condicionamento permite admitir-se que as falhas N45°-70°E são mais jovens que as últimas.

Através de recursos de informática e utilizando-se a metodologia proposta por FREITAS (1998) em sua dissertação de mestrado, elaborou-se um mapa com densidade de fraturas, Figura 49. A verificação do referido mapa mostra que existe uma faixa alongada segundo N5°-30°W, correspondente à área mais fraturada desta bacia. Esta faixa é controlada por grandes falhas N30°W que, geralmente, constituem calhas estruturais entre si. Do ponto de vista hidrogeológico, considerando-se as áreas de recarga, circulação e descarga, estas calhas estruturais constituem estruturas favoráveis ao armazenamento de água, principalmente para o Sistema Aquífero Rio Bonito e Rio do Sul.

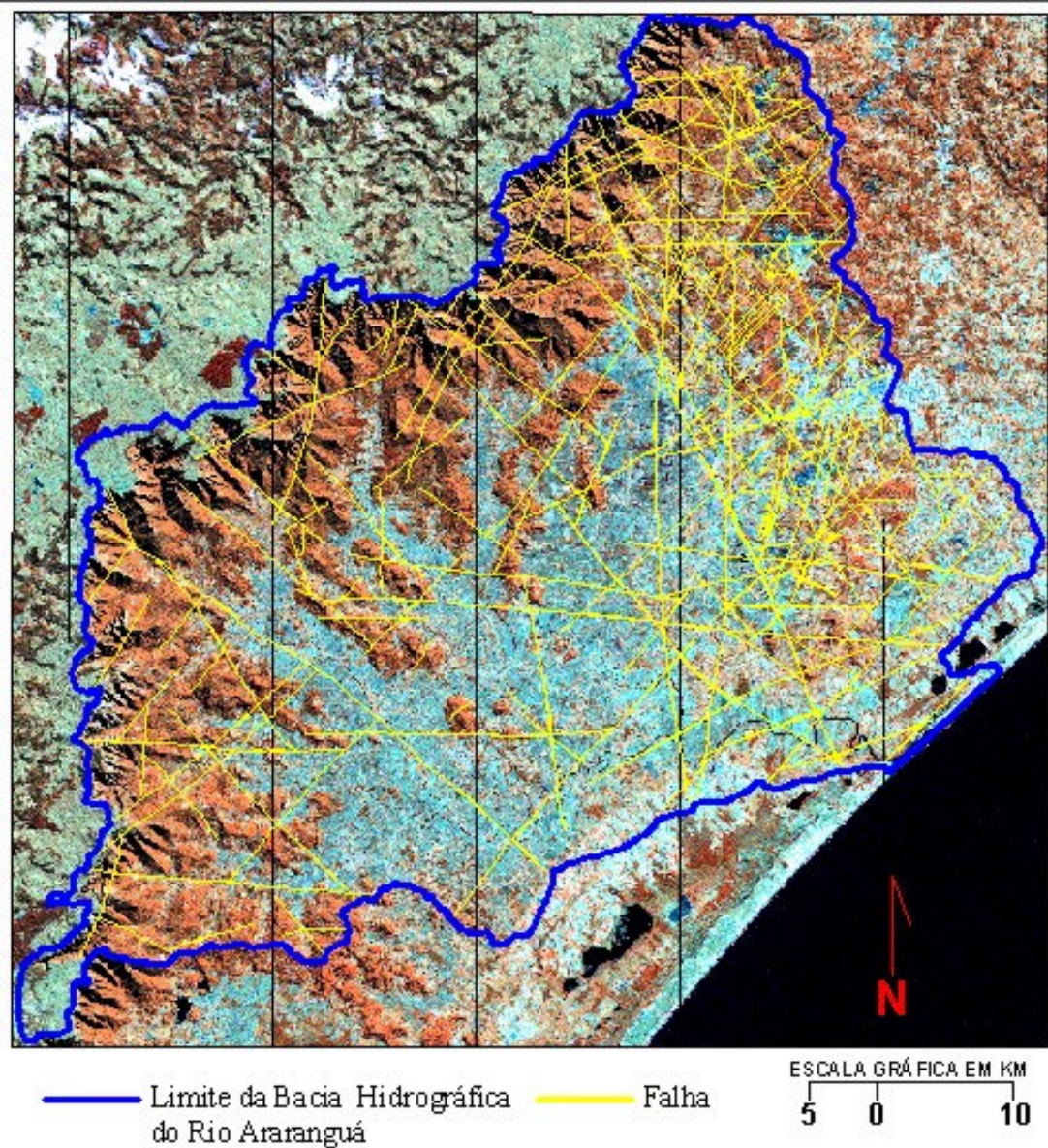


Figura 47: Mapa de fraturas da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, obtidas a partir das fotografias aéreas na escala 1:60.000, de 1965/66.



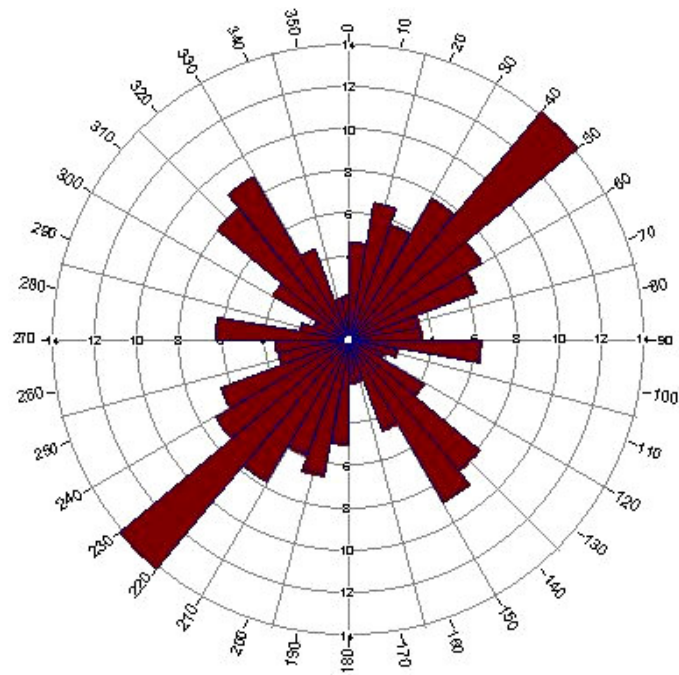


Figura 48: Diagrama de roseta das falhas e fraturas, identificadas a partir da imagem do satélite Landsat – TM, escala 1:100.000, e das fotografias aéreas na escala 1:60.000.

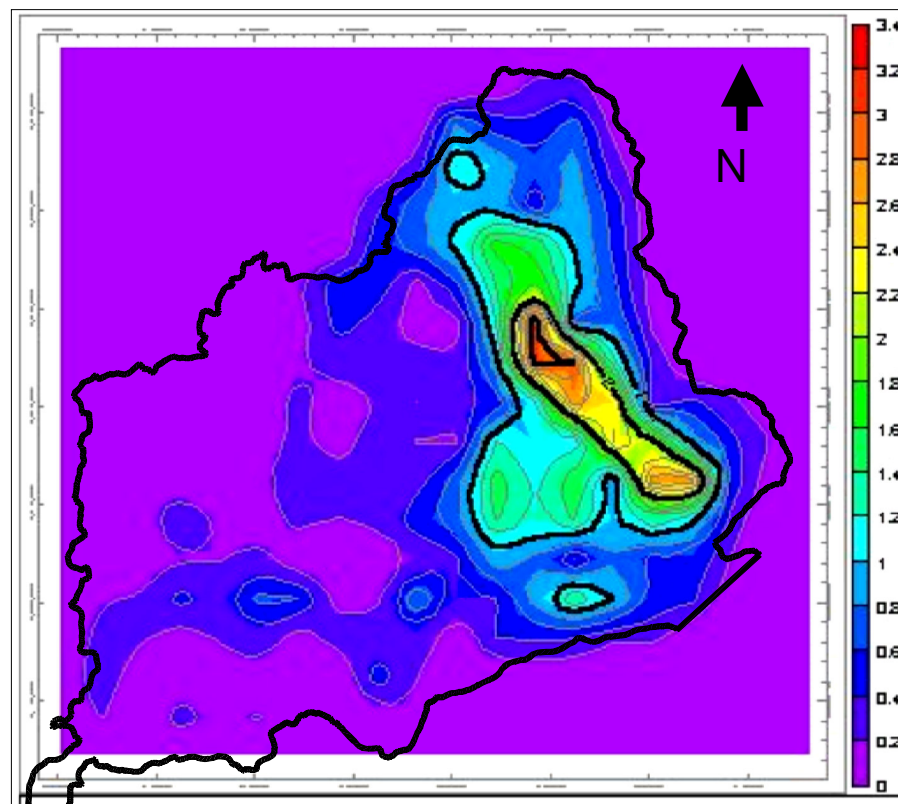


Figura 49: Mapa de densidade de fraturas. As cores “quentes” indicam áreas mais fraturadas.

## 6 HIDROGEOLOGIA DA BACIA DO RIO ARARANGUÁ

### 6.1 Considerações Iniciais

Sabe-se que o conhecimento dos aspectos geológicos, principalmente no que se refere aos diferentes tipos litológicos, suas características físicas, seus respectivos condicionamentos e grau de fraturamento, é fundamental para a definição dos sistemas aquíferos presentes em uma determinada área.

Os trabalhos realizados indicaram que na área estudada ocorrem rochas com diferentes características granulométricas, texturais e estruturais. Evidenciaram também que ao longo da bacia do rio Mãe Luzia existem locais que foram mineradas para carvão, a céu aberto ou em subsolo, bem como alguns locais cobertos por rejeitos. Estes fatores indicam que para se efetuar a recuperação ambiental desta área é fundamental uma caracterização hidrogeológica que permita a definição das inter-relações entre os diferentes intervalos aquíferos e as fontes de poluição presentes.

Em se tratando de uma área onde os recursos hídricos superficiais estão seriamente comprometidos pelas diferentes fontes de poluição e os recursos hídricos subterrâneos são abundantes e ainda relativamente pouco explorados (com exceção no município de Criciúma), a determinação da vulnerabilidade natural dos diferentes sistemas aquíferos é uma ferramenta necessária ao planejamento das ações governamentais de controle e proteção desses mananciais subterrâneos bem como para a futura implantação de um sistema de gestão dos recursos hídricos para esta bacia.

Esta caracterização hidrogeológica permite o conhecimento regional do comportamento das águas subterrâneas do ponto de vista quantitativo e qualitativo bem como da vulnerabilidade natural e riscos de contaminação dos diferentes sistemas aquíferos. Possibilita também a definição de medidas para a mitigação dos impactos negativos advindos das diferentes ações antrópicas praticadas no âmbito desta bacia.

O estudo hidrogeológico teve como ponto de partida o novo Mapa Geológico e a complementação do cadastro de pontos de água, ambos elaborados neste

estudo. No capítulo 4 deste trabalho, apresenta-se detalhadamente os procedimentos metodológicos seguidos.

## 6.2 Caracterização dos Sistemas Aqüíferos

Na área correspondente à bacia do rio Araranguá, ocorrem aqüíferos relacionados aos diferentes tipos de rocha e sedimentos aí presentes. As rochas ígneas constituem os aqüíferos do tipo fraturado e as rochas sedimentares gonduânicas; os sedimentos terciários e ou quaternários constituem os aqüíferos do tipo poroso.

As unidades geológicas cartografadas foram analisadas e hierarquizadas quanto à sua maior ou menor capacidade de armazenamento de água. No domínio das rochas sedimentares (Formações Rio do Sul, Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova, Rio do Rasto e Botucatu) bem como dos sedimentos terciários e/ou quaternários (Depósitos de Leques Aluviais, Depósitos Arenosos Marinhos com Retrabalamento Eólico e Depósitos Flúvio-Lagunares), o armazenamento é controlado pelo maior ou menor grau de permeabilidade das rochas ou sedimentos. Neste sentido, quanto mais arenosa for a rocha ou o sedimento maior quantidade de espaços intergranulares ela terá e, conseqüentemente, maior permeabilidade ela apresentará.

No caso das rochas cristalinas, o armazenamento é controlado pelas fraturas. Desta forma, quanto mais fraturadas estiverem as rochas na área, maior a possibilidade de ocorrência de água subterrânea.

No Mapa Hidrogeológico (Anexo 2), os diferentes sistemas aqüíferos presentes nesta bacia são identificados com cores, letras e números, de acordo com o proposto na legenda internacional de mapas hidrogeológicos, elaborada pela Associação Internacional de Hidrogeólogos (IAH/IAHS, 1970; IAH/IAHS, 1983, LEAL, 1974; MENTE *et al.*, 1989).

Os sistemas aqüíferos caracterizam-se por um conjunto de elementos físicos (transmissibilidade, condutividade hidráulica) e geométricos (forma, limites, espessura) usualmente sujeitos a determinadas ações externas ao sistema (bombeamento recarga artificial, drenagem). A definição dos sistemas aqüíferos foi efetuada com base nas características litológicas, no comportamento estrutural dos



conjuntos rochosos ou depósitos de sedimentos, além do tipo e da ordem de grandeza da permeabilidade.

Os trabalhos de cadastramento de poços tubulares profundos mostraram que geralmente os poços construídos na porção correspondente à bacia carbonífera captam água de mais de uma formação geológica. Este fato torna difícil caracterizar-se cada formação geológica, individualmente, quanto a sua potencialidade como aquífero. Por este motivo, optou-se por agrupar em um mesmo sistema aquífero as formações geológicas que apresentam características similares no que se refere a fácies litológicas e que ocorrem em intervalos estratigráficos contíguos.

Com relação à importância relativa local de cada sistema aquífero: grande, mediana, pequena, muito pequena e negligenciável, sabe-se que sua conceituação é subjetiva e a definição das áreas deve ser realizada mediante um confronto equilibrado entre quantidade de água (disponibilidade *versus* necessidade), qualidade (salinidade, contaminação) e explotabilidade (possibilidade técnica de captação). Desta forma, no que se refere à importância relativa local, dentro de um mesmo sistema aquífero, a individualização das áreas com classificação diferente terá condições limites distintas de uma porção da bacia para outra, dependendo da carência, dos costumes locais de usos da água e da eficiência de suas áreas de recarga.

Os estudos realizados, assim como o cadastramento dos pontos de água, permitiram verificar-se que nesta bacia hidrográfica não ocorre sistema aquífero que justifique a construção de poços tubulares com profundidades superiores a 250 metros.

Sabe-se que na porção sul, central e oeste desta bacia hidrográfica a Formação Rio Bonito está presente em profundidades superiores a 250 metros. Porém, devido ao fato de esta formação possuir potencialidade aquífera baixa à moderada, não se justifica a construção de poços tubulares que atinjam seu intervalo estratigráfico nestas porções da bacia. Da mesma forma, a Formação Botucatu e o terço superior da Formação Rio do Rasto, as quais possuem captação de água em profundidades muito superiores a 300 metros, no oeste do estado de Santa Catarina, nesta bacia hidrográfica atuam como sistema aquífero de moderada potencialidade nos municípios de Jacinto Machado, Timbé do Sul, Meleiro e Turvo, onde afloram ou ocorrem em profundidades inferiores a 150 metros. Em todos os demais municípios onde se fazem presentes atuam somente como áreas de recarga

pelo fato de aflorarem na encosta média a superior do planalto gonduânico.

Os estudos desenvolvidos permitiram a identificação de 9 sistemas aquíferos, sendo 4 relacionados às rochas sedimentares gonduânicas, 4, aos sedimentos quaternários, e um, às rochas ígneas. Os sistemas aquíferos individualizados foram:

- Sistema Aquífero relacionado à Formação Rio do Sul;
- Sistema Aquífero relacionado à Formação Rio Bonito;
- Sistema Aquífero relacionado às Formações Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto (terço inferior e médio)
- Sistema Aquífero relacionado às Formações Rio do Rasto (terço superior);
- Sistema Aquífero relacionado às rochas ígneas da Formação Serra Geral;
- Sistema Aquífero relacionado aos Depósitos de Leques Aluviais;
- Sistema Aquífero relacionado aos Depósitos Arenosos Marinhos com retrabalhamento Eólico do tipo Laguna Barreira III e Laguna Barreira IV;
- Sistema Aquífero relacionado aos Depósitos Paleo-Lagunares;
- Sistema Aquífero relacionado aos Depósitos Flúvio-Lagunares do tipo Laguna Barreira IV.

O Mapa Hidrogeológico (Anexo 2) ilustra a distribuição dos diferentes sistemas aquíferos na área estudada.

#### 6.2.1 Sistema aquífero relacionado à Formação Rio do Sul

Pelo fato de as rochas sedimentares da Formação Rio do Sul não aflorarem na área estudada, consideraram-se para sua avaliação as informações disponíveis nos perfis de sondagens executadas para carvão em diferentes locais da bacia carbonífera. A análise dos referidos perfis permitiu a identificação de uma espessa seqüência arenosa, localmente conglomerática, situada no terço inferior e médio desta formação, a qual se comporta como intervalo aquífero.

As informações referentes aos dados hidrogeológicos desta formação geológica foram buscadas nos laudos técnicos dos poços tubulares profundos, construídos em municípios próximos como Içara, Morro da Fumaça e Orleans. Também foram considerados os laudos técnicos dos poços construídos nos municípios de Braço do Norte e Grão-Pará por ser nestes municípios que este sistema aquífero é mais explorado e porque neles ocorrem poços com vazão

superior a 20 m<sup>3</sup>./h.

#### 6.2.1.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica

O Mapa de Isópacas da Formação Rio do Sul (FABRÍCIO, *et al.*, 1973) mostra que a referida formação apresenta uma espessa calha que se alonga desde a cidade de Siderópolis, ao sul, até a localidade de Rio Oratório, ao norte, já distante da área estudada.

A correlação dos perfis de furos de sonda realizados na bacia carbonífera, situados dentro ou nas proximidades da área estudada (Furos de sigla PB 01, 03, 04, 05, 06, 08, 09, 11, 18, 19, 26, 29, 32 e furo BG 50b), demonstra que esta formação ocorre preenchendo paleovales relacionados às rochas graníticas que constituem o embasamento cristalino desta porção do Estado. Mostra também que na base ocorre geralmente uma seqüência constituída por conglomerados e diamictitos de cor cinza-escuro, com matriz arenosa mal classificada, na qual estão imersos caoticamente grânulos, seixos de composição granítica, como mostra o perfil litofaciológico, Figuras 44 e 50. No topo de seu terço inferior, ocorre geralmente um pacote de arenitos cinza-esbranquiçado, de granulometria fina à média, quartzo-feldspáticos, porosos e permeáveis, com estratificação cruzada acanalada ou ondulada de pequeno porte. Este pacote apresenta espessura muito variável, podendo alcançar até 55m, como demonstra o perfil litológico do furo PB-18. Este furo situa-se no município de Lauro Müller, nas proximidades do limite norte da bacia do Rio Araranguá e dentro da calha estrutural condicionada por falhas N30<sup>0</sup>W, descrita no capítulo 5.5 e apresentada na seção geológica Figura 45. Nas proximidades de Treviso, junto à localidade denominada São Pedro, construiu-se um poço tubular profundo para a futura USITESC. Este furo, como mostra a seção geológica acima referida, posiciona-se exatamente no centro desta calha estrutural. O perfil litológico deste poço indicou que neste local a Formação Rio do Sul possui espessura superior a 100m. A Figura 51 mostra o perfil técnico e os intervalos aquíferos deste poço.



Figura 50: Conglomerado com seixos de composição granítica. Fácies basal da Formação Rio do Sul. Local Furo PTR-03, junto à cidade de Treviso.

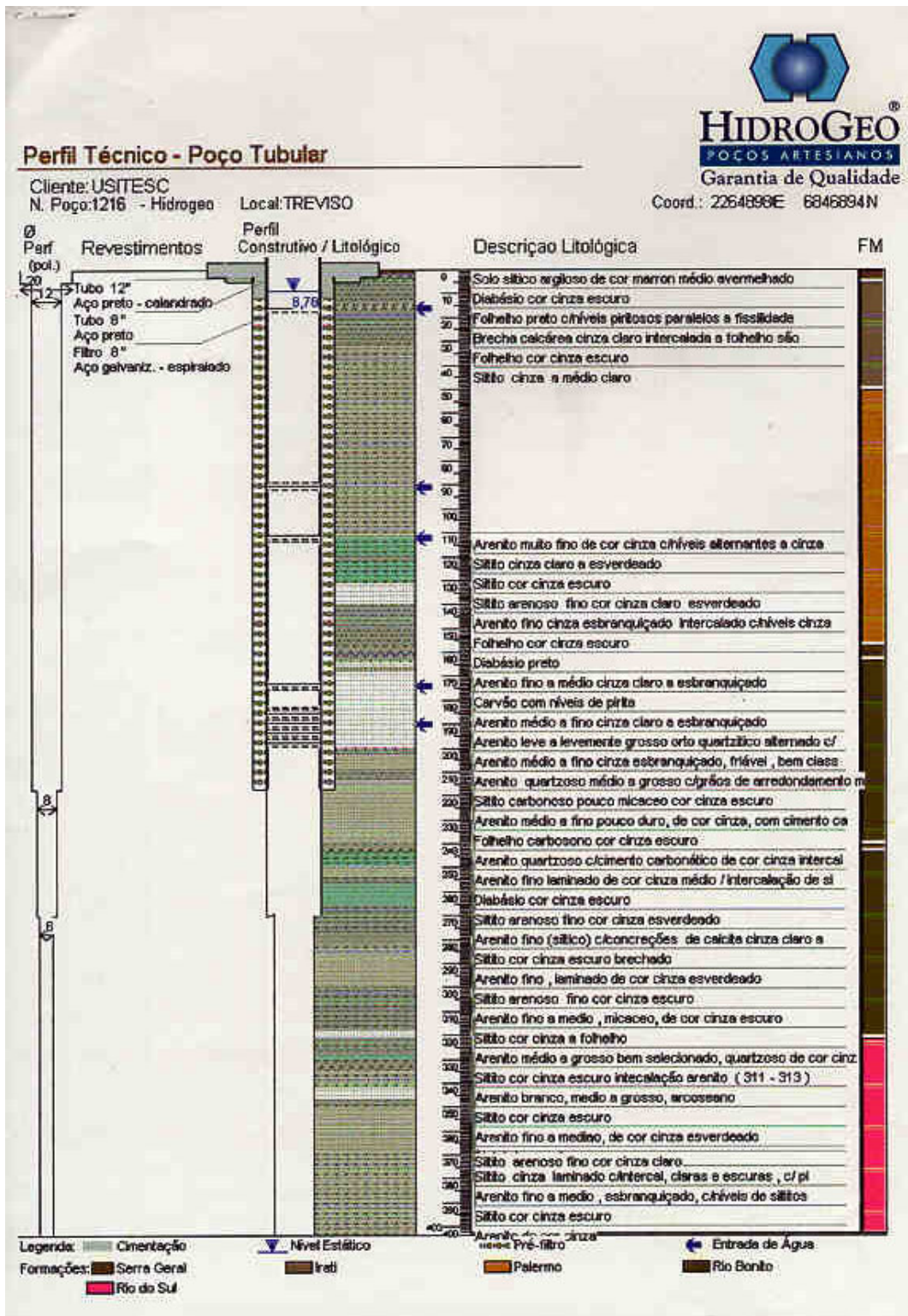


Figura 51: Perfil técnico do poço construído na localidade de São Pedro, município de Treviso.

No terço médio e superior desta formação, predomina uma sucessão de folhelhos e siltitos cinza-escuro, várvidos, onde são freqüentes os seixos pingados.

Em menor proporção, ocorrem arenitos finos, com laminação plano-paralela ou acanalada.

Junto à cidade de Treviso, a Carbonífera Criciúma realizou três furos estratigráficos até o embasamento (furos PTR-01, PTR-02 e PTR-03). Os perfis litológicos dos referidos furos indicaram um aumento gradativo de espessura desta formação de leste (furo PTR-01 que apresentou uma espessura de 36 m) para oeste (poço PTR-03 que apresentou 88m). A descrição dos testemunhos de sondagem indicou também que a referida formação apresenta uma grande variação faciológica, tanto no sentido vertical como no horizontal, dependendo do seu posicionamento na bacia e do paleo-relevo. A seção litofaciológica, Figura 44, atesta este fato.

A verificação da referida seção litofaciológica mostra que do ponto de vista sedimentológico este espessamento indica um maior aporte de sedimento para a porção central da calha, sugerindo tratar-se de um baixo do embasamento (paleovale). Por outro lado, do ponto de vista hidrogeológico, sabe-se que são nestes paleovales que se encontram os poços com melhor vazão, como se pôde verificar nos municípios de Braço do Norte e Grão-Pará, já fora da área da bacia.

Nas proximidades de Siderópolis, os furos PB-08 e PB-09 apresentaram espessuras desta formação, de 31,60 m e 33,95 m, respectivamente. Ao norte da cidade de Criciúma, o furo PB-11 apresentou espessura de 47,75 m. Esta mesma espessura foi verificada em laudos técnicos de poços tubulares profundos, executados no centro da cidade de Içara, na rua Duque de Caxias (P 1 e P 2). A espessura média da formação Rio do Sul é da ordem de 55 metros. Nas proximidades de Nova Veneza, o furo PNV-03 apresentou espessura de 48 m para esta formação.

Por suas características litológicas e granulométricas, posicionamento estratigráfico e distribuição em área, pode-se concluir que este aquífero possui porosidade intergranular, é extenso e confinado. Localmente, onde ocorre interseção de diferentes sistemas de falhas, pode se comportar como aquífero intergranular extenso, fraturado, confinado.

Com relação à recarga deste sistema, as informações consolidadas neste trabalho permitem verificar-se que ela se processa de duas maneiras distintas: por infiltração direta, a partir das precipitações pluviométricas, ou por infiltração indireta, a partir de falhas abertas (com ou sem diques de diabásio encaixados).



A leitura dos mapas geológicos (ABORRAGE; LOPES, 1986; GUAZELLI; FEIJÓ, 1970; KREBS, 1997; SILVA e LEITES, 2000) mostra que o reabastecimento principal deste sistema é realizado de forma direta, a partir das precipitações, junto às bordas da bacia, onde afloram litologias predominantemente arenosas (terço inferior da Formação Rio do Sul) capeando as rochas graníticas do embasamento, a leste.

O estudo geológico e estrutural realizado bem como observações no subsolo das minas demonstraram que a recarga se processa também a partir das diversas falhas abertas, com ou sem diques encaixados, que seccionam toda a seqüência gonduânica. Verificou-se que, de uma maneira geral, as grandes falhas com direções próximas de N-S ou E-W encaixam diques de diabásio. Devido ao resfriamento rápido destes corpos ígneos, ocorre um intenso fraturamento na direção perpendicular ao comprimento do dique. Este sistema de fraturas bem como as paredes laterais do dique constituem caminhos preferenciais para a infiltração de água a partir da superfície do terreno ou a partir dos intervalos aquíferos relacionados às formações geológicas sobrepostas.

#### 6.2.1.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação

Na área estudada, este sistema aquífero possui vulnerabilidade natural baixa pelo fato de estar capeado por uma espessa seqüência de rochas predominantemente pelíticas, pouco permeáveis.

Com relação ao risco de contaminação, no entanto, constatou-se que ele pode ser alto nas porções compreendidas entre Forquilha e Treviso ou no município de Criciúma, onde afloram litologias arenosas pertencentes à Formação Rio Bonito. Os trabalhos de fotointerpretação demonstraram que estas áreas estão bastante falhadas. Estes dois fatores contribuem para que o rio Mãe Luzia e o rio Sangão, respectivamente, apresentem nestes trechos caráter influente, isto é, contribuam para o reabastecimento dos sistemas aquíferos subjacentes. Sabe-se também que a qualidade das águas dos referidos mananciais, nestas porções, está comprometida pelas atividades relacionadas à mineração e ao beneficiamento de carvão.

Através dos trabalhos de fotointerpretação e correlações de perfis litológicos, identificou-se um sistema de falhas  $N5^0 - 30^{\circ} W$  seccionando a porção situada entre Forquilha e Treviso em dois grandes blocos estruturais que apresentam entre si

rejeito vertical superior a 30 m. A Seção Geológica, Figura 45, mostra que o bloco tectonicamente soerguido situa-se a NE, à margem esquerda do rio Mãe Luzia, onde a Formação Rio Bonito foi parcialmente erodida e apresenta a menor espessura. Desta forma, se ocorrer alguma falha aberta, as águas contaminadas poderão eventualmente atingir o intervalo estratigráfico mais inferior onde se situa o aquífero correspondente à Formação Rio do Sul.

#### 6.2.1.3 Potencialidade aquífera

Na área estudada, devido às suas características litológicas e ao condicionamento hidrogeológico, o sistema aquífero relacionado a esta formação possui potencialidade moderada. Esta hipótese baseia-se na sucessão litológica verificada nos perfis de sondagens realizadas para carvão e furos para prospecção de água para a futura USITESC, executados na área de estudo, e suas correlações com litologias desta formação que afloram ao longo da SC-438, no trecho compreendido entre Orleães e Lauro Müller. Sabe-se que as litologias arenosas aflorantes ao longo da referida rodovia são as mesmas que constituem o sistema aquífero explotado na região correspondente aos municípios de Grão-Pará e Braço do Norte, onde o referido sistema possui potencialidade moderada à alta.

Os laudos técnicos dos poços construídos nos municípios de Braço do Norte e Grão-Pará indicam que este sistema aquífero resulta poços que podem produzir até 45 m<sup>3</sup>/h, com nível estático que varia de surgente até 13 m de profundidade, como é o caso do poço FC-72-BRN (UTM-6873.150x678.150), situado no município de Braço do Norte. Em um paleovale existente naquela região, há poços que possuem capacidade específica de até 3,50 m<sup>3</sup>/h/m.

SILVA (1984), estudando a porção correspondente à área urbana do município de Içara, tece considerações a respeito de um poço situado nas proximidades do cruzamento das ruas Duque de Caxias com Donato Valvassore. O referido poço atravessou litologias pertencente à Formação Rio do Sul, sendo concluído com 102,50 m. Apresentou vazão de 30 m<sup>3</sup>/h, com nível estático a 6,00 m e nível dinâmico a 37,00 m.

Do ponto de vista litológico, a análise dos diversos perfis de sondagens realizadas para carvão permite verificar-se que é no terço médio a inferior da referida formação que ocorrem as litologias predominantemente arenosas ou areno-conglomeráticas e, portanto, onde devem se encontrar os intervalos aquíferos com



maior potencialidade.

Com relação à profundidade média dos poços a serem construídos até o intervalo estratigráfico desta formação geológica, pelo fato de na área correspondente à bacia do rio Araranguá apresentar baixa à moderada potencialidade aquífera, sugere-se que a profundidade máxima não ultrapasse 250 metros.

A verificação dos laudos técnicos dos poços tubulares profundos construídos nesta bacia indicou que nenhum poço explota água exclusivamente deste sistema. Constatou-se que todos os poços que atravessam ou foram concluídos no intervalo estratigráfico correspondente a esta formação geológica apresentaram entradas de água em intervalos estratigráficos superiores, relacionados à Formação Rio Bonito.

O estudo litofaciológico e estrutural desenvolvido aqui demonstrou que os locais com maior favorabilidade para a construção de poços tubulares profundos nesta bacia hidrográfica correspondem a duas calhas estruturais controladas por falhas noroeste.

Uma delas situa-se nas proximidades de Treviso e a outra, nas proximidades de Forquilha e Maracajá.

No centro da calha estrutural situada próximo a Treviso, foi construído um poço para a USITESC, na localidade de São Pedro. Considerando-se os aspectos geológicos, estruturais e geomorfológicos, a área correspondente ao município de Treviso apresenta boas perspectivas para a captação de água através de poços tubulares profundos. Possui eficientes áreas de recarga, constituídas pelas encostas do planalto gonduânico, que limita a área municipal a oeste, e pelas encostas do morro-testemunho conhecido por Montanhão, que limita a área ao norte e a leste. Na porção sul e sudeste da área do município, afloram rochas areníticas da Formação Rio Bonito, permitindo a recarga direta deste aquífero.

A seleção do local para a construção do poço-teste levou em consideração todos os fatores acima referidos. Porém, a vazão e a capacidade de exploração obtidas ficaram muito aquém da expectativa, frente a tantos condicionantes geológicos e hidrogeológicos favoráveis. Oportunamente serão apresentadas algumas considerações para explicar, em parte, o baixo desempenho deste poço.

No caso da calha estrutural posicionada nas proximidades de Maracajá e Forquilha, embora não se tenha nenhum poço tubular que atinja o intervalo estratigráfico da Formação Rio do Sul, acredita-se que a potencialidade aquífera

desta formação nesta porção da bacia também seja baixa. Esta hipótese parte do princípio que a recarga deste sistema aquífero neste local é menos eficiente do que no município de Treviso. Admite-se também que a Falha Mãe Luzia, a qual também encaixa um espesso dique de diabásio e limita esta calha nas proximidades de Maracajá, aja como barreira ao fluxo das águas subterrâneas. Outro fator negativo refere-se à presença de minas de carvão em subsolo nesta porção. Sabe-se que o bombeamento da água de subsolo praticado nestas minas interfere negativamente na recarga dos aquíferos.

Desta forma, considerando-se áreas onde não houve atividades de lavra em subsolo, o que realmente condiciona a capacidade aquífera é a eficiência de suas áreas de recarga. De uma maneira geral, quando a referida formação ocorre em paleovales, capeando rochas graníticas impermeáveis, atua como área de descarga com média a alta potencialidade aquífera.

#### 6.2.1.4 Aspectos hidroquímicos

As informações dos laudos de análise química das águas dos poços relacionados a esta formação, realizados nos municípios de Orleães, Braço do Norte, Criciúma e Içara, mostram claramente que existem algumas restrições com relação à qualidade das águas.

As águas geralmente possuem pH que varia de 5,8 a 7,9. Os termos mais alcalinos relacionam-se às áreas situadas em paleovales (poço BN-90 – UTM-6875.200x677.150). Os tipos químicos bicarbonatados cálcicos a mistos, com teores de sais dissolvidos entre 80 e 360 mg/l, são predominantes. As águas são geralmente moles a moderadamente duras.

Com relação aos teores de ferro, estes são muito variáveis, desde <0,15 mg/l até <6 mg/l, ficando a média acima de 0,5 mg/l, o que exige tratamento para diversos usos.

Silva (1984), referindo-se a uma análise de água realizada pela Cia. T. Janer, em 1974, em um poço relacionado a este intervalo aquífero, no município de Içara, mostra que a água possui pH 7,10, turbidez 10,00 JTU, cor 15,00 mg/l CaCO<sub>3</sub>, fluoretos 0,70 mg/l, ferro 0,40 mg/l, sílica 15,00 mg/l, nitratos 0.001 mg/l, resíduo total 315,00 mg/l.

## 6.2.2 Sistema aquífero relacionado à Formação Rio Bonito

Na porção correspondente à área carbonífera, as rochas sedimentares do terço superior da Formação Rio Bonito (Membro Siderópolis) e terço inferior (Membro Triunfo) são as mais importantes do ponto de vista hidrogeológico.

### 6.2.2.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica

O Mapa Geológico elaborado para esta tese, Anexo 1, mostra que a Formação Rio Bonito é aflorante na porção norte e leste desta bacia hidrográfica, ocupando parte da área dos municípios de Criciúma, Siderópolis e Treviso.

Os mapas de contorno estrutural da lapa das camadas de carvão Barro Branco e Bonito Inferior, KREBS et.al. (1982) mostram que o mergulho regional das camadas é de nordeste-este para sudoeste-oeste.

O estudo geológico–estrutural desenvolvido evidenciou a presença de várias estruturas ou locais favoráveis à construção de poços tubulares profundos. Alguns destes locais, como o vale do rio Ferreira, junto à cidade de Treviso, e o vale do rio Dândolo, no município de Nova Veneza, já estão sendo detalhados através de sondagens profundas para prospecção de água.

As correlações litofaciológicas realizadas entre perfis de furos de sonda demonstraram que a Formação Rio Bonito constitui um sistema aquífero que apresenta múltiplos intervalos aquíferos relacionados geneticamente às diferentes associações litofaciológicas presentes no Membro Siderópolis e no Membro Triunfo.

O Membro Triunfo não aflora na área estudada. Apresenta uma espessura média de 30 m, verificada nos furos PTR-01, PTR-02, PTR-03, situados no município de Treviso, e nos furos PNV-01, PNV-02 e PNV-03, situados no município de Nova Veneza.

Litologicamente é constituído por arenitos cinza-esbranquiçado, com granulometria variável de fina a muito grossa, quartzo-feldspáticos, com cimento carbonático, porosos e permeáveis. Na porção superior, predominam arenitos finos a médios e na base ocorre uma maior incidência de arenitos grossos. As camadas apresentam geometria sigmoidal, com aspecto maciço ou com estratificação cruzada acanalada e/ ou ondulada, de pequeno e médio porte.

O Membro Siderópolis é constituído por arenitos finos a médios, quartzosos, bem selecionados, porosos e permeáveis. Subordinadamente ocorrem arenitos

médios a grossos, feldspáticos, com matriz areno-argilosa, também bastante permeáveis. Intercalam camadas de siltitos carbonosos e carvão.

As camadas apresentam espessuras variadas, desde alguns centímetros até mais de metro, geometria tabular ou lenticular, de aspecto maciço ou com estratificação cruzada acanalada e/ou ondulada. A espessura do Membro Siderópolis, de acordo com a análise e a correlação de perfis de sondagens (BG-41, BG-44, BG-125, BG-16, BG-24), é bastante variável ao longo da área estudada, situando-se suas maiores espessuras na porção da Mina Esperança, onde alcança espessuras superiores a 90 m.

No caso do Membro Siderópolis, KREBS; NOSSE (1998) individualizaram 3 intervalos aquíferos na porção de Criciúma, relacionados às associações litofaciológicas individualizadas por DIAS (1995) ao estudar a mesma região. Os intervalos foram denominados Seqüência Litofaciológica Superior (Areias Transgressivas); Seqüência Litofaciológica Média (Seqüência Barro Branco); e Seqüência Litofaciológica Inferior (Seqüência Bonito).

Por suas características litológicas e granulométricas, posicionamento estratigráfico e distribuição em área, pode-se concluir que este aquífero possui porosidade intergranular e é extenso. Nas suas áreas de afloramento, como mostra o Mapa Geológico, Anexo 1, onde as camadas areníticas são aflorantes, comporta-se geralmente como aquífero livre, extenso, e onde as camadas de arenito são capeadas por camadas de siltitos ou carvão ou ainda onde é capeado pela formação Palermo, comporta-se como aquífero extenso confinado. Localmente, onde ocorre interseção de diferentes sistemas de falhas, pode se comportar como aquífero intergranular extenso fraturado, livre ou confinado.

Esta unidade aquífera possui geometria tabular ou lenticular quando posicionada nas proximidades da borda da bacia. O modelo hidrogeológico, estabelecido através das linhas de fluxo bem como informações geológicas e geomorfológicas indicam claramente que suas áreas de recarga estão situadas nas encostas do planalto gonduânico e morros (Montanhão e outros). Esta conformação hidrodinâmica mostra a contribuição de duas fontes principais de infiltração. Nas bordas da bacia, principalmente na borda oeste-noroeste e proximidades do Montanhão, onde as declividades do terreno são altas e as velocidades da circulação são elevadas, a recarga realiza-se por drenança das águas dos aquíferos fraturados, relacionadas às rochas ígneas, e drenança das demais formações

geológicas e depósitos de tálus, sobrepostos à formação Rio Bonito, que afloram nas encostas do planalto gonduânico.

Na área de afloramento desta formação, a recarga dá-se por infiltração direta, a partir das precipitações, através dos solos residuais e transportados.

Na maior porção da área estudada, a drenagem superficial não atua na realimentação do aquífero, pois os rios têm caráter efluente, isto é, recebem contribuições dos aquíferos, com exceção de locais específicos onde afloram rochas areníticas da Formação Rio Bonito ou onde ocorrem falhas com caráter distensional.

O Mapa geológico mostra que entre Forquilha e Siderópolis, no vale do rio Mãe Luzia, afloram rochas areníticas. Trabalhos de campo, medidas de vazão e monitoramento do lençol freático através de poços piezométricos indicaram que o rio Mãe Luzia, neste trecho, tem em vários locais caráter influente, isto é, contribui para o reabastecimento do aquífero.

Observações realizadas em minas de carvão em subsolo (Mina Verdinho em Forquilha) mostraram que a denominada Falha Mãe Luzia, que controla grande trecho do rio homônimo, encaixa neste local um espesso dique de diabásio bastante fraturado e contribui para a alimentação do aquífero. Fato semelhante ocorre em Criciúma, onde a denominada Falha Criciúma secciona o Rio Sangão. Constatou-se também, que em alguns locais, as próprias galerias antigas, atualmente alagadas, contribuem para a recarga deste aquífero.

Com relação ao intervalo aquífero correspondente ao Membro Siderópolis, a região compreendida entre Forquilha e Siderópolis é a que deveria conter as melhores vazões de acordo com a relação zona de recarga - circulação e descarga. Porém, as atividades de mineração de carvão, realizadas em épocas passadas, tanto a céu aberto como em subsuperfície, modificaram este quadro.

Com o objetivo de se avaliar a eficiência das áreas de recarga, procurou-se definir as características hidráulicas do solo e o substrato rochoso de uma área onde afloram rochas da Formação Rio Bonito. A área selecionada situa-se no município de Siderópolis, na localidade conhecida como Vila Funil. Nesta área, estão sendo realizados trabalhos de recuperação ambiental por várias empresas carboníferas que atualmente desenvolvem atividades de rebeneficiamento ou disposição de rejeito neste local, bem como empresas que atuaram nesta área em épocas passadas. Em 2001, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - IPH/UFRGS foi contratado para fazer uma avaliação da

contaminação na área da Vila Funil por atividades de mineração de carvão (LEÃO, *et al.*, 2001). Cabe ressaltar-se que este autor participou deste trabalho como integrante da equipe do IPH, pois na ocasião cursou uma disciplina do Curso de Pós-Graduação daquela Instituição como aluno especial. Na ocasião foram construídos 16 piezômetros. A Figura 52 mostra a localização de alguns piezômetros e a área da Vila Funil, junto à cidade de Siderópolis. Em todos estes locais foram realizados ensaios de infiltração e permeabilidade, apresentados a seguir:

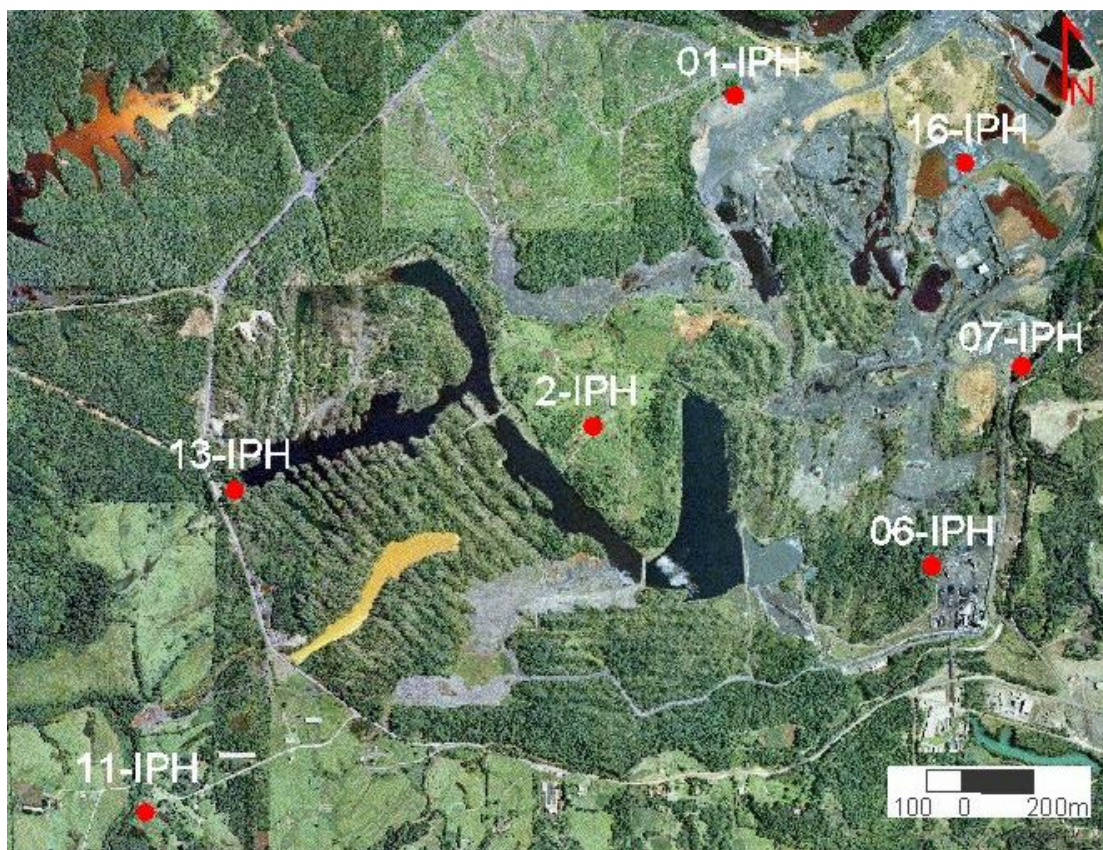


Figura 52: Localização dos piezômetros. Área da Vila Funil, nas proximidades da cidade de Siderópolis.

#### *Ensaios de infiltração e permeabilidade*

Os dados de infiltração foram colhidos através do método dos cilindros concêntricos, o qual utiliza cilindros metálicos de 3 mm de espessura e 30 cm de altura, com diâmetro de 30 e 50 cm, respectivamente. As informações obtidas foram ajustadas pela equação de Kostiakov para a infiltração básica (CAUDURO; DORFMAN, s.d.). A Tabela 23 mostra os resultados deste teste.

Tabela 23: Ensaio de infiltração. Parâmetros de Kostiakov

Local	Tipo de material	I.B. (m/s)
IPH-SD-01	Rejeito de lavador de carvão, siltito e folhelho preto, fragmentos de carvão	$29 \times 10^{-6}$
IPH-SD-02	Solo argiloso marrom com matéria orgânica	$9,5 \times 10^{-6}$
IPH-SD-03	Rejeito de cobertura, composta por sedimento argiloso de cor cinza-amarelado	$30 \times 10^{-6}$
IPH-SD-04	Rejeito de cobertura, composta por sedimento argiloso de cor marrom	$26 \times 10^{-6}$
IPH-SD-08	Rejeito de cobertura, composta por sedimento argiloso de cor marrom	$36 \times 10^{-6}$
IPH-SD-10	Rejeito de cobertura, composta por fragmentos de arenitos e sedimento argiloso de cor escura	$4,5 \times 10^{-6}$
IPH-SD-11	Solo argilosos marrom	$1,4 \times 10^{-6}$
IPH-SD-12	Argila amarela com poucos fragmentos de arenito fino	$23,5 \times 10^{-6}$
IPH-SD-14	Argila amarela plástica	$37 \times 10^{-6}$

Os ensaios de infiltração, tanto nos depósitos de rejeito, em solos, bem como no substrato rochoso alterado, serviram para determinar a taxa de infiltração básica nas diferentes áreas e foram executados próximos aos piezômetros. Essas taxas tiveram valores médios de:  $8,5 \times 10^{-6}$  m/s no terreno natural sem alteração (pontos 2 e 11),  $23,5 \times 10^{-6}$  m/s no terreno natural com preparo agrícola (ponto 12), e  $28 \times 10^{-6}$  m/s nas áreas de estéreis de cobertura e rejeito de beneficiamento, que constituem a maioria dos piezômetros. Todos estes valores caracterizam terrenos com moderada à baixa capacidade de infiltração, isto é, moderada à baixa capacidade de recarga.

Para estimar-se a condutividade hidráulica (permeabilidade) do aquífero utilizou-se o método invertido do trado e o método do piezômetro.

O método do piezômetro consiste em usar o próprio piezômetro instalado onde se bombeia a água do interior e se acompanha a recuperação, ou se perfura com trado um furo de 12 cm de diâmetro e com cerca de 0,80 m de profundidade. Após enchê-lo com água, mede-se a velocidade de rebaixamento do seu nível. A Tabela 24 apresenta os valores de condutividade hidráulica em diferentes locais da Vila Funil, onde afloram litologias das formações Palermo e Rio Bonito ou onde ocorrem pilhas de rejeito de cobertura.

Tabela 24: Resultados dos ensaios de permeabilidade

<b>Piezômetro</b>	<b>Condutividade (M/S)</b>	<b>Compr. Filtro / PROF. TOTAL</b>	<b>Descrição</b>
IPH-SD-01	$7 \times 10^{-7}$	12,00/35,00	Formação Rio Bonito. Siltito cinza com lâminas e lentes de arenito fino cinza-claro
IPH-SD-02	$5 \times 10^{-6}$	10,00/16,20	Formação Palermo. Siltito argiloso cinza-claro
IPH-SD-03	$1,3 \times 10^{-5}$	12,00/30,50	Rejeito de cobertura, areia fina com fragmentos de folhelho e siltito
IPH-SD-06	$5,4 \times 10^{-9}$	6,00/19,20	Formação Rio Bonito. Arenito fino e siltito
IPH-SD-07	$3,3 \times 10^{-9}$	5,00/15,70	Formação Rio Bonito. Arenito fino e siltito
IPH-SD-08	$5,3 \times 10^{-8}$	7,00/12,00	Rejeito de cobertura, argila cinza
IPH-SD-09	$7,7 \times 10^{-8}$	6,00/7,40	Rejeito de cobertura, areia fina e silte
IPH-SD-11	$3,3 \times 10^{-6}$	10,00/17,50	Formação Rio Bonito. Arenito fino laminado
IPH-SD-12	$1,3 \times 10^{-7}$	5,00/6,50	Formação Rio Bonito. Siltito alterado e arenito fino
IPH-SD-13	$5,4 \times 10^{-8}$	5,00/10,00	Rejeito de cobertura, argila amarela com fragmentos de arenito fino
IPH-SD-14	$1,0 \times 10^{-7}$	6,00/11,50	Formação Palermo. Siltito alterado de cores variegadas
IPH-SD-15	$3,3 \times 10^{-8}$	5,00/6,00	Formação Palermo. Siltito alterado de cores variegadas

Os ensaios de permeabilidade serviram para estimar-se a condutividade hidráulica da camada aquífera. A condutividade hidráulica varia de  $1,3 \times 10^{-7}$  a  $5 \times 10^{-6}$  m/s no terreno natural, sem mineração a céu aberto. Na Formação Rio Bonito, varia de  $5,4 \times 10^{-9}$  m/s a  $7,0 \times 10^{-7}$  m/s, e na Formação Palermo, de  $3,3 \times 10^{-8}$  a  $1 \times 10^{-7}$ . Todos estes valores mostram uma baixa capacidade de movimentação horizontal das águas subterrâneas neste nível do aquífero. Constatou-se, no entanto, que há uma tendência de aumento de condutividade hidráulica com o aumento da profundidade, tendo-se em vista que nesta Seqüência Superior – Membro Siderópolis, ocorre um



acréscimo de areia à medida que aumenta a profundidade. Fato semelhante ocorre no caso do Membro Triunfo (terço inferior da Formação Rio Bonito), posto que do ponto de vista genético, à medida em que se dirige da base para o topo, diminui a frequência das fácies deltáicas (progradantes) e, conseqüentemente, diminui a granulometria e as percentagens das areias, dando lugar às fácies transgressivas, predominantemente areno pelíticas do Membro Paraguaçu.

#### 6.2.2.2 Vulnerabilidade e riscos de contaminação

Devido às atividades de mineração de carvão, esses aquíferos múltiplos têm comportamento bastante distinto no que diz respeito à vulnerabilidade e aos riscos de contaminação.

Para a avaliação da vulnerabilidade natural deste sistema aquífero, realizou-se um Mapa de Vulnerabilidade. Nos Anexos 3 e 4 são apresentados os mapas de vulnerabilidade natural dos aquíferos profundos e dos leques aluviais, respectivamente.

Para a elaboração dos referidos mapas foram avaliadas as duas metodologias descritas no capítulo 4, a saber: Método DRASTIC, de ALLER *et al.* (1987), e Método GOD, de FOSTER (1987). Com as informações disponíveis, constatou-se que a metodologia proposta por FOSTER (1987) apresentou melhores resultados, visto que para utilizar-se o método DRASTIC torna-se necessário o conhecimento de uma série de informações relacionadas a cada parâmetro utilizado (solo, nível de água, características da zona insaturada e saturada, presença de camadas confinantes, interferência dos usuários, entre outras).

Para a avaliação dos riscos de contaminação pelas cargas contaminantes de superfície e de subsuperfície, foi necessária a elaboração de um Mapa de Fontes de Poluição.

Tendo-se em vista que o Sistema Aquífero Rio Bonito é o mais importante na área carbonífera, procurou-se, durante a elaboração do Mapa de Fontes de Poluição, identificar todas aquelas fontes relacionadas às atividades de lavra e ao beneficiamento de carvão. Desta forma, individualizaram-se áreas de disposição de rejeito piritoso, áreas de rejeito de cobertura, áreas de lavra a céu aberto, áreas de lavra em subsolo, coqueiras e plantas de beneficiamento de carvão. Cabe ressaltar-se que as informações relacionadas às atividades carboníferas foram obtidas a partir de mapas que estão sendo elaborados pela equipe de Meio Ambiente do SIECESC,

como parte integrante do Programa de Recuperação Ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina. Para a elaboração deste mapa foram utilizadas ortofotos escala 1:5.000, datadas de dezembro de 2002. Também foram identificadas as fontes de poluição relacionadas às atividades industriais, comerciais, à expansão urbana e, principalmente, às atividades agro-pastoris, tais como áreas de cultivo irrigado, com uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, feculárias e pocilgas. O Mapa de Fontes de Poluição foi elaborado na escala 1:100.000 e é apresentado no Anexo 5.

Desta forma, o risco de contaminação foi obtido a partir da correlação do Mapa de Vulnerabilidade e o Mapa de Fontes de Poluição, de acordo com a metodologia proposta por FOSTER; HIRATA (1991).

Os aquíferos do topo da Formação Rio Bonito (Membro Siderópolis), tanto aqueles relacionados à Seqüência Superior (Areias Transgressivas) como os da Seqüência Média (Seqüência Barro Branco), são aflorantes em parte da área estudada e constituem-se, predominantemente, de litologias arenosas. Estas características conferem aos respectivos aquíferos uma alta vulnerabilidade natural, como mostra o Mapa de Vulnerabilidade, Anexo 3. O fato de ocorrerem pilhas de rejeito piritoso sobre estas rochas arenosas confere aos aquíferos um alto risco de contaminação.

Os aquíferos múltiplos, relacionados à Seqüência de Areias Transgressivas (Seqüência Superior), pelo fato de capearem a camada de carvão Barro Branco, são os mais comprometidos. Em todas as áreas onde houve atividades de mineração de carvão a céu aberto e em subsuperfície, bem como disposição de rejeito piritoso, constata-se que os referidos aquíferos, relacionados a esta seqüência, estão em parte comprometidos e, em casos extremos, foram destruídos, como se pode ver nas proximidades de Siderópolis, em uma área minerada a céu aberto em épocas passadas com a *walking drag-line* conhecida como Marion. O mesmo ocorre no município de Criciúma, onde existem pilhas de rejeito piritoso dispostas sobre áreas de afloramento de rochas areníticas desta seqüência. Análises em amostras de água coletadas em minas de subsolo (a partir do gotejamento do teto) evidenciaram a péssima qualidade da água.

Os intervalos aquíferos relacionados à Seqüência Inferior (Seqüência Bonito) e aqueles relacionados à base da Formação Rio Bonito (Membro Triunfo), pelo fato de estarem capeados por uma seqüência de rochas predominantemente argilosas,

apresentam vulnerabilidade e risco de contaminação de baixo a moderado. No caso da presença de falhas distensionais, a área contígua à zona de falha apresentará alta vulnerabilidade e alto risco de contaminação.

#### 6.2.2.3 Características hidroquímicas

Antes de se abordarem as características hidroquímicas das águas deste sistema é importante que se comentem alguns fatores que direta ou indiretamente influenciam a qualidade das suas águas.

Inicialmente cabe ressaltar-se que a Formação Rio Bonito contém entre suas litologias importantes camadas de carvão, desde há muito tempo lavradas. A natureza predominantemente arenosa de seus litótipos confere-lhe uma boa potencialidade como aquífero. Porém, o fato de abrigar minas a céu aberto e minas de subsolo bem como grandes pilhas de rejeito piritoso altera suas características como aquífero.

Outro fator a ser considerado relaciona-se aos aspectos geológicos e estruturais. O mapeamento litofaciológico realizado durante esta tese demonstrou que nesta formação geológica são freqüentes as variações laterais e verticais de fácies litológicas. Demonstrou-se também que no âmbito desta formação ocorrem freqüentes falhas geológicas que provocam basculamento dos blocos rochosos. Muitas vezes estas falhas encaixam diques de diabásio.

Todos estes fatores interferem no comportamento hidrogeológico desta formação assim como nos aspectos hidroquímicos de suas águas.

Pelo exposto, pôde-se constatar que é difícil definir-se uma assinatura hidrogeoquímica padrão para as águas desta formação.

Para este estudo hidroquímico foram amostrados e analisados, durante a elaboração desta tese, 76 pontos de água. Os parâmetros analisados foram aqueles necessários à construção dos diagramas de Piper e Stiff. Consideraram-se também as informações disponibilizadas em trabalhos anteriores. Neste caso foram obtidos mais 90 laudos de análises. Poucos laudos permitiram sua utilização para a elaboração dos diagramas acima referidos. A grande maioria dos laudos foi utilizada para a elaboração de mapas de isotores de alguns elementos ou para elaboração de gráficos semilogarítmicos de Schöeller. Todas estas informações são apresentadas em *Tabelas* no Anexo 8.

Tendo-se em vista que esta formação geológica contém as camadas de

carvão e aflora no município de Criciúma, onde ocorrem várias fontes de poluição relacionadas a diferentes ações antrópicas, procurou-se realizar a caracterização hidroquímica das águas subterrâneas e definir suas relações com as diferentes fontes de poluição existentes nesta porção da bacia do rio Araranguá. Considerando-se outrossim que as águas subterrâneas guardam íntimas relações com as águas superficiais, procurou-se, nesta tese, correlacionar ambas as águas e comparar suas assinaturas hidrogeoquímicas.

A caracterização hidroquímica das águas da Formação Rio Bonito foi realizada através da elaboração de gráficos semilogarítmicos de Schöeller e de diagramas de Stiff e de Piper. Com os diagramas de Stiff, elaborou-se o Mapa Hidroquímico, Anexo 6, e com o diagrama de Piper, foi realizada a classificação hidroquímica das águas por sistemas aquíferos. Através do gráfico semilogarítmico de Schöeller realizaram-se correlações entre várias análises de água de um mesmo ponto em épocas diferentes ou de diferentes pontos.

Devido à construção da futura termelétrica USITESC no município de Treviso, calculou-se também o índice de estabilidade do carbonato de cálcio (RYZNAR, 1944) e o índice de saturação definido por Langelier (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

Objetivando classificarem-se as águas para fins de irrigação em áreas agrícolas, calculou-se os teores de sais e sódio, segundo o U.S.S.L. United States Salinity Laboratory (1954). Esta classificação baseia-se na razão de adsorção de sódio (RAS) e na condutividade elétrica das águas. A referida razão é um índice que caracteriza o risco de sodificação do solo (CAUDURO; DORFMAN, s.d.).

Os tipos geoquímicos das águas amostradas nos diferentes intervalos aquíferos da Formação Rio Bonito foram determinados através do diagrama de Piper, Figura 53, plotando-se os percentuais de miliequivalentes dos principais cátions e ânions. A apresentação dos grupos e subgrupos determinados, o número de amostras de cada subgrupo e sua frequência relativa são feitos através do quadro à esquerda do diagrama.

A interpretação do referido diagrama mostra que as águas do Sistema Aquífero Rio Bonito possuem grande variação composicional sem apresentar uma herança composicional específica de cada intervalo litológico correspondente aos diferentes intervalos aquíferos presentes nesta formação, tanto para o conteúdo total de íons dissolvidos quanto para íons individuais.

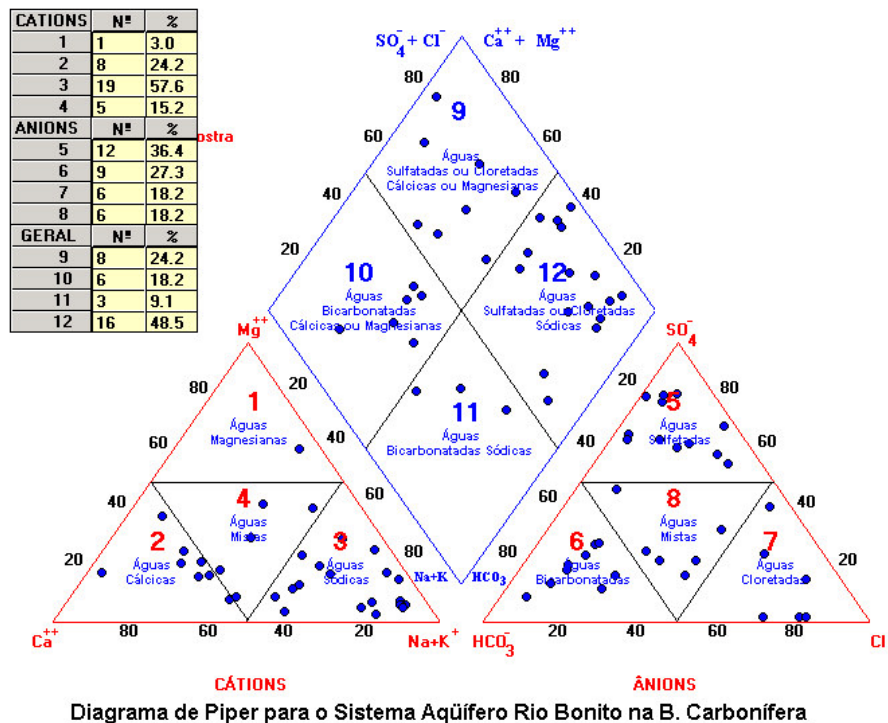


Figura 53: Diagrama de Piper do Aquífero Rio Bonito.

Constatou-se que 48,5% das amostras foram classificados como águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, 24,2%, como águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas, 18,2%, como águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, e 9,1%, como águas bicarbonatadas sódicas. Nesta área, o fluxo das águas subterrâneas ocorre em um meio de grande complexidade estrutural, caracterizado pela presença de galerias em subsolo e de falhas geológicas. Em diversos locais, a recarga deste sistema aquífero é realizada em áreas onde já ocorreram atividades de lavra ou estão cobertas por pilhas de rejeito piritoso.

Com o objetivo de definir-se o comportamento geoquímico das águas deste sistema aquífero em áreas que já foram mineradas a céu aberto e em subsolo, em épocas passadas, e também onde foram dispostos rejeitos piritosos diretamente sobre rochas areníticas desta formação, foram amostrados os poços piezométricos instalados na Vila Funil, situada no município de Siderópolis. Procurou-se avaliar a água daqueles piezômetros que foram aprofundados até a Formação Rio Bonito, tendo sido selecionados os seguintes piezômetros: IPH-SD-01, IPH-SD-03, IPH-SD-06, IPH-SD-07, IPH-SD-11, IPH-SD-12 e IPH-SD-16. O Anexo 9 mostra o perfil técnico dos referidos piezômetros e a Figura 52 mostra sua localização. O diagrama

de Piper, apresentado na Figura 54, mostra que todas as águas caíram no campo das águas sulfatadas cálcicas ou magnesianas, com exceção de uma, o que será discutido a seguir.

Este intervalo aquífero (Seqüência Superior – Membro Siderópolis) da Formação Rio Bonito, na área da Vila Funil, apresenta água de péssima qualidade. Os baixos valores de pH e altos valores de acidez total, ferro total e sulfatos, apresentados na Tabela 25, demonstram o comprometimento deste intervalo aquífero neste local. Cabe ressaltar-se que estas amostras foram coletadas em agosto de 2001 e que alguns pontos desta área, a qual está sendo monitorada pelos responsáveis por sua recuperação, indicam que está ocorrendo uma tendência de melhoria deste quadro, principalmente no que se refere aos parâmetros pH e ferro total.

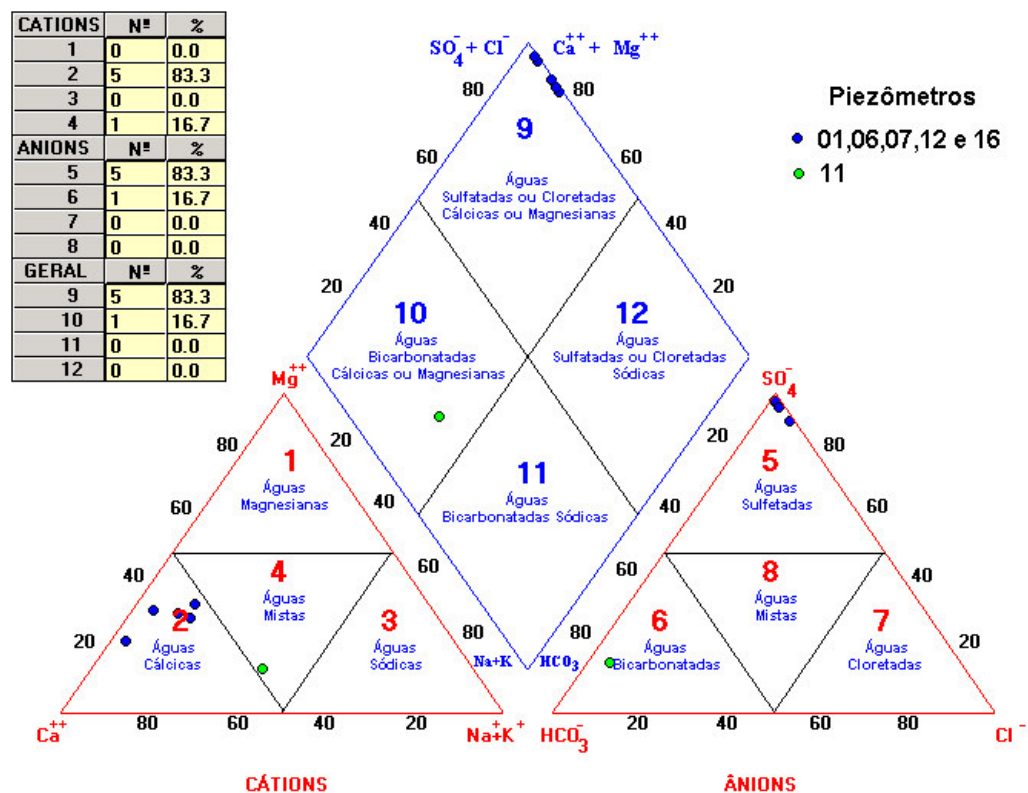


Diagrama de Piper - Piezômetros IPH-RB

Figura 54: Comportamento das águas do Sistema Aquífero Rio Bonito em áreas degradadas pelas atividades de mineração e de beneficiamento de carvão realizadas em épocas passadas. Local Vila Funil, município de Siderópolis.

Tabela 25: Síntese dos laudos de análise de água de piezômetros aprofundados até a Formação Rio Bonito, Vila Funil, Município de Siderópolis

<b>Piezômetros</b>	<b>pH (18,9°C)</b>	<b>Acidez Total (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>Ferro Total (mg/L)</b>	<b>Sulfatos (mg/L)</b>
IPH-SD-01	2,0	7741	2040,00	10400
IPH-SD-03	2,5	5554	1542,00	7575
IPH-SD-06	2,9	1375	67,40	1930
IPH-SD-07	3,5	214	38,20	548
IPH-SD-11	7,6	6	0,86	30
IPH-SD-12	3,8	136	3,30	478
IPH-SD-16	3,0	3882	880	5850

No entanto, cabe salientar-se que mesmo nestas áreas onde as águas subterrâneas já estão bastante comprometidas, em alguns locais como aquele onde está situado o piezômetro IPH-SD-11, a Formação Rio Bonito apresenta água aparentemente de boa qualidade. Nas *Tabelas* apresentadas no Anexo 8, pode-se verificar os demais parâmetros que constam no laudo de análise do referido piezômetro.

Este fato indica que a área de recarga do local onde se posiciona o piezômetro IPH-SD-11 situa-se fora da área de influência do fluxo proveniente da Vila Funil. Correlações realizadas utilizando-se laudos de análises e gráficos de Schöeller correspondentes à água deste piezômetro e às águas de boa qualidade oriundas do gotejamento do teto da Mina do Trevo, situada ao sul do referido piezômetro e a água de fontes situadas na encosta do morro onde ocorre a referida mina, mostram a grande similaridade entre todas estas águas, indicando que no caso do piezômetro IPH-SD-11 a recarga é oriunda da encosta do morro onde se localiza a Mina do Trevo (posicionado em um local fora do fluxo regional das águas subterrâneas nesta porção da bacia) e não da área correspondente à Vila Funil, situada logo à montante, de onde deveria estar se processando a recarga. Este fato demonstra a grande complexidade para o entendimento do fluxo regional das águas subterrâneas e, conseqüentemente, para a adoção de medidas mitigadoras que objetivem a recuperação dos recursos hídricos na área correspondente à bacia carbonífera.

Os trabalhos de campo executados bem como observações realizadas em minas de subsolo permitiram verificar-se que em diversos locais da bacia carbonífera ocorre conexão vertical do aquífero freático com os intervalos aquíferos profundos. Este fato foi percebido no município de Maracajá, onde o aquífero freático relacionado aos depósitos de leques aluviais alimenta o aquífero Rio Bonito através

da Falha Mãe Luzia. Fato semelhante foi verificado em Criciúma e Siderópolis.

A mistura com as águas do aquífero freático resulta tipos intermediários de composição cloretada-bicarbonatada-cálcico-sódica, enriquecidos com cloreto, sulfato, sódio, cálcio e magnésio.

Com o objetivo de se correlacionarem as águas superficiais e as águas do Aquífero Rio Bonito em áreas ainda poupadas da mineração, foram realizadas amostragens no poço tubular construído na localidade de São Pedro, município de Treviso, e na água do rio Mãe Luzia, em seu alto curso, à montante da última área minerada. Este poço é o mais próximo da porção correspondente ao alto vale do rio Mãe Luzia, onde ainda não foi executada nenhuma atividade de mineração de carvão, como mostra o Mapa de Fontes de Poluição, Anexo 5. As amostras do referido poço e do rio foram coletadas nos dias 25, 26, 30 e 31 de julho de 2000, respectivamente, conforme o plano a seguir especificado:

- coleta de água superficial no rio Mãe Luzia em seu alto curso à montante da área de início da contaminação no rio;
- coleta de água do aquífero Rio Bonito em um poço tubular profundo, construído no alto curso do rio Mãe Luzia, posicionado nas proximidades da Mina Esperança: 1ª amostra coletada no poço por ocasião do teste de bombeamento, antes de iniciar-se o referido teste; 2ª amostra coletada 24 horas após o início do ensaio de bombeamento e; 3ª amostra coletada no final do ensaio de bombeamento, após a recuperação do nível estático ao final do teste, ou seja 97 horas depois.

A observação dos 3 laudos de análise deste poço permite constatar-se que à medida que aumentou a vazão o pH sofreu um pequeno acréscimo, mostrando uma tendência para alcalino (pH = 8,0). Do mesmo modo, a Condutividade Elétrica aumentou do 1º para o 3º patamar.

O diagrama de Piper (Figura 55), elaborado com a amostra coletada no rio Mãe Luzia e as três amostras do poço tubular coletadas durante um teste de bombeamento, indicou que nesta porção da bacia carbonífera, onde ainda não houve atividade de lavra e beneficiamento de carvão, existe grande similaridade geoquímica entre as águas subterrâneas e as águas superficiais.

Observa-se que o sulfato apresentou um aumento considerável no último patamar. Este resultado deve-se à contribuição de águas dos níveis aquíferos mais superiores, associados às camadas de carvão. Sabe-se que a oxidação da pirita



adiciona à água maior quantidade de íons sulfato, transformando os tipos químicos bicarbonatados em sulfatados cálcicos.

Esta última amostra foi coletada ao final do teste (97 horas), sugerindo que após um determinado tempo a recarga inclui águas já contaminadas pelas atividades de lavra ou de beneficiamento de carvão.

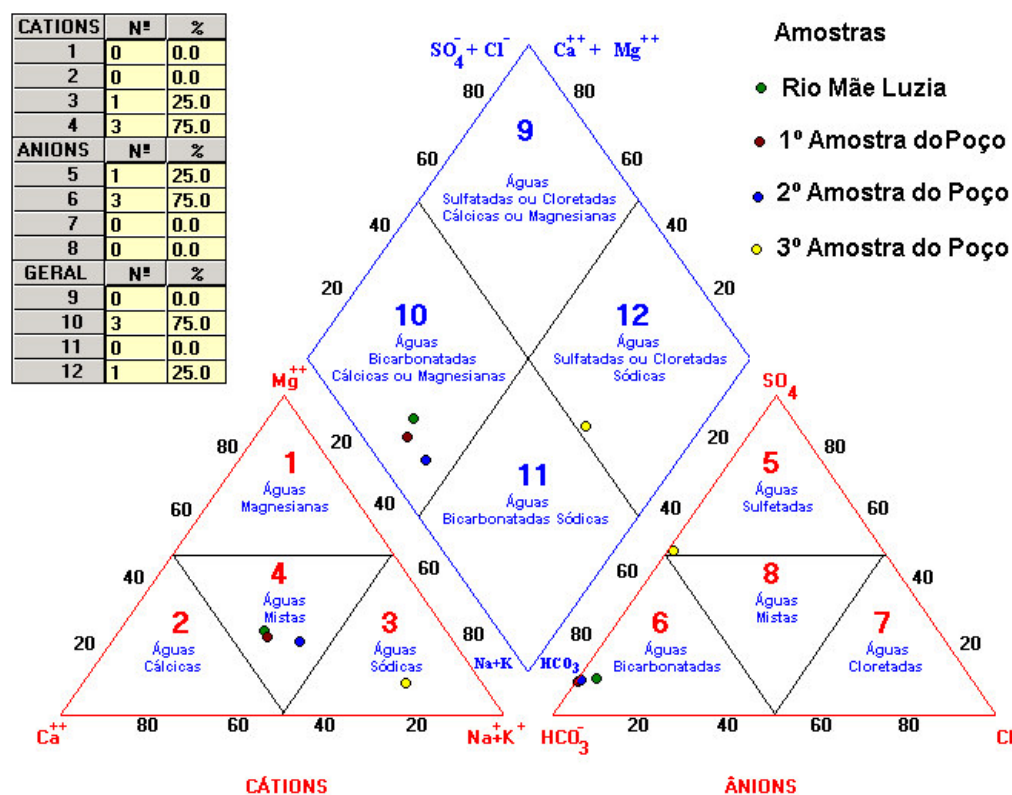


Diagrama de Piper da Água do Rio Mãe Luzia e Poço

Figura 55: Diagrama de Piper da água do rio Mãe Luzia à montante das áreas mineradas e do poço.

No presente trabalho, devido ao grande número de informações disponibilizadas, procurou-se relacionar com mais detalhe alguns parâmetros como por exemplo ferro total, manganês, sulfato e acidez total, com a qualidade da água dos diferentes Sistemas Aquíferos.

Os parâmetros selecionados bem como seus respectivos padrões de potabilidade considerados para o presente estudo como indicadores da qualidade das águas subterrâneas estão diretamente relacionados às características das mesmas encontradas na região e são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26: Relação dos parâmetros analisados com os padrões de potabilidade contidos na Portaria do Ministério da Saúde N° 1469/2000.

Padrões de Potabilidade Portaria do Ministério da Saúde N° 1469/2000	
pH	6,0 a 9,5
Condutividade (m.S.cm <sup>-1</sup> )	-
Temperatura (° C)	-
Manganês (mg/L)	0,1 mg/L
Alcalinidade Total (mg./L CaCO <sub>3</sub> )	-
Alumínio (mg/L)	0,2 mg/L
Ferro Total (mg/L)	0,3 mg/L
Sódio (mg/L)	0/100 ml
Potássio (mg/L)	200 mg/L
Cálcio (mg/L)	-
Magnésio (mg/L)	-
Cloretos (mg/L)	-
Alcalinidade de carbonatos (mg/L)	250 mg/L
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	-
Sulfatos (mg/L)	-
Coliformes Fecais	250 mg/L

O resultados analíticos obtidos a partir das coletas das águas subterrâneas realizadas no cadastramento em diferentes pontos de águas do tipo poços tubulares, ponteiros, poços escavados, fontes e poços piezométricos podem ser visualizados nas *Tabelas* com resultados de análises físico-químicas e microbiológicas, apresentadas no Anexo 8. Cabe ressaltar-se que além dos resultados das análises realizadas no presente estudo foram também utilizados outros resultados de análises de trabalhos desenvolvidos na bacia por outros autores. A *Tabela 27* mostra os trabalhos e respectivas siglas de onde foram obtidas informações de resultados de análise.

Desta forma, foi possível complementar-se o estudo hidroquímico bem como fornecer-se um panorama do comportamento das águas em várias situações.

Tabela 27: Relação dos estudos e suas respectivas siglas de poços que foram utilizados como complemento dos resultados de análises de águas subterrâneas

Estudos	SIGLA DO PONTO
MACHADO, <i>et al.</i> (1984) Projeto estudo da vulnerabilidade à contaminação dos mananciais subterrâneos decorrentes da extração do carvão mineral	PVA
AVILA (1992) Caracterização hidrogeológica e hidroquímica da Formação Rio Bonito na região de Siderópolis e adjacências	EA
LEÃO, <i>et al.</i> (2001) Avaliação da contaminação na área da Vila Funil por atividades de mineração de carvão	IPH

As Figuras 56, 57 e 58 mostram o gráfico semilogarítmico de SCHÖELLER (1955) para as águas subterrâneas em diferentes locais da bacia carbonífera. Observa-se que o comportamento das linhas correspondentes a cada ponto amostrado é semelhante, indicando que essas águas têm a mesma origem. As diferenças entre elas estão nos teores de cada parâmetro.

A Figura 56 mostra o gráfico logarítmico de SCHÖELLER (1955) onde é possível observar-se o comportamento de uma amostra de água do rio Mãe Luzia e várias amostras de poços tubulares e poços escavados relacionados à Formação Rio Bonito na porção da bacia carbonífera situada entre as cabeceiras do referido rio e a cidade de Treviso. As linhas têm um comportamento similar, indicando que as águas subterrâneas na região têm uma mesma origem, variando o teor de cada parâmetro, principalmente do ferro. Constatou-se que à medida que se dirige para os locais onde ocorrem pilhas de rejeito, as águas subterrâneas apresentam um acréscimo no teor de ferro e sulfato total. Verificou-se também que as águas subterrâneas são muito semelhantes às águas do rio Mãe Luzia na sua área de montante, antes deste ser influenciado pelas atividades de lavra e de beneficiamento de carvão.

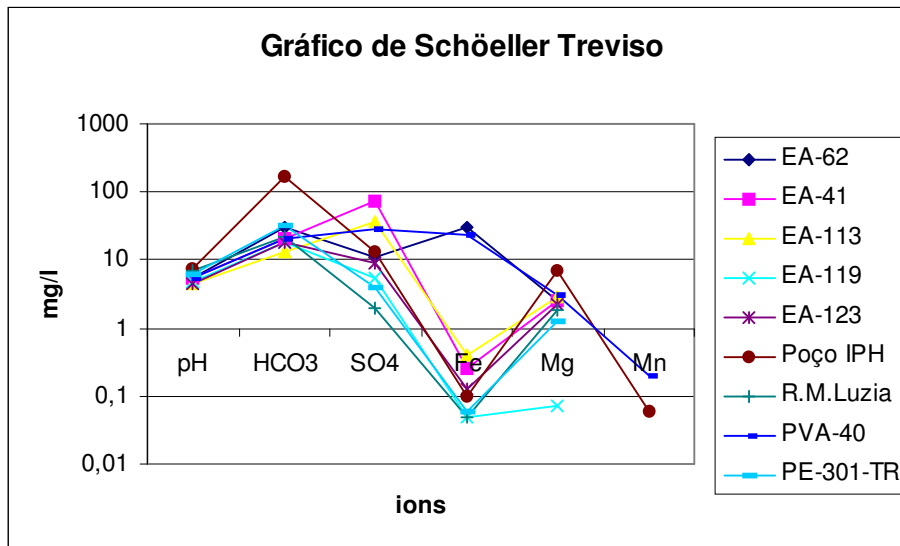


Figura 56: Comportamento das águas subterrâneas na porção correspondente ao alto curso do rio Mãe Luzia.

A Figura 57 mostra o gráfico logarítmico de SCHÖELLER (1955) no qual se observa o comportamento de duas amostras de poços tubulares (PVA) e duas de poços escavados (EA), relacionados à Formação Rio Bonito, nas proximidades da cidade de Siderópolis. Constatou-se que os valores de sulfato total e ferro total são elevados, indicando que nesta porção as águas subterrâneas já apresentam comprometimento pelas atividades de lavra e de beneficiamento de carvão. O teor de manganês não acompanhou o comportamento do ferro.

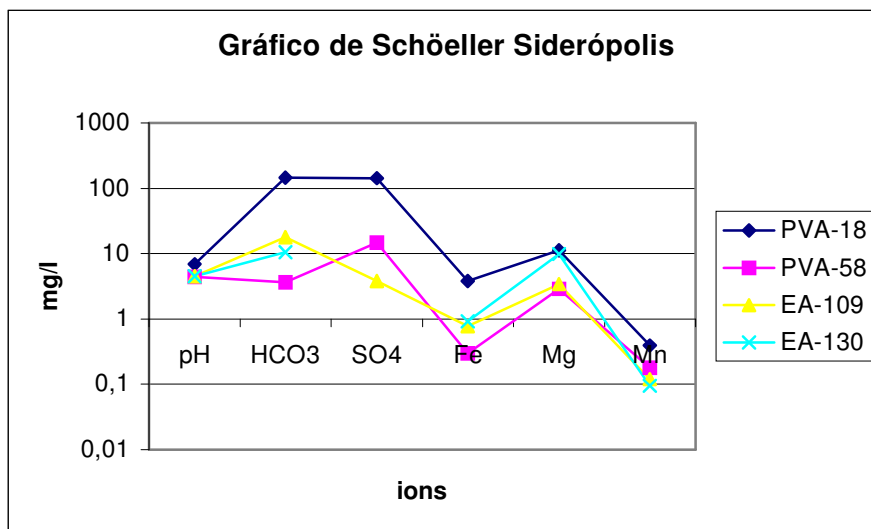


Figura 57: Comportamento das águas subterrâneas no município de Siderópolis, em poços tubulares e poços escavados.

A Figura 58 mostra o gráfico logarítmico de SCHÖELLER onde se observa o comportamento de várias amostras de poços tubulares relacionados à Formação Rio Bonito (PT) e uma de um poço escavado situado fora da área minerada, relacionado à Formação Serra Geral (EA), nas proximidades da cidade de Criciúma. O referido gráfico mostra que as águas subterrâneas apresentam um comportamento semelhante, com variação no teor de ferro total e manganês. Consta-se que estas águas subterrâneas da Formação Rio Bonito e as águas das fontes relacionadas à Formação Serra Geral apresentam assinaturas hidrogeoquímicas distintas. Somente a água de um poço tubular (PT-30-CR) apresentou similaridade com a água da fonte, principalmente no parâmetro Mg, Mn e ferro total, apresentando certa diferença nos íons sulfato e carbonato. Este poço situa-se nas proximidades de um morro testemunho (Morro Cechinell) sustentado por uma soleira de diabásio. A recarga para a área onde se posiciona o referido poço se processa a partir da encosta do Morro Cechinell.

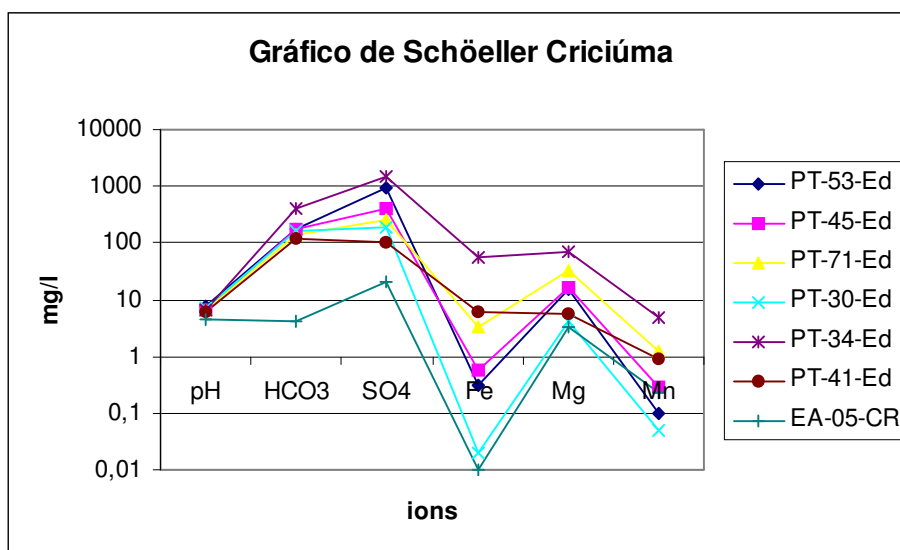


Figura 58: Comportamento das águas subterrâneas no município de Criciúma.

Com relação aos valores de pH, as águas dos poços bem construídos situados no município de Criciúma apresentaram valores de pH dentro dos padrões de potabilidade.

No caso específico da Formação Rio Bonito, considerando-se os laudos dos piezômetros do IPH (Vila Funil, município de Siderópolis) e as informações dos

laudos de análises dos pontos de água (poços tubulares, piezômetros e um poço escavado), comentados nas Figuras 56, 57 e 58, situados nos municípios de Treviso (área de montante), Siderópolis (área intermediária) e Criciúma (área de jusante), respectivamente, pode-se verificar que no município de Treviso os valores variam de 3,7 (piezômetro EA-62) até 7,6 (poço IPH localidade de São Pedro), com valor médio de 5,54. No caso do município de Siderópolis, onde as atividades de mineração de carvão foram desenvolvidas com maior intensidade em épocas passadas e, atualmente, está concentrado um maior número de empresas carboníferas, pode-se constatar que os valores de pH são baixos, variando de 2,0 (piezômetro IPH-SD-01) até 7,6 (piezômetro IPH-SD-11), com um valor médio de 3,74. No caso do município de Criciúma, situado mais ao sul desta bacia, e onde atualmente existem poucas empresas de mineração de carvão em operação, os valores de pH (nos poços tubulares profundos bem construídos) variaram de 6,3 (PT-41-ed) a 8,20(poço EA-05-Cr), com um valor médio de 7,02.

A Tabela 28 apresenta os resultados de análises físico-químicas e microbiológicas deste sistema aquífero quanto ao enquadramento aos padrões de potabilidade de água para consumo humano, estabelecidos pela Portaria n. 1469, de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde.

Com relação à condutividade elétrica, no município de Treviso os valores variaram de 79 micromhos/cm (PE-301-Tr) até 259 micromhos/cm (piezômetro EA-119), com exceção do piezômetro EA-62 que apresentou valor de 3830 micromhos/cm. No caso do município de Siderópolis, com exceção dos piezômetros EA-109, EA-130 e IPH-SD-11, que apresentaram valores de 32 micromhos/cm, 124 micromhos/cm e 356 micromhos/cm, respectivamente, os demais valores foram muito altos, chegando a 5320 micromhos/cm e 5480 micromhos/cm nos piezômetros IPH-SD-01 e IPH-SD-16, respectivamente. Constatou-se que estes valores elevados estão todos relacionados a áreas mineradas para carvão em épocas passadas.

De acordo com a classificação de dureza de Klut e Olszewsky, com valores expressos em graus franceses ( $^{\circ}\text{F}$ ) as águas podem ser: “muito moles” (dureza até  $7^{\circ}\text{F}$ ), “mole” (dureza de 7 a  $12^{\circ}\text{F}$ ), “algo dura” (dureza de 12 a  $20^{\circ}\text{F}$ ) e “muito dura” igual ou maior que  $20^{\circ}\text{F}$ . Normalmente, os valores de dureza são expressos em mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

Tabela 28: Características físico-químicas e microbiológicas dos pontos de água – Formação Rio Bonito.

RESULTADOS DE ANÁLISES - FORMAÇÃO RIO BONITO																				
Município	Padrões de Potabilidade Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469/2000	Treviso - TR			Siderópolis - SI						Criciúma - CR									
Parâmetros		PE - 301	PE - 307	IPH - 1 °	PVA - 18	PVA - 58	EA - 47	EA - 62	IPH - 001	IPH - 011	EA - 06	EA - 07	EA - 10	PT 30 Ed	PT 34 Ed	PT 50 Ed	PT 61 Ed	PT 70 Ed	PT 71 Ed	PT 76 Ed
pH	6,0 a 9,5	6,00	6,40	7,60	6,90	4,40	3,20	5,60	2,00	7,60	4,30	4,40	6,10	7,20	6,50	7,00	7,00	7,50	6,40	7,20
Condutividade (m.S.cm <sup>-1</sup> )	###	79,00	71,00	285,00	666,00	211,00	217,00	108,00	5320,00	356,00	65,00	271,00	166,00	2030	2340	252,00	1904	478,00	649,00	672,00
Temperatura (° C)	###	-	-	18,50	-	-	-	-	22,00	19,00	-	-	-	23,00	21,50	21,80	-	21,80	-	21,80
Manganês (mg/L)	0,1	ND	ND	0,06	0,39	0,18	0,07	ND	15,60	0,63	0,16	0,746	0,105	0,05	5,00	0,09	0,17	0,19	1,21	0,26
Alcalinidade Total (mg./L CaCO <sub>3</sub> )	###	26,00	11,00	138,00	118,00	3,00	11,70	24,10	ND	173,00	4,90	1,10	33,00	131,00	320,00	96,00	81,00	171,00	113,00	157,00
Alumínio (mg/L)	0,2	-	-	-	0,03	2,30	-	-	508,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro Total (mg/L)	0,3	0,06	0,18	0,10	3,80	0,30	0,08	29,44	2040,00	0,86	0,02	0,10	0,29	0,02	57,00	0,34	0,08	0,27	3,30	0,68
Sódio (mg/L)	200	8,10	2,08	19,80	71,00	2,20	49,00	56,00	8,70	32,20	47,00	13,70	138,00	180,00	25,40	20,40	232,00	46,00	13,60	24,00
Potássio (mg/L)	###	2,51	3,25	0,90	2,80	14,70	23,87	18,00	12,40	2,01	17,00	35,00	72,00	2,06	4,52	2,10	3,71	1,23	2,02	2,82
Cálcio (mg/L)	###	2,55	5,62	21,40	60,00	6,80	3,04	10,20	368,00	36,00	3,67	10,61	11,83	36,00	568,00	8,40	136,00	46,00	79,00	57,40
Magnésio (mg/L)	###	1,27	1,00	7,20	11,10	2,90	7,05	2,48	63,20	5,60	1,49	5,70	3,47	4,10	70,00	4,97	3,72	4,35	33,20	12,20
Cloreto (mg/L)	250	7,00	1,00	ND	8,00	21,20	75,26	4,64	32,00	7,00	16,26	10,68	18,54	194,00	9,00	9,00	252,00	20,00	9,00	72,00
Alcalinidade de carbonatos (mg/L)	###	0,0016	0,0017	0,3291	0,0563	ND	ND	0,0006	ND	0,4126	ND	ND	0,0025	0,1247	0,0608	0,0577	0,0487	0,3242	0,0171	0,1494
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	###	31,7	13,42	168,19	143,93	3,66	14,27	29,40	ND	210,85	5,95	1,34	40,26	159,76	390,37	117,09	98,80	208,45	137,85	191,46
Sulfatos (mg/L)	250	4,00	23,00	13,00	143,20	14,70	18,75	11,25	10400,00	30,00	0,00	38,13	15,17	186,00	1480,00	15,00	588,00	47,00	254,00	81,00
Coliformes Fecais	0/100 mL	350,00	240,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes Totais	0/100 mL	350,00	920,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ausente	Ausente	23,00	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Obs: ( 1 ) = Valores máximos permitidos segundo os padrões de potabilidade de água para consumo humano, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469 de 29 de dezembro de 2000. Para o parâmetro de pH é um valor recomendado.

( 2 ) = ND - NÃO DETECTADO.

Para transformar-se em graus franceses, basta dividir-se por 10, ou seja,  $1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg/L de CaCO}_3$ . Em Treviso e Siderópolis as águas apresentaram valores que variam de  $5,9^{\circ}\text{F}$  (PT-99-Si) a  $11,3^{\circ}\text{F}$  (poço PT-IPH-1<sup>a</sup>), indicando tratar-se de águas que variam de “muito mole” a “mole”. No caso do município de Criciúma, constatou-se que ocorre uma variação maior, desde água “muito mole” (PT-109-Cr com  $1,06^{\circ}\text{F}$ ) até águas “muito duras” (PT-48-CR e PT-60-CR com  $27^{\circ}\text{F}$  e  $30,8^{\circ}\text{F}$ , respectivamente). O valor médio correspondente a 8 amostras de poços tubulares construídos na área urbana de Criciúma foi de  $16,52^{\circ}\text{F}$ , indicando águas “algo duras”.

Com relação à acidez (expressa em mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ), todos os valores foram baixos, variando de 5 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  a 98 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , com exceção da área da Vila Funil, onde foram detectados valores de 3882 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , 5554 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  e 7741 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  nos piezômetros IPH-SD-16, IPH-SD-03 e IPH-SD-01, respectivamente. Estes valores elevados acompanham os valores de condutividade e também correspondem a áreas mineradas para carvão em épocas passadas. Sabe-se que águas com altas concentrações de acidez são corrosivas a metais, concretos e organismos vivos (SAWYER; MACARTY, 1967).

Como foge ao escopo do presente trabalho, não se analisou uma série de metais que se sabe estarem presentes nos depósitos de carvão, normalmente associados à pirita. Vários trabalhos tais como o de MACHADO, *et al.* (1984); GOTHE (1989); ÁVILA (1992); LEÃO, *et al.* (2001) abordam aspectos relacionados aos processos de oxidação da pirita e liberação destes metais juntamente com o ferro. Constatou-se que além das fontes de poluição relacionadas às atividades de mineração e de beneficiamento de carvão ocorrem nesta bacia diversas outras (pontuais e difusas), relacionadas às atividades industriais, às atividades agrícolas e à expansão urbana, como mostra o Mapa de Fontes de Poluição, Anexo 5. A avaliação da contaminação por pesticidas agrícolas demandaria a realização de análises específicas em determinadas épocas do ano para identificação da presença de elementos organoclorados ou organofosforados. Cabe ressaltar-se também que ao contrário do que se verifica para o caso da contaminação do solo e recursos hídricos pelas atividades de lavra e beneficiamento de carvão, onde se pode pesquisar um grande número de trabalhos já realizados, no caso dos pesticidas e corretivos utilizados largamente nas áreas de cultivos, não só nesta bacia hidrográfica, mas também em grande porção do estado de Santa Catarina e outros estados do Brasil, muito poucos trabalhos estão disponíveis, principalmente em



órgãos estaduais e federais diretamente envolvidos com atividades agrícolas.

Sabe-se ainda que quando a água superficial se infiltra ela sofre reações de trocas iônicas, oxido-redução e complexação. Para explicar-se a origem dos cátions e ânions principais seria necessário também entender-se o ataque químico às rochas, envolvendo processos de intemperismo (hidrólise, hidratação e oxidação).

De qualquer maneira, com o objetivo de avaliar-se a influência das diferentes fontes de poluição na qualidade da água deste aquífero, analisaram-se alguns parâmetros tais como ferro, manganês, alumínio, coliformes fecais e totais, sulfato e cálcio. O cálcio foi incluído porque atua como inibidor da dissolução dos metais através de troca iônica e precipitação desses metais. No caso da área da Vila Funil (LEÃO, *et al.*, 2001), analisaram-se os seguintes elementos e metais pesados: alumínio, cádmio, cálcio, chumbo, cobre, ferro, magnésio, manganês, potássio, sódio, zinco, sulfatos, fluoretos, sólidos totais e sílica solúvel.

Com relação ao alumínio, verificou-se que os valores encontrados estão de acordo com os padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS), que é de 0,2 mg/L. Somente um poço-ponteira em Criciúma (PO-29-Cr) apresentou valor de 0,40 mg/L de Al e um poço escavado em Içara (PE-249-Ic), de 3,20 mg/L de Al. No caso da área da Vila Funil, constatou-se que somente o piezômetro IPH-SD-11 apresentou valores baixos dentro dos padrões da OMS, (<0,1 mg/L de Al). As águas de todos os demais piezômetros apresentaram valores muito altos. Os piezômetros IPH-SD-16, IPH-SD-03 e IPH-SD-01 apresentaram valores de 340 mg/L de Al, 420 mg/L de Al e 508 mg/L de Al, respectivamente.

Quanto ao cádmio, considerando-se os padrões da OMS (0,005 mg/L de Cd), todos os valores detectados estão acima (0,01 a 0,03 mg/L de Cd).

O chumbo tem um comportamento um pouco diferente. Verificou-se que nos locais onde ocorrem pilhas de rejeito sobre as rochas areníticas os teores ultrapassam 0,05 mg/L de Pb, como foi verificado nos piezômetros IPH-SD-01, IPH-SD-03, IPH-SD-07 e IPH-SD-16, com 0,26 mg/L de Pb, 0,23 mg/L de Pb, 0,20 mg/L de Pb e 0,48 mg/L de Pb, respectivamente. Nos locais onde não existem pilhas de rejeito, mesmo nas proximidades de áreas mineradas a céu aberto e com pilhas de rejeito, os valores encontrados foram baixos, como é o caso do local onde está o piezômetro IPH-SD-11, poços tubulares PT-IPH-01, PT-99-SI e PT-149-NV, todos eles com valores inferiores a 0,05 mg/L de Pb, situados nos municípios de Treviso, Siderópolis e Nova Veneza, respectivamente.

Com relação ao cobre, verificou-se que todos os valores encontrados estão abaixo do padrão estabelecido pela OMS, que é de 1,0 mg/L de Pb. Os valores mais elevados estão relacionados às áreas onde ocorre disposição de rejeito, tais como no local do piezômetro IPH-SD-01 e IPH-SD-16, com 0,74 mg/L de Pb, e 0,28 mg/L de Pb, respectivamente.

Com relação ao zinco, constatou-se que ele apresenta um comportamento semelhante ao chumbo, isto é, nas áreas onde as rochas areníticas estão capeadas por rejeitos piritosos os teores de Zn foram mais altos, como constatado nos locais dos piezômetros IPH-SD-01 mg/L de Pb, IPH-SD-03 e IPH-SD-16, com 5,60 mg/L de Pb, 17,60 mg/L de Pb e 8,40 mg/L de Pb, respectivamente. MACHADO, *et al.* (1984), por ocasião de seu trabalho a respeito da vulnerabilidade dos aquíferos devido às atividades de mineração de carvão menciona que, “verificando os fatores indicativos de contaminação, em 57% das 26 amostras analisadas somente o ferro e o zinco apresentaram valores acima dos padrões estabelecidos”.

Com relação às concentrações de sulfato, o gráfico apresentado na Figura 59 demonstra que os valores estão em alguns pontos muito acima (41 vezes) dos valores estabelecidos pela portaria anteriormente referida. A Figura 59 mostra as concentrações de sulfato em poços situados nos municípios de Treviso, Siderópolis e Criciúma.

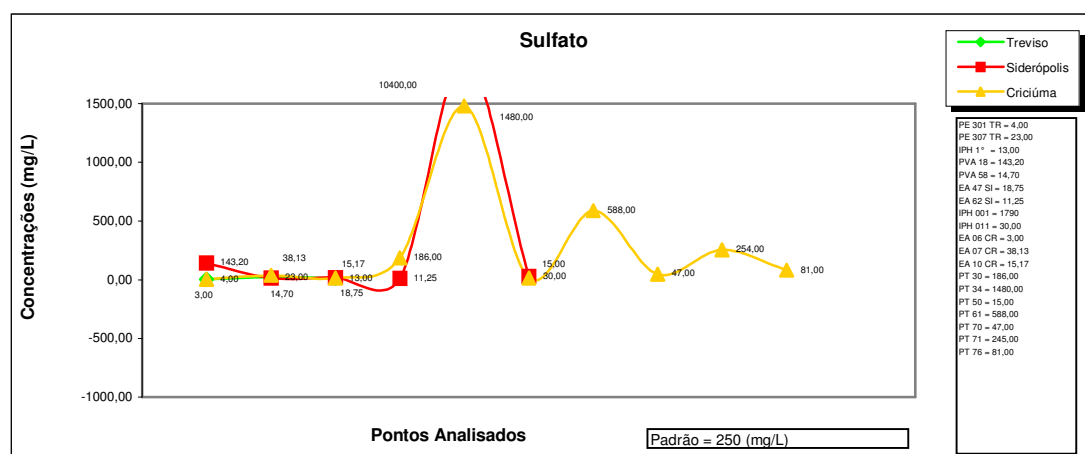


Figura 59: Variação da concentração de sulfatos nas águas dos pontos analisados – Formação Rio Bonito.

Com relação ao comportamento das concentrações de manganês, verificou-se que a maioria dos pontos de água analisados se encontram acima dos padrões estabelecidos. A leitura da Tabela 28 permite verificar-se que o manganês,

juntamente com o ferro, é o parâmetro mais restritivo para a utilização destas águas para fins de potabilidade. A Figura 60 demonstra o comportamento deste parâmetro nos municípios de Treviso, Siderópolis e Criciúma.

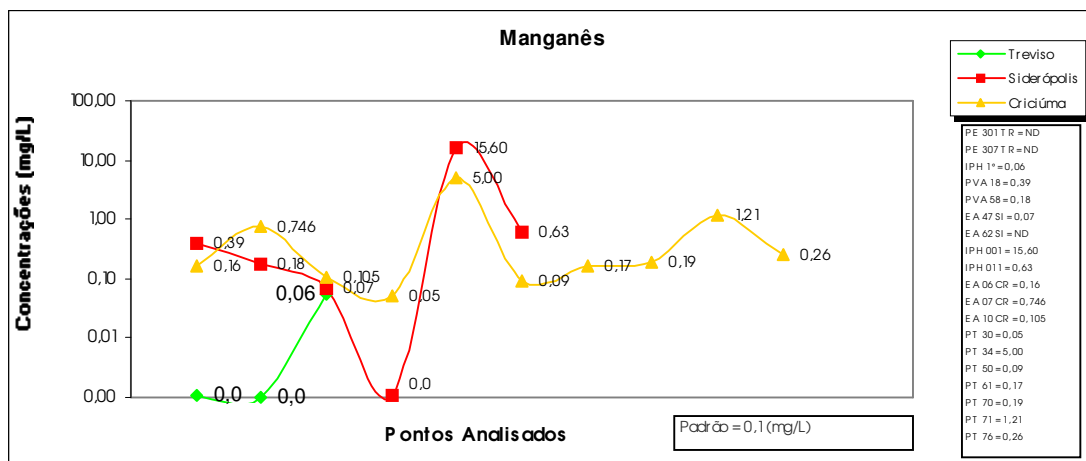


Figura 60: Variação da concentração do manganês nas águas dos pontos analisados – Formação Rio Bonito.

O comportamento da concentração de ferro total neste sistema aquífero é bastante variável nos três municípios citados, demonstrando valores extremos entre os municípios de Criciúma e Siderópolis com valores de 0,02 mg/L (PT-30ed) e 2040 mg/L (IPH-01), respectivamente. A Figura 61 demonstra o comportamento deste parâmetro nos municípios de Treviso, Siderópolis e Criciúma.

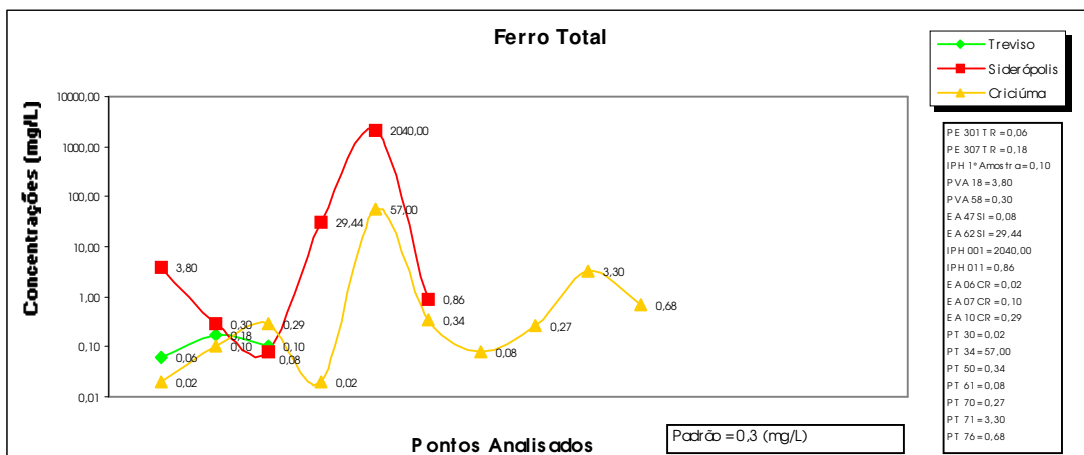


Figura 61: Variação da concentração do ferro total nas águas dos pontos analisados – Formação Rio Bonito.

O ferro total acompanha o comportamento do manganês, como demonstra a Figura 62.

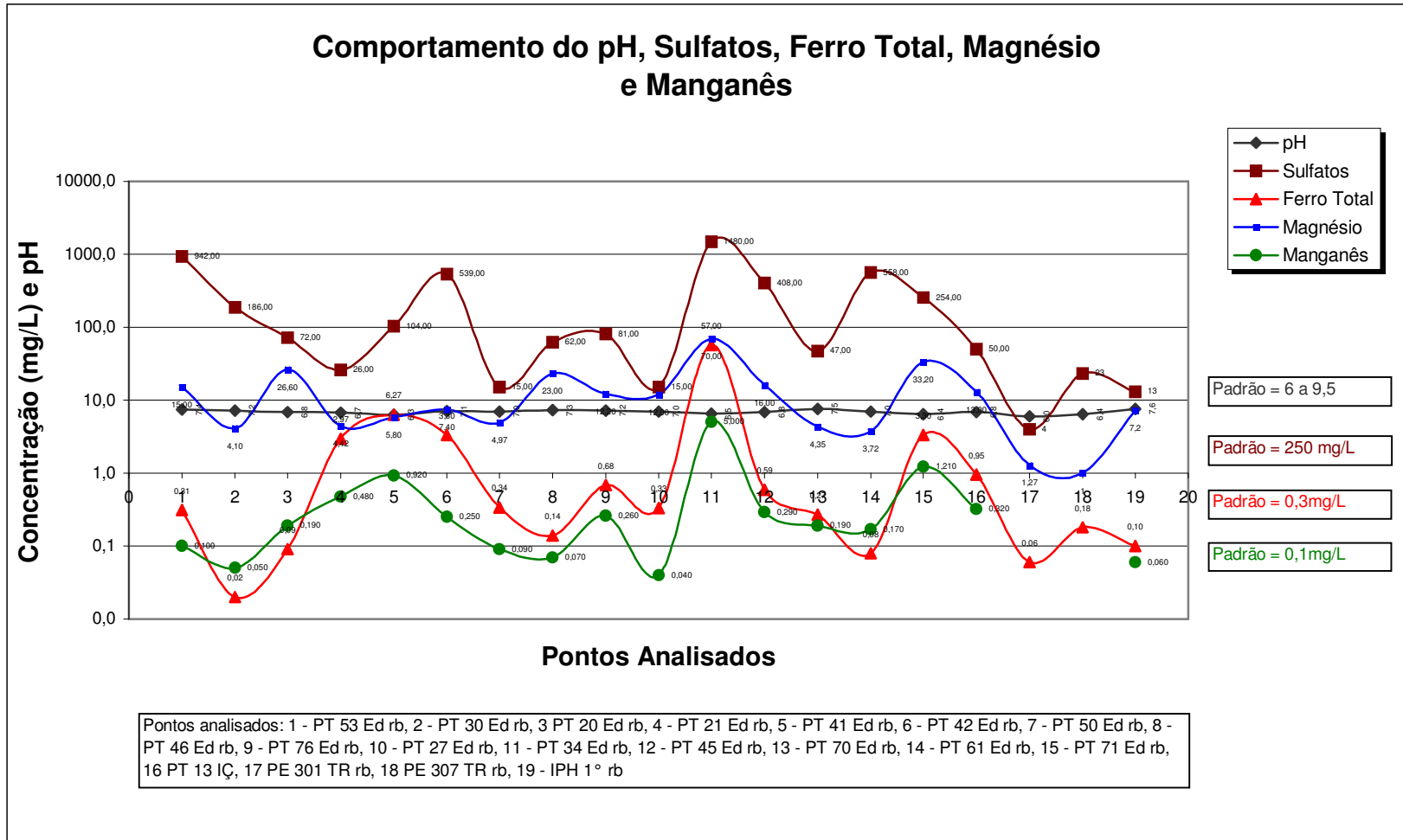


Figura 62: Variação do pH, sulfatos, ferro total, magnésio e manganês nas águas dos pontos analisados – Formação Rio Bonito.

### Avaliação do grau de corrosividade - Índice de Langelier e de Ryznar

Como o objetivo da utilização dessas águas é para uma termelétrica, um dos parâmetros que pode ter influência é a corrosão. Para tal, resolveu-se verificar o grau de corrosividade das águas subterrâneas e superficiais. Utilizou-se o índice de Langelier (I) ou índice de saturação que é um indicador da estabilidade química da água subterrânea:

$$I = \text{pH} - \text{pH}_s$$

I = índice de Langelier;

pH = potencial de hidrogênio

pH<sub>s</sub> = valor correspondente ao estado de equilíbrio dos compostos carbonatados em solução.

$$\text{pH}_s = 9,92 - t^{\circ}\text{C} - \log [\text{Ca}^{++}(\text{ppm})] - \log [\text{HCO}_3^{-} (\text{mg/ekv/l})] + 0,2 \log[\text{TDR}(\text{ppm})]$$

TDR = resíduo seco total (ppm)

T (°C) = temperatura da água subterrânea no aquífero;

Ca<sup>++</sup> = íon de Cálcio determinado no campo ou estimado a partir do CaO;

$$\text{Ca}^{++}(\text{ppm}) = \text{CaO} (\text{ppm}) / 1,4$$

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Bicarbonatos, determinado no campo como mg/ekv/l ou a partir

$$\text{HCO}_3^{-} (\text{mg/ekv/l}) = \text{HCO}_3^{-} (\text{ppm}) / 61$$

Na equação:

$$I = \text{pH} - \text{pH}_s$$

Se:

I < 0 a água tem capacidade de dissolver compostos de Carbono;

$I > 0$  a água tem capacidade de separar e depositar os compostos de carbono.

O número de Ryznar é outro critério de avaliação da capacidade de corrosão das águas subterrâneas:

$$R = 2pH_s - pH$$

Se:

$R < 7$  a água tem uma propensão incondicional de dissolver compostos de carbono;

$R > 9$  a água é corrosiva.

$7 < R < 9$  pode haver incrustação e baixa intensidade de corrosão.

No caso do rio Mãe Luzia, aplicou-se o cálculo para o Índice de Langelier e de Ryznar tendo por base as informações do laudo das análises químicas (laudo 575/2000). Obtiveram-se os seguintes resultados:

$$I = - 2,579$$

$$R = 12,35$$

Nos dois casos pode-se observar que os resultados revelaram que a água do rio Mãe Luzia, no ponto amostrado, é corrosiva.

#### *Relação de adsorção em sódio (RAS)*

Com relação à possibilidade de utilização da água deste sistema aquífero para fins de irrigação em áreas agrícolas, foi calculada a relação de adsorção em sódio (RAS) em 38 amostras coletadas em diferentes locais desta bacia, onde são praticadas atividades de rizicultura irrigada, Figura 63.

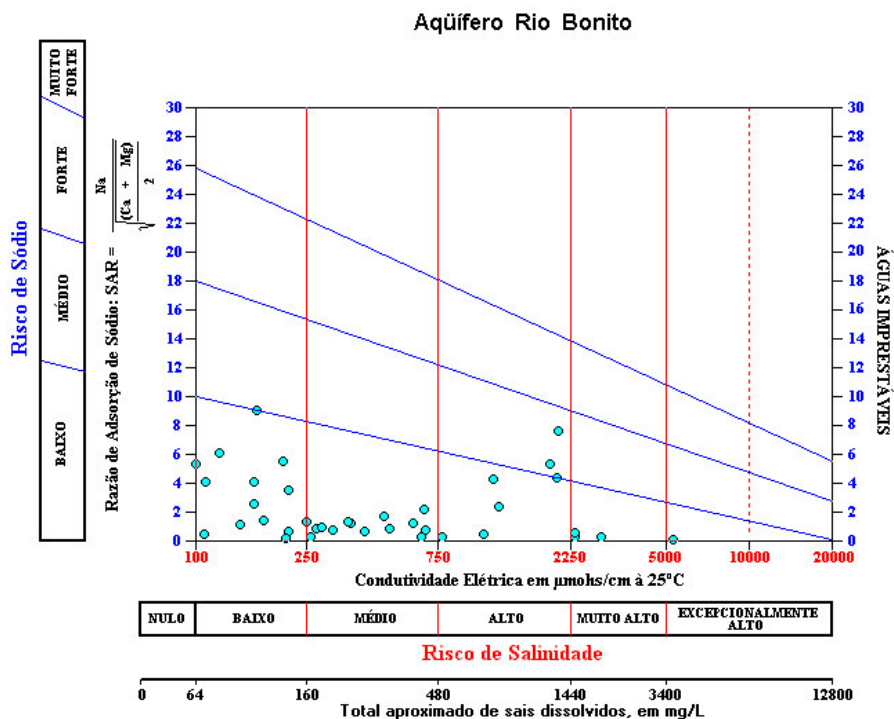


Figura 63: Diagrama para classificação das águas de irrigação em função dos teores de sais (salinidade) e sódio. (USSL – United States Salinity Laboratory).

Segundo o referido diagrama, identifica-se cada classe de água pelas letras **C** e **S**. A água de melhor classe, ou seja, aquela que não apresenta nenhum risco para as plantas e para o solo é denominada  $C_1S_1$ , e a mais prejudicial é a  $C_4S_4$ , ou seja, apresenta alto risco de salinização e de sodificação. Ressalta-se que o software *Qualigraf*, utilizado neste trabalho, apresenta as referidas letras. No caso do risco de salinidade,  $C_1$ =baixo;  $C_2$ =médio;  $C_3$ =alto e  $C_4$ =muito alto e excepcionalmente alto. No caso do risco de sódio,  $S_1$ =baixo;  $S_2$ =médio;  $S_3$ =forte e  $S_4$ =muito forte.

A Tabela 29 mostra que 31,6% das amostras apresentaram baixa salinidade e baixos teores de sódio, indicando que podem ser utilizadas para a irrigação sem risco algum para as plantas e para o solo ( $C_1S_1$ ), 36,8% apresentaram média salinidade e baixos teores de sódio, indicando que tais águas podem ser utilizadas para irrigação desde que haja um grau moderado de lavagem do solo, não necessitando, geralmente, de práticas especiais de controle de salinidade ( $C_2S_1$ ), 10,5% apresentaram alta salinidade e baixo teor de sódio, indicando que não podem ser utilizadas em solos com drenagem deficiente e necessita que se utilizem práticas especiais de controle de salinidade ( $C_3S_1$ ), 10,5% apresentam salinidade muito alta

e baixo teor de sódio, não sendo apropriadas para fins de irrigação, necessitando práticas de controle e só servindo para plantas altamente tolerantes em sais (C<sub>4</sub>S<sub>1</sub>) 10,5 % apresentam baixa salinidade teor médio de sódio, indicando que esta água só deve ser utilizada para irrigação de solos de textura arenosa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade (C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>); e 2,6% apresentam baixa salinidade e médios teores de sódio (C<sub>1</sub>S<sub>2</sub>) .

Tabela 29: Freqüência relativa de cada classe

<b>Classes</b>	<b>Número Amostras</b>	<b>Freqüência Relativa ( % )</b>	<b>Freqüência Acumulada ( % )</b>
C1 S1	12	31,6	31,6
C1 S2	1	2,60	34,20
C2 S1	14	36,8	71,00
C3 S1	4	10,5	81,50
C3 S2	3	7,90	89,50
C4 S1	4	10,5	100
TOTAL	38	-	-

#### 6.2.2.4 Potencialidade aquífera

A potencialidade aquífera desta formação é muito variável e depende de uma série de fatores tanto de ordem geológica e geomorfológica como de fatores climatológicos e antrópicos.

O trabalho de cadastramento de pontos de água demonstrou que os poços tubulares profundos construídos neste sistema aquífero apresentam vazões que variam de 1 m<sup>3</sup>/h (PT-132 e PT-135) até 20 m<sup>3</sup>/h (PT-61), com um valor médio de 6,71 m<sup>3</sup>/h. As *Tabelas* apresentadas no Anexo 10 mostram as informações referentes aos poços tubulares profundos.

As verificações de campo indicaram que alguns poços construídos em locais com alta favorabilidade hidrogeológica no que se refere às suas características geológicas (tipo de rocha, granulometria, presença de falhas abertas e intrusões de diabásio), geomorfológicas (vales junto a encostas) e climatológicas (proximidade da encosta do planalto, onde os índices pluviométricos são bem mais elevados do que no restante da bacia), apresentaram resultados ruins, cujos valores ficaram muito abaixo dos esperados.

Com relação às diferentes ações antrópicas praticadas nesta bacia, constatou-se que muitas delas interferem na recarga dos aquíferos. No caso da área



urbana de Criciúma, onde foram cadastrados 89 poços tubulares profundos (NOSSE, 2004, em andamento), a expansão urbana (que resulta na impermeabilização do solo) e a supressão da cobertura vegetal das áreas de encosta estão modificando as condições de escoamento superficial e conseqüentemente a taxa de infiltração. No caso das atividades de mineração, a presença de galerias e a drenagem de subsolo são fatores que interferem negativamente no desempenho do poço, como será visto adiante.

SILVA (1984) calculou os parâmetros hidrodinâmicos de um poço construído na área urbana de Içara. O referido autor apresenta valores de transmissividade e permeabilidade em  $m^2/dia$  e  $m/dia$ , respectivamente, porque, segundo ele, são as unidades mais utilizadas universalmente. Os valores obtidos foram: transmissividade  $439,20 m^2/dia$ , permeabilidade  $1,008 m/dia$  e coeficiente de armazenamento  $7,4 \times 10^{-3}$ .

ÁVILA (1992), estudando a Formação Rio Bonito na porção compreendida entre os municípios de Siderópolis, Nova Veneza e Criciúma, admite que a referida formação possui boa capacidade de ceder água e os valores de permeabilidade indicam que esta unidade possui granulometria média. Com relação ao coeficiente de armazenamento para um aquífero poroso intergranular, o valor atingido por este parâmetro o caracteriza como médio. Apresenta também informações a respeito das características hidrodinâmicas desta formação e diferentes locais. Nas proximidades de Criciúma o valor médio da transmissividade foi de  $52,20 m^2/dia$  e da capacidade específica  $1,8 m^3/h/m$ . Em um poço construído em Maracajá obtiveram-se valores de  $27,15 m^2/dia$  para transmissividade e  $1,23 m/dia$  para permeabilidade.

MACHADO (1997), durante o mapeamento da Folha de Criciúma, obteve valores de capacidade específica na faixa de  $0,11 l/s/m$  e  $0,44 l/s/m$  para este sistema aquífero, sendo o maior valor encontrado de  $1,72m^3/h/m$ , que corresponde a  $0,47 l/s/m$ .

Os trabalhos desenvolvidos durante esta tese demonstraram que existe uma grande heterogeneidade no comportamento das camadas aquíferas desta formação geológica.

Tendo-se em vista a construção da futura USITESC, foi viabilizada, através da Carbonífera Criciúma, a execução de alguns poços tubulares profundos em locais previamente selecionados nos quais seriam executados testes de bombeamento. Desta forma, foram pesquisados três locais que apresentaram características

hidrogeológicas favoráveis, dois deles situados no município de Treviso, nas imediações do futuro empreendimento, e um no município de Nova Veneza.

#### *Ensaio de bombeamento na localidade de São Pedro*

Este local posiciona-se ao longo do alto curso do rio Mãe Luzia, onde não existia nenhum poço tubular. Do ponto de vista geológico, corresponde ao eixo de uma calha estrutural, como mostra a Figura 45. O local onde foi construído o poço não foi minerado porque corresponde a uma zona de interseção de falhas com freqüentes intrusões de diabásio.

O ensaio de bombeamento foi realizado em 3 patamares e observado no piezômetro Pz-02, distante 280 metros. O ensaio iniciou no dia 25 de julho e se estendeu por 97 horas, após as quais foram medidos os níveis de recuperação do poço P1 e do piezômetro Pz durante 24 horas. A Figura 64 mostra o detalhe do ensaio de bombeamento.

A síntese das medições do ensaio de bombeamento em patamares encontra-se na Tabela 30.

Tabela 30: Síntese das informações do teste de bombeamento na localidade de São Pedro

<b>NE(m)</b>	<b>Nível (m)</b>	<b><math>\Delta</math> (m)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b><math>\Delta/Q</math></b>	<b>t (hora)</b>
8,78	33,22	24,44	5,8	4,21	22
	120,26	111,48	11,6	9,61	41
	217,17	208,39	15,6	13,36	34

Foi utilizado o modelo MVAS17, desenvolvido por Vukovic e Soro, com valores de Transmissividade e Armazenamento de:  $T = 0,01098 \text{ m}^2/\text{min}$   $S = 0,0001331$ . Estes valores serviram para simular o comportamento do poço e do piezômetro ao longo de todos os patamares do teste escalonado, Figuras 65 e 66. Foram obtidos a partir do próprio teste e reproduziram de modo mais satisfatório o comportamento dos rebaixamentos tanto do poço como do piezômetro, dentre os vários valores de Trasmisividade e Armazenamento obtidos nos diferentes patamares do teste escalonado.



Figura 64: Detalhe do ensaio de bombeamento.

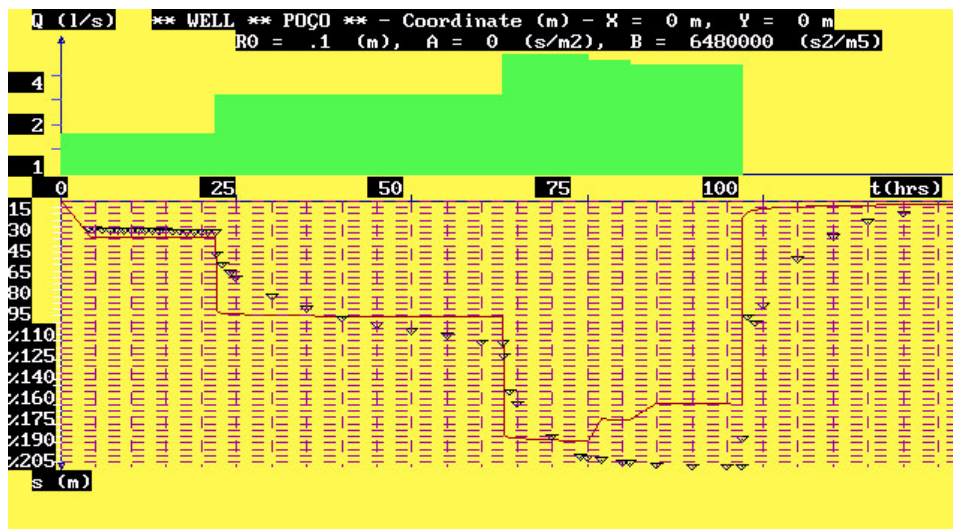


Figura 65: Resultados do ensaio escalonado no poço P-1.

Foram também utilizados na mesma simulação os valores de  $A = 0$  e  $B = 6480000 \text{ s}^2/\text{m}^5$ , correspondentes aos coeficientes do teste escalonado que relaciona o rebaixamento com a vazão através da equação  $\Delta = AQ + BQ^2$ . O coeficiente A representa a perda de carga nas imediações do filtro do poço, enquanto que o coeficiente B representa a perda de carga no poço propriamente dito. Deve-se ressaltar que o valor de B é extremamente grande o que explica o grande aumento dos rebaixamentos a partir do segundo patamar.

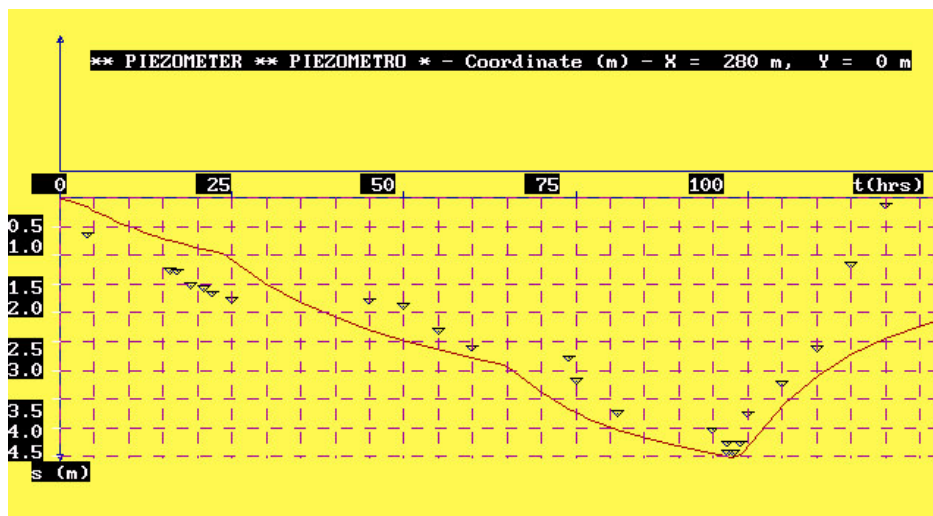


Figura 66: Resultados do ensaio escalonado no piezômetro Pz.

O comportamento tanto do teste escalonado como da simulação correspondente mostram que a passagem do primeiro patamar, com descarga de  $5,8 \text{ m}^3/\text{h}$ , para o segundo patamar, com descarga de  $11,6 \text{ m}^3/\text{h}$ , produziram rebaixamentos 4,5 vezes maiores, passando de 24,44m, ao final do primeiro patamar para 111,46m ao final do segundo patamar, correspondendo a um incremento de vazão de 100%. Situação semelhante se apresenta na mudança do segundo para o terceiro patamar, quando os rebaixamentos aumentam em 1,8 vezes, com a vazão passando de  $11,6 \text{ m}^3/\text{h}$  para  $15,6 \text{ m}^3/\text{h}$ , o que corresponde a um incremento de 34%.

O desempenho do poço foi baixo. Os resultados do ensaio de bombeamento mostraram que a vazão (cerca de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  e a capacidade específica  $0,12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ), obtida ficou muito aquém das expectativas frente aos condicionantes geológicos e hidrogeológicos favoráveis.

O teste de bombeamento escalonado indicou que na situação atual, colocando-se a bomba a uma profundidade de 250 m, para retirar  $11,6 \text{ m}^3/\text{h}$  durante 41 horas, o nível dinâmico rebaixou para a profundidade de 120 m. O referido teste mostrou também que a recuperação deste poço é muito lenta, evidenciando o atual baixo desempenho do aquífero, confirmado também pelos baixos valores de transmissividade ( $10^{-3} \text{ m}^2/\text{min}$ ).

A baixa potencialidade aquífera da Formação Rio Bonito neste local, evidenciada pelo teste de bombeamento escalonado (pequena vazão e baixa capacidade específica), não permite concluir-se sobre a real capacidade de

exploração desta formação em toda a área estudada. Esta afirmativa é função da identificação de diversos fatores que influenciaram negativamente no comportamento do aquífero no local do poço, tais como presença de galerias, arenitos recozidos, bastante litificados ou silicificados, diques de diabásio que atuam como barreiras.

Uma das hipóteses aventadas refere-se à possibilidade de a drenagem de subsolo bem como a presença de galerias antigas, existentes em grande porção desta parte do município, interferirem negativamente na recarga dos aquíferos. A análise e a observação do perfil técnico do poço construído (Figura 51) permitem constatar-se que o intervalo aquífero situado abaixo da camada de carvão Barro Branco, que deveria apresentar uma eficiente contribuição para o poço, não o faz. A causa é a drenagem da mina, realizada durante o período de operação da mesma que, desta maneira, interfere negativamente na recarga do referido intervalo aquífero. Esta drenagem, conforme informações dos boletins de monitoramento realizados pela Carbonífera Metropolitana para o mês de maio de 2003, na Mina Esperança, é de cerca de 407 m<sup>3</sup>/h durante 4,7 horas, perfazendo um total de 1927 m<sup>3</sup>/d. No caso da Mina Fontanella, no mês de outubro de 2003, obteve-se um valor de 45 m<sup>3</sup>/h, com 17,6 horas de bombeamento que perfazem 792 m<sup>3</sup>/d. Da mesma forma, a grande quantidade de galerias modificou totalmente o regime e o sentido de fluxo das águas subterrâneas neste local.

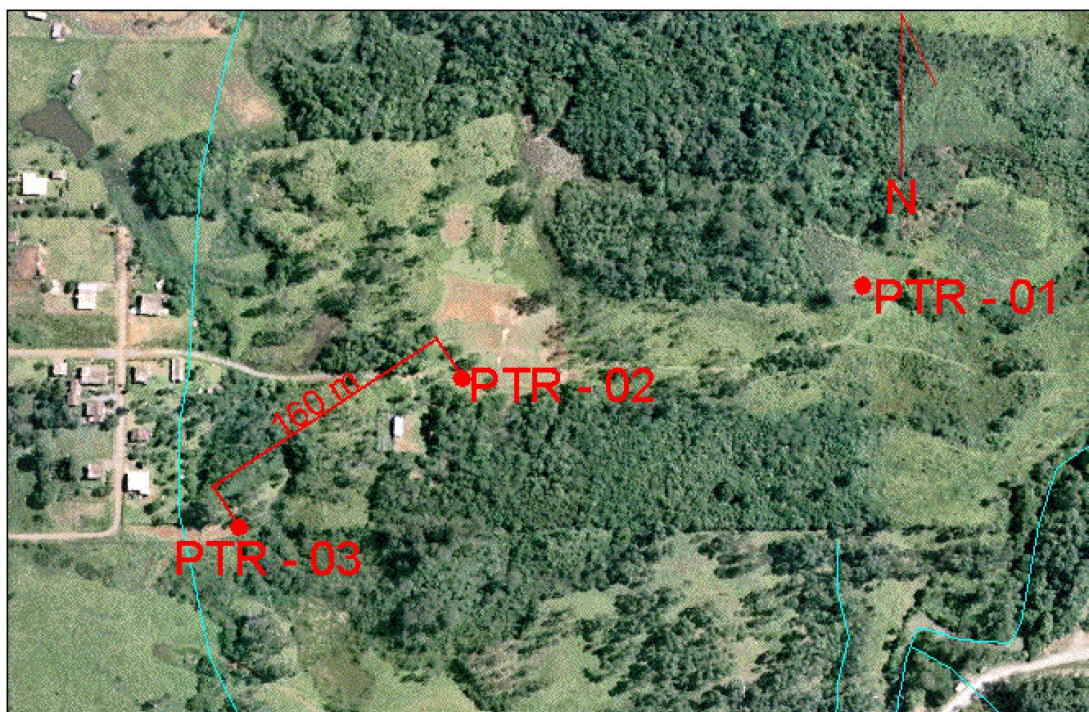
Outra hipótese para explicar o baixo desempenho deste poço relaciona-se à presença de freqüentes intrusões de diabásio que podem ter recozido parcialmente as rochas areníticas e, desta maneira, diminuído sua permeabilidade, embora se saiba que geralmente tais intrusões contribuem para a ampliação de vazão. Neste caso específico, os arenitos dos intervalos estratigráficos inferiores à camada de carvão Barro Branco parecem estar mais litificados do que em outros locais da bacia carbonífera, o que pode ser verificado pela correlação com os testemunhos de sondagens de furos de sonda executados para carvão em diferentes locais da bacia carbonífera. Também a proximidade do poço a uma falha N10<sup>0</sup>E, que encaixa um espesso dique de diabásio, pode ter interferido negativamente na recarga dos intervalos aquíferos. Este dique de diabásio é bem conhecido em subsuperfície, uma vez que ele pode ser identificado ao longo de várias galerias da Mina Esperança, em cuja área o poço está inserido. Em alguns locais, constata-se que junto ao referido dique não ocorre infiltração significativa de água. Desta forma pode-se admitir que



ao invés de contribuir para a recarga ele atua como barreira à circulação das águas subterrâneas.

*Ensaio de bombeamento no vale do rio Ferreira, junto à cidade de Treviso*

O local onde foi realizado este outro teste de bombeamento corresponde ao vale do rio Ferreira, junto à cidade de Treviso, onde passa uma falha N30°W, que limita a calha estrutural comentada no capítulo 5, item 5.4.4. A partir das informações dos perfis litológicos dos poços PTR-01 e PTR-02, situados no bloco alto, e doo PTR-03, posicionado na borda desta calha, considerou-se o poço PTR-03 como poço de bombeamento e o PTR-2, posicionado a 160 m do primeiro, como poço de observação. A Figura 67 mostra o posicionamento de ambos os poços.



ESCALA GRÁFICA EM METROS:

50 0 100

Figura 67: Teste de bombeamento e localização dos furos PTR-01, PTR-02 e PTR-03. Local: Vale do rio Ferreira, município de Treviso.

Tendo-se em vista que estes poços foram executados com diâmetro NQ, que corresponde a 68 mm (diâmetro interno do furo com revestimento), e que foram colocados 10 m de revestimento a partir da boca do furo, não foi possível utilizar-se uma bomba submersa, semelhante à que foi empregada no teste realizado na

localidade de São Pedro. Por este motivo, para a realização deste teste de bombeamento, utilizou-se uma bomba à gasolina, com capacidade de bombeamento de até 12 m<sup>3</sup>/h. Para a extração de água, utilizou-se um mangote com diâmetro interno de 45 mm, o qual foi colocado a uma profundidade de 12 m a partir da boca do furo.

Este poço foi aprofundado até o embasamento e, portanto, teve penetração total nas Formações Rio Bonito e Rio do Sul. Durante os trabalhos de perfuração, constatou-se que as principais entradas de água estão posicionadas no intervalo estratigráfico da Formação Rio Bonito, relacionadas às camadas arenosas da Seqüência Média – Membro Siderópolis. Também foram constatadas entradas de água nos intervalos estratigráficos correspondentes ao Membro Triunfo (base da Formação Rio Bonito) e no terço inferior da Formação Rio do Sul. Cabe ressaltar-se que embora o furo PTR-03 se posicione junto à uma expressiva falha, como mostra a Figura 68, não houve nenhum problema de caimento no poço e, por ocasião do teste, o poço estava bem calibrado. Por este motivo, só foi revestido nos 10 m iniciais, onde ocorre um solo pouco espesso (0,80 m) capeando um arenito fino, muito alterado, que corresponde à cobertura da camada de carvão Irapuá. Desta forma, praticamente não ocorre perda de carga durante o bombeamento nem durante a recuperação do NE após o encerramento do bombeamento. Cabe ressaltar-se, outrossim, que este poço não foi completado com filtro e pré-filtro porque se destinou somente à avaliação da potencialidade aquífera desta área, tendo sido concretado logo após o teste de bombeamento.





Figura 68: Posicionamento dos furos PTR-03 e PTR-02 com relação à falha N30°W.

Pelo fato de não se ter utilizado uma bomba submersa, a qual poderia ser colocada a uma profundidade superior a 100 m, permitindo um maior rebaixamento, o resultado deste teste não retrata a real possibilidade de exploração de água neste local.

De qualquer forma, antes de realizar o teste, procurou-se definir a maior vazão possível para um rebaixamento de aproximadamente 7,80 m (profundidade máxima que a bomba extraía água). Constatou-se que era possível extraírem-se até 10 m<sup>3</sup>/h. Assim, no dia seguinte (15/03/03), realizou-se o teste de bombeamento neste local.

A Tabela 31 mostra as informações obtidas durante o teste e os gráficos apresentados nas Figuras 69, 70 e 71. Na Figura 69, é apresentado o gráfico Tempo-Rebaixamento com vazão. A Figura 70 mostra os valores de transmissividade e coeficiente de armazenamento obtidos aplicando-se o método da Distância-Tempo-Rebaixamento desenvolvidos por COOPER; JACOB (1946). A Figura 71 mostra os valores de transmissividade e coeficiente de armazenamento obtidos aplicando-se o método de THEIS (1935).



Tabela 31: Informações do poço de observação. PTR-02

<b>TESTE DE BOMBEAMENTO- POÇOS TREVISO</b>									
POÇO BOMB:	-	PROF:	202,00 m	Q (M <sup>3</sup> /h):	10 m <sup>3</sup> /h				
POÇO OBSERV:	PTR - 02	R (m) :		AQUÍFERO:	Rio B/Iitararé				
LOCAL:	Treviso,SC	MUNIC./EST.:		PROJETO:	Tese KREBS				
TEMPO BOMB:	3 horas	NE (m):	7,28	ND (m):	-				
CR. BOMBA (m)		INICIO:	15/03/03	TÉRMINO:	15/03/03				
REBAIXAMENTO						RECUPERAÇÃO			
HORA	T (min)	ND (m)	SW (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/Sw (m <sup>3</sup> /h/m)	t' (min)	ND (m)	Sw (m)	Tb/t' + 1
1 <sup>a</sup>	1	7,28	ZERO	-	ZERO	1	7,43		181
"	2	"	"	-	"	2	"		91
"	3	"	"	-	"	3	"		
"	4	"	"	-	"	4	"		
"	5	"	"	-	"	5	"		
"	6	"	"	-	"	6	"		
"	7	"	"	-	"	7	"		
"	8	"	"	-	"	8	"		
"	10	"	"	-	"	10	"		
"	12	"	"	-	"	12	"		
"	15	"	"	-	"	15	"		
"	20	"	"	-	"	20	"		
"	25	"	"	-	"	25	7,41		
"	30	"	"	-	"	30	"		
"	40	"	"	-	"	40	7,39		
"	50	"	"	-	"	50	7,38		
2 <sup>a</sup>	60	7,29"	0,01"	-	"	60	7,37		
"	70	7,31"	0,03"	-	"	70	7,36		
"	80	7,32"	0,04"	-	"	80	7,35		
"	100	7,35	0,06	-	-	100	7,33		
3 <sup>a</sup>	120	7,39	0,10	-	-	120	7,31		
"	150	7,43	0,14	-	-	150	7,28		
"	180	7,43	0,14			-	-		

Tabela 32: Informações do poço de bombeamento. PTR-03

<b>TESTE DE BOMBEAMENTO- POÇOS TREVISO</b>										
POÇO BOMB:	PTR-03	PROF:	202 m	Q (M <sup>3</sup> /h):	10					
POÇO OBSERV:	-	R (mm) :	76 mm	AQUÍFERO:	Rio Bon/Itararé					
LOCAL:	TREVISO	MUNIC.:	TREVISO	PROJETO:	Tese KREBS					
TEMPO BOMB:	3 horas	NE (m):	0,87	ND (m):	6,50					
CRIVO BOMBA (m)	12	INICIO:	15/0303	TÉRMINO:	15/03/03					
REBAIXAMENTO						RECUPERAÇÃO				
HORA	T (min)	ND (m)	SW (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/Sw (m3/h/m)	t' (min)	ND (m)	Sw (m)	tb/t' + 1	
1 <sup>a</sup>	1	4,10	3,23	10	3.096	1	3,70	2,83	181	
"	2	4,90	4,03	10	2.481	2	3,00	2,13	91	
"	3	5,88	5,01	10	1.996	3	2,70	1,83	61	
"	4	5,88	5,01	10	1.996	4	2,50	1,63	46	
"	5	5,88	5,01	10	1.996	5	2,30	1,43	37	
"	6	5,88	5,01	10	1.996	6	2,20	1,33	31	
"	7	6,20	5,33	9,5		7	2,10	1,23	26,7	
"	8	6,20	5,33	"		8	2,00	1,13	23,5	
"	10	6,20	5,33	"		10	1,95	1,08	19	
"	12	6,30	5,43	"		12	1,85	0,98	16	
"	15	6,30	5,43	"		15	1,75	0,88	13	
"	20	6,30	5,43	"		20	1,65	0,78	10	
"	25	6,30	5,43	"		25	1,65	0,68	8,2	
"	30	6,40	5,43	9,2		30	1,50	0,63	7	
"	40	6,40	5,43	"		40	0,85	0,02	5,5	
"	50	6,40	5,43	"						
2 <sup>a</sup>	60	6,40	5,43	"						
"	70	6,45	5,58	"						
"	80	6,45	5,58	"						
"	100	6,48	5,58	"						
3 <sup>a</sup>	120	6,50	5,63	9,0						
"	150	6,50	5,63	"						
"	180	6,50	5,63	"						

Gráfico Tempo-Rebaixamento com vazão

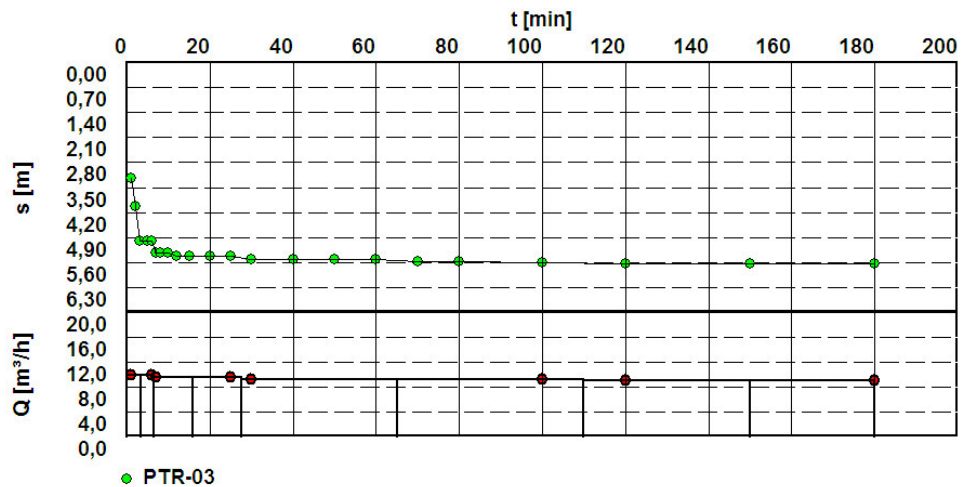
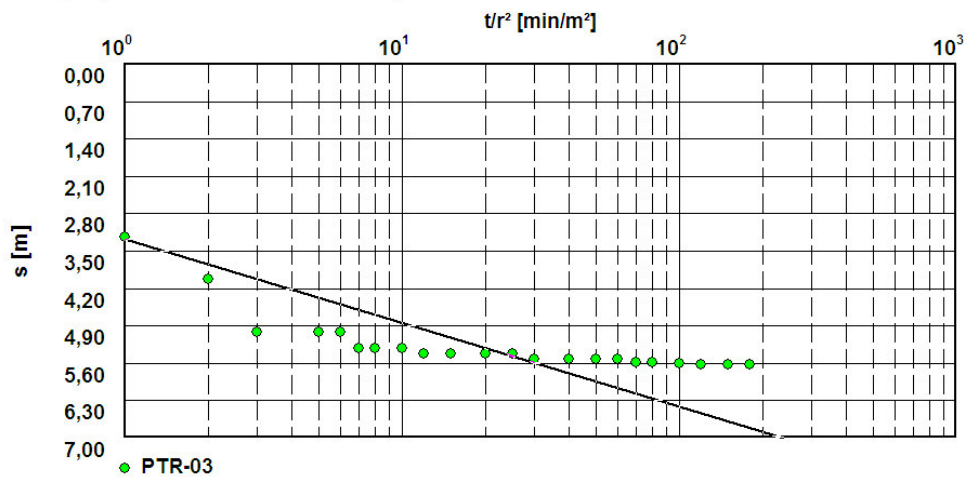


Figura 69: Gráfico Tempo-Rebaixamento com vazão.

Solução por COOPER & JACOB III - Aquífero Confinado



Transmissividade [m²/min]:  $1,78 \times 10^{-2}$  Coef. armazenamento  $3,32 \times 10^{-4}$

Figura 70: Método da Distância-Tempo-Rebaixamento por COOPER; JACOB (1946).

Método de Theis - Aquífero Confinado

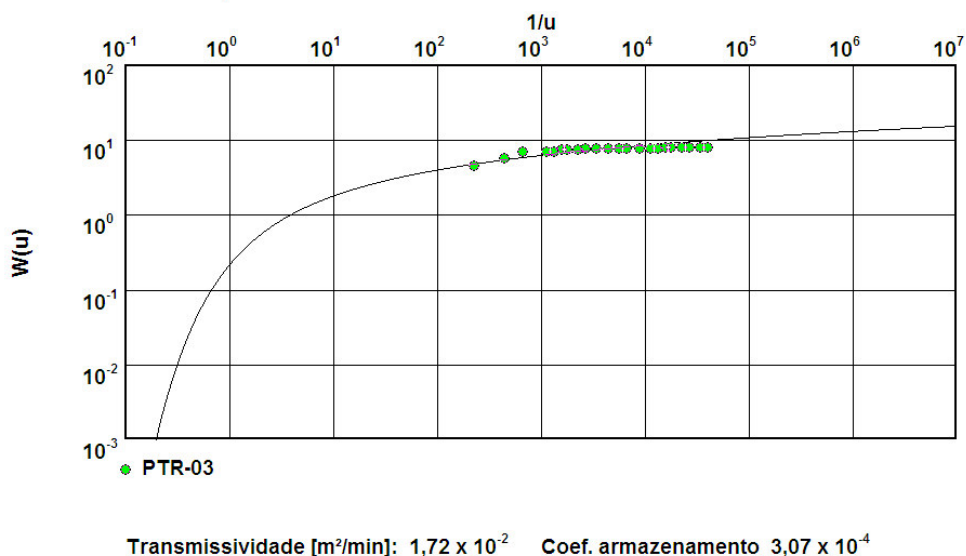


Figura 71: Método de Theis – Aquífero Confinado.

Observando-se o gráfico tempo x rebaixamento, Figura 69, constata-se que há uma tendência do rebaixamento atingir o equilíbrio à medida que transcorre o tempo de bombeamento.

Quanto à vazão, observou-se que a mesma passou de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  para  $9 \text{ m}^3/\text{h}$  após 120 minutos de bombeamento. Não foi possível avaliar-se se a vazão final permanece inalterada após um longo período de bombeamento.

Considerando o Método da Distância-Tempo-Rebaixamento por COOPER; JACOB (1946), o resultado do referido teste indicou que este sistema aquífero possui transmissividade de  $1,78 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$  e coeficiente de armazenamento de  $3,32 \times 10^{-4}$ .

Considerando-se o Método de Theis para aquífero confinado, o resultado do referido teste indicou que este sistema aquífero possui transmissividade de  $1,72 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{min}$  e coeficiente de armazenamento de  $3,07 \times 10^{-4}$ .

Quanto à profundidade dos poços, a análise dos perfis litológicos das sondagens realizadas para pesquisa de carvão neste bloco alto (furos FO-05-SC, CR-40-SC, PB42-SC) e dos poços PTR-01, PTR-02 e PTR-03 indica que a profundidade média dos poços para captar água da Formação Rio do Sul e Rio Bonito deverá ser de 180 metros.

### 6.2.3 Sistema aquífero relacionado às Formações Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto

Optou-se por agrupar neste sistema várias formações geológicas que possuem similaridade em seus litótipos, estão dispostas de maneira contínua estratigraficamente e constituem um espesso pacote de rochas sedimentares predominantemente pelíticas.

No caso da Formação Rio do Rasto, considerou-se como parte integrante deste sistema o terço inferior e médio da referida formação, os quais são constituídos por intercalações de siltitos argilosos e, subordinadamente, arenitos muito finos.

#### 6.2.3.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica

Este sistema aquífero é constituído por um pacote de rochas sedimentares predominantemente argilosas cuja espessura alcança 350 m em alguns locais. Estas rochas afloram de maneira contínua ao longo do vale rio Mãe Luzia e tributários, desde as proximidades do limite noroeste da bacia até o vale do rio dos Porcos, a sudeste, já próximo ao litoral. À medida que se dirige para o centro da bacia, são encobertas pelos depósitos de leques aluviais ou afloram em áreas declivosas onde não atuam como unidade aquífera. O Mapa Hidrogeológico, Anexo 2, mostra a distribuição deste sistema na área estudada.

Praticamente todas as formações geológicas incluídas neste sistema são constituídas predominantemente por rochas pelíticas, com poucas intercalações de rochas areníticas. Litologicamente, apresentam intercalações rítmicas de siltitos e folhelhos, laminados e finos, de cores variáveis, em tons cinza-claro, cinza-escuro, bordô e avermelhado.

Do ponto de vista hidrogeológico, comportam-se como aquífero de baixa potencialidade, com exceção de um intervalo estratigráfico posicionado na base da Formação Palermo, constituído por intercalações de arenitos finos laminados com siltitos arenosos, ambos muito bioturbados. Este intervalo possui espessura inferior a 3 metros. No caso da Formação Irati, também ocorre um intervalo estratigráfico posicionado no terço superior desta formação, com aproximadamente 2 metros de espessura, constituído por calcário impuro, com aspecto brechóide. Ambos os intervalos constituem geralmente boas entradas de água.

A Formação Palermo, que caracteriza o início do evento transgressivo, é constituída de um espesso pacote de ritmitos, com interlaminação de areia-silte e argila, com intenso retrabalhamento por ondas. A alternância de tonalidades claras e escuras evidencia a intercalação de intervalos arenosos e siltico-argilosos, respectivamente. As intercalações arenosas possuem espessura muito variável mas, de uma maneira geral, verifica-se que há uma maior percentagem de areia na base da Formação Palermo (Fase inicial da transgressão marinha), onde se puderam verificar, nitidamente, nos perfis litológicos de sondagem para carvão, que há uma intercalação areia fina + silte, com iguais percentagens. Da base para o topo, começa a aumentar a fração argilosa e, portanto, as condições de armazenamento de água diminuem.

A Formação Irati caracteriza-se por ser essencialmente pelítica, sendo constituída, na sua base, por folhelhos e siltitos cinza-escuro, eventualmente cinza-claro a azulados. No seu topo é formada por um pacote de folhelhos cinza-escuro a pretos, intercalados com folhelhos pirobetuminosos e associados a lentes de margas creme a cinza-escuro, dolomíticas. É muito freqüente a intrusão de diabásio, que consome parcial ou totalmente as litologias desta Formação.

A Formação Estrada Nova é constituída por argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuro e esverdeados, ritmicamente intercalados com arenitos muito finos, cinza-claros. Quando alteradas, estas rochas mostram cores diversificadas em tons violáceos, bordôs e avermelhados. Comumente apresentam lentes e concreções carbonáticas.

A Formação Rio do Rasto neste sistema está representada pelo Membro Serrinha (inferior). Litologicamente está constituída por arenitos finos, bem selecionados, intercalados com siltitos e argilitos cinza-esverdeado, amarronados, bordôs e avermelhados, podendo localmente conter lentes ou horizontes de calcário margoso.

De uma maneira geral, as camadas possuem geometria tabular, com estruturação interna constituída principalmente por laminação plano-paralela ou lenticular (Formações Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto), laminação plano-paralela, ondulada e microcruzada (Formação Palermo).

Por suas características litológicas e granulométricas, posicionamento estratigráfico e distribuição em área, pode-se concluir que este aquífero possui porosidade intergranular e é extenso. Porém, pelo fato de ocorrer sob a forma de um

espesso pacote rítmico, constituído predominantemente por rochas impermeáveis ou pouco permeáveis, com subordinadas intercalações arenosas, mesmo em suas áreas de afloramento, comporta-se como aquífero confinado, extenso. Localmente, onde ocorre interseção de diferentes sistemas de falhas, pode se comportar como aquífero intergranular extenso fraturado, livre ou confinado.

O modelo hidrogeológico indica que suas áreas de recarga estão situadas nas encostas do planalto gonduânico e morros (Montanhão e outros). Esta conformação hidrodinâmica mostra a contribuição de duas fontes principais de infiltração. Na porção norte-nordeste e proximidades do Montanhão, onde as declividades do terreno são altas e as velocidades da circulação são elevadas, a recarga se realiza por drenança das águas dos aquíferos fraturados, relacionadas às rochas basálticas, e drenança das demais formações geológicas e depósitos de tálus, sobrepostos, que afloram na encosta do planalto gonduânico.

Na área de afloramento desta Formação, a recarga dá-se por infiltração direta, a partir das precipitações, através dos solos residuais e transportados.

A drenagem superficial não atua na realimentação do aquífero, com exceção de locais específicos onde ocorrem falhas com caráter distensional.

#### 6.2.3.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação

Devido à natureza predominantemente pelítica de seus litótipos, a vulnerabilidade natural é de baixa à moderada. O Mapa de Vulnerabilidade, Anexo 3, mostra o comportamento deste sistema.

Com relação aos riscos de contaminação, constatou-se que ao longo do vale do rio Mãe Luzia, onde afloram rochas deste sistema (principalmente rochas da Formação Palermo) e o rio é controlado tectonicamente, o risco pode ser alto, uma vez que as águas do referido curso d'água já estão contaminadas pelas atividades de mineração de carvão desenvolvidas em épocas passadas.

#### 6.2.3.3 Potencialidade aquífera

Devido à natureza predominantemente argilosa de suas litologias, este sistema aquífero possui de baixa à moderada potencialidade aquífera.

Os trabalhos de cadastramento de pontos de água demonstraram que a vazão média dos poços construídos somente neste sistema aquífero é de 11,02

m<sup>3</sup>/h para os poços da Formação Palermo, 18,98 m<sup>3</sup>/h para os poços da Formação Irati e 12,50m<sup>3</sup>/h para os poços da Formação Estrada Nova.

O poço com maior vazão foi o PT-21-AR, construído em Araranguá, que apresentou 42,09 m<sup>3</sup>/h. Embora não conste no relatório técnico do referido poço, acreditamos que esta vazão expressiva ocorra somente devido à presença de falha ou intrusão de diabásio.

No município de Forquilha, o poço tubular PT-05-FQ, construído totalmente na Formação Palermo, apresentou vazão de 35 m<sup>3</sup>/h. Neste caso acredita-se que esteja havendo conexão vertical do aquífero superior (Leques Aluviais) com este sistema aquífero através de uma falha N10<sup>0</sup>W que passa próximo ao local do poço.

A verificação do relatório técnico do poço tubular profundo existente na Cerâmica Portinari, BR-101– Criciúma, construído totalmente na Formação Palermo, mostra que o referido poço apresentou pelo menos três entradas de água. A capacidade específica de 0,258 m<sup>3</sup>/h/m e o nível estático raso de 6 m levam a supor-se a existência de fraturas, pois a produtividade é alta para litologias exclusivamente pelíticas. Outro poço tubular situado no Condomínio Lagoa Dourada, em Criciúma, construído totalmente dentro da formação Palermo, com 60 m de profundidade, apresentou uma vazão de 10 m<sup>3</sup>/h. Neste local ocorre uma falha N10<sup>0</sup>E que encaixa um dique de diabásio o qual pode estar contribuindo para a recarga do aquífero.

Em alguns locais específicos desta bacia, este sistema aquífero possui importância hidrogeológica relativa local mediana, como é o caso do município de Nova Veneza, onde quase todos os poços tubulares construídos captam água exclusivamente deste sistema. Nos municípios de Treviso e Siderópolis este sistema aquífero é relativamente pouco explorado e sua importância maior relaciona-se ao grande número de fontes que ocorrem na encosta do Montanhão, principalmente no intervalo estratigráfico correspondente ao contato entre as litologias da Formação Irati e da Formação Serra Geral.

#### 6.2.3.4 Aspectos Hidroquímicos

Os tipos geoquímicos das águas amostradas nos intervalos aquíferos das Formações Palermo e Irati mostram que as águas deste sistema aquífero possuem grande variação composicional.

O gráfico de Piper, Figura 72, mostra que existe uma dispersão grande no



tipo hidroquímico das águas da Formação Palermo. Considerando-se os cátions pode-se verificar que a maioria das amostras é do tipo águas mistas ou sódicas. Na classificação geral, a maioria das amostras são do tipo sulfatada ou cloretada cálcica ou magnésiana e, subordinadamente, do tipo sulfatada ou cloretada sódica.

O gráfico de Piper para as água da Formação Irati (Figura 73) mostra que não existe um tipo hidroquímico predominante. Este fato é facilmente entendido se considerarmos a variedade de litologias presentes nesta Formação: folhelhos carbonosos com abundantes nódulos de pirita, folhelho pirobetuminoso e calcários impuros.

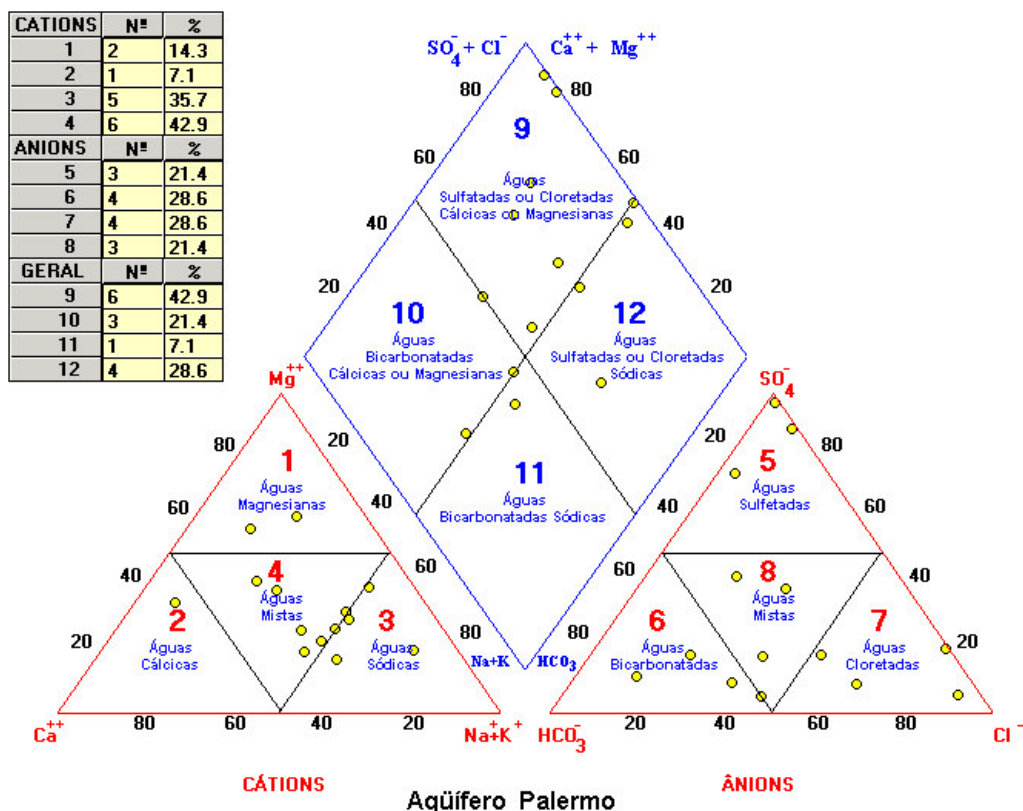


Figura 72: Gráfico de Piper para as águas da Formação Palermo.

A predominância de folhelhos pirobetuminosos com freqüentes nódulos de pirita e calcários impuros da Formação Irati proporciona a presença de água com problemas de dureza, presença de teores de ferro acima dos valores permissíveis e cheiro acentuado de óleo.

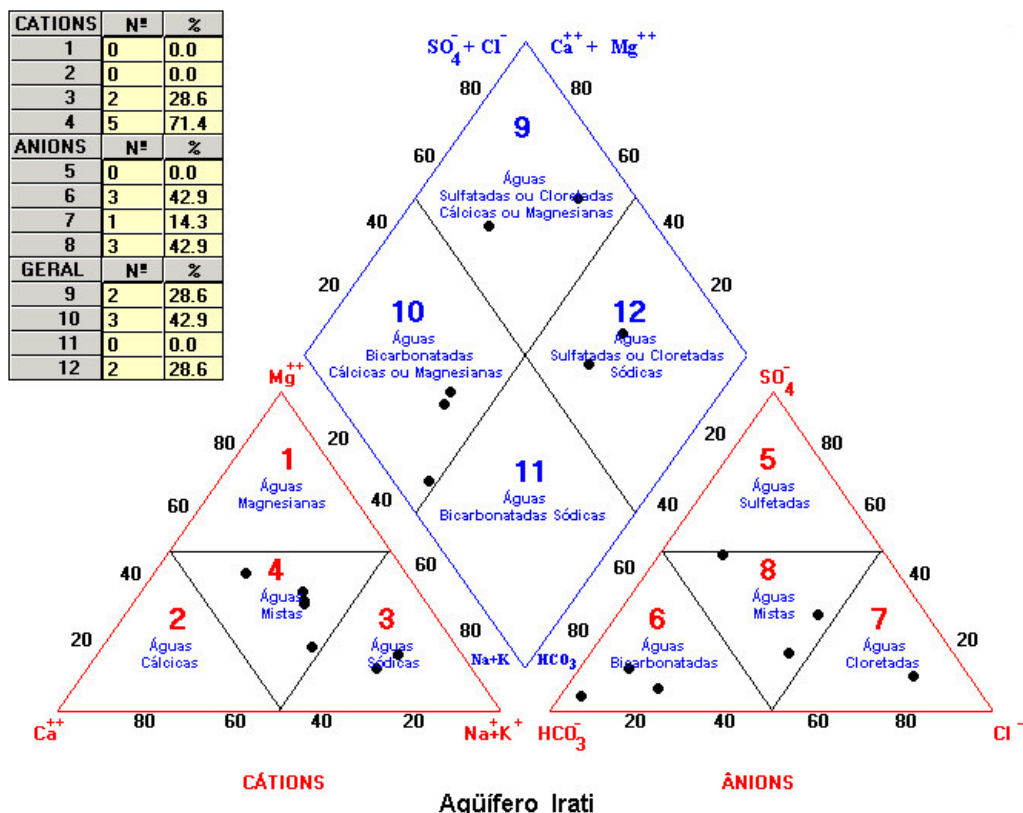


Figura 73: Gráfico de Piper para as águas da Formação Irati.

A leitura das Tabelas 33 e 34, que sintetizam as características físico-químicas e microbiológicas das águas das formações Palermo e Irati, respectivamente, mostram que segundo os padrões de potabilidade de água para consumo humano (Portaria do Ministério da Saúde n. 1469/00), os parâmetros mais restritivos são o manganês, alumínio e ferro total para a Formação Palermo e, no caso da Formação Irati, são o manganês e o alumínio. Constatou-se também que em ambos os casos as águas já apresentam comprometimento devido à presença de coliformes totais e fecais, evidenciando a interferência antrópica nas características das águas deste Sistema Aqüífero.

Com relação à possibilidade de utilização destas águas para fins de irrigação, elaboraram-se os diagramas de RAS (razão de adsorção de sódio) para as águas das formações Palermo e Irati.

Tabela 33: Características físico-químicas e microbiológicas dos pontos de água – Formação Palermo

RESULTADOS DE ANÁLISES - FORMAÇÃO PALERMO													
Município	Padrões de Potabilidade Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469/2000	Criciúma - CR		Siderópolis - SI					Treviso - TR				
Parâmetros		PO 29 CR	FT 03 CR	PE 298	047 PVA	093 PVA	014 Piez IPH	015 Piez IPH	FT 49 - TR	PE 300	PE 304	035 PVA	122 PVA
pH	6,0 a 9,5	5,60	5,40	4,00	4,70	4,60	3,90	5,60	6,80	6,20	5,90	5,20	5,20
Condutividade (m.S.cm <sup>-1</sup> )	###	119,00	128,00	238,00	296,00	550,00	881,00	66,00	63,00	480,00	51,00	73	278
Temperatura (° C)	###	21,10	16,80	-	-	-	20,00	21,00	23,00	-	-	-	-
Manganês (mg/L)	0,1	0,09	ND	0,38	0,09	1,40	6,00	0,12	ND	0,420	0,010	0,02	0,007
Alcalinidade Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	###	15,00	22,00	ND	4,00	4,00	ND	30,00	24,00	49,00	10,00	14,00	13,00
Alumínio (mg/L)	0,2	0,40	0,40	-	3,25	3,30	3,70	1,30	-	-	-	0,20	0,04
Ferro Total (mg/L)	0,3	2,06	0,03	0,03	0,50	0,20	118,00	2,00	0,19	0,88	0,76	0,50	0,10
Sódio (mg/L)	200	9,60	11,40	9,80	17,00	4,60	16,75	4,45	5,05	19,20	5,35	5,10	10,20
Potássio (mg/L)	###	0,90	0,86	7,60	9,70	4,20	3,15	1,30	1,02	8,00	1,90	1,60	7,20
Cálcio (mg/L)	###	6,80	7,80	6,05	7,60	8,80	104,60	2,40	2,99	13,60	0,76	2,00	2,40
Magnésio (mg/L)	###	3,17	2,41	3,80	6,60	6,30	37,80	0,77	1,31	34,20	0,89	2,00	5,80
Cloretos (mg/L)	250	13,00	14,00	25,00	53,30	5,00	6,00	8,00	3,00	6,00	4,00	6,60	22,80
Alcalinidade de carbonatos (mg/L)	###	0,0004	0,0003	ND	ND	ND	ND	0,0007	0,0091	0,0047	0,0005	0,0001	0,0001
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	###	18,30	26,84	ND	4,88	4,88	ND	36,60	29,28	59,78	12,20	17,08	15,86
Sulfatos (mg/L)	250	20,00	8,00	8,00	3,00	2,20	745,00	8,00	3,00	173,00	11,00	1,90	3,60
Coliformes Fecais	0/100 mL	Ausente	49,00	4,00	-	-	-	-	70,00	49,00	140,00	-	-
Coliformes Totais	0/100 mL	Ausente	49,00	240,00	-	-	-	-	790,00	1600,00	280,00	-	-

Obs: ( 1 ) = Valores máximos permitidos segundo os padrões de potabilidade de água para consumo humano, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Para o parâmetro de pH é um valor recomendado.

( 2 ) = ND - Não Detectado.

( ) = Fora dos padrões.

Tabela 34: Características físico-químicas e microbiológicas dos pontos de água – Formação Irati

RESULTADOS DE ANÁLISES - FORMAÇÃO IRATI						
Município	Padrões de Potabilidade Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469/2000	Forquilha - FQ	Nova Veneza - NV	Siderópolis - SI	Treviso - TR	
Parâmetros		PT 04	PE 136	017 PVA	089 PVA	PE 303
pH	6,0 a 9,5	7,00	6,20	4,70	6,60	5,80
Condutividade (m.S.cm <sup>-1</sup> )	###	130,50	216,00	280,00	275,00	46,00
Temperatura (° C)	###	21,00	17,90	-	-	-
Manganês (mg/L)	0,1	0,06	0,020	0,28	ND	ND
Alcalinidade Total (mg./L CaCO <sub>3</sub> )	###	48,00	24,00	3,00	30,00	20,00
Alumínio (mg/L)	0,2	-	-	0,32	0,06	-
Ferro Total (mg/L)	0,3	0,10	0,08	0,30	0,10	0,04
Sódio (mg/L)	200	11,10	26,00	5,40	7,60	2,45
Potássio (mg/L)	###	1,00	3,00	1,80	4,80	0,75
Cálcio (mg/L)	###	7,20	5,00	4,00	16,00	1,80
Magnésio (mg/L)	###	5,40	3,53	3,40	11,50	1,29
Cloretos (mg/L)	250	9,60	32,00	13,50	25,60	2,00
Alcalinidade de carbonatos (mg/L)	###	0,0288	0,0023	ND	0,0072	0,0008
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	###	58,55	29,28	3,66	36,60	24,40
Sulfatos (mg/L)	250	3,40	28,00	2,20	13,10	3,00
Coliformes Fecais	0/100 mL	-	240,00	-	-	110,00
Coliformes Totais	0/100 mL	-	460,00	-	-	490,00

Obs: ( 1 ) = Valores máximos permitidos segundo os padrões de potabilidade de água para consumo humano, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Para o parâmetro de pH é um valor recomendado.

( 2 ) = ND - Não Detectado.

( ) = Fora dos padrões.

A Figura 74 mostra o diagrama de RAS para a Formação Palermo. A leitura da referida Figura mostra que todas as águas possuem baixo risco de sódio. De uma maneira geral, estas águas podem ser utilizadas para fins de irrigação, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade, com exceção da área correspondente à amostra que apresentou alto risco de salinização.

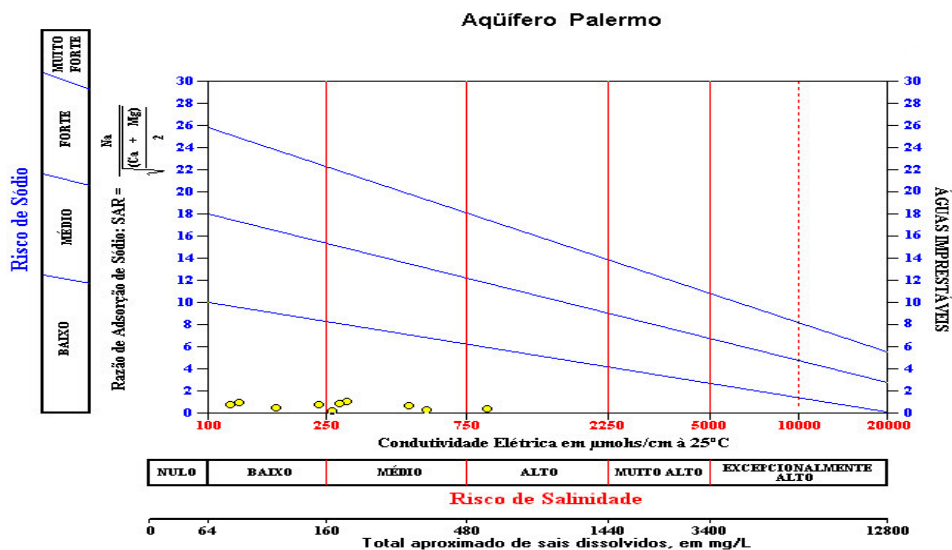


Figura 74: Diagrama para classificação das águas de irrigação em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Palermo.

A *Tabela 35* demonstra que 40% das amostras apresentaram baixa salinidade e baixos teores de sódio, indicando que estas águas podem ser utilizadas na irrigação sem o comprometimento do solo e das plantas (C1S1), 50% apresentam média salinidade e baixos teores de sódio, indicando que podem ser utilizadas sempre que haja um grau moderado de lavagem do solo, porém, sem a necessidade de práticas de controle de salinidade (C2S1), e 10 % das amostras apresentaram salinidade alta e baixos teores de sódio, indicando que não podem ser utilizadas em solos com drenagens insuficientes, podendo ser necessário o uso de práticas especiais para o controle de salinidade (C3S1).

Tabela 35: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Palermo

Classes	Número Amostras	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
C1 S1	4	40,0	40,0
C2 S1	5	50,0	90,0
C3 S1	1	10,0	100,0
TOTAL	10	-	-

Com relação às águas da Formação Irati, constatou-se que todas as amostras apresentaram baixo risco de sódio, Figura 75. Comportamento muito semelhante às águas da Formação Palermo.

A Tabela 36 mostra que 20% das amostras apresentaram baixa salinidade e baixos teores de sódio, indicando que podem ser usadas na irrigação sem causar problemas ao solo ou as plantas (C1S1), 60% apresentaram salinidade média e baixo teor de sódio, indicando que poderão ser utilizadas na irrigação desde que haja sempre um grau moderado de lavagem do solo (C2S1). Os restantes 20% das amostras apresentam alta salinidade com baixo teor de sódio, indicando que não podem estas águas ser utilizadas em solos com drenagens deficientes, necessitando de práticas especiais de controle de salinidade (C3S1).

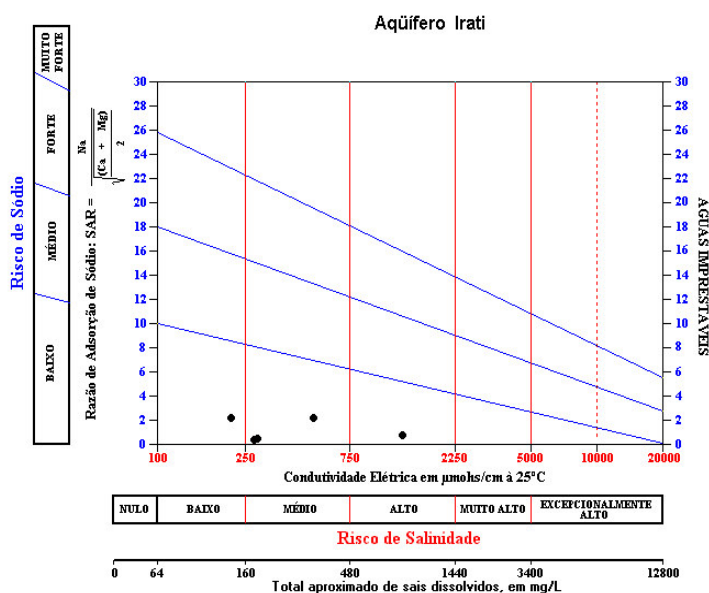


Figura 75: Diagrama para classificação das águas de irrigação em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Irati.

Tabela 36: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Irati.

<b>Classes</b>	<b>Número Amostras</b>	<b>Frequência Relativa (%)</b>	<b>Frequência Acumulada (%)</b>
C1 S1	1	20,0	20,0
C2 S1	3	60,0	80,0
C3 S1	1	20,0	100,0
TOTAL	5	-	-

#### 6.2.4 Sistema aquífero relacionado às Formações Rio do Rasto e Botucatu (sistema aquífero Guarani)

##### 6.2.4.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica

Os Mapas Geológico e Hidrogeológico, Anexos 1 e 2, respectivamente, mostram que este sistema aquífero ocorre na porção centro sudeste desta bacia. Nas demais porções, as rochas que o constituem ocorrem em cotas topográficas desfavoráveis posicionadas na escarpa da Serra Geral ou nas encostas de morros e, portanto, não atuam como unidades aquíferas.

Sabe-se que este sistema aquífero, atualmente denominado Aquífero Guarani, é considerado a maior reserva de água subterrânea do Brasil.

Na área desta bacia, as rochas areníticas que ocorrem no terço superior da Formação Rio do Rasto, são as litologias mais importantes do ponto de vista hidrogeológico. As rochas areníticas da Formação Botucatu geralmente posicionam-se em locais topograficamente desfavoráveis à captação de água, com exceção de uma pequena porção situada nas proximidades da cidade de Jacinto Machado.

Do ponto de vista litológico, é constituído por um espesso pacote de rochas areníticas relacionadas a processos fluviais e eólicos.

Na porção média e inferior predominam litologias da Formação Rio do Rasto, relacionadas a processos fluviais e lacustres, caracterizadas por arenitos esbranquiçados amarelados, de granulação muito fina a média, pouco argilosos, que intercalam finas camadas de lamitos argilosos, com estratificação cruzada acanalada de pequeno e médio porte.

Na porção superior afloram litologias da Formação Botucatu, relacionadas a processos eólicos, caracterizadas por arenitos amarelados ou avermelhados, finos a médios, bimodais, com estratificação cruzada acanalada de grande porte.

A natureza arenosa de seus litótipos e distribuição em área indicam tratar-se de um aquífero com porosidade intergranular, extenso, livre ou confinado. Quando suas litologias são afetadas por falhas, pode atuar como aquífero com porosidade intergranular, extenso, fraturado.

Com relação à recarga, considerando-se os aspectos geológicos e geomorfológicos da área estudada, pode-se verificar que ela ocorre de duas maneiras. Em sua área de afloramento, se processa de maneira direta a partir das precipitações. Constatou-se que a recarga ocorre também, a partir da infiltração dos leques aluviais que recobrem as litologias deste sistema. A exemplo do que já foi verificado para o caso do Sistema Aquífero Rio Bonito, aqui também poderá ocorrer recarga por conexão entre os cursos d'água e este aquífero em zonas de falhas distensionais.

A leitura do Mapa Geológico (Anexo 1) e da Seção Geológica N-S – Figura 30 mostra que nas proximidades da linha de costa ocorre um conjunto de falhas N45°E e E-W que ocasionam um escalonamento de blocos com afundamento para sul, isto é, em direção ao oceano, onde ocorre a bacia sedimentar de Pelotas. A Seção Geológica C-D, Figura 46 mostra que os estratos também apresentam um afundamento de E-NE para W-SW. Este condicionamento geológico–estrutural, certamente interferirá no sentido de fluxo das águas deste aquífero. O Mapa de linhas equipotenciais e linhas de fluxo para os aquíferos profundos, Figura 76, indica que no caso deste sistema aquífero, o fluxo se processa de E-NE para W-SW e não para NW, em direção à calha do Aquífero Guarani, como seria de se esperar. Dentro desta ótica, a lagoa de Sombrio posicionada logo a sudoeste do limite desta bacia, pouco contribui para a recarga deste Sistema Aquífero.

#### 6.2.4.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação

O Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos Profundos, Anexo 3, mostra que este sistema aquífero tem vulnerabilidade variável desde baixa até extrema. O referido mapa indica que é justamente no município de Jacinto Machado, onde este sistema aquífero tem importância relativa local alta, que a vulnerabilidade natural varia de muito alta à extrema. Este fato está relacionado à alta permeabilidade das rochas areníticas que afloram na planície costeira na mesma cota dos leques aluviais na área daquele município.



Figura 76: Mapa de linhas equipotenciais e de fluxo (ver plantas referenciadas no volume I A).

### 6.2.4.3 Aspectos hidroquímicos

Como foge ao escopo desta tese, não se realizou um número suficiente de análises para caracterizarem-se as águas deste sistema na área estudada. A leitura do diagrama de Piper, Figura 76, mostra que não houve definição de uma família de águas. O grupo principal, constituído por 42,8% das amostras, concentrara-se no campo das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas; 28,5% foram classificadas como águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas; 14,2%, como águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, e 14,2%, como bicarbonatadas sódicas.

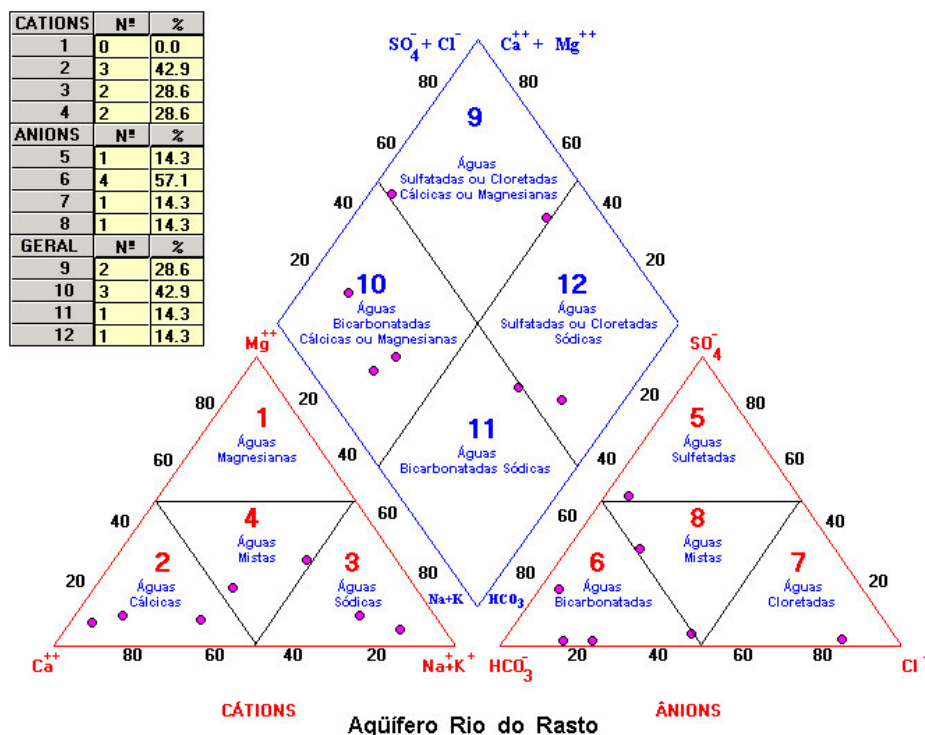


Figura 77: Diagrama de Piper para as águas do Sistema Aquífero Rio do Rasto (terço superior) e Botucatu – Aquífero Guarani.

A Tabela 37 apresenta os resultados de análises físico-químicas e microbiológicas deste sistema aquífero quanto ao enquadramento aos padrões de potabilidade de água para consumo humano, estabelecidos pela Portaria n. 1469, de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde.

Tabela 37: Características físico-químicas e microbiológicas – Sistema Aqüífero Rio do Rasto (terço superior) e Botucatu – Aqüífero Guarani

TABELA DOS RESULTADOS DE ANÁLISES - AQUÍFERO RIO DO RASTO								
Município	Padrões de Potabilidade Portaria do Ministério da Saúde N° 1469/2000	Araranguá - AR		Jacinto Machado - JM			Meleiro - ME	Timbé do Sul - TS
N° Pontos		PT 25 AR	PT 82 AR	PT 09 JM	PT 70 JM	FT 16 JM	PO 14 ME	PE 121 TS
PH	6,0 a 9,5	7,00	7,80	7,70	8,20	6,10	7,30	5,50
Condutividade (m.S.cm <sup>-1</sup> )	###	669,00	417,00	943,00	370,00	62,00	511,00	94,00
Temperatura (° C)	###	-	-	-	-	-	-	-
Manganês (mg/L)	0,1	0,35	ND	0,02	0,03	ND	ND	0,04
Alcalinidade Total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	###	38,00	142,00	217,00	29,00	26,00	245,00	11,00
Alumínio (mg/L)	0,2	-	-	ND	0,07	ND	ND	ND
Ferro Total (mg/L)	0,3	2,00	0,30	0,03	0,69	ND	ND	0,14
Sódio (mg/L)	200	55,00	57,00	180,00	0,91	4,15	59,50	5,30
Potássio (mg/L)	###	2,20	0,50	0,65	0,80	0,50	1,45	9,60
Cálcio (mg/L)	###	22,40	13,00	20,40	8,37	5,10	35,90	3,20
Magnésio (mg/L)	###	17,80	3,80	4,20	0,57	1,27	12,40	1,07
Cloretos (mg/L)	250	166,90	91,00	20,00	5,94	1,00	8,00	3,00
Alcalinidade de carbonatos (mg/L)	###	0,0228	0,4999	0,6508	0,2660	0,0020	0,2934	0,0002
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	###	46,35	172,98	264,41	35,24	31,72	298,75	13,42
Sulfatos (mg/L)	250	1,30	6,50	257,00	ND	6,00	7,00	14,00
Coliformes Fecais	0/100 mL							
Coliformes Totais	0/100 mL							

Com relação aos valores de pH, constatou-se que variam de levemente ácidos (PE-121-TS) a levemente básicos (PT-70), com um valor médio de 7,07, indicando que a maioria das águas possui pH neutro na área estudada. O ferro total é o parâmetro mais restritivo para utilização destas águas para fins de abastecimento humano.

Com relação à possibilidade de utilização destas águas para irrigação, a Figura 78 e a Tabela 38 mostram que 84 % das amostras indicaram baixa salinidade e baixos teores de sódio, podendo ser estas águas utilizadas na irrigação sem apresentarem nenhum risco para as plantas e para o solo (C1S1). Os restantes 16% apresentaram salinidade alta e teores médios de sódio, indicando que não podem

ser utilizadas em solos com drenagem deficiente, devendo ser usadas em solos de textura arenosa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade (C3S2).

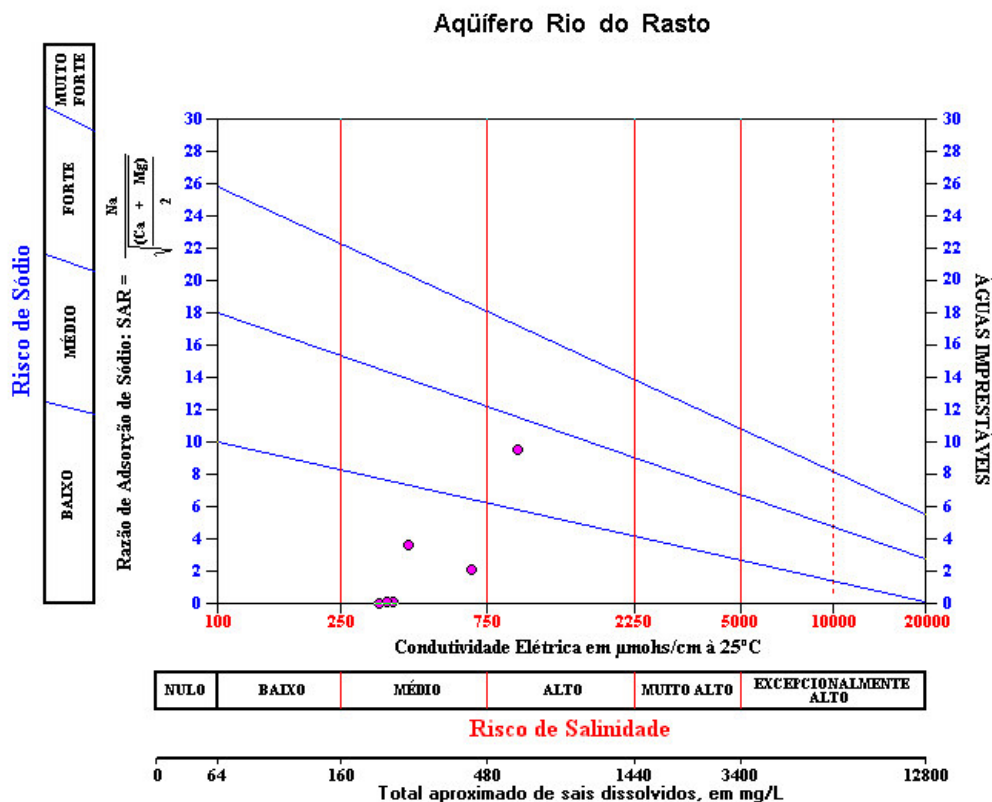


Figura 78: Diagrama de SAR para as águas do Sistema Aqüífero Rio do Rasto (terço superior) e Botucatu – Aqüífero Guarani.

Tabela 38: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Rio do Rasto

Classes	Número Amostras	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
C1 S2	5	84,0	84,0
C3 S2	1	16,0	100,0
TOTAL	6	-	-

#### 6.2.4.4 Potencialidade aquífera

Sabe-se que este sistema aquífero, em vários lugares do Brasil, inclusive no oeste de Santa Catarina, apresenta alta produtividade, com vazões superiores a 100m<sup>3</sup>/h, com pequeno rebaixamento. No entanto, no caso da bacia do Araranguá,

devido às condições hidrogeológicas desfavoráveis, os poços construídos indicam de baixa à média produtividade deste sistema aquífero.

Na área estudada, os poços cadastrados não possuem laudos técnicos com dados hidráulicos. As *Tabelas* com informações dos pontos de água cadastrados, apresentadas no Anexo 8, mostram que a vazão dos poços tubulares varia de 6 m<sup>3</sup>/h (PT-146-JN) a 28 m<sup>3</sup>/h (PT-70-JM). Na porção correspondente aos municípios de Turvo e Jacinto Machado, a capacidade específica dos poços varia de 0,08 m<sup>3</sup>/h/m a 0,99 m<sup>3</sup>/h/m, com valor médio de 0,44 m<sup>3</sup>/h/m, indicando uma média produtividade para este sistema aquífero.

## 6.2.5 Sistema aquífero relacionado às rochas basálticas da Formação Serra Geral

### 6.2.5.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica

As rochas ígneas extrusivas da Formação Serra Geral ocorrem sob a forma de derrames de lavas básicas, intermediárias e ácidas, que capeiam o platô gonduânico situado na porção oeste, norte e noroeste da área. Constituem um espesso pacote rochoso com espessura superior a 600 m, que aflora continuamente a partir da cota 750m até o topo dos platôs onde as cotas ultrapassam 1400m.

Também estão presentes na área estudada sob a forma de soleiras que capeiam os morros-testemunho e sob a forma de diques que se intrudem nas rochas sedimentares gonduânicas, principalmente no intervalo estratigráfico correspondente à Formação Irati. Em alguns locais da bacia carbonífera, como em São Roque, município de Forquilha, e São Pedro, município de Treviso, ocorrem intrusões no intervalo estratigráfico correspondente à camada de carvão Barro Branco. Na porção costeira estas intrusões de diabásio são muito freqüentes, como se verifica junto à cidade de Maracajá e ao longo do médio curso do rio dos Porcos, conforme as seções geológicas apresentadas nas Figuras 30 e 46, respectivamente.

A Formação Serra Geral é constituída por rochas cristalinas, maciças, praticamente sem poros e, de modo geral, impermeáveis, com exceção da zona amigdaloidal que pode apresentar incipiente porosidade.

O armazenamento e a circulação das águas subterrâneas dá-se através das fraturas e juntas. Um sistema de fraturamento mais superficial bastante denso, interligado ao manto intempérico, normalmente funciona como um aquífero livre.

Outro, relacionado às fraturas mais profundas, que pode ter caráter regional, controla a circulação das águas subterrâneas. Este fato foi constatado através dos trabalhos de fotointerpretação e cheques de campo. Nesta ocasião verificou-se que ocorre uma espessa soleira de diabásio que sustenta a topografia da área, posicionada ao norte da cidade de Nova Veneza. A análise das fotos aéreas mostra que existe um sistema de fraturamento bem nítido nos diabásios, que não afeta as rochas sedimentares subjacentes. Nesta mesma porção, constatou-se que existem falhas de diferentes direções, as quais se propagam em profundidades e podem ser acompanhadas por distâncias superiores a 10 km (Falha Nova Veneza), seccionando tanto as rochas basálticas como as rochas sedimentares. A Figura 43 ilustra este local.

No caso da bacia do rio Araranguá, o Mapa Hidrogeológico, Anexo 1, mostra que somente alguns relevos residuais sustentados por rochas basálticas como, por exemplo, o *sill* conhecido por Montanhão, constituem unidades aquíferas. Os derrames basálticos presentes nesta bacia, os quais capeiam e ocorrem na encosta superior do platô gonduânico, pelo fato de se posicionarem em local desfavorável ao armazenamento de água, por estarem muito próximo da escarpa, têm importância somente como área de recarga dos aquíferos subjacentes.

Na encosta média a superior do planalto, ocorrem linhas de fontes de água, geneticamente relacionadas a contatos entre zonas de disjunção vertical e zonas de disjunção horizontal. Estas fontes é que dão origem aos cursos d'água da região.

O Montanhão, situado na parte leste desta bacia, corresponde a um *sill* de diabásio, intrudido nas rochas sedimentares gonduânicas no intervalo da Formação Iratí. A espessura de basalto na porção central do Montanhão é superior a 100 metros.

A capacidade de armazenamento desse aquífero fraturado é pequena e vai depender das dimensões, da geometria e do espaçamento das fraturas. Sua importância maior reside no grande número de fontes que abastecem praticamente toda a população rural dos municípios de Treviso e Siderópolis.

Outro *sill* de diabásio que constitui o aquífero fraturado mais importante presente na área desta bacia é aquele que inicia no bairro Mãe Luzia, em Criciúma (ao sul) e se prolonga até o rio Jordão (ao norte), perfazendo uma área de aproximadamente 35 Km<sup>2</sup>, como pode ser verificado no Mapa Geológico, Anexo 01. Nesta tese, durante os trabalhos de fotointerpretação, foi identificado um local

contido na área deste *sill* ao longo do vale do rio Dândolo, município de Nova Veneza, onde ocorre a conexão da falha principal e várias falhas secundárias de um sistema de falha N-S, como mostra a Figura 43. A geometria da zona de falha sugere tratar-se de falhas lístricas que se unem em profundidade. O reconhecimento de campo e a interpretação dos marcadores cinemáticos indicam movimentação destrógiro. Este condicionamento estrutural sugere que junto à união das falhas secundárias com a falha principal ocorre uma zona de transtensão e, portanto, com boas perspectivas para armazenamento de água.

Estes *sills* ocorrem geralmente em posição topoestrutural. Este condicionamento hidrogeológico indica que a alimentação desse aquífero fraturado se realiza por infiltração direta, a partir das precipitações.

#### 6.2.5.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação

Pelo fato de estas rochas vulcânicas apresentarem um efetivo fraturamento devido ao rápido resfriamento, além de serem seccionadas por falhas abertas relacionadas a movimentos tectônicos, apresentam alta vulnerabilidade e alto risco de contaminação a qualquer tipo de fonte de poluição que se instale sobre estas rochas.

Até o presente momento, as áreas correspondentes aos topos dos morros têm sido poupadas de fontes de poluição pelo fato de estarem, geralmente, contidas em áreas de proteção ambiental e também por se situarem topograficamente em cotas mais altas do que aquelas onde ocorrem as camadas de carvão.

Sabe-se que os solos originados a partir da alteração destas rochas basálticas geralmente são férteis. As verificações de campo indicaram que grande parte das encostas e topo destes morros-testemunhos é utilizada para fins agrícolas. O modelo hidrogeológico indica que a recarga deste aquífero é realizada por infiltração direta, a partir das precipitações, através dos solos residuais e fraturas. Pelo exposto, o risco de contaminação está diretamente relacionado ao tipo e à quantidade de defensivos agrícolas utilizados nas áreas cultivadas.

#### 6.2.5.3 Potencialidade aquífera

Do ponto de vista hidrogeológico, a presença de intrusões, principalmente quando estão relacionadas a formações aquíferas, como é o caso da Formação Rio

Bonito, é muito grande porque geralmente estas intrusões possuem um denso sistema de fissuras (juntas de resfriamento) as quais ampliam a produtividade do aquífero.

SILVA (1984), estudando a região de Içara, ressalta que a alta produtividade de um poço relacionado à Formação Rio Bonito deve-se ao fato de a referida formação estar intrudida por uma soleira de diabásio.

MACHADO (1996), analisando laudo de poços que captam água em litologias pelíticas da Formação Irati, verificou que a presença predominante de folhelhos não impede a boa produtividade dos poços, o que sugere a influência térmica e estrutural dos diabásios.

HAUSMAN (1965), estudando rochas basálticas do Rio Grande do Sul, diz que o rendimento normal de um poço é geralmente inferior a 1 l/s, mas que, em alguns lugares, pode alcançar 7 l/s, com abaixamento de 8 a 16 m.

Geralmente, a capacidade de armazenamento desses aquíferos fraturados é pequena e vai depender das dimensões, da geometria e do espaçamento das fraturas. Nas interfácies manto de intemperismo/ rochas vulcânicas, zonas de diaclasamento vertical/ zonas de diaclasamento horizontal ou, ainda, no contato entre as rochas vulcânicas fraturadas e as rochas pelíticas da Formação Irati e Estrada Nova, ocorrem surgências (fontes), bastante freqüentes nas encostas superiores dos morros, agindo como principal exutório na descarga natural desses aquíferos e conferindo a estas rochas um regime de fluxo semi-livre.

A potencialidade aquífera deste sistema é muito pouco conhecida nesta bacia hidrográfica, até porque é muito pouco explorado. Sabe-se, no entanto, que existem alguns locais como aquele correspondente ao *sill* que ocorre entre Criciúma e o rio Jordão, que apresentam características hidrogeológicas favoráveis, tais como: intenso fraturamento do maciço rochosos, presença de falhas abertas, vários cursos d'água encaixados em falhas ou drenando áreas onde estas rochas basálticas estão fraturadas (fraturas de resfriamento e fraturas tectônicas). Presença de falhas regionais que se interceptam ou apresentam zona de falha com geometria sinuosa, indicando presença de zonas de transtensão e zonas de transpressão.

O trabalho de cadastramento de poços tubulares indicou que a vazão média é de 5,4 m<sup>3</sup>/h, com valor máximo de 12,5 m<sup>3</sup>/h, obtida no poço PT-89-SI com 53 m de profundidade, apresentou nível estático a 6,0 m de profundidade e nível dinâmico a 12,00 m de profundidade. Cabe ressaltar que o referido poço se posiciona um



pouco ao norte do vale do rio Dândolo, já no município de Siderópolis, dentro da área correspondente ao *sill*, onde ocorre a estrutura apresentada na Figura 43.

O poço PT-84-MA, com vazão de 9 m<sup>3</sup>/h e 69 m de profundidade, situado no município de Maracajá, em épocas chuvosas apresenta condições de artesianismo. Em épocas normais, o nível estático permanece a 1,40 m da superfície e o nível dinâmico, a 20 m de profundidade.

O poço PT-40-SI, localizado no topo do Montanhão, município de Siderópolis, foi construído totalmente nas rochas basálticas da Formação Serra Geral, com 90 m de profundidade, apresentou vazão de 1,46 m<sup>3</sup>/h, nível estático a 37,50 m de profundidade e nível dinâmico a 62,00 m de profundidade.

Nesta bacia hidrográfica, até o presente momento, a importância maior deste sistema aquífero reside no grande número de nascentes que ele abriga. Em um pequeno *sill* que ocorre no município de Criciúma (Morro Esteves), a comunidade local identificou mais de 50 pequenas nascentes.

Na encosta do Montanhão, somente em sua porção compreendida entre a cidade de Treviso e Siderópolis, foi possível a identificação de 25 fontes. Esta área está sendo estudada pelos alunos da Engenharia Ambiental, através do Programa de Iniciação Científica (SANTOS; PAZZETTO, 2003) do qual este autor é um dos orientadores.

Com o objetivo de avaliarem-se a potencialidade aquífera de um local indicado por este autor, a Carbonífera Criciúma realizou três furos de sonda para prospecção de água para a futura USITESC, ao longo do vale do rio Dândolo, município de Nova Veneza.

#### *Ensaio de bombeamento no vale do rio Dândolo, junto à cidade de Nova Veneza*

O local onde foi realizado este teste de bombeamento corresponde ao vale do Dândolo, situado 5 km a noroeste da cidade de Nova Veneza. Corresponde a uma importante zona de falha N-S, identificada através dos trabalhos de fotointerpretação.

Foram realizadas três sondagens distantes aproximadamente 250 m uma da outra. Pelo fato de estes furos terem caráter exploratório, foram realizados em diâmetro NQ (75,6 mm externo), com sonda rotativa e testemunhagem total. Os três furos foram aprofundados até o embasamento cristalino, que neste local se encontra a uma profundidade média de 320 m. Após a descrição dos testemunhos de

sondagem das três perfurações, optou-se por realizar o teste de bombeamento no furo PNV-03.

Inicialmente estava planejado que para a realização do teste propriamente dito o furo selecionado seria recortado em diâmetro maior até 40 m para a construção de uma câmara de bombeamento e a utilização de bomba submersa marca Vambro VBU-45, de 4 CV – 12 estágios, com capacidade nominal para 10 m<sup>3</sup>/h em coluna d'água de 40 m. Porém, devido ao intenso fraturamento das rochas basálticas, só foi possível recortar-se até a profundidade de 12,10 m. Por este motivo não foi realizado o teste escalonado em três patamares como previsto.

A bomba foi colocada a 7,50 m de profundidade. Para esta profundidade foi possível manter-se uma vazão de 7,5 m<sup>3</sup>/h. O teste teve bombeamento contínuo durante 3 h.

Neste teste, pelo fato de o furo só ter 12,50 m de revestimento na boca, praticamente não ocorre perda de carga durante o bombeamento, nem durante a recuperação do NE, após o encerramento do bombeamento. Este poço não foi completado com filtro e pré-filtro porque se destinou somente à avaliação da potencialidade aquífera desta área, tendo sido concretado logo após o teste de bombeamento. Este poço iniciou-se em rochas basálticas e perfurou 40 m até o contato com rochas pelíticas da Formação Palermo. Teve penetração total nas seguintes formações geológicas: Rio do Sul, Rio Bonito e Palermo e Irati.

O teste teve bombeamento contínuo durante 7 h, com vazão inicial de 12,374m<sup>3</sup>/h. As informações a respeito do referido teste são apresentadas na Tabela 39.

Tabela 39: Ensaio de bombeamento do poço PNV-03

ENSAIO DE BOMBEAMENTO								
POÇO:	PNV-03 (MUNICÍPIO DE NOVA VENEZA)							
PROPRIETÁRIO:	RAULINO TOMASI							
PROFUNDIDADE DA BOMBA:	6,50M							
NÍVEL ESTÁTICO:	2,90M							
COORDENADAS UTM: E=643.697 X N=6.832.049								
BOMBEAMENTO				RECUPERAÇÃO				
tempo (min)	nível (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	s (m)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	t (min)	Parcial (m)	Acumulada (m)	Nível (m)
0	2.90	12,375	2.90	4.267	0	5.28	0	
5	5.75	10,280	2.85	3.607	1	4.00	1.28	
10	5.85	10,153	2.95	3.441	2	3.91	1.37	
20	5.48	8,516	2.58	3.300	3	3.87	1.41	
40	5.53	8,425	2.63	3.203	4	3.83	1.45	
60	5.30	7,058	2.40	2.940	6	3.75	1.53	
90	5.23	7,333	2.33	3.147	8	3.72	1.56	
120	5.23	7,266	2.33	3.118	10	3.67	1.61	
180	5.23	7,266	2.33	3.118	12	3.63	1.65	
240	5.23	7,266	2.33	3.118	16	3.58	1.7	
300	5.28	7,266	2.38	3.052	20	3.53	1.75	
360	5.28	7,266	2.38	3.052	24	3.49	1.79	
420	5.28	7,266	2.38	3.052	32	3.43	1.85	
					40	3.39	1.89	
					60	3.30	1.98	
					70	3.27	2.01	
					80	3.24	2.04	
					100	3.18	2.1	
					120	3.14	2.14	
					140	3.10	2.18	
					180	3.05	2.23	
					220	3.02	2.26	
					260	2.99	2.29	

A leitura do gráfico Tempo-Rebaixamento com vazão (Figura 79) permite verificar-se que o rebaixamento estabilizou-se após 5 h de bombeamento. Quanto à vazão, observou-se que a mesma passou de 12,37 m<sup>3</sup>/h para 7,26 m<sup>3</sup>/h após 120 minutos de bombeamento e manteve-se estabilizada até o final.

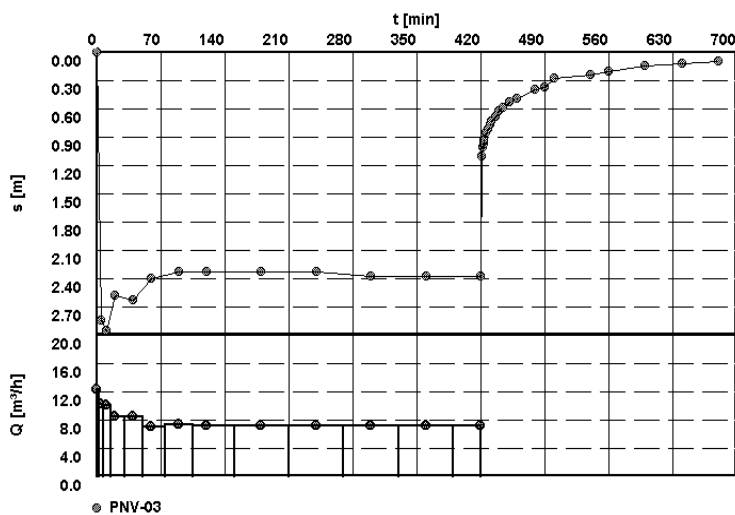


Figura 79: Gráfico Rebaixamento/vazão/tempo. Poço PNV03.

Através do método da recuperação de COOPER; JACOB (1946, Figura 80), obtiveram-se valores de transmissividade ( $T$ ) =  $4.67 \times 10^{-2} m^2/min$  e capacidade de armazenamento ( $K$ ) =  $5.69 \times 10^{-4} m/min$ .

Cabe ressaltar-se que estas características hidrodinâmicas não se referem somente ao Sistema aquífero Serra Geral porque, como foi dito, este poço teve penetração total nas formações Rio do Sul, Rio Bonito e Palermo e Irati.

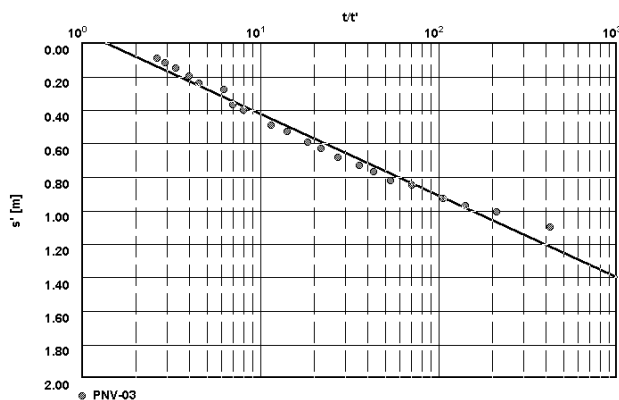


Figura 80: Cálculo da transmissividade e capacidade de armazenamento pelo método da recuperação de COOPER; JACOB (1946).

#### 6.2.5.4 Aspectos hidroquímicos

As águas deste sistema são do tipo bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, como mostra o diagrama de Piper apresentado na Figura 80.

A água apresenta pH neutro a levemente ácido, com valores de condutividade que variam de 48  $\mu$ S/cm (FT-46-TR) a 690  $\mu$ S/cm (FT-04-LS). Este último ponto situa-se próximo a uma área de disposição de rejeito piritoso em Siderópolis. O ferro total é o elemento mais restritivo com relação ao padrão de potabilidade.

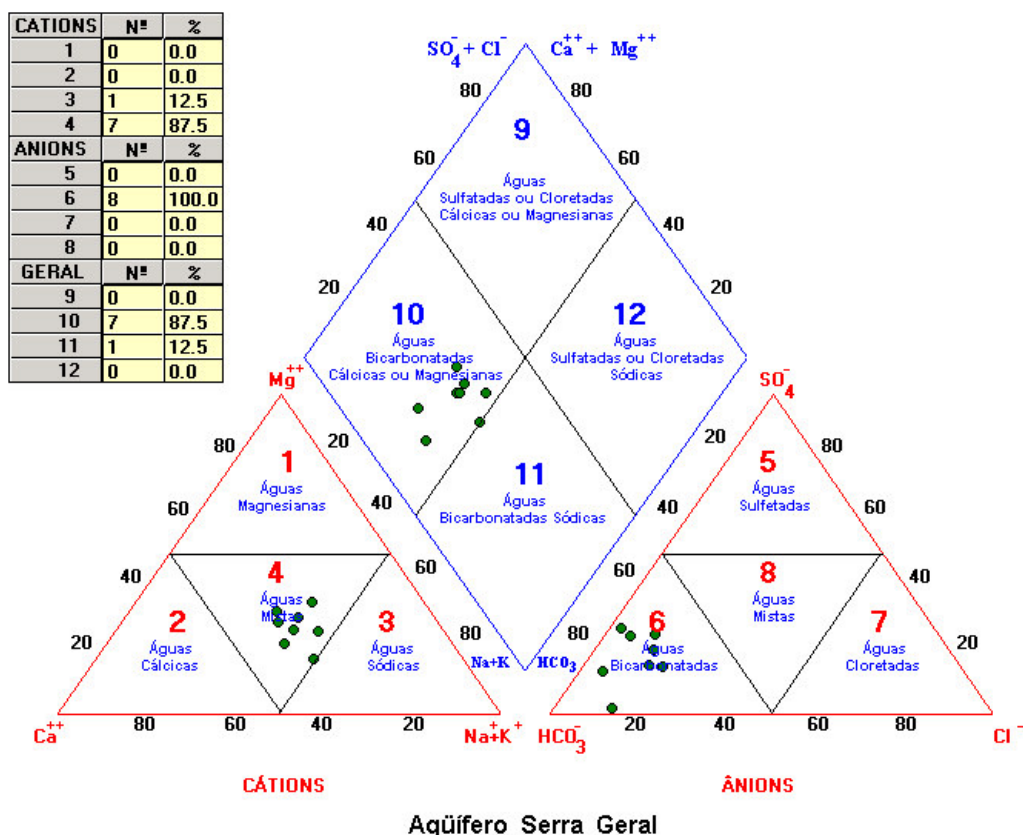


Figura 81: Diagrama de Piper para as águas do Sistema Aquífero Serra Geral.

Análises realizadas em águas de diversas fontes situadas em diferentes municípios indicaram que praticamente todos estes pontos de água apresentam valores de coliformes totais e fecais acima dos padrões de potabilidade para consumo humano. A Tabela 40 mostra os resultados de análises realizadas em algumas fontes relacionadas a este sistema aquífero.

Tabela 40: Características físico-químicas e microbiológicas dos pontos de água da Formação Serra Geral.

RESULTADOS DE ANÁLISES - FORMAÇÃO SERRA GERAL									
Município	Padrões de Potabilidade Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469/2000	Ermo - ER	Jacinto Machado - JM	Siderópolis - SI			Timbé do Sul - TS	Treviso - TR	
Parâmetros		FT 40 Ed	FT 06 JM	FT 51 SI	FT 04 LS	FT 07 LS	FT 25 TS	FT 21 TR	FT 46 TR
pH	6,0 a 9,5	5,60	6,90	5,60	5,90	6,40	7,10	7,20	6,80
Condutividade (m.S.cm <sup>-1</sup> )	###	83,00	67,00	54,00	690,00	95,00	53,00	121,00	48,00
Temperatura (° C)	###	21,80	20,00	22,00	-	-	25,10	23,00	22,00
Manganês (mg/L)	0,1 mg/L	0,05	0,01	ND	ND	0,02	ND	0,03	ND
Alcalinidade Total (mg/L)	###	16,00	21,00	17,00	26,50	22,00	19,00	52,00	19,00
Alumínio (mg/L)	0,2	-	ND	-	-	-	0,30	-	-
Ferro Total (mg/L)	0,3	0,53	0,26	ND	ND	0,34	0,13	0,67	0,05
Sódio (mg/L)	200	4,34	6,06	4,29	4,90	6,28	3,64	10,20	3,25
Potássio (mg/L)	###	0,56	0,99	0,70	0,31	1,06	0,98	1,45	0,75
Cálcio (mg/L)	###	2,57	3,94	2,53	5,50	6,15	3,51	7,50	2,71
Magnésio (mg/L)	###	2,13	1,12	1,34	1,73	2,85	1,16	4,30	1,23
Cloretos (mg/L)	250	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00	2,00	1,00	1,00
Alcalinidade de carbonatos (mg/L)	###	0,0004	0,0100	0,0004	0,0012	0,0033	0,0144	0,0495	0,0072
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg/L)	###	19,52	25,61	20,74	32,33	26,83	23,17	63,41	23,18
Sulfatos (mg/L)	250	3,00	4,00	6,00	0,01	6,00	ND	18,00	6,00
Coliformes Fecais	0/100 mL	Ausente	26,00	7,80	-	-	11,00	1100,00	6,10
Coliformes Totais	0/100 mL	2,20	540,00	23,00	-	-	11,00	3500,00	9,30

Obs: ( 1 ) = Valores máximos permitidos segundo os padrões de potabilidade de água para consumo humano, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Para o parâmetro de pH é um valor recomendado.

( 2 ) = ND - Não Detectado.

( ) = Fora dos padrões.

A Figura 82 e a Tabela 41 mostram que 100,0 % das amostras possuem valores muito baixos de salinidade e sódio, indicando que podem estas águas ser utilizadas na irrigação sem nenhum risco às plantas ou ao solo. (C1S1)

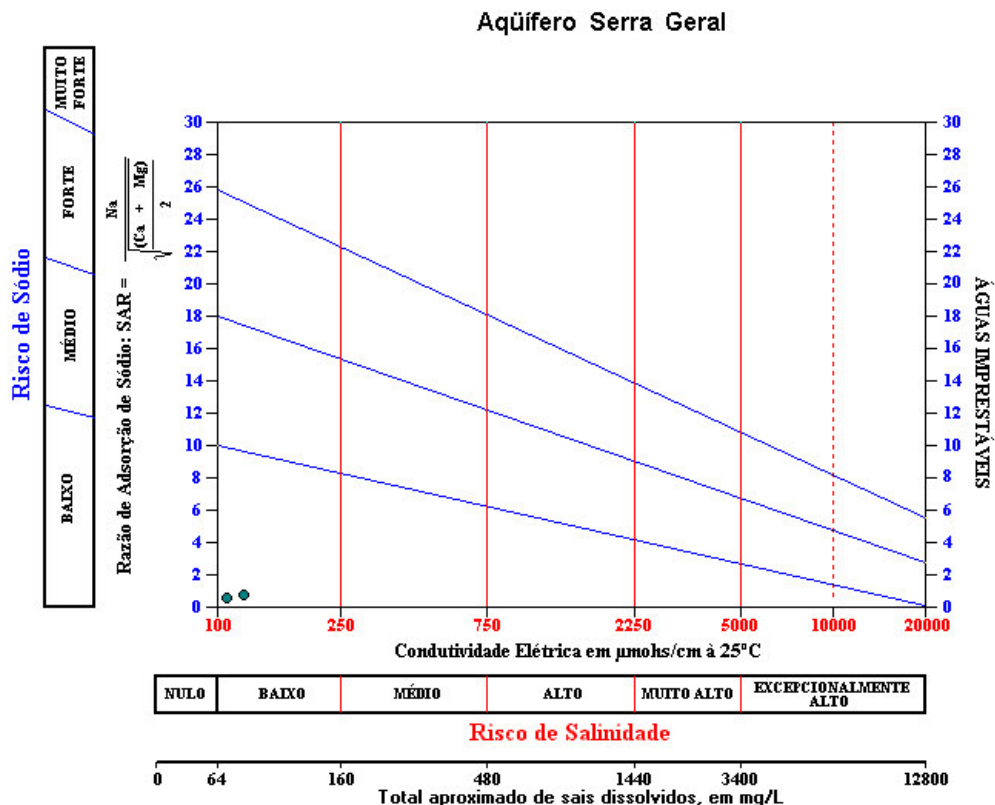


Figura 82: Diagrama de SAR para as águas da Formação Serra Geral.

Tabela 41: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para a Formação Serra Geral

Classes	Número Amostras	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
C1 S1	2	100,0	100,0
TOTAL	2	-	-

## 6.2.6 Sistema aquífero relacionado aos depósitos de leques aluviais

### 6.2.6.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica

Estes depósitos possuem a maior distribuição em área nesta bacia hidrográfica, perfazendo um total de 1088 km<sup>2</sup>. Ocorrem de maneira contínua a partir da encosta inferior do planalto gonduânico e dos morros-testemunhos ao longo de

toda a porção norte, centro e oeste da bacia. Ao leste, sua área de ocorrência é limitada aproximadamente pelo curso do rio Sangão, e ao sul estes leques aluviais são cobertos pelos depósitos arenosos de origem marinha e retrabalhamento eólico e por depósitos siltico-arenosos de origem flúvio-lagunar. A Figura 83 ilustra sua área de ocorrência.

A caracterização hidrogeológica foi realizada com base nos critérios geológicos interpretados do ponto de vista hidrogeológico, bem como nas características hidráulicas e hidroquímicas disponíveis até o presente momento. Também foram consideradas as atividades de superfície e subsuperfície (minas de carvão em subsolo) que poderão interferir no comportamento e qualidade das águas deste aquífero.

Com relação aos aspectos geológicos, esta unidade está muito bem representada na área compreendida entre Nova Veneza, Forquilha e Maracajá. Nas proximidades da cidade de Forquilha, existem boas exposições junto às margens do rio Mãe Luzia e de outros cursos d'água menores, havendo um grande número de poços-ponteiras relacionados a estes depósitos. Nesta área também foram realizadas centenas de furos de sonda para a pesquisa de carvão. Os perfis litológicos destes furos fornecem informações a respeito da espessura dos depósitos de leques aluviais. Em alguns furos pode-se verificar também a profundidade do lençol freático.

A descrição dos afloramentos bem como a interpretação dos perfis litológicos permitiram verificar-se que nesta porção da bacia estes depósitos são constituídos por duas seqüências distintas: uma inferior, formada quase exclusivamente por material grosso, grânulos, seixos, cascalhos e blocos (que constitui o intervalo aquífero), e outra superior, de natureza areno-argilosa .

Este intervalo inferior, constituído predominantemente por material rudáceo, com pequena cobertura de material argilo-arenoso, apresenta boas perspectivas para a exploração de água através de poços escavados, ponteiras ou poços tubulares.

Litologicamente estes depósitos são formados por grânulos, seixos, cascalhos e blocos de rochas basálticas e, subordinadamente, areníticas ou pelíticas, com ou sem matriz arenosa. Na porção da bacia, onde o fluxo já está desconfinado, estes conglomerados são clastos-suportados e, de uma maneira geral, possuem pouca ou nenhuma matriz, o que lhes confere uma alta



permeabilidade. A geometria das camadas é lenticular. Porém, em nível de afloramento apresentam uma forma aproximadamente tabular.

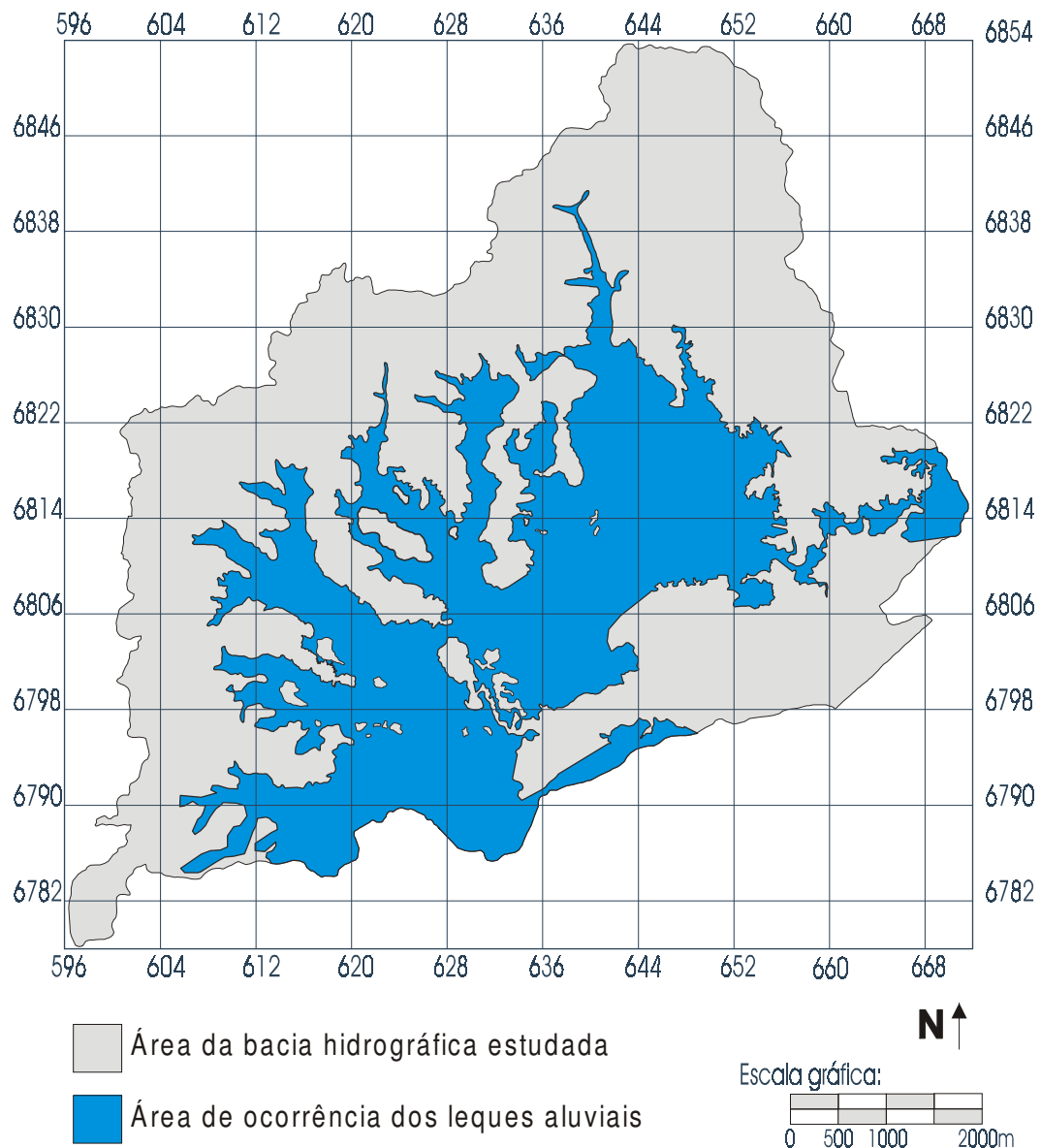


Figura 83: Mapa da Área de Ocorrência dos Leques Aluviais.

Com relação à espessura e aos limites deste intervalo inferior, a análise dos perfis litológicos dos furos de sonda, realizados para a pesquisa de carvão pela CPRM e pela Carbonífera Criciúma nos municípios de Forquilha, Criciúma, Nova Veneza e Maracajá, permitiram constatar-se que nesta porção da bacia, ou seja, na sub-bacia do Rio Mãe Luzia, a espessura aumenta gradativamente das proximidades do Rio Sangão, que corresponde ao limite leste destes depósitos, onde não ultrapassam 5,5 m, como demonstram os perfis dos furos MT-09, MT-11, VD-10, CR-27 e CR-69, todos com valores inferiores a 0,50 m e os furos MA-02, MA-04, MA-07 e MA-31, com espessuras de 5,5 m; 3,9 m; 4,0 m e 5 m, respectivamente. À medida que se avança para o oeste, isto é, no sentido do Rio Mãe Luzia, a espessura aumenta, como demonstram os perfis dos furos PV- 84 PV-85 e PV-86, com espessuras de 20,4 m, 22,2 m e 15,55 m, respectivamente. As maiores espessuras destes leques foram verificadas nos municípios de Meleiro e Maracajá, conforme os perfis dos furos MA-22 e CR-12, com 40 metros e 32 metros, respectivamente. A interpretação das curvas de isópacas permite verificar-se que logo à montante da confluência do rio Sangão com o rio Mãe Luzia, na planície aluvial do rio Mãe Luzia, ao norte da cidade de Maracajá, existe uma calha estrutural, onde se verificam as maiores espessuras destes depósitos, de acordo com os perfis dos furos MA-22 e CR-12, com 40 metros e 32 metros, respectivamente. Do ponto de vista hidrogeológico, a identificação desta calha reveste-se da mais alta importância, visto que os poços aí construídos deverão apresentar as maiores vazões. A Figura 84 mostra as espessuras destes depósitos rudáceos, espessura de seu capeamento e também a calha estrutural referida anteriormente.

O sentido de fluxo das águas subterrâneas, estabelecido a partir da cota dos níveis d'água verificado nos poços escavados bem como de piezômetros, indica um sentido geral de N-NW para S-SE, como mostra a Figura 85.

Figura 84: Mapa de Espessura (ver plantas referenciadas no volume I A).

Figura 85: Mapa de linhas equipotenciais e linhas de fluxo – Leques Aluviais (ver plantas referenciadas no volume I A).

Com relação à seqüência superior, ela é de fundamental importância para a proteção deste aquífero. Porém, constatou-se que na porção oeste da área desta bacia bem como nas proximidades da encosta do planalto, onde ocorrem os leques proximais, ela nem sempre está presente. A Figura 84 mostra a espessura da seqüência superior (cobertura dos leques) na planície aluvial do rio Mãe Luzia. Nesta porção da bacia ela é constituída de camadas de material predominantemente argiloso que se intercalam com camadas de material siltico-argiloso. Geralmente apresenta cor cinza-escuro a cinza-amarelado. A alternância de tonalidades evidencia a laminação fina plano-paralela.

No município de Timbé do Sul, Meleiro e Jacinto Machado, constatou-se que a cobertura é pouco espessa, dificilmente ultrapassando 2 metros. Verificou-se também que existe uma área que engloba grande parte do município de Timbé do Sul, onde estes leques apresentam-se capeados por um espesso solo de cor vermelho escuro, originado a partir da alteração residual dos próprios clastos de rochas efusivas que constituem os depósitos de leques aluviais.

O perfil litológico do poço tubular profundo, realizado em 2001 pela HIDROGEO no pátio do hospital de Araranguá, demonstrou que na porção costeira estes depósitos de leques são onlapados pelos depósitos arenosos de origem marinha. O referido perfil demonstra que neste local os depósitos de leques encontram-se a uma profundidade de 28 metros e têm espessura de 3 metros.

O modelo hidrogeológico, estabelecido a partir das características de relevo, características granulométricas, mudanças litológicas, variações de permeabilidade, linhas equipotenciais e do fato de esta porção atuar como uma imensa área de descarga, sugere tratar-se de um aquífero intergranular extenso, com regime de fluxo livre, semi-confinado ou confinado, com nível estático próximo à superfície.

A recarga se processa de maneira direta a partir das precipitações através dos próprios depósitos de leques ou de seus solos residuais e de maneira indireta a partir da infiltração de água nas encostas e deslocamento para as planícies onde se encontram os leques, isto é, no sentido do declive hidráulico. As verificações realizadas em minas de subsolo permitiram constatar-se que em alguns trechos os rios Mãe Luzia e Sangão contribuem para a recarga do aquífero relacionado à Formação Rio Bonito, subjacente aos leques. Este fato permite afirmar-se que os referidos cursos d'água contribuem também para a recarga do aquífero relacionado aos leques aluviais. Outro indicativo de que os cursos d'água contribuem para a

recarga deste aquífero relaciona-se ao fato de que os pontos monitorados pela Carbonífera Criciúma na Unidade Mineira II, pontos estes situados nas proximidades dos rios Mãe Luzia e Sangão, apresentam teores mais elevados de ferro total, sulfato e manganês, justamente quando os referidos rios estão cheios, sugerindo haver uma contribuição para a recarga deste aquífero com as águas daqueles rios que, nesta porção, já apresentam péssima qualidade em consequência das diferentes ações antrópicas praticadas à montante.

#### 6.2.6.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação

O Mapa de Vulnerabilidade Natural, Anexo 4, mostra que este sistema aquífero possui vulnerabilidade natural que varia de moderada à extrema. Em suas porções mais distais, a vulnerabilidade é moderada. Isto se deve ao fato de nestas porções os leques possuírem uma cobertura de material siltico-argiloso, originada a partir de processos de transbordamento. À medida que se aproximam da linha de costa, estes depósitos de leques são encobertos por depósitos arenosos marinhos com retrabalhamento eólico. A verificação do referido mapa mostra que em locais restritos, situados nas porções média e proximal destes depósitos, ocorrem áreas com vulnerabilidade moderada. Isto se deve ao fato de estes depósitos de leques desenvolverem um espesso solo residual pouco permeável, originado a partir da alteração dos clastos de rochas basálticas, como se pode verificar na Figura 36.

Nestas áreas proximais, onde o gradiente topográfico é mais alto, são freqüentes as variações do lençol freático. Verificações realizadas a campo sugerem que estas oscilações propiciam a alteração mais rápida dos clastos de rochas basálticas.

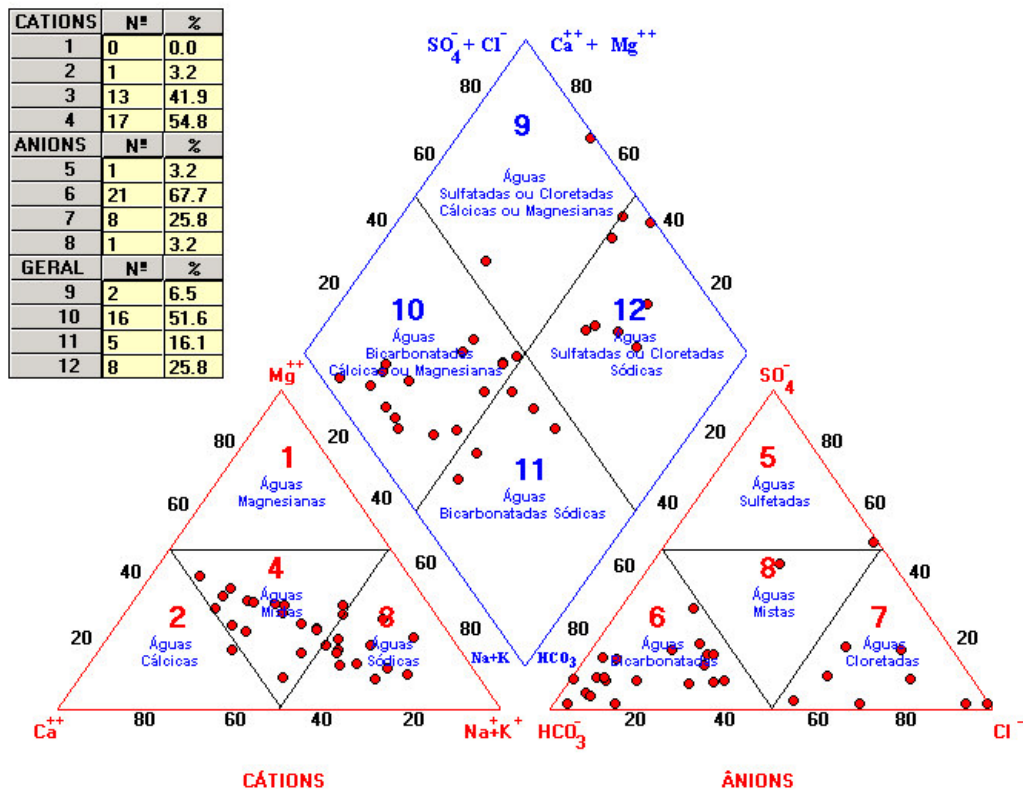
Na porção média destes depósitos de leques, ocorre uma faixa onde a vulnerabilidade é alta. A leitura do mapa de vulnerabilidade mostra que ocorre uma extensa área com vulnerabilidade alta situada na porção distal do depósito de leque. Verificações a campo permitiram constatar-se que nesta porção os leques possuem uma cobertura pouco espessa e também ocorre uma alta densidade de drenagem, a qual expõe os depósitos rudáceos.

Em suas áreas proximais, estes depósitos rudáceos com alta permeabilidade não possuem cobertura e apresentam vulnerabilidade extrema. Cabe ressaltar-se que nestas porções com gradientes topográficos mais elevados se processa a recarga deste aquífero.

Com relação ao risco de contaminação, a correlação do Mapa de Vulnerabilidade Natural, Anexo 4, com o Mapa de Fontes de Poluição, Anexo 5, permite constatar-se que o risco potencial mais alto relaciona-se às cargas difusas oriundas dos pesticidas utilizados de maneira extensiva nesta bacia, no domínio dos leques aluviais, para o cultivo de arroz irrigado. Constata-se também que as atividades de mineração e de beneficiamento de carvão pouco interferem na área dos leques. Cabe ressaltar-se, no entanto, que durante esta tese constatou-se que uma grande parte dos agricultores que cultivam arroz irrigado aduz águas poluídas do rio Mãe Luzia para dentro das canchas em áreas distantes vários quilômetros do referido rio. Esta prática, segundo informações dos próprios agricultores, já se realiza há décadas. Do ponto de vista hidrogeológico, isto significa que há décadas se realiza artificialmente e com água contaminada a recarga do aquífero.

#### 6.2.6.3 Aspectos qualitativos

A leitura do diagrama de Piper, apresentado na Figura 86, mostra que existem três famílias de água bem definidas neste sistema aquífero. O grupo principal, constituído por 51,6% das amostras, concentra-se no campo das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas; 25,8% foram classificadas como águas sulfatadas ou cloretadas sódicas; e 16,1%, como bicarbonatadas sódicas. Somente 6,5% foram classificadas como sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas. Considerando-se o campo dos cátions, verifica-se que a maioria das águas, ou seja, 54,8%, é classificada como águas mistas e 41,9%, como águas sódicas. Considerando-se o campo dos ânions, constata-se que 67,7% são classificadas como águas bicarbonatadas e 25,8%, como águas cloretadas.



***Diagrama de Piper dos Leques Aluviais***

Figura 86: Diagrama de Piper para as águas do Sistema Aqüífero Leques Aluviais.

A Tabela 42, apresenta os resultados de análises físico-químicas e microbiológicas deste sistema aqüífero.



Tabela 42: Características físico-químicas e bacteriológicas dos pontos de água dos Leques Aluviais.

RESULTADOS DE ANÁLISES - LEQUES ALUVIAIS																	
Município	Padrões de Potabilidade Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469/2000	Araranguá - AR	Ermo - ER			Forquilha - FQ			Jacinto Machado - JM			Maracajá - MA		Meleiro - ME			
Parâmetros		PE 316 AR	Pe 212 ER	PE 216 ER	PE 147 FQ	PE 150 FQ	PE 155 FQ	PE 115 JM	PE 131 JM	PE 230 JM	PE 167 MA	PO 16 MA	PE 109 ME	PE 139 ME	PE 143 ME	PE 175 ME	PE 186 ME
pH	6,0 a 9,5	5,50	7,20	6,30	4,30	4,70	5,50	7,30	6,00	7,10	3,80	3,90	4,40	5,50	4,60	5,00	6,20
Condutividade (m.S.cm <sup>-1</sup> )	###	152,00	419,00	183,00	62,00	189,00	90,00	109,00	198,00	264,00	261,00	49	196	40	54	71	109,00
Temperatura (° C)	###	20,10	20,20	20,10	19,30	19,60	20,10	19,90	20,10	21,80	19,80	21,90	20,50	18,80	17,10	19,80	19,20
Manganês (mg/L)	0,1	ND	ND	0,05	0,02	0,06	0,020	ND	0,070	0,110	0,130	0,02	0,10	ND	0,02	0,02	ND
Alcalinidade Total (mg./L CaCO <sub>3</sub> )	###	32,00	120,00	95,00	2,00	7,00	11,00	54,00	19,00	88,00	ND	ND	2,00	15,00	4,00	11,00	24,00
Alumínio (mg/L)	0,2	ND	ND	0,50	ND	0,50	0,60	ND	ND	ND	2,80	ND	0,40	0,20	0,30	ND	ND
Ferro Total (mg/L)	0,3	0,03	0,03	0,72	0,08	0,05	0,21	0,05	ND	0,10	0,03	0,06	0,01	0,06	0,09	0,09	0,14
Sódio (mg/L)	200	11,00	29,00	6,00	4,00	22,50	8,00	8,80	20,10	21,00	9,90	3,05	14,00	2,97	4,60	7,10	8,40
Potássio (mg/L)	###	4,10	4,60	2,60	1,53	1,89	5,20	3,40	2,45	4,20	1,07	0,45	2,55	1,15	0,90	1,55	0,98
Cálcio (mg/L)	###	9,20	25,80	14,00	2,48	2,40	3,40	6,90	6,00	12,80	15,90	1,50	5,60	1,57	0,93	1,96	4,90
Magnésio (mg/L)	###	2,55	15,10	7,50	0,95	3,80	0,67	1,74	3,48	6,40	3,20	0,38	4,68	0,76	0,34	0,71	2,50
Cloretos (mg/L)	250	14,00	24,00	4,00	9,00	28,00	9,00	6,00	32,00	26,00	11,00	4,00	26,00	5,00	7,00	4,00	7,00
Alcalinidade de carbonatos (mg/L)	###	0,0006	0,1142	0,0114	ND	ND	0,0002	0,0647	0,0011	0,0665	ND	ND	ND	0,0003	ND	0,0002	0,0023
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	###	39,04	146,34	115,89	2,44	8,54	13,42	65,85	23,18	107,33	ND	ND	2,44	18,30	4,88	13,42	29,28
Sulfatos (mg/L)	250	4,00	31,00	9,00	3,00	4,00	19,00	ND	ND	8,00	ND	6,00	ND	3,00	3,00	3,00	8,00
Coliformes Fecais	0/100 mL	Ausente	1700,00	460,00	16000,00	11,00	6,80	79,00	540,00	33,00	4,50	Ausente	7,80	490,00	23,00	Ausente	13,00
Coliformes Totais	0/100 mL	49,00	1700,00	1100,00	16000,00	700,00	130,00	79,00	540,00	305,00	4,50	Ausente	70,00	700,00	49,00	Ausente	79,00

Obs: ( 1 ) = Valores máximos permitidos segundo os padrões de potabilidade de água para consumo humano, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Para o parâmetro de pH é um valor recomendado.

( 2 ) = ND - Não Detectado.

( ) = Fora dos padrões.

Tabela 42. Características físico-químicas e bacteriológicas dos pontos de água dos Leques Aluviais. (continuação)

RESULTADOS DE ANÁLISES - LEQUES ALUVIAIS														
Município	Padrões de Potabilidade Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469/2000	Morro Grande - MG		Nova Veneza - NV				Siderópolis - SI	Treviso - TR	Timbé do Sul - TS		Turvo - TV		
Parâmetros		PE 192 MG	PO 02 MG	PO 05	PE 02	PE 54	PE 56	PE 309 SI	PE 306 TR	PE 119	PO 24	PE 198	PE 201	PO 17
pH	6,0 a 9,5	6,10	6,20	5,50	6,30	5,30	7,10	6,50	5,90	6,10	6,70	5,40	6,00	6,10
Condutividade (m.S.cm <sup>-1</sup> )	###	100	337,00	56,00	177,00	51,00	39,00	104,00	121,00	304,00	455,00	174,00	331,00	244,00
Temperatura (° C)	###	17,70	21,50	17,60	18,90	18,90	18,50	-	-	20,50	-	21,10	20,10	19,20
Manganês (mg/L)	0,1	ND	0,19	0,07	0,10	0,02	0,07	ND	ND	0,02	1,42	0,06	0,18	0,12
Alcalinidade Total (mg./L CaCO <sub>3</sub> )	###	49,00	155,00	52,00	92,00	15,00	22,00	47,00	23,00	54,00	210,00	11,00	90,00	98,00
Alumínio (mg/L)	0,2	ND	ND	ND	-	0,40	0,20	-	-	ND	ND	0,30	ND	ND
Ferro Total (mg/L)	0,3	0,10	8,50	1,60	1,28	0,22	0,17	0,19	0,08	ND	0,81	0,15	0,06	0,67
Sódio (mg/L)	200	5,20	22,00	3,60	9,00	5,00	4,20	8,52	7,40	13,20	11,00	14,10	19,00	38,30
Potássio (mg/L)	###	1,51	1,42	0,92	1,04	4,70	0,37	1,34	6,25	2,90	1,50	2,85	4,63	1,50
Cálcio (mg/L)	###	5,60	30,40	8,50	15,40	2,84	1,93	6,16	3,87	20,50	46,50	2,81	18,10	2,35
Magnésio (mg/L)	###	3,20	9,50	4,00	4,90	0,89	0,75	3,07	3,90	10,20	24,50	3,80	9,50	3,80
Cloretos (mg/L)	250	ND	8,00	3,00	4,00	5,00	3,00	3,00	5,00	47,00	4,00	14,00	35,00	6,00
Alcalinidade de carbonatos (mg/L)	###	0,0037	0,0148	0,0010	0,0110	0,0002	0,0166	0,0089	0,0011	0,0041	0,0633	0,0002	0,0054	0,0074
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	###	59,78	189,09	63,44	112,23	18,30	26,83	57,34	28,06	65,88	256,17	13,42	109,80	119,55
Sulfatos (mg/L)	250	4,00	4,00	5,00	3,00	4,00	2,00	4,00	13,00	1,00	ND	3,00	10,00	17,00
Coliformes Fecais	0/100 mL	2,00	Ausente	Ausente	79,00	16000,00	49,00	> 1600	220,00	280,00	33,00	3500,00	9,30	Ausente
Coliformes Totais	0/100 mL	33,00	Ausente	Ausente	110,00	16000,00	350,00	> 1600	920,00	790,00	33,00	3500,00	406,00	Ausente

Com relação ao pH, constatou-se que a maioria das amostras analisadas indicou valores inferiores a 6 pontos, demonstrando que estas águas são levemente ácidas. A leitura da *Tabela 37* mostra que os valores variam de 3,8 (PE-167-MA) a 7,3 (PE-115-JM), com valor médio de 5,74, constatados nos municípios de Maracajá, Meleiro e Forquilha. Acredita-se que este fato esteja relacionado à prática de adução de águas ácidas do rio Mãe Luzia para irrigação das quadras de arroz.

Com relação à condutividade, considerando-se as centenas de medidas realizadas durante o cadastramento dos pontos de água, constatou-se que, no caso dos poços escavados, estes apresentam valores normais, em torno de 100 ( $\text{m.s.sm}^{-1}$ ). Porém, nas proximidades do rio Mãe Luzia, na área de influência da cunha salina no rio Araranguá e nos poços construídos dentro das áreas de plantio de arroz irrigado, os valores estão acima do normal, tendo sido verificados valores superiores a 600 ( $\text{m.s.sm}^{-1}$ ), como pode ser lido nas *Tabelas* apresentadas no Anexo 8. Com relação às águas das ponteiros, verificou-se que estas têm a condutividade alta, com valor médio de 300 ( $\text{m.s.sm}^{-1}$ ), podendo alcançar em alguns locais 450 ( $\text{m.s.sm}^{-1}$ ).

A *Tabela 42* mostra que com relação aos metais, o alumínio e o ferro são os parâmetros mais restritivos para o uso destas águas para fins de potabilidade (Portaria 1469 de dez. 2000). O alumínio apresentou valores mais elevados nos municípios de Forquilha, Maracajá e Ermo, com valores de 0,6 mg/L, 2,8 mg/L 0,5 mg/L, respectivamente.

Com relação ao ferro total, os valores variam de 0,01 (PE-109-ME) até 8,5 mg/L (PO-02-MG), com valor médio de 0,25 mg/L. Em Turvo, constatou-se que poços tubulares construídos em épocas passadas captam água dos leques e do aquífero profundo relacionado à Formação Rio do Rasto. Todos estes poços, devido ao alto teor de ferro, atualmente só podem ser utilizados para fins industriais. Poços construídos recentemente neste mesmo município (PT-147-TV e PT-148-TV), que isolaram o intervalo estratigráfico correspondente aos leques, apresentam água de boa qualidade e podem ser utilizados para fins de abastecimento público. Este fato indica que o teor elevado ferro total nas águas dos poços anteriormente referidos é proveniente da contribuição dos leques.

Com relação ao manganês, constatou-se que as águas deste sistema apresentam valores normais dentro dos padrões de potabilidade, com exceção de uma ponteira perfurada em Timbé do Sul, com valor de 1,92 mg/L (PO-24-TS). Os valores de sulfato também são normais, como mostra a *Tabelas 42*.

A Figura 87 mostra a correlação do pH, sulfatos, ferro total, magnésio e manganês. A leitura da referida *Figura* mostra que o comportamento do ferro total é bem distinto do comportamento do manganês e dos sulfatos, ao contrário do que se verifica nas áreas de mineração e de beneficiamento de carvão.

Acredita-se que os altos teores de ferro total detectados em algumas amostras como, por exemplo, a PO-02 MG, situadas em locais distantes das áreas de mineração e de beneficiamento de carvão e também distantes dos locais onde ocorre recarga artificial com água ácida aduzida do rio Mãe Luzia, estejam relacionados à alteração dos clastos de rochas basálticas que constituem os depósitos rudáceos. A amostra PO-02-MG situa-se em uma porção proximal dos depósitos de leques onde as cotas potenciométricas são elevadas e, por este motivo, os depósitos de leques atuam principalmente como áreas de recarga ou circulação. Nestes locais geralmente os depósitos rudáceos não têm cobertura e também são freqüentes as variações do nível estático. Os trabalhos de campo permitiram verificar-se que estes dois fatores são responsáveis pela rápida intemperização dos clastos de rochas basálticas. A Figura 36 mostra um destes locais onde os clastos estão totalmente alterados. Constata-se que ocorre a formação de um líquido viscoso de cor amarelo que drena do interior do depósito. Análise realizada neste líquido acusou teores de ferro total de 130 mg/l.

Com relação às análises microbiológicas, a *Tabela* 37 mostra que, com raras exceções, as águas apresentam valores de coliformes totais e fecais fora dos padrões de potabilidade.

Com relação à utilização destas águas para fins de irrigação, a Figura 88 e a Tabela 43 mostram que 63,20 % das águas possuem baixa salinidade e baixos teores de sódio, mostrando que estas águas podem ser utilizadas na irrigação sem causar nenhum problema às plantas e ao solo (C1S1). Os restantes 36,80 % apresentaram salinidade média com baixos teores de sódio, indicando que podem ser utilizadas sempre que houver um grau moderado de lavagem do solo, sem a necessidade de práticas especiais de controle da salinidade (C2S1).

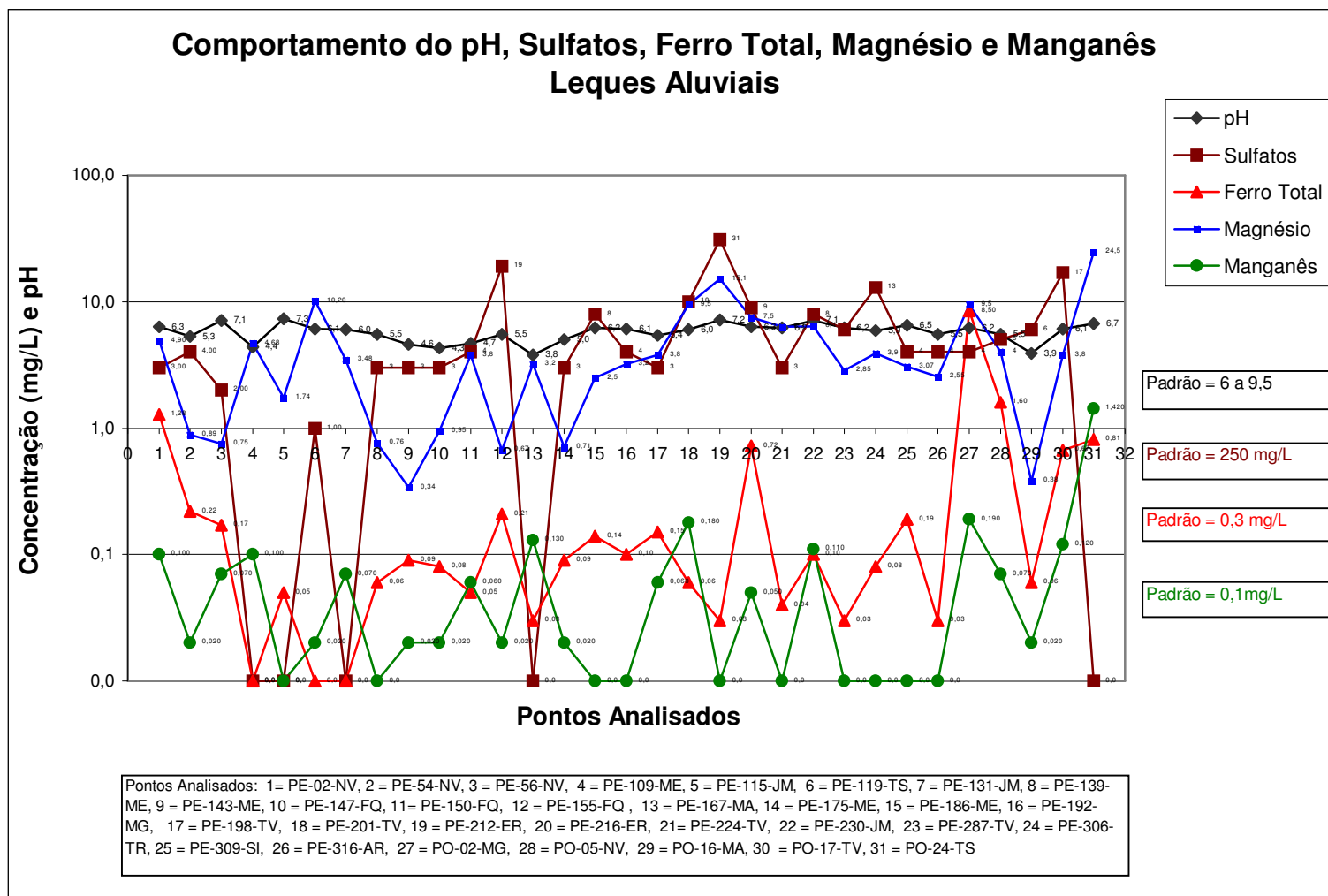


Figura 87: Variação do pH, sulfato, ferro total, magnésio, manganês - Sistema Aquífero Leques Aluviais.

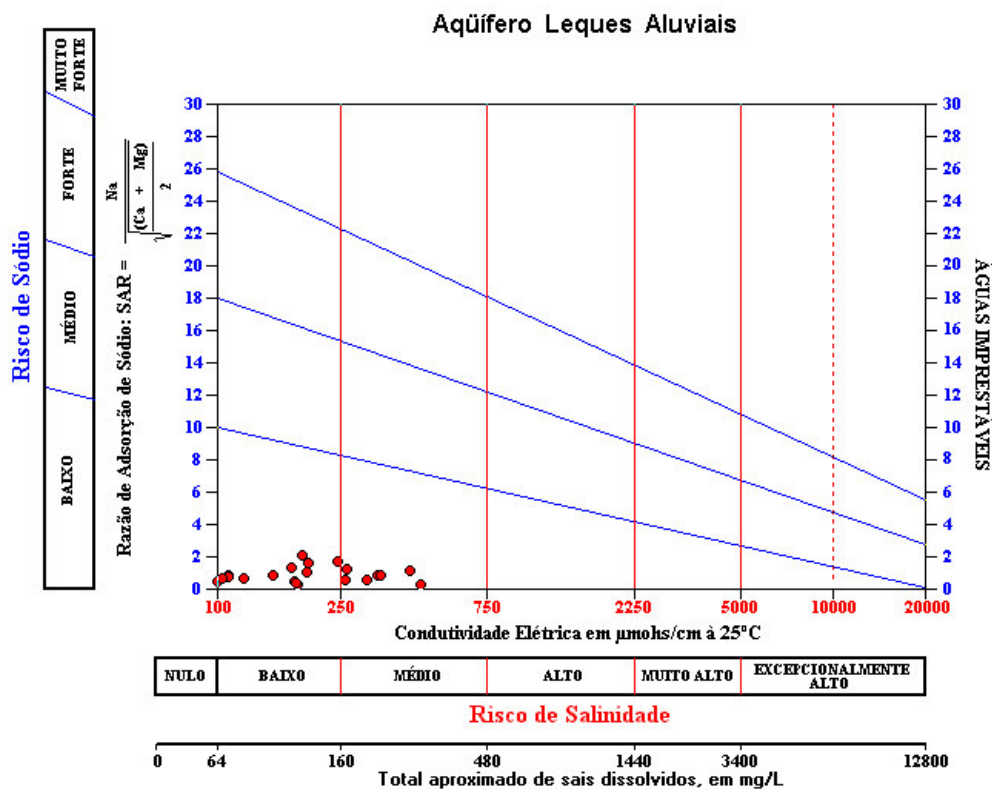


Figura 88: Diagrama de SAR para as águas do Sistema Aqüífero Leques Aluviais.

Tabela 43: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para os Depósitos de Leques Aluviais

Classes	Número Amostras	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
C1 S1	12	63,20	63,20
C2 S1	7	36,80	100,0
TOTAL	19	-	-

#### 6.2.6.4 Potencialidade aquífera

Os trabalhos realizados permitiram verificar-se que a captação de água neste sistema aquífero é realizada principalmente através de poços escavados.

A predominância de fácies conglomeráticas em seus depósitos, eficientes áreas de recarga situadas nas proximidades da escarpa da Serra Geral, onde as precipitações pluviométricas são mais freqüentes, ausência ou pequena cobertura, são fatores que indicam ter este sistema boa capacidade em armazenar e ceder água. Porém, os trabalhos desenvolvidos, inclusive com três testes expeditos de

vazão, não permitiram que se avaliasse o real comportamento aquífero deste sistema.

O primeiro teste foi realizado na localidade de Sapiranga, município de Meleiro, em um poço escavado tipo amazonas, com 4 m de diâmetro e 8 metros de profundidade. O nível estático está a 4,23m. Até 3,80m ocorre um solo residual proveniente da própria alteração dos clastos. A partir desta profundidade iniciam-se os intervalos de cascalho. Constatou-se através dos trabalhos de cadastramento de pontos de água e mapeamento que neste local os depósitos rudáceos possuem espessura média superior a 20m, como se pode ser observar na Figura 84. Desta forma, percebe-se que este poço não teve penetração total no aquífero.

O teste durou 120 minutos e teve que ser interrompido porque a tomada da bomba está colocada a 7 metros de profundidade. Após o início do teste, a vazão passou de 15,96 m<sup>3</sup>/h para 12,87 m<sup>3</sup>/h e o nível dinâmico foi para 5,98 m, após 90 minutos. Aos 120 minutos baixou para 10,80 m/h e o nível dinâmico caiu para a profundidade de 6,45 m.

Esperava-se que a recuperação fosse rápida, o que não aconteceu, pois após 60 minutos o nível dinâmico ainda estava a 5,60 m de profundidade.

Estimativas realizadas com base no método de rebaixamento – distância (COOPER e JACOB, 1946) - indicaram valores de transmissividade muito baixos para este aquífero. Acredita-se que devido ao grande diâmetro deste poço tenha havido erros no cálculo do rebaixamento do aquífero no raio efetivo do poço durante o bombeamento bem como no cálculo da perda do poço. A vazão de bombeamento obtida para os poços a serem construídos neste aquífero neste local foi de 3,8 m<sup>3</sup>/h. Pelo fato de este poço ter apenas uma pequena penetração no intervalo aquífero (depósitos rudáceos), o valor de vazão encontrado não representa a real possibilidade de exploração deste aquífero neste local.

O segundo teste foi realizado no poço piezométrico PFS 05, localizado à beira de uma estrada secundária que corta campos com cultivo de arroz nas proximidades da cidade de Forquilha, monitorado pela Carbonífera Criciúma. O piezômetro PFS 05 é revestido por um tubo de PVC com 6" (0,152m), tem uma profundidade de 16m, atingindo a base dos leques aluviais. Os 4m iniciais constituem a cobertura de solo e os 12m restantes são formados por grânulos, seixos, cascalhos, blocos de rochas basálticas e, subordinadamente, areníticas ou pelíticas, com ou sem matriz arenosa. Na base do revestimento, foi confeccionado

um filtro mecânico de 1m de comprimento, constituído pela abertura de ranhuras verticais de 3mm de espessura, ao longo de 3 setores do perímetro. Na parte externa ao revestimento, colocou-se um filtro de areia grossa com aproximadamente 1" (0,025m) de espessura. A base da bomba foi posicionada a 0,5m do fundo do furo (15,5m de profundidade) e a água bombeada era conduzida por tubulação até um tonel de 220 l, utilizado para medir a vazão.

O nível de água medido no piezômetro no início dos ensaios foi de 1,20m. Após várias tentativas de diferentes vazões, ficou estabelecido que na faixa de 1.760 a 2.030 l/h ( $2,03\text{m}^3/\text{h}$ ) era possível manter-se o nível da água no piezômetro numa cota variando de 12 a 13m. Os ensaios foram realizados durante um período de aproximadamente 3 horas.

Paralelamente, foi monitorado um poço de água para consumo doméstico em uma residência localizada a 110 m deste local para controlar-se o nível do lençol freático e avaliar-se o raio do cone de depressão. O poço possui uma profundidade de 3,6m e durante o período de realização dos ensaios não houve, praticamente, variação no nível da água, tendo permanecido numa faixa de 1,68 a 1,62m.

O rápido rebaixamento verificado após o início do teste, para uma pequena vazão de bombeamento ( $2,03\text{m}^3/\text{h}$ ) bem como a lenta recuperação após o término do bombeamento levaram a crer-se que os aspectos construtivos deste poço piezométrico (com somente 1 m de filtro no intervalo estratigráfico de 15m a 16m de profundidade) causam uma perda de carga muito grande e não permitem a recarga plena durante o bombeamento nem a recuperação após o término deste. Desta forma, evitou-se calcular os parâmetros hidrodinâmicos deste aquífero com os resultados obtidos através deste teste.

O terceiro teste foi realizado por técnicos de uma empresa que constrói poços na região, no poço tubular PT-05-FQ, com 50 m de profundidade, localizado no município de Forquilha. O referido poço possui nível estático raso de 0,80 m e teve penetração total no aquífero.

Segundo o laudo técnico do teste, o referido poço apresentou vazão de  $35\text{m}^3/\text{h}$ , com um rebaixamento de 16,40 m, com valor de capacidade específica de  $2,12\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ .

Neste caso, acredita-se que este valor de vazão tenha sido obtido porque este poço capta água dos leques e da Formação Palermo, que constitui o embasamento dos leques nesta porção da bacia.



Como resultado das atividades de cadastramento de pontos de água, constatou-se que existe uma variação muito grande nos valores de capacidade específica para este aquífero. O menor valor foi de 0,55 m<sup>3</sup>/h/m e o maior, de 2,1 m<sup>3</sup>/h/m. Este fato demonstra que existem imperfeições na construção e no dimensionamento da unidade de bombeamento na maioria dos poços em operação nos municípios de Forquilha e Maracajá. MACHADO (1997), estudando os aquíferos da região costeira de Santa Catarina, apresenta valores de capacidade específica para este sistema aquífero que variam de 0,61 a 1,33 m<sup>3</sup>/h/m.

#### 6.2.7 Sistema aquífero relacionado aos depósitos arenosos marinhos com retrabalhamento eólico

##### 6.2.7.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica

Ocorre ao longo da costa, intercalado com depósitos lagunares. Os espessos depósitos arenosos que constituem as barreiras marinhas atuais e subatuais apresentam boas condições para captação de água através de poços tubulares ou ponteiras. No município de Araranguá é largamente explorado para atender à demanda das indústrias de beneficiamento de arroz e na cidade homônima, para fins de abastecimento doméstico.

Nas barreiras subatuais, o nível estático geralmente ocorre em profundidades superiores a três metros e nas barreiras recentes ocorre em profundidades rasas, dificilmente ultrapassando 2 metros.

A natureza essencialmente arenosa de seus depósitos bem como sua distribuição em área indicam tratar-se de um aquífero com porosidade intergranular, extenso, livre. A leitura do Mapa Hidrogeológico permite verificar-se que esta porção da bacia onde ocorrem as barreiras corresponde a uma grande área de descarga para as águas que fluem a partir da escarpa da Serra Geral. Este condicionamento confere a esta unidade geológica uma grande importância do ponto de vista hidrogeológico.

##### 6.2.7.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação

As características granulométricas de seus depósitos e presença de nível estático à baixa profundidade conferem a este sistema uma alta vulnerabilidade

natural e um alto risco de contaminação às cargas poluentes de superfície.

#### 6.2.7.3 Aspectos hidroquímicos

O diagrama de Piper, Figura 89, mostra que as águas deste sistema possuem tipos hidroquímicos variados. Na classificação geral, 50% das amostras foram classificadas como sulfatadas ou cloretadas sódicas, 40%, como sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas e 10%, como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. Considerando-se o quadro dos cátions, pode-se constatar que 50% são classificadas como águas mistas e 50%, como águas sódicas. Considerando-se somente os ânions, 50% são do tipo cloretadas, 50%, do tipo mista e 10% ,do tipo bicarbonatada.

A Tabela 44, que apresenta as características físico-químicas e microbiológicas com relação aos padrões de potabilidade para fins de abastecimento humano (Portaria 1469/12/00 do Ministério da Saúde), mostra que estas águas possuem pH levemente ácido, com valores que variam de 4,40 (PO-11-AR) a 6,80 (PT-34-IÇ). Os parâmetros manganês, alumínio e ferro total são os mais restritivos. Algumas amostras apresentaram valores de coliformes fecais fora dos padrões, indicando a intervenção antrópica na qualidade das águas.

Tabela 44: Características físico-químicas e microbiológicas dos pontos de água dos Depósitos Arenosos Marinhos com retrabalhamento Eólico

RESULTADOS DE ANÁLISES - BARREIRAS MARINHAS COM RETRABALHAMENTO EÓLICO								
Município	Padrões de Potabilidade Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469/2000	Araranguá - AR			Içara - IÇ			Maracajá - MA
Parâmetros		PE 257 - AR	PO 11 - AR	PO 42 - AR	PE 249 - IÇ	PE 254 - IÇ	PO 35 - IÇ	PT 34 - MA
pH	6,0 a 9,5	5,10	4,40	5,90	4,80	4,50	5,10	6,80
Condutividade (m.S.cm <sup>-1</sup> )	###	91,00	81,00	135,00	153,00	112,00	119,00	267,00
Temperatura (° C)	###	18,80	22,10	22,30	20,40	20,80	21,20	21,50
Manganês (mg/L)	0,1	ND	0,02	0,08	0,05	0,11	ND	0,27
Alcalinidade Total (mg./L CaCO <sub>3</sub> )	###	6,00	2,00	30,00	4,00	ND	4,00	94,00
Alumínio (mg/L)	0,2	0,30	0,40	0,40	3,20	ND	ND	-
Ferro Total (mg/L)	0,3	0,07	ND	0,09	1,40	0,09	0,04	18,60
Sódio (mg/L)	200	8,90	3,10	9,40	11,80	10,30	6,10	15,80
Potássio (mg/L)	###	1,58	0,55	5,10	0,21	0,20	0,12	2,10
Cálcio (mg/L)	###	2,71	4,75	9,00	6,50	1,95	2,97	16,00
Magnésio (mg/L)	###	2,24	1,10	2,23	3,52	2,77	1,40	8,80
Cloretos (mg/L)	250	15,00	3,00	15,00	16,00	13,00	6,00	18,80
Alcalinidade de carbonatos (mg/L)	###	ND	ND	0,0014	ND	ND	ND	0,0356
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	###	7,32	2,44	36,60	4,88	ND	4,88	114,66
Sulfatos (mg/L)	250	10,00	5,00	22,00	19,00	ND	3,00	3,40
Coliformes Fecais	0/100 mL	17,00	Ausente	Ausente	130,00	4,50	Ausente	Ausente
Coliformes Totais	0/100 mL	33,00	Ausente	Ausente	130,00	6,80	Ausente	Ausente

Obs: ( 1 ) = Valores máximos permitidos segundo os padrões de potabilidade de água para consumo humano, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Para o parâmetro de pH é um valor recomendado. ( 2 ) = ND - Não Detectado.

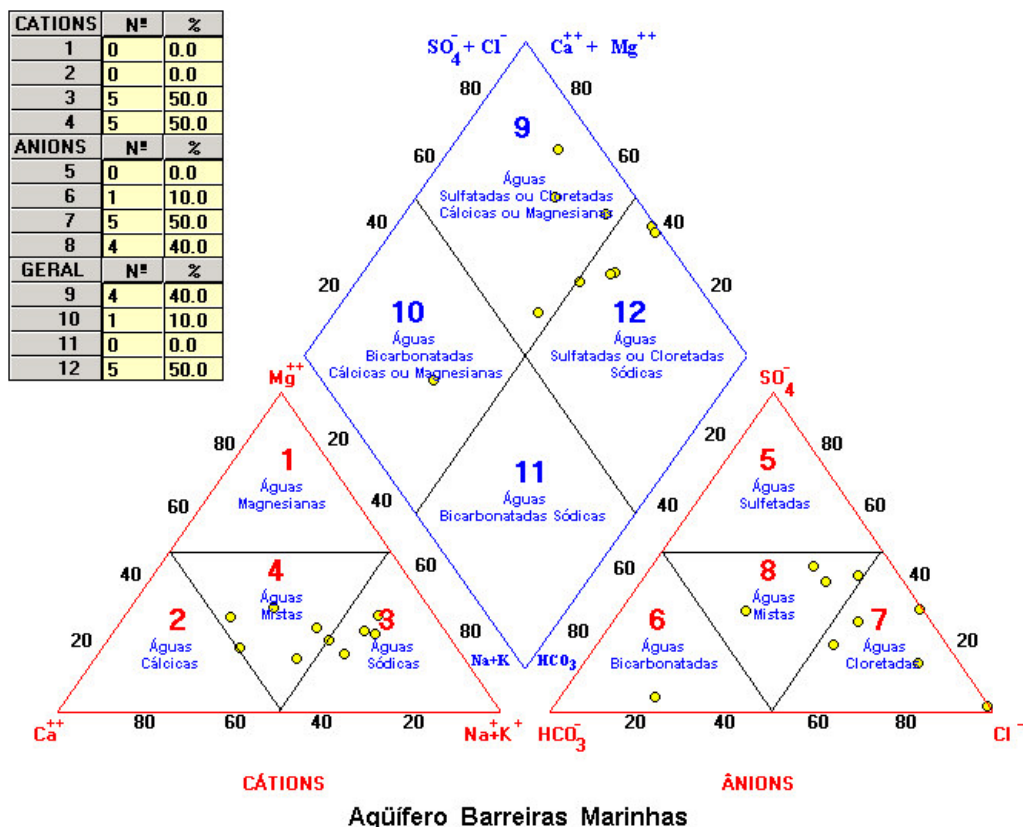


Figura 89: Diagrama de Piper para as águas do Sistema Aquífero Barreiras Marinhas com retrabalhamento eólico.

Com relação à possibilidade de uso destas águas para fins de irrigação, a Figura 90 e a Tabela 45 mostram que 80,0% das amostras indicaram baixa salinidade e baixos teores de sódio, mostrando que podem estas águas ser utilizadas na irrigação sem causar nenhum problema para as plantas e para o solo (C1S1). Os restantes 20,0% apresentaram salinidade média com baixos teores de sódio, indicando que podem ser utilizadas sempre que houver um grau moderado de lavagem do solo, sem a necessidade de práticas especiais de controle de salinidade (C2S1).

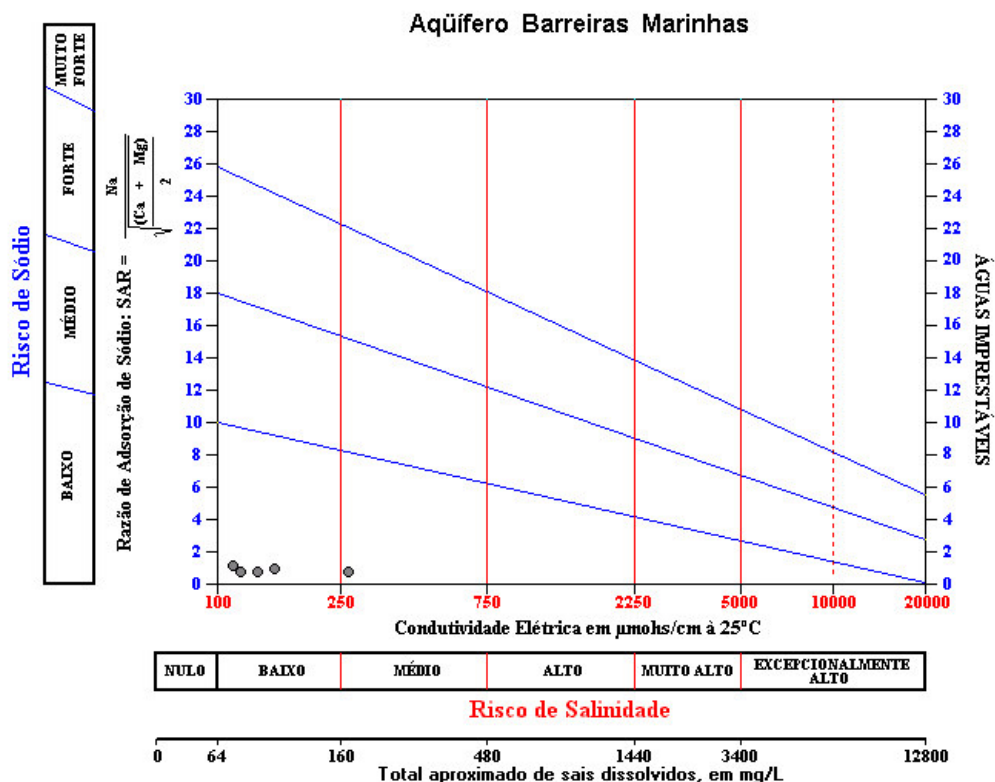


Figura 90: Diagrama de RAS – Sistema Aqüífero Barreiras Marinhas com retrabalhamento eólico.

Tabela 45: Número de amostras analisadas e percentuais em função dos teores de sais (salinidade) e sódio para os Depósitos Barreiras Marinhas com retrabalhamento eólico

Classes	Número Amostras	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
C1 S1	4	80,0	80,0
C1 S2	1	20,0	100,0
TOTAL	5	-	-

#### 6.2.7.4 Potencialidade Aqüífera

A natureza predominantemente arenosa de seus depósitos, com boa permeabilidade, aliada ao fato de que a área de ocorrência deste aqüífero corresponde a uma grande área de descarga das águas que se infiltram a partir da escarpa da Serra Geral e se dirigem em sentido do oceano, isto é, no sentido do declive hidráulico, são fatores que conferem a este aqüífero boas possibilidades para exploração através de poços tubulares com até 50m de profundidade ou através de sistema de ponteiras interligadas a uma única bomba.

Os trabalhos de cadastramento de pontos de água demonstraram que este

aqüífero é atualmente o mais explorado no município de Araranguá para fins de abastecimento doméstico e industrial. A profundidade do nível estático varia de 0,50m (PT-22-AR) até 5,50 (PO-58-AR). A capacidade específica média é de 3 m<sup>3</sup>/h/m. O maior valor de capacidade específica encontrado foi de 10,7 m<sup>3</sup>/h/m no poço PT-21-AR. Pelo fato de estas barreiras ocorrerem em cotas topográficas mais elevadas do que os depósitos flúviolagunares que as cercam, o nível estático neste caso pode ser profundo e os poços aí construídos podem ter pequena vazão.

No caso das barreiras marinhas recentes, MACHADO (1996), estudando a região de Laguna, verificou que os poços podem fornecer vazões superiores a 30 m<sup>3</sup>/h com uma capacidade específica de 6 m<sup>3</sup>/h/m. As constantes hidrodinâmicas obtidas do Relatório do IPT (SANTOS, 1975) indicam valores de transmissividade de 199,7 m<sup>2</sup>/dia, porosidade eficaz de  $4,6 \times 10^{-2}$  e condutividade hidráulica (K) de 6,66 m/dia.

## 6.2.8 Sistema aqüífero relacionado aos depósitos Paleo-Lagunares

### 6.2.8.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica

Ocorre em uma pequena porção ao longo do médio curso do rio dos Porcos, como se pode verificar no Mapa Hidrogeológico - Anexo 2.

Do ponto de vista genético, corresponde aos depósitos de argilas e siltes cinza-escuro, ricos em matéria orgânica e turfas, relacionados às fácies lamosas de um ambiente flúviolagunar.

As litologias apresentam, em geral, intercalações de areias imaturas do ponto de vista textural e mineralógico, com lamas cinza-escuro, amareladas e, às vezes, pretas com muita matéria orgânica. Subordinadamente ocorrem pequenas lentes de areia fina, resultantes da ação eólica.

Corresponde a uma área plana, mal drenada com nível estático subaflorante durante a maior parte do ano. Embora o nível freático seja raso, a natureza predominantemente argilosa dos sedimentos e o alto teor de matéria orgânica são fatores que conferem um mau comportamento aqüífero para esta unidade. Atua como aqüífero de porosidade intergranular pouco extenso, semiconfinado.

A recarga se processa de maneira direta a partir das precipitações e também a partir do próprio rio dos Porcos.

#### 6.2.8.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação

Assim como os demais sistemas aquíferos relacionados aos depósitos cenozóicos costeiros, esse sistema apresenta alta vulnerabilidade natural e alto risco de contaminação às cargas poluentes de superfície.

#### 6.2.8.3 Potencialidade aquífera

A predominância de siltes e argilas confere a este sistema aquífero um fraco desempenho.

#### 6.2.8.4 Aspectos hidroquímicos

De acordo com MACHADO (1997), devido às intercalações de siltes e argilas orgânicas, as águas apresentam problemas com relação aos teores de ferro total, muito superiores aos limites recomendáveis, e à presença de gás sulfídrico ( $H_2S$ ).

### 6.2.9 Sistema aquífero relacionado aos depósitos Flúviolagunares

#### 6.2.9.1 Distribuição e caracterização hidrogeológica

O Mapa Hidrogeológico, Anexo 2, mostra que este sistema aquífero ocupa uma área alongada aproximadamente paralela à linha de costa.

Engloba um conjunto complexo de fácies fluviais e lagunares. De maneira subordinada, ocorrem fácies eólicas. Constitui-se de intercalações de siltes, argilas e areias. Na planície do rio Mãe Luzia, predominam depósitos silticos arenosos relacionados a processos de transbordamento. Na planície do rio Araranguá e no rio dos Porcos, ocorrem intercalações de depósitos arenosos relacionados à ação eólica e depósitos silticos-argilosos, relacionados às fácies lagunares. Este condicionamento confere a este sistema um comportamento bastante variável. Nas áreas planas situadas ao longo do rio dos Porcos, onde ocorrem freqüentes intercalações de depósitos arenosos e depósitos silticos argilosos, esse sistema apresenta boas condições de captação através de poços ponteiros de até 20 m ou poços tubulares. Ao longo da planície dos rios Mãe Luzia e Araranguá, onde predominam depósitos siltico-arenosos, atua como aquífero fraco. Do ponto de vista hidrogeológico, constitui um aquífero com porosidade intergranular, extenso livre ou

confinado, com nível estático raso. A recarga se processa de maneira direta, a partir das precipitações, ou ocorre de maneira indireta, a partir da infiltração proveniente das barreiras marinhas posicionadas em cotas topográficas mais altas. A drenagem superficial não contribui, em geral, para a alimentação deste sistema aquífero.

#### 6.2.9.2 Vulnerabilidade natural e riscos de contaminação

Com relação à vulnerabilidade natural, ao longo da planície dos rios Mãe Luzia e Araranguá, onde os depósitos arenosos geralmente são capeados por espessos depósitos predominantemente argilosos, a vulnerabilidade é baixa. Ao longo da planície do rio dos Porcos, onde ocorrem extensas áreas planas algumas vezes capeadas por depósitos arenosos com alta permeabilidade, a vulnerabilidade varia de moderada à alta.

Quanto ao risco de contaminação, ao longo da planície do rio dos Porcos, onde a prática de cultivo de arroz irrigado com uso de defensivos agrícolas é muito freqüente, o risco de contaminação é muito alto. Nas demais porções, varia de moderado a alto.

#### 6.2.9.3 Potencialidade aquífera

A produtividade deste sistema aquífero é variável. Onde predominam fácies arenosas, os poços podem apresentar vazões superiores a 15 m<sup>3</sup>/h, com pequeno rebaixamento. Onde predominam fácies siltico-argilosas, possui baixa potencialidade aquífera.

#### 6.2.9.4 Aspectos hidroquímicos

Devido ao pequeno número de análises (2) realizadas em águas deste aquífero, não foi elaborado o diagrama de Piper nem se avaliou o índice de RAS.

A leitura dos laudos de análise demonstrou que os teores de manganês, alumínio, ferro total, cálcio e sulfatos encontram-se dentro dos padrões de potabilidade de água para consumo humano, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. O pH varia de 5.2 a 7.3, com valores médios de 6.7. Porém, em ambas as amostras analisadas o número de coliformes totais e fecais foi muito alto, indicando interferência antrópica na qualidade da água deste aquífero.



## 7 CADASTRAMENTO DE PONTOS DE ÁGUA

Foram cadastrados em campo um total de 892 pontos de água na Bacia do Rio Araranguá, abrangendo uma área de 3.020 Km<sup>2</sup>, nos quais se inserem 17 municípios, conforme se pode visualizar na Tabela 46. Nesta bacia hidrográfica, na área que compreende os municípios de Cocal do Sul e Urussanga, não foi cadastrado nenhum ponto de água.

Tabela 46: Número de pontos de água cadastrados na Bacia do Rio Araranguá.

<b>Município</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Número de Habitantes</b>	<b>Número de Pontos de Água Cadastrados</b>
Araranguá	303,79	54.706	476
Criciúma	210	170.420	48
Cocal do Sul	78	13.720	0
Ermo	65	2.057	16
Forquilha	184	18.348	68
Içara	315	48.634	14
Jacinto Machado	417	10.823	32
Maracajá	71	5.541	18
Meleiro	186	7.080	40
Morro Grande	251	2.917	13
Nova Veneza	290	11.511	81
Siderópolis	263	12.082	11
Sombrio	151	22.932	2
Timbé do Sul	334	5.323	13
Treviso	156	3.144	10
Turvo	244	10.87	49
Urussanga	237	18.727	0
<b>Total</b>	<b>3.755,79</b>	<b>408.062</b>	<b>891</b>

O levantamento de campo contemplou o cadastramento dos poços tubulares profundos, fontes e poços rasos do tipo escavado e ponteira. Dos pontos de captação de água subterrânea cadastrados, concluiu-se que os poços rasos, conhecidos também como ponteiros, têm a captação mais representativa, com 470 unidades (48,73%), seguidos das 315 unidades (34,88%) de poços escavados e de apenas 148 unidades (16,39%) de poços tubulares profundos, conforme a demonstra a Figura 91.

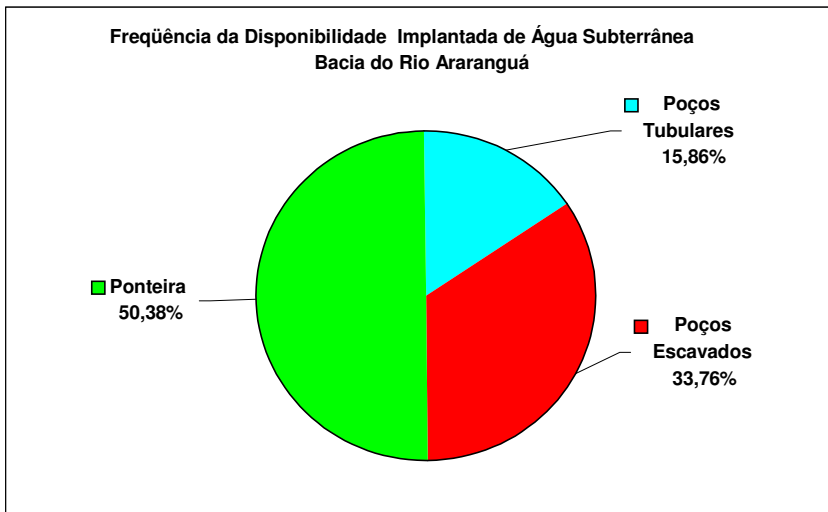


Figura 91: Distribuição por tipo de captação dos pontos de água subterrânea cadastrados na bacia do rio Araranguá.

O cadastramento demonstrou ainda um número bastante elevado de pontos de água subterrânea no município de Araranguá, conforme mostra a Figura 92, representados principalmente por poços rasos do tipo ponteira, com 440 unidades, correspondendo a 92,44%, apresentados na Figura 93. Cabe ressaltar que nem todas estas 440 ponteiras estão representadas no Mapa de Produtividade dos poços tubulares (Anexo 7), tendo-se em vista que a maior parte destas ponteiras está localizada dentro da área urbana de Araranguá. Desta forma, na escala do atual trabalho (1:100.000), seria desnecessária esta representação.

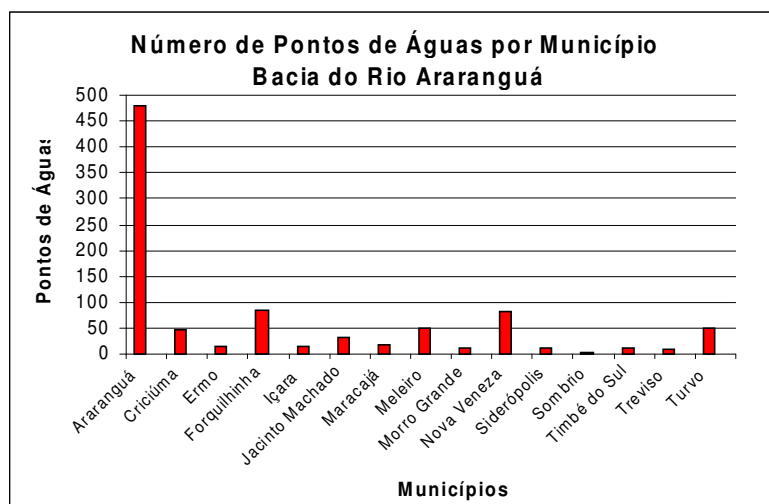


Figura 92: Distribuição por município dos pontos de água subterrânea cadastrados na bacia do rio Araranguá

A Figura 92 mostra que o município de Araranguá foi o que apresentou o maior número de pontos de captação de água, equivalendo-se ao somatório dos pontos de captação de água do restante da bacia. Para melhor representar-se este número de pontos de água, são exibidos na Figura 93 os percentuais por tipo de captação de água subterrânea para o referido município.

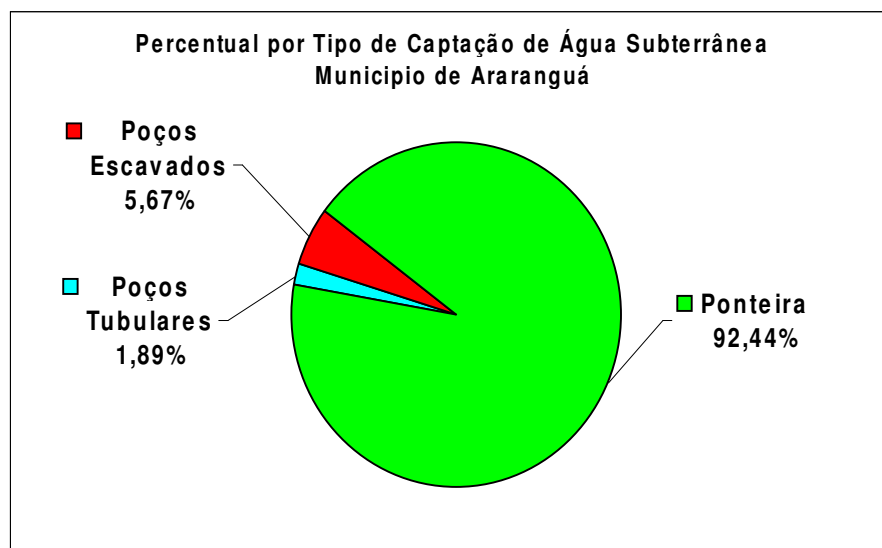


Figura 93: Distribuição por tipo de captação dos pontos de água subterrânea cadastrados no município de Araranguá.

### 7.1 Condições de Exploração

Embora o número de poços tubulares seja o menos expressivo da bacia hidrográfica do rio Araranguá, as águas subterrâneas são exploradas principalmente através deste tipo de captação, com uma frequência de 57,55%, e, secundariamente, por captações rasas do tipo ponteira, com 24,95%, e de poços escavados, com 17,50%, conforme se apresenta na Figura 94. A distribuição dos poços tubulares, poços escavados e ponteiras, além das fontes, é apresentada no Mapa de Produtividade dos Poços Tubulares, Anexo 7.

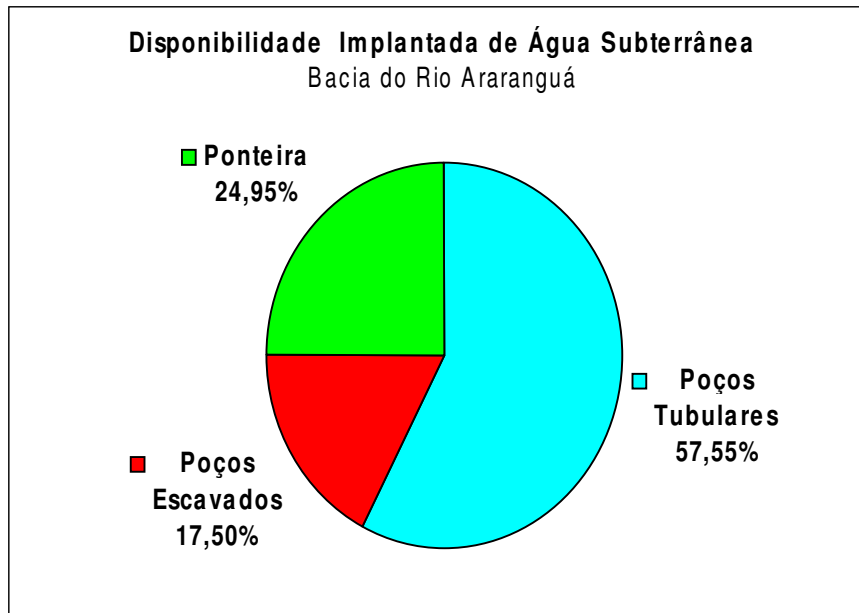


Figura 94: Frequência da disponibilidade implantada por tipo de captação na Bacia do Rio Araranguá. (unidade referencial  $m^3/h$ )

### 7.1.1 Poços Tubulares

Dos 148 poços tubulares cadastrados, 67 (46,2%) captam água do Sistema Aqüífero Rio Bonito (alguns destes poços captam água também do sistema aqüífero Rio do Sul); 39 (26,9%), do Sistema Aqüífero Rio do Rasto, 16 (11,03%), do Sistema Aqüífero, 9 (6,2%), da Formação Irati, 5 (3,45%), dos Leques Aluviais, 4 (2,76%), de Depósitos Arenosos, 4 (2,76%), da Formação Serra Geral. Apenas 1 poço (0,7%) foi identificado como sendo da Formação Estrada Nova e 3 não puderam ser identificados por falta de informações (Figura 95). Cabe ressaltar que nos 34 poços tubulares profundos cadastrados no município de Criciúma considerou-se apenas o limite da bacia hidrográfica, sendo que NOSSE (2004) cadastrou 78 poços para os 210  $km^2$  correspondentes a área do município de Criciúma.

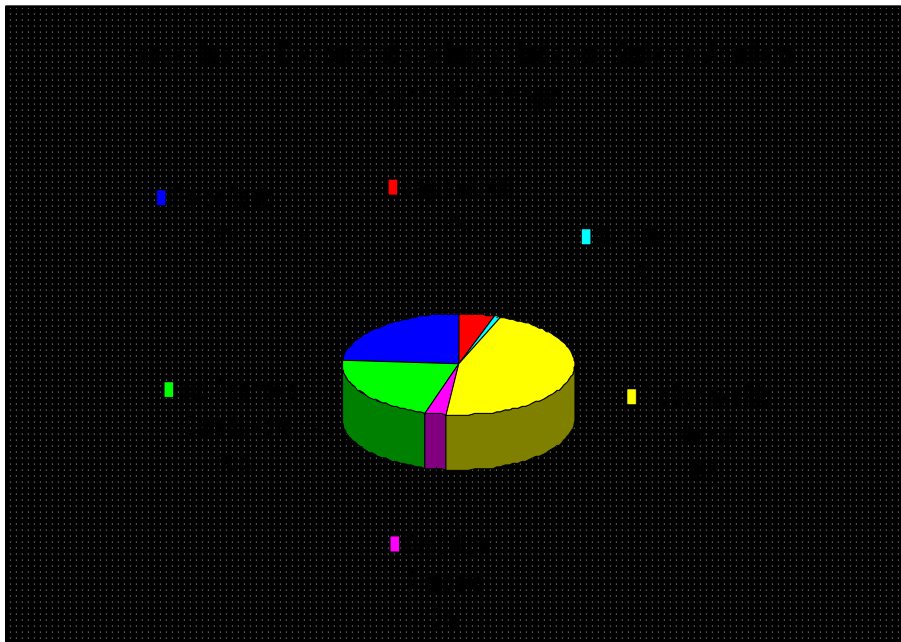


Figura 95: Percentual da disponibilidade implantada por sistema aquífero na Bacia do Rio Araranguá. (unidade referencial  $m^3/h$ )

Com este cadastramento pode-se constatar também que apesar da importância dos recursos hídricos subterrâneos para área de estudo existem fatores que comprometem sua utilização plena, destacando-se entre eles a perfuração indiscriminada de poços, a ausência de saneamento básico e os poços abandonados e/ou mal construídos que, associados à alta, em alguns casos extrema, vulnerabilidade natural dos Sistemas Aquíferos, ressaltam a necessidade urgente de políticas de gestão para uma exploração racional deste recurso.

Os poços cadastrados apresentaram como características básicas perfuração com diâmetro de 8 e 12 polegadas, revestimento com tubos de 6 polegadas e filtros de 4 e 6 polegadas, apresentando pré-filtro em sua grande maioria. As principais informações cadastrais dos poços tubulares estão relacionadas na Tabela 47

Tabela 47: Informações cadastrais dos poços tubulares

Informações Cadastrais							
Poço	Coordenadas UTM		Nível Est. (m)	Nível Din. (m)	Cota (m)	Profund. (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
	E	N					
PT-01AR	647.000	6.797.800	6,00	27,00	11,50	80,00	36,0
PT-02AR	646.400	6.797.700	27,00	62,20	12,40	80,00	12,47
PT-03FQ	648.650	6.820.950	1,30	5,05	31,00	70,00	18,0
PT-04FQ	650.300	6.819.250	1,73	18,09	26,00	90,00	10,0
PT-05FQ	646.800	6.816.950	0,80	17,26	20,00	50,00	35,0
PT-06FQ	648.900	6.819.300	2,50	17,00	25,50	80,00	12,0
PT-07MA	655.380	6.808.900	6,00	106,00	27,20	120,00	10,0
PT-08JM	620.430	6.791.795	4,00	13,00	40,00	104,00	25,0
PT-09JM	621.066	6.796.965	1,00	23,00	60,00	128,00	20,0
PT-10 IC	659.850	6.811.700	6,00	42,00	4,30	60,00	9,30
PT-11 IÇ	658.950	6.811.750	0,00	54,00	7,30	128,00	6,0
PT-12CR	659.750	6.815.350	3,00	42,00	9,80	113,00	17,60
PT-13 IÇ	659.250	6.811.200	6,00	66,00	3,40	125,00	10,0
PT-14FQ	648.800	6.821.500	-	-	32,40	107,00	20,0
PT-15FQ	646.750	6.817.100	-	-	18,00	70,00	10,0
PT-16FQ	648.800	6.820.500	-	-	29,90	110,00	10,0
PT-17AR	659.100	6.797.800	-	-	58,80	150,00	Nula
PT-18AR	659.250	6.798.050	-	-	60,00	173,00	Nula
PT-19FQ	649.100	6.820.650	2,00	23,00	27,40	116,00	5,00
PT-20FQ	646.750	6.817.600	3,00	10,00	25,50	120,00	25,0
PT-21AR	654.100	6.797.300	4,00	8,00	7,00	68,00	42,94
PT-22AR	653.450	6.797.250	0,50	16,00	10,00	58,00	26,66
PT-23AR	657.700	6.797.550	12,00	65,00	8,80	100,00	2,61
PT-24AR	646.900	6.797.100	28,00	50,00	22,10	92,00	23,22
PT-25AR	647.300	6.797.950	14,00	27,00	3,30	72,00	12,0
PT-26FQ	639.250	6.814.650	3,00	7,00	33,00	152,00	26,0
PT-27FQ	646.986	6.817.945	3,00	10,00	26,00	132,00	23,0
PT-28NV	640.500	6.823.400	3,00	120,00	56,00	168,00	5,0
PT-29NV	646.200	6.829.750	4,00	22,00	57,00	132,00	14,0
PT-30MG	624.944	6.813.730	24,00	-	5,00	102,00	15,0
PT-31CR	659.650	6.815.250	-	-	9,60	126,00	3,0
PT-32ME	633.254	6.809.620	-	-	20,00	100,00	12,0
PT-33MA	650.500	6.804.900	19,00	16,00	10,00	83,00	6,50
PT-34MA	651.150	6.806.000	3,86	12,98	15,70	102,00	12,57
PT-35TV	630.701	6.801.847		-	40,00	80,00	12,0
PT-36TV	625.169	6.809.017	30,00	70,00	60,00	100,00	5,0
PT-37TV	623.813	6.800.388	19,00	-	40,00	65,00	17,0
PT-38SI	653.282	6.837.533	9,50	11,50	112,00	69,00	16,0
PT-39TV	629.586	6.798.879	10,00	-	40,00	100,00	12,0
PT-40SI	655.250	6.836.050	37,50	62,00	237,00	90,00	1,46
PT-41-NV	646.200	6.821.500	-	-	29,00	90,00	6,0
PT-42NV	645.550	6.823.250	-	-	38,00	77,00	5,0
PT-43SI	650.145	6.835.500	-	-	75,00	15,48	1,5
PT-44TV	629.100	6.799.800	-	-	30,00	100,00	16,0
PT-45ME	633.270	6.809.879	4,56	6,72	20,00	132,00	22,0
PT-46ME	633.770	6.808.106	3,36	96,00	20,00	108,00	6,0
PT-47FQ	649.139	6.821.447	7,00	66,00	33,00	90,00	15,0

Informações Cadastrais							
Poço	Coordenadas UTM		Nível Est. (m)	Nível Din. (m)	Cota (m)	Profund. (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
	E	N					
PT-48CR	655.780	6.823.730	-	-	35,00	113,50	-
PT-49CR	657.558	6.826.080	-	-	40,00	80,00	-
PT-50CR	657.424	6.825.937	-	-	37,00	162,00	-
PT-51CR	656.376	6.824.433	-	-	39,00	64,0	5,0
PT-52NV	645.268	6.823.536	3,80	-	38,00	154,0	2,9
PT-53NV	644.242	6.824.497	5,00	-	45,10	33,00	12,0
PT-54CR	655.794	6.819.702	-	-	25,00	40,50	-
PT-55CR	658.450	6.826.194	-	-	41,00	120,00	-
PT-56CR	657.875	6.825.702	-	-	42,00	40,00	-
PT-57CR	659.796	6.821.907	-	-	33,30	116,00	-
PT-58CR	655.648	6.823.095	9,40	19,00	30,00	113,50	9,0
PT-59CR	659.351	6.826.101	4,00	19,20	47,00	40,00	6,0
PT-60CR	660.001	6.827.543	23,00	46,00	78,00	70,0	6,0
PT-61CR	659.650	6.815.450	1,00	10,00	9,60	120,0	20,0
PT-62CR	658.780	6.826.800	4,00	78,00	41,00	126,00	5,0
PT-63CR	658.620	6.826.750	9,00	66,00	41,10	108,00	17,0
PT-64CR	659.200	6.826.480	30,00	40,00	47,70	70,00	12,0
PT-65NV	635.137	6.816.690	-	-	40,00	85,00	-
PT-66JM	620.725	6.791.150	-	-	40,00	130,00	10,0
PT-67ER	632.326	6.792.848	-	-	10,00		11,0
PT-68TV	628.836	6.799.831	-	-	30,00	160,00	6,0
PT-69JM	621.850	6.790.630	18,00	-	40,00	60,00	23,0
PT-70JM	621.658	6.790.754	18,00	-	60,00	130,00	28,00
PT-71JM	621.031	6.791.165	2,00	29,27	40,00	150,00	27,0
PT-72JM	618.830	6.790.142	5,89	57,94	60,00	130,00	14,0
PT-73JM	623.073	6.792.959	2,35	-	31,00	18,00	3,0
PT-74ER	631.333	6.792.710	-	-	10,00	60,00	5,0
PT-75TV	628.092	6.799.637	-	-	36,00	174,00	14,0
PT-76ME	633.813	6.808.015	3,94	96,0	20,00	150,00	7,5
PT-77TR	648.988	6.846.894	8,78	208,39	205,00	403,00	15,6
PT-78-CR	656.477	6.812.662	-	-	36,00	90,00	4,00
PT-79-CR	654.307	6.824.948	18,00	42,00	60,00	58,00	3,00
PT-80-IÇ	668.665	6.818.377	2,40	-	40,00	40,00	-
PT-81-IÇ	669.493	6.813.823	90,00	-	63,00	142,00	3,00
PT-82-AR	649.672	6.797.794	18,00	139,20	42,00	178,00	4,00
PT-83-AR	647.610	6.798.899	-	-	8,50	150,00	-
PT-84-MA	651.341	6.806.417	1,40	20,00	15,20	69,00	9,00
PT-85-FQ	653.524	6.814.831	5,60	-	15,50	32,00	-
PT-86-NV	646.167	6.829.797	-	-	80,00	67,00	14,00
PT-87-NV	645.924	6.830.522	5,00	-	70,00	62,00	9,00
PT-88-NV	646.384	6.830.276	-	-	53,50	40,00	15,00
PT-89-NV	641.690	6.835.088	6,00	12,00	140,00	53,00	12,50
PT-90-NV	646.463	6.831.314	1,00	4,60	58,00	80,00	14,40
PT-91-ME	638.467	6.807.863	2,00	13,00	20,00	100,00	12,50
PT-92-ME	638.540	6.807.803	-	-	20,00	36,00	10,00
PT-93-FQ	644.646	6.816.592	2,20	-	21,00	160,00	-
PT-94-FQ	646.853	6.817.678	-	-	25,00	70,00	5,00
PT-95-SI	653.917	6.835.336	-	-	25,00	37,00	9,00
PT-96-SI	653.963	6.835.577	-	-	110,00	18,00	-

Informações Cadastrais							
Poço	Coordenadas UTM		Nível Est. (m)	Nível Din. (m)	Cota (m)	Profund. (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
	E	N					
PT-97-SI	654.064	6.832.256	4,70	-	112,00	32,00	-
PT-98-SI	654.017	6.834.501	-	-	210,00	98,00	-
PT-99-SI	653.965	6.834.461	6,80	-	215,00	77,00	-
PT-100-SI	647.790	6.804.725	2,00	30,00	10,50	35,00	8,00
PT-101-MA	657.105	6.807.090	-	-	10,00	100,00	16,00
PT-102-NV	650.150	6.829.480	-	-	163,00	200,00	1,20
PT-103-NV	634.935	6.820.437	4,00	-	36,00	80,00	6,00
PT-104-NV	635.415	6.820.446	1,50	-	36,00	60,00	23,00
PT-105-NV	631.800	6.825.000	-	-	150,00	160,00	-
PT-106-NV	632.800	6.822.300	-	-	135,00	150,00	-
PT-107-CR	660.919	6.824.558	-	-	70,00	60,00	-
PT-108-CR	661.864	6.825.733	-	-	49,00	48,00	-
PT-109-CR	662.398	6.826.005	13,00	29,00	55,00	45,00	13,50
PT-110-CR	657.228	6.825.492	-	-	30,00	110,00	4,00
PT-111-CR	657.264	6.825.556	-	-	35,00	110,00	16,00
PT-112-CR	662.518	6.824.792	2,85	-	60,00	60,00	4,00
PT-113-CR	662.582	6.824.772	2,85	-	60,00	40,00	-
PT-114-CR	662.720	6.825.337	-	-	66,00	120,00	6,00
PT-115-CR	662.251	6.825.492	-	-	64,00	104,00	4,00
PT-116-CR	663.085	6.830.478	18,00	61,00	66,00	110,00	3,90
PT-117-CR	662.359	6.830.686	-	-	75,00	110,00	4,00
PT-118-CR	652.820	6.826.850	-	-	42,00	65,00	3,00
PT-119-CR	654.383	6.827.458	-	-	45,00	140,00	4,00
PT-120-CR	654.342	6.827.471	-	-	45,00	125,00	4,00
PT-121-CR	654.620	6.827.066	-	-	45,00	36,00	8,00
PT-122-CR	655.467	6.825.967	5,20	-	42,00	48,00	-
PT-123-CR	653.904	6.826.604	-	-	40,00	120,00	-
PT-124-CR	653.933	6.826.557	-	-	35,00	130,00	-
PT-125-CR	653.750	6.826.595	-	-	37,00	140,00	-
PT-126-CR	662.911	6.826.062	5,10	-	55,00	-	-
PT-127-CR	653.715	6.825.997	14,00	78,00	45,00	200,00	15,00
PT-128-CR	653.673	6.825.937	-	-	32,00	99,00	8,00
PT-129-CR	653.268	6.825.901	-	-	52,50	140,00	3,00
PT-130-CR	659.426	6.825.979	-	-	50,00	-	-
PT-131-CR	657.849	6.827.151	-	-	95,00	120,00	1,50
PT-132-CR	655.480	6.830.149	-	-	55,00	36,00	1,00
PT-133-CR	659.124	6.826.027	-	-	45,00	63,00	7,80
PT-134-CR	658.937	6.826.538	-	-	42,00	83,00	8,00
PT-135-CR	653.332	6.826.714	-	-	42,00	70,00	0,70
PT-136-CR	658.119	6.827.742	-	-	118,00	155,00	7,00
PT-137-CR	663.090	6.827.750	-	-	70,00	-	-
PT-138-SI	651.930	6.833.260	13,00	18,00	260,00	50,00	3,00
PT-139-JM	620.630	6.791.801	15,00	36,00	40,00	105,00	25,00
PT-140-TV	630.737	6.801.948	12,00	36,00	45,00	80,00	12,00
PT-141-TV	630.357	6.800.952	5,00	10,00	30,00	103,00	10,00
PT-142-TV	631.492	6.800.910	8,00	24,00	30,00	90,00	13,00
PT-143-TV	627.645	6.800.168	6,00	60,00	35,00	103,00	8,00
PT-144-TV	622.666	6.801.582	8,00	32,00	38,00	134,00	36,00
PT-145-ER	632.353	6.792.881	6,00	21,00	10,00	122,00	13,00



Informações Cadastrais							
Poço	Coordenadas UTM		Nível Est. (m)	Nível Din. (m)	Cota (m)	Profund. (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
	E	N					
PT-146-JM	617.404	6.787.529	8,00	78,00	85,00	100,00	6,00
PT-147-TV	628.321	6.800.024	12,00	36,00	30,00	102,00	8,00
PT-148-TV	628.081	6.800.011	ND	ND	30,00	94,00	30,00

A profundidade desses poços varia de 15,0 m (PT-43-SI) a 403,0 m (PT-77-TR) e a capacidade de produção, de 0,7 m<sup>3</sup>/h (PT-135-CR) a 36 m<sup>3</sup>/h (PT-144-TV). O intervalo de profundidade mais encontrado na região situa-se entre 50 e 150 metros, como mostra a Tabela 48 e a Figura 96.

Tabela 48: Profundidade dos poços tubulares.

Profundidade (m)	Nº de poços	Frequência (%)
De 15 a 50	23	15,86
De 51 a 100	56	38,62
De 101 a 150	53	36,55
De 151 a 200	12	8,28
De 201 a 410	01	0,69

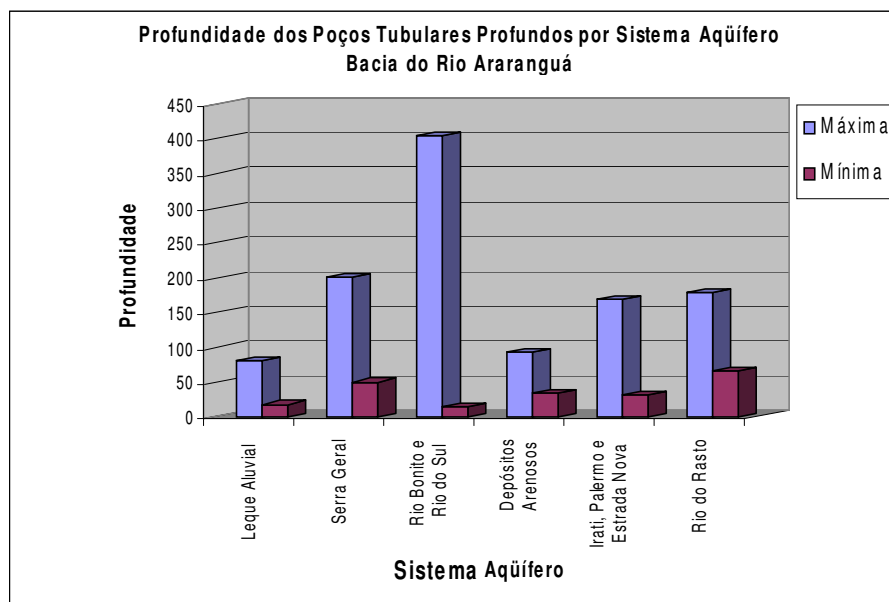


Figura 96: Representação da profundidade dos poços tubulares profundos por Sistema Aquífero na Bacia do Rio Araranguá.

## 7.2 Disponibilidade Instalada e Produtividade dos Aquíferos

A produtividade dos aquíferos caracteriza-se por faixas de valores da capacidade específica (l/s/m), considerando-se um rebaixamento padrão de 25 m. A ordem de grandeza das classes de produtividade dos aquíferos identificados na bacia do Rio Araranguá, de acordo com o trabalho da CPRM, foi fixada segundo os seguintes limites: <0,033 l/s/m; 0,033 e 0,11 l/s/m; 0,11 e 0,44 l/s/m; 0,44 e 1,11 l/s/m e >1,11 l/s/m.

A análise dos laudos técnicos da maioria dos poços cadastrados indicou não ter sido realizados testes de bombeamento nem calculada a capacidade específica dos referidos poços. Desta maneira, para se ter uma idéia a respeito do desempenho dos poços, calculou-se a capacidade específica, utilizando-se as informações disponíveis nos referidos laudos, através da fórmula:

$$C = \frac{Q}{ND - NE} \quad \begin{array}{l} C = \text{Capacidade Específica;} \\ Q = \text{Vazão; ND} = \text{N. Dinâmico} \\ \text{(rebaixamento)} \quad \text{NE} = \text{Nível Estático} \end{array}$$

Os valores de capacidade específica encontrados nos poços construídos nos diferentes sistemas aquíferos permitem verificar-se que sua produtividade situa-se na faixa de 0,11 l/s/m e 0,44 l/s/m. Raramente foram encontrados valores mais elevados. Quando isto ocorreu, constatou-se que os poços situam-se junto a uma zona de falha.

Verificou-se a existência de uma variação muito grande nos valores de capacidade específica para um mesmo aquífero. Este fato demonstra haver imperfeições na construção e no dimensionamento da unidade de bombeamento na maioria dos poços em operação na área da referida bacia hidrográfica.

Com relação a valores de vazão, acredita-se que alguns deles, fornecidos pelo proprietário do poço ou por pessoas que acompanharam a perfuração, sejam inconsistentes. Esta hipótese deve-se ao fato de ter sido constatada a existência de poços perfurados em um mesmo aquífero, bastantes próximos uns dos outros, com valores de vazão bastante distintos.

A análise de vazão dos poços tubulares demonstra uma variação que exhibe o seguinte percentual: 24,53 % dos poços têm vazões entre 1 e 5 m<sup>3</sup>/h; 29,25 %, entre

5 e 10 m<sup>3</sup>/h; 33,02 %, entre 10 e 20 m<sup>3</sup>/h; em 13,21 % ocorrem vazões superiores a 20 m<sup>3</sup>/h (Figura 97).

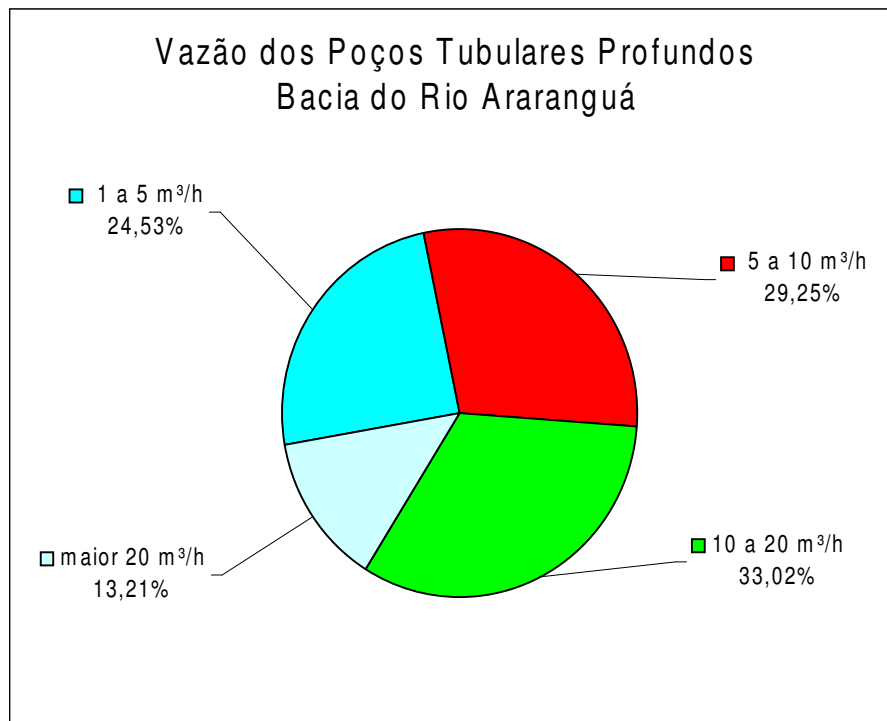


Figura 97: Vazão dos poços tubulares profundos cadastrados na bacia do rio Araranguá (unidade referencial de consumo m<sup>3</sup>/h em 12 horas de trabalho).

### 7.2.1 Usuários de água subterrânea na bacia do rio Araranguá

Os trabalhos de cadastramento dos pontos de água permitiram verificar-se que vários municípios utilizam água subterrânea para complementar suas demandas.

No município de Criciúma, de acordo com NOSSE (2004), 89% da água subterrânea utilizada para fins industriais são captados através de poços tubulares profundos. No município de Jacinto Machado, todo o abastecimento público é realizado pela SAMAE, através de três poços tubulares profundos.

No município de Araranguá, constatou-se que 93% da água subterrânea captada destinam-se ao abastecimento doméstico (Figura 98). Uma parcela significativa deste abastecimento é realizada através da captação de água por poços-ponteiras, principalmente nos bairros periféricos da cidade homônima (Figura 99).

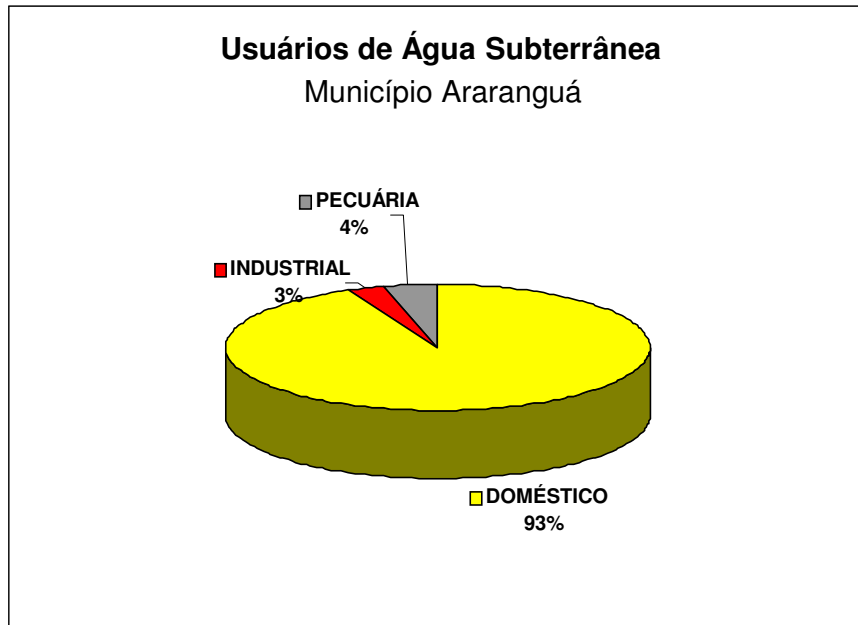


Figura 98: Usuários de água subterrânea – Município de Araranguá.

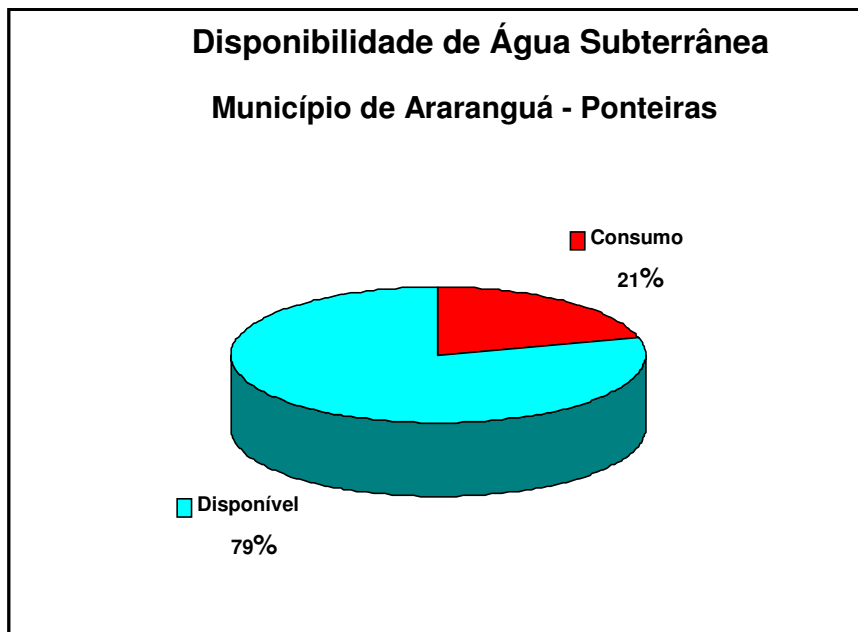


Figura 99: Disponibilidade de água subterrânea no município de Araranguá – Ponteiros.

Constatou-se ainda que praticamente todo o abastecimento das indústrias de alimentos daquele município é proveniente da captação de água subterrânea através de sistema de ponteiros interligadas. Este fato também se repetiu nos municípios de Maracajá, Forquilha, Meleiro e Turvo, nos quais existem várias indústrias de beneficiamento de arroz.

Um fato que chama a atenção é o pequeno percentual que representa a água subterrânea nas práticas de irrigação (1,6%). Sabe-se que nesta bacia existem conflitos de complexo equacionamento relacionados ao uso das águas superficiais entre irrigantes, comunidades urbanas e o próprio Poder Público. Sabe-se também que somente nesta bacia são cultivados 9800 ha de arroz irrigado (JICA, 1997) os quais consomem cerca de 6370 l/s (0,65 l/s/ha, EPAGRI, 1999). De acordo com JICA (1997), existem ainda cerca de 6175 ha aptos para a rizicultura. Desta forma, seriam necessários 10.384 l/s somente para atender à demanda desta cultura. No entanto, somente seis poços tubulares foram construídos exclusivamente para fins de irrigação, demonstrando que ainda é muito insignificante o volume de água subterrânea captado para este propósito.

Atualmente, espera-se atender a esta demanda através do pleno funcionamento do novo sistema de captação e distribuição da barragem do rio São Bento. Outra possibilidade é o incentivo à utilização dos recursos hídricos subterrâneos desde que obedecidos os critérios técnicos recomendados para a construção e a exploração através dos poços tubulares.

A Figura 100 demonstra os percentuais de uso verificados na bacia do rio Araranguá.

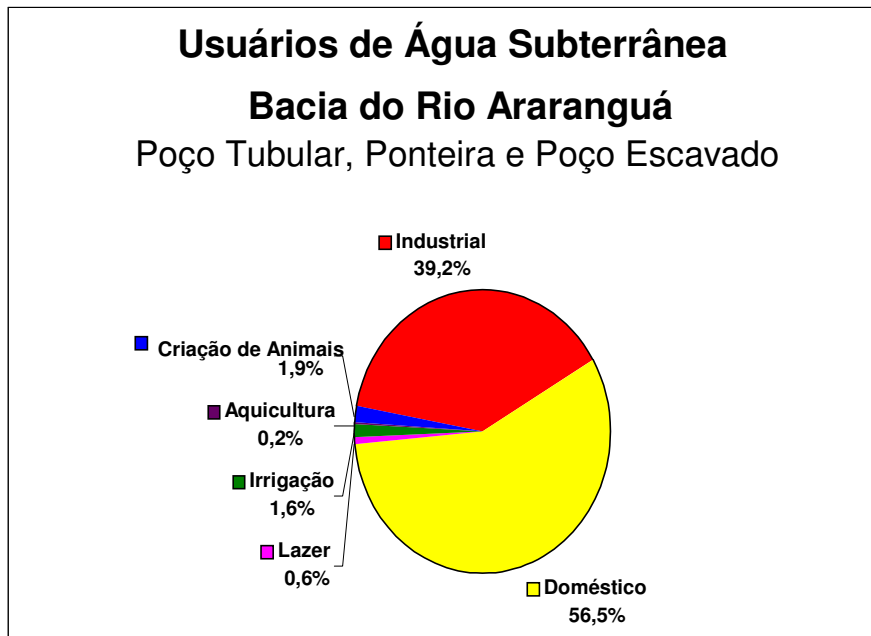


Figura 100: Distribuição dos usuários na bacia do rio Araranguá.

### 7.2.2 Considerações a respeito da captação através de poços rasos do tipo escavado no Sistema Aquífero Leques Aluviais

O levantamento realizado em campo permitiu verificar-se que dentro do domínio dos leques aluviais, quase todas as comunidades rurais dos municípios desta bacia (com exceção daquelas posicionadas nas proximidades da escarpa) utilizam água subterrânea, captada por meio de poços escavados, para suprir suas demandas.

Não houve a preocupação em cadastrar a totalidade destes poços, considerando-se a escala do trabalho (1:100.000). Decidiu-se então realizar-se o cadastramento dos poços escavados, mantendo-se uma malha de aproximadamente 2 km de equidistância entre cada poço. Desta forma, foram cadastrados 315 poços no domínio dos leques aluviais. Estima-se, no entanto, que o número total de poços escavados nesta bacia seja da ordem de 5000. Esta projeção baseia-se em uma estimativa realizada com base no número de municípios contidos na área de ocorrência dos leques e que possuem uma população rural expressiva. Para efeito de cálculos, considerou-se a população de cada município, apresentada na Tabela 46, e chegou-se a um total de aproximadamente 36.000 domiciliados na área rural desta bacia. Desta forma, considerando-se que em média residem 4 pessoas por

domicílio, chega-se a um total de 9.000 domicílios na área rural. Sabe-se que na área rural desta bacia a grande maioria da população utiliza poços escavados para suprir sua demanda. Considerando-se 60% dos 9.000 domicílios, chega-se a um total de 5.400 residências abastecidas por este tipo de captação.

Para confirmarem-se estes números, selecionou-se uma área no município de Forquilha, representativa da área rural e, utilizando-se as ortofotocartas escala 1:5.000, disponibilizadas pelo DNPM em 2000, e recursos de informática associados a cheques de campo, confirmou-se o percentual de aproximadamente 60% de residências com poços escavados. O número de poços identificados na porção correspondente à área selecionada, extrapolado para a área total dos leques, confirma o total de aproximadamente 5.000 poços escavados.

A seguir apresentam-se as figuras que exibem os percentuais da disponibilidade implantada e dos respectivos usos nos municípios mais representativos com relação à captação através de poços escavados do Sistema Aquífero Leques Aluviais. Considerou-se que cada residência utiliza 1 m<sup>3</sup>/dia, adotando-se a média de 0,25 m<sup>3</sup>/dia por habitante.

No caso do Município de Nova Veneza, as Figuras 101 e 102 demonstram que as águas subterrâneas captadas por meio de poços escavados ainda são pouco utilizadas, cerca de apenas 10% da disponibilidade já implantada. Mostram também que o principal uso é o doméstico (83%).

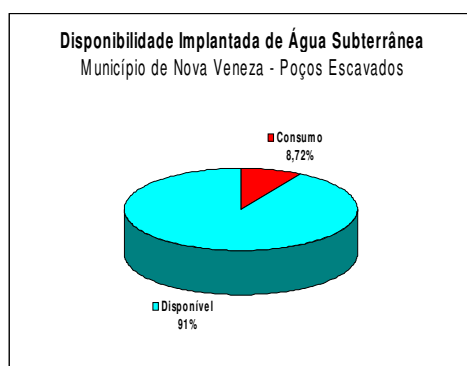


Figura 101

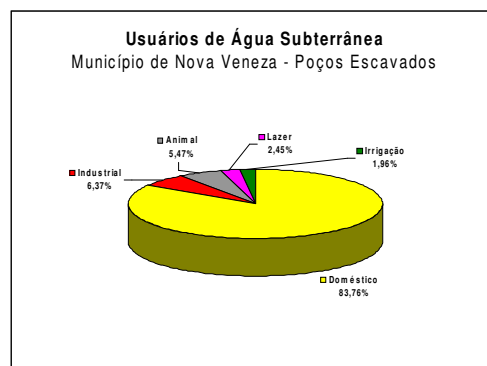


Figura 102

As Figuras 103 e 104 apresentam a disponibilidade implantada e os usos de água de poços escavados cadastrados para o município de Forquilha. Mostram também que o comportamento para o referido município é bastante semelhante ao

de Nova Veneza, com praticamente os mesmos percentuais de disponibilidade (91%) e usos (88%).

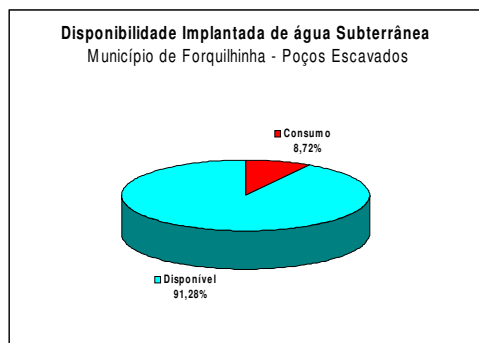


Figura 103

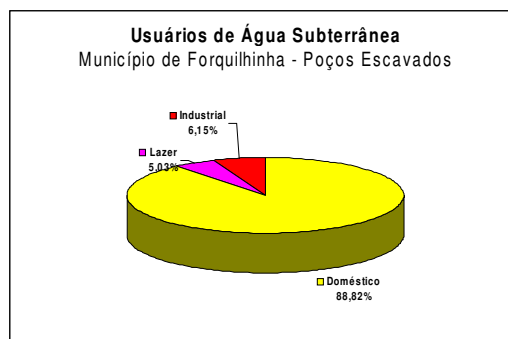


Figura 104

No caso dos municípios de Meleiro e Araranguá, onde a captação de água subterrânea é realizada também através de poços escavados do Sistema Aquífero Leques Aluviais, as Figuras 105, 106, 107 e 108 confirmam a uniformidade dos percentuais de disponibilidade e usos apresentados para os municípios comentados anteriormente, com exceção de Araranguá que apresenta valor inferior para uso doméstico, cerca de 20% em relação aos demais.

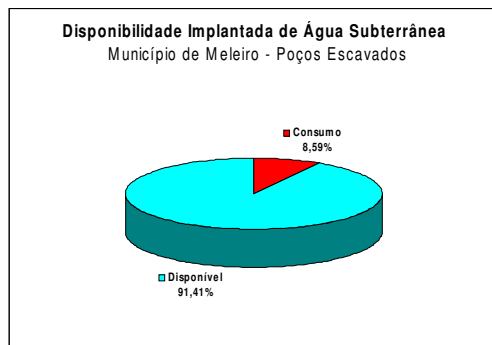


Figura 105

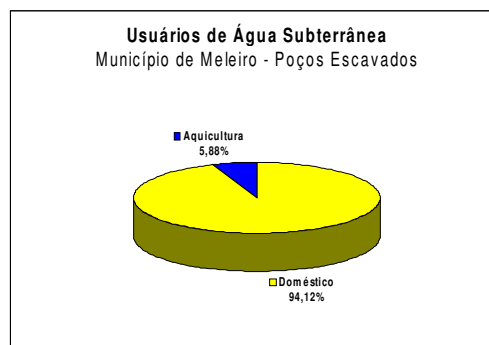


Figura 106

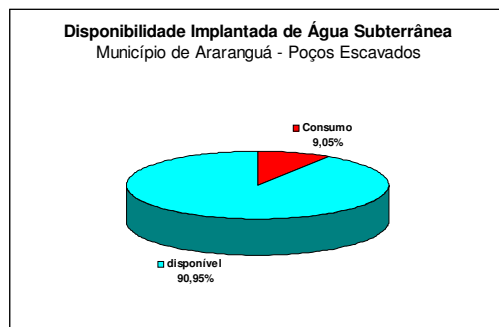


Figura 107

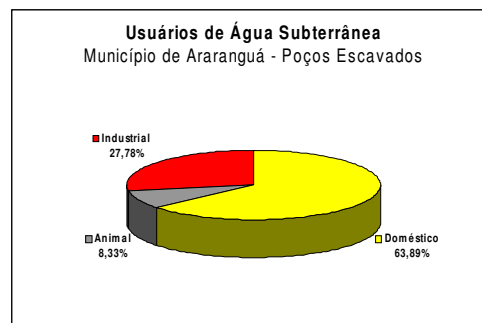


Figura 108



## 8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

*Com relação aos aspectos geológicos e estruturais:*

Na área correspondente à bacia do Rio Araranguá, afloram rochas sedimentares e ígneas intrusivas e extrusivas que constituem a seqüência da borda leste da Bacia do Paraná, e sedimentos inconsolidados que constituem a Planície Costeira ou formam depósitos aluviais atuais. O embasamento cristalino regional (não aflorante) é composto de rochas granitóides tardi a pós-tectônicos.

Neste trabalho, através de um mapeamento litofaciológico, pela primeira vez o Membro Siderópolis está sendo subdividido em três seqüências litológicas distintas e individualizadas em mapa, na área correspondente à bacia do Rio Araranguá. Para a caracterização das referidas seqüências consideraram-se também os ciclos de carvão, reconhecidos como de expressão regional pelos trabalhos de pesquisa e exploração desenvolvidos na região (camadas de carvão Barro Branco e Bonito). As referidas seqüências foram assim denominadas:

- Seqüência Superior
- Seqüência Média
- Seqüência Inferior

No caso dos Depósitos de Leques Aluviais, como o enfoque maior é a avaliação da potencialidade aquífera e a vulnerabilidade natural destes depósitos, optou-se por descrevê-los em três zonas distintas:

- Cabeceira do leque – Ápice do leque
- Leque proximal – Parte superior
- Leque distal – Parte inferior

Na cabeceira do leque, posicionada nas proximidades da encosta da Serra Geral, onde os vales são mais fechados e as encostas são íngremes, os movimentos de massa, através de processos gravitacionais e fluviais associados, controlam a distribuição dos depósitos ao longo dos vales. Este mecanismo é favorecido pela declividade acentuada, desmatamento, condições climáticas e substrato rochoso à pequena profundidade. Como resultado disto, formam-se depósitos rudáceos, matriz-transportados, com clastos subarredondados variando de seixos a matacão, com tamanho superior a 2m. Estes depósitos proximais possuem

geralmente estruturação interna caótica, com seleção muito pobre, unidades individuais não estratificadas e os clastos não estão imbricados. Nestas áreas proximais, mesmo os eventos atuais, semelhantes àquele ocorrido em dezembro de 1995, originam depósitos com clastos do tamanho de blocos e matacões. Há nestes depósitos proximais a presença de estruturas de corte e preenchimento.

Afloramentos destes depósitos são freqüentes ao longo dos principais rios, onde se pode constatar que há uma gradativa diminuição no tamanho dos clastos à medida que se distancia do sopé da encosta, diminuindo também a freqüência de fácies relacionadas a fluxos densos, canalizados ou não. Na porção intermediária dos depósitos predominam totalmente os processos fluviais, resultando uma associação de fácies que indicam ambiente subaquosos, em regimes de fluxo superior ou inferior, com processos de tração e suspensão. Na estruturação interna destes depósitos ocorrem gradações normais ou inversas, clastos suportados. Já apresentam imbricação dos clastos, indicando o sentido de transporte.

Na poção distal os depósitos são pouco espessos, raramente atingindo espessuras superiores a 3m e constituídos predominantemente de seixos, grânulos e areia grossa. Apresentam geometria tabular ou lenticular. A estruturação interna é constituída principalmente de imbricação dos seixos e gradação normal.

As principais direções de falha são  $N5^{\circ}-30^{\circ}W$  e  $N45^{\circ}-75^{\circ}E$ . À medida que se aproxima da linha de costa, está muito bem impresso o sistema E-W. Subordinadamente ocorrem falhas com direção próxima de N-S,  $N30^{\circ}-45^{\circ}E$  e  $N30^{\circ}-45^{\circ}W$ .

As falhas  $N45^{\circ}-70^{\circ}E$  são as mais freqüentes, embora tais falhas geralmente possuam pequena extensão. Constatou-se também, através dos trabalhos de campo, que estas falhas interceptam as do sistema  $N5^{\circ}-30^{\circ}W$ . Este condicionamento permite concluir-se que as falhas  $N45^{\circ}-70^{\circ}E$  são mais jovens que as  $N5^{\circ}-30^{\circ}W$ .

Com relação à geometria das zonas de falha, estudos de detalhes realizados no interior de minas subterrâneas, bem como a interpretação das fotos aéreas 1:25.000 demonstram que as principais falhas identificadas na bacia carbonífera, tais como Falha Mãe Luzia, Falha Nova Veneza, Falha Criciúma e outras sem denominação específica, como aquela que passa junto ao Morro São Pedro, no município de Treviso, são na verdade constituídas de uma falha principal e de várias falhas secundárias que fazem um ângulo de cerca de  $15^{\circ}$  com a principal. Quando

estas falhas secundárias partem do mesmo ponto com relação à falha principal, elas guardam este ângulo de  $15^{\circ}$  entre si, como se pode verificar na falha N-S que ocorre a noroeste de Nova Veneza, Figura 43. Este arranjo estrutural indica que se trata de falhas lítricas, unidas em profundidade.

Estudos efetuados no interior da Mina Santa Augusta, junto à Falha Criciúma, permitiram verificar-se existência de quatro falhas secundárias, as quais constituem pequenos blocos em forma de cunha que se inclinam para sudeste. Esta conformação evidencia que este conjunto de falhas, conhecido como Falha Criciúma, constitui uma estrutura tipo hemiflor negativa. A presença de estruturas tipo hemiflor negativa caracterizam áreas com esforços distensionais. Do ponto de vista hidrogeológico, este fato é muito importante porque indica áreas com falhas abertas e, conseqüentemente, com boas perspectivas aquíferas.

A verificação do mapa de fraturas apresentado na Figura 49 mostra que existe uma faixa alongada segundo  $N5^{\circ}-30^{\circ}W$ , correspondente à área mais fraturada desta bacia. Esta faixa é controlada por grandes falhas  $N30^{\circ}W$  que, geralmente, constituem calhas estruturais entre si. Do ponto de vista hidrogeológico, considerando-se as áreas de recarga, circulação e descarga, estas calhas estruturais constituem estruturas favoráveis ao armazenamento de água, principalmente para o Sistema Aquífero Rio Bonito e Rio do Sul.

A geometria da base dos depósitos de leques aluviais, obtida através do tratamento com o software Surfer, de 56 perfis litológicos de sondagens executadas para a pesquisa de carvão e de 42 laudos técnicos de pontos de água cadastrados ao longo deste estudo, evidencia que existe um grande baixo estrutural entre Ermo e Maracajá, controlado por uma falha  $N45^{\circ}-60^{\circ}E$ , o qual se aprofunda até a cota  $-50m$ , bem abaixo, portanto, do atual nível do mar. A definição desta estrutura é muito importante do ponto de vista hidrogeológico visto que é junto ou nas proximidades dela que ocorrem as maiores espessuras dos depósitos rudáceos e, conseqüentemente, onde deverão ocorrer as melhores condições para exploração de água deste sistema aquífero.

A seção geológica C-D, apresentada neste trabalho, mostra que os estratos rochosos mergulham de nordeste para sudoeste. Se considerar-se a cota da lapa da camada de carvão Barro Branco no furo PB-25-SC, situado no alto curso do rio dos Porcos, verifica-se que esta cota apresenta valor de  $-41,11m$ . No furo ARA-15-SC, situado ao sul da cidade de Araranguá e distante 37,5km para sudoeste do primeiro,

a cota da lapa da referida camada de carvão é de  $-427,79$ , evidenciando uma diferença de cota de  $386,68\text{m}$  entre ambos.

As verificações dos perfis litológicos dos furos executados nesta porção da bacia mostram que as intrusões de diabásio são muito mais freqüentes e mais espessas que nas demais áreas desta bacia hidrográfica. Este fato está relacionado a reativações destes falhamentos nordeste que condicionam a linha de costa.

Como evidências principais da neotectônica na bacia do Araranguá pode-se citar o controle estrutural que a reativação das falhas E-W e  $N45^{\circ}-60^{\circ}\text{E}$  exerce sobre os cursos dos principais rios desta bacia, o fato de as maiores espessuras de fácies rudáceas estarem posicionadas em uma calha estrutural orientada  $N 60^{\circ}\text{E}$ , controlada por falhas de mesma direção, a presença de espelhos de falha nos depósitos rudáceos.

O Mapa de Vulnerabilidade Natural, Anexo 4, mostra que este sistema aquífero possui vulnerabilidade natural que varia de moderada à extrema. Em suas porções mais distais, a vulnerabilidade é moderada. Isto se deve ao fato de nestas porções os leques possuírem uma cobertura apenas de material siltico-argiloso, originada a partir de processos de transbordamento.

Com relação ao risco de contaminação, a correlação do Mapa de Vulnerabilidade Natural, Anexo 4, com o Mapa de Fontes de Poluição, Anexo 5, permite constatar-se que o risco potencial mais alto relaciona-se às cargas difusas oriundas dos pesticidas utilizados de maneira extensiva nesta bacia, no domínio dos leques aluviais, para o cultivo de arroz irrigado. Constata-se também que as atividades de mineração e de beneficiamento de carvão pouco interferem naturalmente em toda a área dos leques, ficando esta interferência restrita próximo aos cursos dos rios poluídos pela atividade mineira. Cabe ressaltar-se, no entanto, que durante este estudo constatou-se que uma grande parte dos agricultores que cultivam arroz irrigado aduz águas poluídas do rio Mãe Luzia para dentro das canchas em áreas distantes vários quilômetros do referido rio. Esta prática, segundo informações dos próprios agricultores, já se realiza há décadas. Do ponto de vista hidrogeológico, isto significa que há décadas se realiza artificialmente e com água contaminada a recarga do aquífero.

*Com relação aos aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos:*

Foram identificados 9 sistemas aquíferos, sendo 4 relacionadas às rochas

sedimentares gonduânicas, 4, aos sedimentos quaternários, e um, às rochas basálticas. Os sistemas aquíferos individualizados foram:

- Sistema Aquífero relacionado à Formação Rio do Sul;
- Sistema Aquífero relacionado à Formação Rio Bonito;
- Sistema Aquífero relacionado às Formações Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto (terço inferior e médio);
- Sistema Aquífero relacionado às Formações Rio do Rasto (terço superior) e Botucatu;
- Sistema Aquífero relacionado às rochas basálticas da Formação Serra Geral;
- Sistema Aquífero relacionado aos Depósitos de Leques Aluviais;
- Sistema Aquífero relacionado aos Depósitos Arenosos Marinhos com retrabalhamento Eólico do tipo Laguna Barreira III e Laguna Barreira IV;
- Sistema Aquífero relacionado aos Depósitos Paleo-Lagunares;
- Sistema Aquífero relacionado aos Depósitos Flúvio-Lagunares do tipo Laguna Barreira IV.

O sistema Aquífero Rio Bonito, por suas características litológicas e granulométricas, posicionamento estratigráfico e distribuição em área, possui porosidade intergranular e é extenso. Nas suas áreas de afloramento, onde as camadas areníticas são aflorantes, comporta-se como aquífero livre, extenso. Onde as camadas de arenito são capeadas por camadas de siltitos ou carvão ou ainda onde é capeado pela formação Palermo, comporta-se como aquífero extenso confinado. Localmente, onde ocorre interseção de diferentes sistemas de falhas, pode comportar-se como aquífero intergranular extenso fraturado, livre ou confinado.

Nas bordas da bacia, onde as declividades do terreno são altas e as velocidades da circulação são elevadas, a recarga realiza-se por drenança das águas dos aquíferos fraturados, relacionadas às rochas basálticas, e drenança das demais formações geológicas e depósitos de tálus, sobrepostos à Formação Rio Bonito.

Na área de afloramento desta Formação, a recarga dá-se por infiltração direta, a partir das precipitações, através dos solos residuais e transportados.

A drenagem superficial não atua na realimentação do aquífero, com exceção

de locais específicos onde afloram rochas areníticas da Formação Rio Bonito ou onde ocorrem falhas com caráter distensional. Medidas de vazão e monitoramento do lençol freático através de poços piezométricos indicaram que o rio Mãe Luzia, em trechos localizados, tem caráter influente, isto é, contribui para o reabastecimento do aquífero.

Observações realizadas no interior de minas subterrâneas de carvão (Mina Verdinho, em Forquilha) evidenciaram que a denominada Falha Mãe Luzia, que controla grande trecho do rio homônimo e encaixa neste local um espesso dique de diabásio, contribui para a alimentação do aquífero. Fato semelhante ocorre em Criciúma, onde a denominada Falha Criciúma secciona o Rio Sangão. Constatou-se também que em alguns locais as próprias galerias antigas, atualmente alagadas, contribuem para a recarga deste aquífero.

Os ensaios de infiltração, tanto no solo como no substrato rochoso alterado, tiveram valores médios de:  $8,5 \times 10^{-6}$  m/s no terreno natural,  $23,5 \times 10^{-6}$  m/s no terreno natural com preparo agrícola e  $28 \times 10^{-6}$  m/s nas áreas de estéreis de cobertura e rejeito de beneficiamento. Todos estes valores caracterizam terrenos com moderada à baixa capacidade de infiltração, isto é, moderada à baixa capacidade de recarga.

A condutividade hidráulica na Formação Rio Bonito varia de  $5,4 \times 10^{-9}$  m/s a  $7,0 \times 10^{-7}$  m/s, e na Formação Palermo, de  $3,3 \times 10^{-8}$  a  $1 \times 10^{-7}$ . Estes valores mostram uma baixa capacidade de movimentação horizontal das águas subterrâneas neste nível do aquífero. Constatou-se, no entanto, que há uma tendência de aumento de condutividade hidráulica com o aumento da profundidade, tendo-se em vista que na Seqüência Superior – Membro Siderópolis, ocorre um acréscimo de areia à medida que aumenta a profundidade. Fato semelhante ocorre no caso do Membro Triunfo (terço inferior da Formação Rio Bonito).

O mapeamento litofaciológico realizado para este estudo demonstrou que nesta formação geológica são freqüentes as variações laterais e verticais de fácies litológicas. Demonstrou-se também que no âmbito desta formação ocorrem freqüentes falhas geológicas que provocam basculamento dos blocos rochosos. Muitas vezes estas falhas encaixam diques de diabásio. Sabe-se também que a Formação Rio Bonito abriga minas a céu aberto e minas de subsolo bem como enormes pilhas de rejeito piritoso. Todos estes fatores interferem no comportamento hidrogeológico desta formação assim como nos aspectos hidroquímicos de suas águas. Pelo exposto, pôde-se constatar que é difícil definir-se uma assinatura

hidrogeoquímica padrão para as águas desta formação.

A interpretação do diagrama de Piper mostra que as águas do Sistema Aqüífero Rio Bonito possuem grande variação composicional sem apresentar uma herança composicional específica de cada intervalo litológico correspondente aos diferentes intervalos aqüíferos presentes nesta formação, tanto para o conteúdo total de íons dissolvidos quanto para íons individuais.

Constatou-se que 48,5% das amostras foram classificados como sendo de águas sulfatadas ou cloretadas sódicas, 24,2%, como de águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas, 18,2%, como de águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, e 9,1%, como de águas bicarbonatadas sódicas.

O diagrama de Piper, elaborado com uma amostra coletada à montante do rio Mãe Luzia e três amostras do poço tubular coletadas durante um teste de bombeamento, indicou que nesta porção da bacia carbonífera, onde ainda não houve atividade de lavra e beneficiamento de carvão, existe grande similaridade geoquímica entre as águas subterrâneas e as águas superficiais.

Observa-se que o sulfato apresentou um aumento considerável no último patamar. Este resultado deve-se à contribuição de águas dos níveis aqüíferos mais superiores, associados às camadas de carvão. Sabe-se que a oxidação da pirita adiciona à água maior quantidade de íons sulfato, transformando os tipos químicos bicarbonatados em sulfatados cálcicos. A última amostra do poço tubular citado foi coletada ao final do teste (97 horas), indicando que, após um determinado tempo, a recarga inclui águas já contaminadas pelas atividades de lavra ou de beneficiamento de carvão.

Trabalhos mais detalhados utilizando-se modelos matemáticos realizados no município de Siderópolis, na área correspondente à Vila Funil, demonstraram a grande complexidade para o entendimento do fluxo regional das águas subterrâneas e, conseqüentemente, para a adoção de medidas mitigadoras que objetivem a recuperação dos recursos hídricos na área correspondente à bacia carbonífera.

Os trabalhos de campo executados bem como observações realizadas em minas subterrâneas de carvão, permitiram verificar-se que em diversos locais da bacia carbonífera ocorre conexão vertical do aqüífero freático com os intervalos aqüíferos profundos. Este fato foi percebido no município de Maracajá, onde o aqüífero freático relacionado aos depósitos de leques aluviais alimenta o aqüífero Rio Bonito através da Falha Mãe Luzia. Fato semelhante verificou-se em Criciúma e

Siderópolis.

A mistura com as águas do aquífero freático resulta tipos intermediários de composição cloretada-bicarbonatada-cálcico-sódica, enriquecidos com cloreto, sulfato, sódio, cálcio e magnésio.

*Com relação ao cadastramento:*

Foi cadastrado um total de 892 pontos de água na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, abrangendo uma área de 3.020 Km<sup>2</sup>, perfazendo 1 ponto para cada 3,38 km<sup>2</sup>.

O levantamento em campo contemplou o cadastramento dos poços tubulares profundos, fontes e poços rasos do tipo escavado e ponteira. Dos pontos de captação de água subterrânea cadastrados concluiu-se que os poços rasos, conhecidos também como ponteiras, têm a captação mais representativa, com 470 unidades (48,73%), seguidos das 315 unidades (34,88%) de poços escavados e de apenas 148 unidades (16,39%) de poços tubulares profundos.

O cadastramento demonstrou ainda um número bastante elevado de pontos de água subterrânea no município de Araranguá, conforme mostra a Figura 89,, representados principalmente por poços rasos do tipo ponteira, com 440 unidades, correspondendo a 92,44%,

Embora o número de poços tubulares seja o menos expressivo da bacia do rio Araranguá, as águas subterrâneas são exploradas principalmente através deste tipo de captação, com uma frequência de 57,55%, e, secundariamente, por captações rasas do tipo ponteira, com 24,95%, e de poços escavados, com 17,50%.

Dos 148 poços tubulares cadastrados, 67 (46,2%) captam água do Sistema Aquífero Rio Bonito (alguns destes poços captam água também do Sistema Aquífero Rio do Sul); 39 (26,9%), do Sistema Aquífero Rio do Rasto e Botucatu, 25 (17,23%), do Sistema Aquífero Palermo, Irati Estrada Nova 5 (3,45%), do Sistema Aquífero Leques Aluviais, 4 (2,76%), do Sistema Aquífero Depósitos Arenosos Marinhos com Retrabalramento Eólico e 4 (2,76%), do Sistema Aquífero Serra Geral.

Com este cadastramento pôde-se constatar também que apesar da importância dos recursos hídricos subterrâneos para a área de estudo, existem fatores que comprometem sua utilização plena, destacando-se entre eles a perfuração indiscriminada de poços, a ausência de saneamento básico e os poços abandonados e/ou mal construídos que, associados à alta, em alguns casos



extrema vulnerabilidade natural dos Sistemas Aquíferos, ressaltam a necessidade urgente de políticas de gestão para uma exploração racional deste recurso.

A profundidade desses poços varia de 15,0 m (PT-43-SI) a 403,0 m (PT-77-TR) e a capacidade de produção, de 0,7 m<sup>3</sup>/h (PT-135-CR) a 36 m<sup>3</sup>/h (PT-144-TV). O intervalo de profundidade mais encontrado na região situa-se entre 50 e 150 metros.

Constatou-se a existência de uma variação muito grande nos valores de capacidade específica para um mesmo aquífero. Este fato demonstra haver imperfeições na construção e no dimensionamento da unidade de bombeamento na maioria dos poços em operação na área da referida bacia hidrográfica.

A análise de vazão dos poços tubulares demonstra uma variação que exhibe o seguinte percentual: 24,53 % dos poços têm vazões entre 1 e 5 m<sup>3</sup>/h; 29,25 %, entre 5 e 10 m<sup>3</sup>/h; 33,02 %, entre 10 e 20 m<sup>3</sup>/h; em 13,21 % ocorrem vazões superiores a 20 m<sup>3</sup>/h.

Os trabalhos de cadastramento dos pontos de água permitiram verificar-se que vários municípios utilizam água subterrânea para complementar suas demandas. No município de Criciúma, de acordo com NOSSE (2004), 89% da água subterrânea utilizada para fins industriais são captados através de poços tubulares profundos. No município de Jacinto Machado, todo o abastecimento público é realizado pela SAMAE, através de três poços tubulares profundos.

No município de Araranguá, constatou-se que 93% da água subterrânea captada destinam-se ao abastecimento doméstico. Uma parcela significativa deste abastecimento é realizada através da captação de água por poços-ponteiras, principalmente nos bairros periféricos da cidade homônima.

Constatou-se ainda que praticamente todo o abastecimento das indústrias de alimentos daquele município é proveniente da captação de água subterrânea através de sistema de ponteiras interligadas. Este fato também se repetiu nos municípios de Maracajá, Forquilha, Meleiro e Turvo, nos quais existem várias indústrias de beneficiamento de arroz.

Um fato que chama a atenção é o pequeno percentual que representa a água subterrânea nas práticas de irrigação (1,6%).

Diante da eminente importância que representam os recursos hídricos subterrâneos da bacia do Araranguá no desenvolvimento da região e na qualidade de vida da população, é extremamente necessária a adoção de medidas visando ao

gerenciamento e à preservação dos mesmos. Por esta razão, são feitas a seguir recomendações no sentido de orientar a adoção de medidas que assegurem a preservação tanto qualitativa como quantitativa das águas subterrâneas.

As captações afetadas por contaminantes em concentrações elevadas em níveis incompatíveis com o seu uso deverão ser investigadas e, se for o caso, desativadas.

As atividades de perfuração deverão ser ordenadas mediante a adoção de técnicas eficientes de localização, construção e exploração no sentido de que seja otimizado o aproveitamento dos recursos hídricos.

Os poços abandonados devem ser lacrados por constituírem fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.

Mecanismos de articulação devem ser adotados pelos vários órgãos do Governo no sentido de se tomar medidas visando a coibir a perfuração de poços em locais considerados de extrema vulnerabilidade.

Os pontos de água devem ser monitorados com freqüência e observados quanto às variações do comportamento das concentrações dos parâmetros relacionados aos seus usos.

Um banco permanente de dados dos poços deverá ser criado e mantido atualizado como ferramenta de um modelo de gerenciamento que permita a integração entre os diversos agentes públicos e privados.

Os indicadores de contaminação deverão ser determinados de acordo com os principais tipos de atividade contaminante.

O gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica tem como escopo principal a eficiência do uso da água disponível como forma de se evitar o desperdício e de se diminuir os custos da produção industrial e agrícola, garantindo-se, assim, de forma ambientalmente correta, que as gerações vindouras não venham a sofrer com a escassez e possível carência deste recurso tão essencial.

Conhecer os recursos hídricos subterrâneos é, sem sombra de dúvida, a única forma de termos consciência de sua importância. Este conhecimento poderá prevenir o descaso que se tem verificado para com os recursos hídricos superficiais

Com relação às águas subterrâneas, suas condições de ocorrência, seus sistemas de fluxos, a eficiência de seus aquíferos, o grau de vulnerabilidade natural e riscos de contaminação por cargas poluentes, as efetivas condições de exploração, de uso e de preservação de seu manancial são ainda praticamente

desconhecidos em grande parte do território nacional. No entanto, em algumas regiões e por diferentes razões, o conhecimento destes parâmetros se faz mais premente. Nestas se inclui a região sul do estado de Santa Catarina, em cuja bacia carbonífera se abriga grande parte da bacia hidrográfica objeto desta Tese de Doutorado. Como dito anteriormente, esta Tese não pretendeu de modo algum esgotar este assunto. Representa uma referência, um estudo aprofundado, é verdade, mas que ao mesmo tempo em que expõe suas verdades, indubitáveis ou não, suscita um grande número de questionamentos, de hipóteses que merecem, por certo, estudos mais detalhados, os quais podem certamente ser objetos de futuras Dissertações de Mestrado e de Teses de Doutorado.

As conclusões a que se chegou ao final deste estudo e da elaboração desta Tese com relação aos recursos hídricos da Bacia do Rio Araranguá simplesmente ratificam a importância de sua escolha como objeto de pesquisa, pois não há que se falar em recuperação ambiental sem que sejam contemplados os recursos hídricos subterrâneos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABORRAGE, A. M.; LOPES, R. da C. **Projeto A Borda Leste da Bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica.** Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1986. v. 18.

ALEXANDRE, N. Z.; KREBS, A. S. J. **Qualidade das águas superficiais do município de Criciúma, SC.** Porto Alegre: CPRM, 1995. v. 1. PROGESC - Série Recursos Hídricos, v. 6.

ALEXANDRE, N. Z. **Análise integrada da qualidade das águas da bacia do rio Araranguá, SC.** Florianópolis, UFSC, Departamento de Geociências, 2000. v. 1. 284 p. (dissertação de Mestrado).

ALLEN, J. R. **Review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments.** *Sedimentology*, Amsterdam, 5: 89 – 191, 1965.

\_\_\_\_\_. **Sedimentary structures:** their classification and physical basis. Elsevier, Amsterdam, 1982. v. 1. 64 p.

ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J. H., PETY, R. J.; HACKET, G. **DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution hydrological settings.** Preparado por National water well association para US-EPA Office of Research and Development, Ada, USA, 1987. 621 p.

ÁVILA, E. L. **Caracterização hidrogeológica e hidroquímica da Formação Rio Bonito na região de Criciúma e adjacências.** Rio Grande: UFSC - Departamento de Geociências, 1992. v. 1. (dissertação de Mestrado em Geografia, Área de Concentração: Utilização e Conservação de Recursos Naturais).

BACK, A. J. Análise dos dados de vento. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, UNESC, v.5, n. 2, p.7-17, 1999.

\_\_\_\_\_. **Determinação da precipitação efetiva para irrigação suplementar pelo balanço hídrico horário:** um caso de estudo em Urussanga, SC. Porto Alegre: UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 1997. 132 p. (Tese Doutorado).

BARRAQUÉ, B. Gestão da água: o ponto de vista de um especialista. Disponível em: <[http://www.oseau/decouv/mondial/02\\_situation.htm](http://www.oseau/decouv/mondial/02_situation.htm)> Acesso em: 15 fev. 2003. Original em francês. Tradução de Alzira P. Krebs.

BEKESI, G.; McCONCHIE, J. The use of aquifer-media characteristics to model vulnerability to contamination, Manawatu region, New Zealand. **Hydrogeology Journal**, IAH, v. 10:322-331, 2002.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. Ocorrência de sedimentos continentais na região litorânea de Santa Catarina e sua significação paleoclimática. **Boletim Paranaense de Geografia**, 4/5, Curitiba, p. 179-187, 1961.

BIGARELLA, J. J.; MARQUES FILHO, P. L.; AB'SABER, A. N. Ocorrência de sedimentos remanescentes nas fraldas da serra do Iquererim (Garuva, SC). **Boletim Paranaense de Geografia**, 4/5, Curitiba, p. 82-93, 1961.

BITTENCOURT, A. C. S. P. ; MARTIN, L.; VILAS BOAS, G. S.; FLEXOR, J. M. The marine formations of the coast of the state of Bahia. **Anais. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY**. São Paulo: IGCP, 1978. p. 232-253. (Project 61)

BLISSEMBACH, E. Relation of surface angle distribution to particle size distribution on alluvial fans. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, Okla., 22(1): 28 – 28, 1954.

BORELIN. Water Management. Disponível em:  
<<http://www.w.hoses.co.za/BORELIN/millennium.htm>> Acesso em: 15 fev.2003.  
Original em francês. Tradução de Alzira P. Krebs.

BORGES, S. F. **Características hidroquímicas do aquífero freático do Balneário Campeche, Ilha de Santa Catarina, SC**. Florianópolis: UFSC, Departamento de Geociências, 1996. v. 1. (dissertação Mestrado em Geografia, Área de Concentração: Utilização e Conservação de Recursos Naturais).

BORTOLUZZI, C. A. Études de quelques empreintes de la flora gonwalenne du Brésil. **Anais. Congr. Nat. de Soc. Savantes. France**, 1975. Reims III. p. 171-187.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 1.469 de 29.12.2000. Aprova a norma de qualidade da água para consumo humano, que dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerente ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece o padrão de potabilidade da água para consumo humano, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 10.01.2001. p. 26. Republicação. Incorreção, **DOU** de 02.01.2001, p.19.

BULL, W. B. Alluvial fans. *Journal of Geological Education*. Chapel Hill, N. C., v. 16. **Bulletin of Volcanology**, Berlim , v. 55 , p. 119-139, 1968.

CABRAL, J. Movimento das águas subterrâneas. FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (coords.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. p. 35-51.

CALDAS, A.; DAMÁSIO, M.; KREBS, A. S. J.; GAIDZINSKY, M. **Caracterização geoambiental das áreas de restingas no município de Içara, SC**. Programa de Iniciação Científica. Departamento de Engenharia Ambiental UNESC. Criciúma: UNESC, 2003.

CANTER, L. W.; KNOX, R. C.; FAIRCHILD, D. M. **Groundwater quality protection**. Michigan – USA: Lewis Publishers, Inc.Chelsea, 1988. v. 1. 562 p.

CARUSO JUNIOR, F. **Mapa geológico e de recursos minerais do sudeste de Santa Catarina, escala 1: 100.000**: texto explicativo e mapa. Brasília: DNPM, 1995.

52 p.

\_\_\_\_\_. **Mapa geológico da região sul de Santa Catarina.** Itajaí: UNIVALI/OSNLR/CECO/UFRJ, 1997. Mapa color. 90 x 90 cm. Escala 1: 100.000.

CARVALHO, P. F. 1932. Reconhecimento Geológico no Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim do Instituto Geológico e Mineralógico do Brasil.** Rio de Janeiro: IGMB, 1932.

CASTRO, E. C.; CASTRO, V. H. S. **Geologia da Quadrícula de Laguna, SC.** Porto Alegre: DNPM, 1969. 38 p.

CASTRO, J. C. **Fácies, ambientes e seqüências deposicionais das formações Rio do Sul e Rio Bonito, no leste de Santa Catarina.** Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CEMPES, 1980. Relatório interno.

CAUDURO, F. A.; DORMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem.** Porto Alegre: IPH/UFRGS, s.d. 216 p.

CAYE, B. R; POZZA, E. V; FABRÍCIO, J. A. C; SUFFERT, T. **Projeto carvão no pré-Barro Branco.** Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1975. v. 5.

CEDERSTROM, D. J. **Água subterrânea: uma introdução.** Rio de Janeiro: MEC/USAID, 1964. 280 p.

CITADINI-ZANETTE, V. **Florística, fitossociologia e aspectos da dinâmica de um remanescente de mata atlântica na microbacia do rio Novo, Orleans, SC.** São Paulo: Universidade Federal de São Carlos, 1995. 236 p. (tese doutorado em Ecologia).

\_\_\_\_\_. **Considerações sobre a bacia hidrográfica do rio Tubarão.** Criciúma: UNESCO, 1996.

COLLOMB, P. Populations e sociétés: l'homme et l'eau , n. 298, fev. 1995. Disponível em: <[http://www.publications/pop\\_et\\_soc/pes2985.html](http://www.publications/pop_et_soc/pes2985.html)> Acesso em 15 fev. 2003. Original em francês. Tradução de Alzira Krebs.

COLUNA WHITE. **Estratigrafia da bacia do Paraná no sul do estado de Santa Catarina, Brasil.** Florianópolis: Secretaria de Estado da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, 1994. 68 p. Série Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina, n. 4.

COOPER, H. H.; JACOB, C. E. A generalized graphycal method for evaluating formation constants and sumaring well field story. Transations Am: **Geophysical**, v. 27, p. 526-534, 1946.

COSTA, W. D. Uso e gestão de água subterrânea. FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; coords. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. p. 341-389.

CUSTÓDIO, E. G. **Curso de poluição das águas subterrâneas**. VII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Belo Horizonte: ABAS-MG, 1992b.

\_\_\_\_\_. Progressiva degradación de la cantidad y calidad de los recursos de água en el sistema acuífero del Bajo Llobregat. **Anais**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 7. Belo Horizonte: ABAS, 1992a. v. 1. p. 18-48.

CUSTÓDIO, E. G.; LLAMAS, M. R. **Hidrogeologia subterrânea**. Barcelona: Omega, 1976. v. 1. 1157 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Barcelona: Omega, 1983. v. 2. 2359 p.

DAEMON, R. F.; QUADROS, L. P. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Parana. **Anais**. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34. Brasília: SBG, 1970. p. 355-412

DAVIS, S. D.; DeWIEST, R. J. M. **Hidrogeology**. USA: John Wiley, 1966. 366 p.

DÉCLARATION DE DUBLIN. Sur l'eau dans la perspective d'un développement durable, 26-31 jan. 1992. Disponível em: <<http://www.Déclaration de Dublin.htm>> Acesso em: 20 fev. 2003. Original em francês. Tradução de Alzira Krebs.

DIAS, A. A. **Geologia do município de Criciúma, SC**. Porto Alegre: CPRM, 1995. v. 1. PROGESC - Série Cartas Temáticas , v. 23.

DIAS NETO, C. M. **Contribuição à análise sismotectônica da região sudeste do Brasil**. São Paulo: USP-IG, 1986. 121 p. (dissertação de Mestrado)

DNPM. **Controle da poluição hídrica decorrente da atividade de mineração/programa estudo de casos**: diagnóstico da qualidade da água na bacia do rio Araranguá. Relatório Final. São Paulo: DNPM, 1999. 173 p.

\_\_\_\_\_. Diagnóstico da qualidade das águas na bacia do rio Araranguá **Controle da poluição hídrica decorrente da mineração de carvão**. São Paulo: DNPM, 1999.

DUARTE, G. M. **Depósitos cenozóicos costeiros e a morfologia do extremo sul de Santa Catarina**. São Paulo: USP, 1995. 300 p. (tese Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar).

\_\_\_\_\_. Os leques aluviais e sua morfologia. Simpósio Nacional de Geomorfologia 2, **Revista GEO-SUL**, Florianópolis, n. 14(27), p. 502-506, edição especial, 1998.

EPAGRI. Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico do Estado de Santa Catarina. 1999. CD-ROM.

FABRÍCIO, J. A. C.; ABOARRAGE, A. M.; VALIATI, D.; POZZA, V.; FERREIRA, J. A. F.; SÜFFER, T. **Projeto carvão de Santa Catarina**: relatório integrado. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1973. v. 5.

FABRÍCIO, J. A. C.; FERREIRA, J. A. F.; SUFFERT, T. **Projeto carvão em Araranguá – Torres**: relatório final da 2ª etapa. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1979. v. 2.

FEITOSA, E. C. Pesquisa de água subterrânea. FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; coords. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. p. 341-389.

FLORES, J. A. A.; LISBOA, N. A.; BAPTISTA, P. R. D. Caracterização morfotectônica e morfoestrutural do sudeste de Santa Catarina. **Geociências**, p. 61-70, 1993.

FOLHA SH-22. Porto Alegre e parte das Folhas SH-21. Uruguaiana e SI-22. **Lagoa Mirim**: geologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p. 6 mapas - levantamento de recursos minerais. v. 33.

FONTANA, R. L. Análise geotectônica e sismoestratigráfica da Bacia de Pelotas até a Plataforma de Florianópolis. **Anais**. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. Balneário de Camboriú: Boletim de resumos expandidos, 1994. 583 p.

FOSTER, M. D.; CREASE, R. I. Nitrate pollution of chalk groundwater in east Yorkshire: a hydrogeological appraisal. **Nitrate pollution in Europe**. New York: Water Information Center, Port Whashington, 1972. p. 269-271.

FOSTER, S. S. D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. **Proc Intl Conf Vulnerability of soil and groundwater to pollutants**. Noordwijk, The Netherlands, apr. 1987.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas**: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, n. 10, 1993. v. 1. 92 p.

\_\_\_\_\_. **Determinacion del riesgo de contaminacion de aguas subterraneas**: una metodología basada en datos existentes. 2. ed. Peru-Lima: CEPIS, 1991. 81 p.

FOSTER, S. S.D.; VENTURA, M.; HIRATA, R. **Contaminacion de las aguas subterraneas**: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación com el suministro de agua potable. Lima: OMS/OPS-HPE/CEPIS, 1987. 42 p.

FREITAS, M. A. **Avaliação do potencial hidrogeológico de terrenos cristalinos através de técnicas de geoprocessamento**. Porto Alegre: Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia-Área de Sensoriamento Remoto Aplicado à Geologia, UFRGS, 1998. 130 p. (Dissertação de Mestrado)

FREITAS, M. A.; CAYE, B. R.; MACHADO, J. L. F. (org.) Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do estado de Santa Catarina - Projeto Oeste de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM/PA, 2003.



FREITAS, M. A. V.; SANTOS, A. H. M. Importância da água e da informação hidrológica. O Estado das águas no Brasil. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 3 mar. 2003.

FRIEDMAN, G. M.; JOHNSON, K. G. The devonian Catskill deltaic complex of New York, type exemple of a "Tectonic delta complex". SHIRLEY, Marta Lou. **Deltas in their geologic framework**. Houston Geological Society, 1966. 251 p.

FRITZ, W. J. E.; MOORE, J. N. **Basics of phisical stratigraphy and sedimentology**. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc, 1988.

FÚLFARO; SUGUIO, K. O. **Vertical moviments in continental southern Brazil during the Cenozoic**. Earth Rheology, Isostasy, and Eustasy: Nils-Axel Morner, 1980. p. 419-425.

GAUJOUS, D. **La pollution des mileux aquatiques**: aide-mémoire. Condé-sur-Noireau: TECDOC, 1993. 212 p.

GIANNINI, P. C. F. **Sistemas deposicionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC**. São Paulo: IGEO/USP, 1993. v. 1-2. 439 p. (tese de Doutorado)

GIANNINI, P. C. F.; SUGUIO, K. Diferenciação entre gerações de depósitos eólicos quaternários na costa centro-sul de Santa Catarina. **Anais, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**. Camboriú: SBG, 1994. v. 1. p. 402-403.

GILBERT, G. K. **Lake bonneville**. Washington, U. S.: Geological Survey, 1890. (Monograph, 1).

GIUFFRIDA, P. Água. Disponível em: <[http://www.webciencia.com/água\\_1.htm](http://www.webciencia.com/água_1.htm)> Acesso em: 3 mar. 2003.

GOMES, A. M. B. **Aspectos da evolução geomorfológica da escarpa oriental do Planalto Meridional durante o Quaternário**. Porto Alegre: Depto. Geografia/UFRGS, 1976. 135 p. (tese de Livre-docência)

GONÇALVES, A.; OLIVEIRA, M. A. M.; MOTTA, S. O. A geologia da Bacia de Pelotas e da Platataforma de Florianópolis. **Bol. Téc. PETROBRÁS**, v. 22, n. 3, p. 157-174, 1979.

GONÇALVES, A.; TOMMASI, E. **Mapeamento faciológico do Grupo Itararé, no Estado de Santa Catarina**. Ponta Grossa : PETROBRAS/DESUL, 1974. 19 p. (relatório interno)

GORDON JUNIOR, M. Classificação das formações gonduânicas no Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Notas e Estudos, DNPM/DFPM**, Rio de Janeiro, n. 38, p. 1-20, 1947.

GOTHE, C. A. V. Diagnóstico ambiental na região carbonífera catarinense. **Anais**.

ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 2 Florianópolis: UFSC, 1989. v. 3. p. 62-96.

GRANDE, N. Valor Político da Água. Congresso da COAGRET. Madrid, 06 jun. 2001. Disponível em: <[http://www.docs/referencia/1sem02/valor\\_água.pdf](http://www.docs/referencia/1sem02/valor_água.pdf)> Acesso em: 15 fev. 2003.

GROBA, F.; HAHN, J. Variation of groundwater chemistry by anthropogenic factors in northwest Germany. INTERNATIONAL GEOLOGY CONGRESS, 24., Montreal. **Proceedings...** Montreal: IGC, sec. 11, (Hydrogeology), 1972. p. 270-281.

GUAZELLI, W.; FEIJÓ, F. J. **Geologia de semidetalle do centro-leste e sudeste de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: PETROBRAS/DESUL, 1970. (Relatório Interno, n. 396).

HAMPTON, M. A. The role of subaqueous debris flow in generating turbidity currents. **Journal of Sedimentary Petrology**, 42, 775-793, 1970

HAUSMAN, A. **Esboço hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1965. (SEDEGEO)

HOOKE, R. Le B. **Processes on arid-region alluvial fans**. Journal Of Geology, Chicago, 75 (4): 60-438, 1967.

HORBACH, R. et al. Geologia. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SH-22 - Porto Alegre e parte das folhas SH-21 – Uruguaiana e SI-22 – Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: RADAM, 1986. p. 29-312. v. 33.

IAH/IAHS **Legenda internacional para mapas hidrogeológicos**. UNESCO/IAH/IAHS/ Institute of Geological sciences (Fr. Ing. Esp. Rus.), 1970. 101 p.

IAH/IAHS (1983). **Internacional Legend for hidrogeological maps**. (versão revisada). IAH/IAHS/UNESCO, 1983. 51 p.

JICA. Japan International Cooperation Agency. **Interim report for the feasibility study on recuperation of mined-out areas in the South Region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil**. Japão, 1997.

JUSTUS, J. O.; MACHADO, M. L. A.; FRANCO, M. S. M. Geomorfologia. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SH-22 - Porto Alegre e parte das folhas SH-21 – Uruguaiana e SI-22 – Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: RADAM, 1986. p. 313-404. v. 33.

KER, J. C.; ALMEIDA, J. A.; FASOLO, P. J.; HOCHMÜLLER, D. P. Pedologia. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SH-22 - Porto Alegre e parte das folhas SH-21 – Uruguaiana e SI-22 – Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: RADAM, 1986. p. 405-540. v. 33.

KING, L. C. **Morphology of the earth**. Edimburg, 1963. 699 p.

KLEPZIG, M. C. Estudo da tafoflora do Membro Pelado na sua localidade- tipo.

**Pesquisas**, 11: 225-303, 1978.

KREBS, A. S. J. **Avaliação do potencial hidrogeológico da área correspondente à bacia hidrográfica do rio Araranguá, SC**. Criciúma: UNESC, 1997.

\_\_\_\_\_. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do rio Araranguá, SC**. Florianópolis: UFSC, 2002. 152 p. (projeto de tese de Doutorado)

\_\_\_\_\_. **Projeto Arroio do Silva**: nota explicativa. Porto Alegre: CPRM, 1984. 31 p.

KREBS, A. S. J.; GRAZIA, C. A.; AMARAL, J. E.; CASÉ, M. G.; BRANCO, P. de M.; OLIVEIRA, R. L.; SILVA, V. R. **Programa carvão energético no estado de Santa Catarina: relatório final**. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1982. 5 v.

\_\_\_\_\_. **Projeto carvão na área da Mina Esperança**: relatório final de pesquisa. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1983

KREBS, A. S. J.; MENEZES FILHO. **Mapeamento geológico para carvão na área de Taió, Rio do Sul**. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1986. 213 p.

KREBS, A. S. J.; NOSSE, E. O. **Potencial hidrogeológico do município de Criciúma**. Porto Alegre: CPRM, 1998. PROGESC - Série Cartas Temáticas – Porto Alegre, v. 24.

KREBS, A. S. J.; SILVA, M. A. S.; DIAS, A. A.; LOPES, R. C.; CAMOZZATO, E. O. O grupo Itajaí na Folha de Botuverá, SC: modelo geométrico/cinemático e relações com o cinturão Metavulcano-sedimentar Brusque-instalação, preenchimento e inversão da bacia. **Anais**. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. Natal: SBG, 1990. v. 6. p. 2966-2975.

LANGE, F. W. Estratigrafia e idade geológica da Série Tubarão. **Arquivo do Museu Paranaense**, Nova Série, Geologia, Curitiba, (2): 1-22, 1954.

LE GRAND, H. E. System of reevaluation of contamination potential of some waste disposal sites. **Journal American Water Works Association**, v. 56. p. 959-974, 1964.

LEAL, A. S. **Água subterrânea nos terrenos cristalinos do Nordeste**. Pernambuco: CPRM/DEPEM, 1983.

\_\_\_\_\_. **Legenda para mapas hidrogeológicos**. Recife: SUDENE – Divisão documentação, 1974. 72 p.

LEAL, A. S. et al. **Projeto mapas hidrogeológicos-Folha Rio Pardo de Minas, MG**. Brasília: CPRM, 1992.

LEÃO, M. I.; KREBS, A. S. J.; CAICEDO, N. L.; RISSO, A.; ZANGAN FILHO, L. C. **Avaliação da contaminação na área da Vila Funil por atividades de mineração de carvão, Siderópolis, SC**. Porto Alegre: UFRGS/IPH, 2001. 114 p.

LEINZ, V. **Contribuição à geologia dos derrames basálticos do Sul do Brasil**. São Paulo: USP/Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, geologia, 1949. n. 5.

\_\_\_\_\_. **Estudos sobre a glaciação permo-carbonífera do sul do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 1937. 147 p.

LEOPOLDDO, P. R.; HERRERA, O. M. Estimativas do consumo e da demanda em água potável na cidade de Botucatu-SP. **Anais. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 12. Vitória, 1997. Natal: ABRH, 1997. v. 3, p. 237-239.

LOWE, D. R. Sediment gravity flow. II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. **Journal of Sedimentary Petrology**, 52, 279-297, 1982.

MAACK, R. **Breves notícias sobre a geologia dos estados de Santa Catarina e Paraná**. Rio de Janeiro: Arquivos de Biologia e Tecnologia, 2: 65-154, 1947.

MACHADO, J. L. F. Contribuição à hidrogeologia dos sedimentos cenozóicos da região sul do estado de Santa Catarina. **Anais. CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 11. Salvador: ABAS, 1996.

\_\_\_\_\_. Mapa Hidrogeológico da Folha de Criciúma escala 1:250.000. SILVA, M. A. S.; LEITES, S. R. (org.) **Folha SH-22-X-B, Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 1997. (Programa Levantamentos geológicos Básicos do Brasil)

MACHADO, J. L. F.; LIMA, J. E. S.; PERUFFO, N. **Projeto estudo da vulnerabilidade à contaminação dos mananciais subterrâneos decorrentes da extração do carvão mineral**. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1984. v. 2.

MANOEL FILHO, J. Água subterrânea: histórico e importância. FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (coords.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997. p. 3-10.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. **Mapa geológico do quaternário costeiro dos estados do Paraná e Santa Catarina**: texto explicativo e mapa. Brasília: DNPM, 1988. série Geologia 28, seção Geologia Básica 18. 40 p.

MARTINS, J. A.; SOUZA PINTO, N. L. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 278 p.

MCKEE, E. D. A study of global sand seas. U. S. **Geological Survey Professional Papers**, 1979. v. 1052. 423 p.

MEDEIROS, R. A. **Fácies sedimentares**: análise e critérios para o reconhecimento de ambientes deposicionais. SCHALLER, H; FRIEDMAN, G. M. (colab.) CAMPOS, C. V. M. (trad.) Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES, 1971. 124 p.

\_\_\_\_\_. **Sistemas de leques terrígenos**. Salvador: PETROBRÁS- Divisão de Ensino da Bahia, 1979. 63 p.

\_\_\_\_\_. **Sistemas deposicionais**. Transcrição parcial do Boletim Especial n. 5. XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú: SBG, 1980. 33 p.

MEDEIROS, R. A.; THOMAZ FILHO, A. Fácies e ambientes deposicionais da formação Rio Bonito. **Anais**. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27. Aracaju: SBG, 1973. v. 3. p. 3-12.

MENTE, A.; MONT ALVERNE, A. F.; FRANCA, R. A. N. Hydrogeological map of South America at scale 1:5.000.000. SYMPOSIUM ON HYDROGEOLOGICAL MAPS AS TOOLS FOR ECONOMIC AND SOCIAL DEVELOPMENT. Hannover: UNESCO, 1989.

MERCHANT, J. W. GIS - Based groundwater pollution hazard assessment: a critical review of the DRASTIC model. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 60, n. 9, 1994.

MIALL, A. D. Alluvial sedimentary basins: tectonic setting and basin architecture. A. D. MIALL (ed.). **Sedimentation and tectonics in alluvial basins, with examples from North America**, Geol. Assoc. Can. Spec. Paper 24, 1981.

\_\_\_\_\_. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. A. D. MIALL (ed.). **Fluvial sedimentology**, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, p. 597-604, 1978a.

\_\_\_\_\_. Tectonic setting and syndepositional setting of molasse and other nonmarines – paralic sedimentary basins. **Can. J. earth. Sci.**, v. 15, p. 1613 – 1632, 1978b.

MONTORO, F. A nossa palavra: A água é a riqueza mais importante. **Qualidade e gestão da água**, ILAN, jul. 1993. Disponível em <<http://www.uniagua.org.br/portugues.htm>> Acesso em: 15 fev. 2003.

MORAIS REGO, L. F. A geologia do petróleo no Estado de São Paulo. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico**, Rio de Janeiro, (46): 1-110, 1930.

MORGENTAL, A.; KIRCHNER, C. A. **Projeto fluorita no sudeste de Santa Catarina**. Etapa. 1- Mapa Previsional do Distrito Fluorítico. Nota Explicativa. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1983. Mapas.

MUHLMANN, M. et. al. Revisão estratigráfica da bacia do Paraná. **Anais**. Congresso Brasileiro de Geologia, 28. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. v. 1. p. 41-65.

MUÑOZ, S.; LANGEVIN; C. Adaptation d'une méthode cartographique assistée à l'élaboration de cartes de vulnérabilité au Guatemala. **Hydrogeologie**, n. 1, p. 65-84, 1991.

MUTTI, E.; RICCI LUCCHI, F. **Le torbediti dell appenninos settentrionale**: introduzione all analisi di facies. Soc. Geol. Italiana, Mem, 11, p. 161-199, 1972.

NETO, E. V. S.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. LEIGHTON, M. W.; KOLATA, D. R.; OLTZ, D. F. Interior cratonic basins. **American Association of Petroleum Geologists**, Memoir, v. 51, p. 681-708, 1990.

NOSSE, E. O. Gerenciamento das águas subterrâneas no município de Criciúma, SC. São Paulo: USP, 2004. 152 p. (projeto de tese de Doutorado)

OLIVEIRA, E. P. **Geologia do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Boletim do Ministério de Agricultura, Indústria e Comércio, 5(1):67-143, 1916.

\_\_\_\_\_. **Geologia dos Recursos Minerais do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Monografia do Serviço Geológico e Mineralógico, (6):1-173, 1927.

OLIVEIRA, W. Projeto: Plano diretor de águas subterrâneas de região metropolitana de Belém e adjacências, uma proposta de diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos e normatização de exploração. **Anais**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 9. Salvador, p. 217-239, 1996.

PAIVA, G.; DUTRA, E. B. **Carvão mineral do norte do Paraná**. Rio de Janeiro: S. F. P. M., 1934. b. 4.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis, 2002. CD-ROM.

PAUWELS, G. A morfogênese do litoral catarinense. **Revista Brasileira de Geografia**, IBGE, Rio de Janeiro, p.785-804, 1941.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas, South America: classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**, Berlim, v. 55, p. 119-139, 1992.

PÉLLÉRIN, J.; GAMA, A. M. R. C.; NASCIMENTO, E. E. D. J.; VALDATI, J.; PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E. Zoneamento e efeitos morfodinâmicos da enxurrada do dia 23/12/1995 nas bacias dos rios Figueira e Pinheirinho - SC. Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia/MG, 3(15), edição especial, p. 196-200, 1996.

PETROBRÁS. **Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná**. Ponta Grossa: PETROBRÁS/DESUL, 1970.

PICADA, R. S. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-Riograndense: Caracterização dos sistemas de falhas. **Anais**. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25. São Paulo: SBG, 1971. v. 1. p. 167-191.

PONTELLI, M. E. **Cartografia das alterações em depósitos de leques aluviais como base para uma estratigrafia relativa, bacias dos rios Amola Faca e Rocinha, Timbé do Sul – SC**. Florianópolis: UFSC-Departamento de Geociências, 1998. 125 p. (dissertação de Mestrado)

PONTELLI, M. E.; PÉLLÉRIN, J. Estratigrafia relativa dos depósitos de leques aluviais nas bacias hidrográficas dos rios Rocinha e Amola-Faca: Timbé do Sul (SC). Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Revista GEO-SUL**, Florianópolis, 14(27), edição especial, p. 457-461, 1998.

POZZA, E. V.; VIEIRA, P. C. Seminário. **Disciplina Mecânica de Rochas**. Porto Alegre: PGEMM/UFRGS, 2002.

POZZA, E. V. **Tensões horizontais na jazida das minas Esperança/Fontanella**. Porto Alegre: PGEMM/UFRGS, 2003. 143 p. (projeto de Dissertação de Mestrado)

PRICE, W. A. A. Patterns of flow and channeling in tidal inlets. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa. Okla., 33(2), p. 289, 1963.

PRITCHARD, D. W. What is an estuary: physical viewpoint. LAUFF, G. H. **Estuaries**. Washington: American for the advanced science, 1967. 7

PUTZER, H. **Camadas de carvão mineral e seu comportamento em Santa Catarina**. Rio de Janeiro: DNPM, 1952.

\_\_\_\_\_. **Geologia da Folha de Tubarão, Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 1955. 94 p.

QUINTAS, M. C. L.; MANTOVANI, M. S. M.; ZALÁN, P. V. Uma contribuição para o estudo da evolução mecânica da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 3, p. 217-226, 1999.

RAMPAZZO, S. E. A questão ambiental no contexto do desenvolvimento econômico. BECKER, D. F. (org.) **Desenvolvimento sustentável: necessidade e/ou possibilidade?** Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 1997. 174 p.

REBOUÇAS, A. C. A política nacional de recursos hídricos e as águas subterrâneas. **Águas subterrâneas**, Curitiba, n. 16, p. 83-95, maio 2002.

\_\_\_\_\_. Diagnóstico do setor de hidrogeologia. **Caderno Técnico**, São Paulo, ABAS, n. 3, p. 46, 1996.

REBOUÇAS, A. C., et al. **Diagnóstico preliminar dos impactos da mineração na área do Morro Estevão e do Morro Albino – Criciúma – SC**. Criciúma: UNESC, 1996.

ROCHA, J. F.; SCORZA, E. P. Estratigrafia do carvão em Santa Catarina. **Boletim do Serviço Geológico e Minerológico**, Rio de Janeiro, n. 104, p. 1-162, 1940.

RYZNAR, J. W. A new index for determinig amount of calcium carbonate scale formed by a water. **Journal American Water Works Association**, n. 36, p. 472-486, 1944.

SANFORND, R. M.; LANGE, W. F. Basin study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, south Brazil. **Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.**, 44:1316-1370,1960.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173 p.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. Barragem do Rio do Salto: Relatório de Impacto Ambiental. Florianópolis, 2000. CD-ROM.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Bacias hidrográficas do estado de Santa Catarina: diagnóstico geral. Florianópolis, 1997b. 163 p.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. Zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica da bacia do rio Araranguá: caracterização hidrológica. Florianópolis, 1997a. v. 2. 47 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Análise das características físicas. Florianópolis, 1997c. v. 3. 63 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Documento síntese. Florianópolis, 1997d. v. 1.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Cadastramento de poços tubulares profundos e usuários de águas subterrâneas. Florianópolis, 1997e. v. 9.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Avaliação preliminar do potencial hidrogeológico; cadastro de indústrias e mineradoras. Florianópolis, 1997f. v. 6.

SANTOS, A. V. M. **Seleção de áreas para a extração de cascalhos de depósitos de leques aluviais na região de Criciúma, SC.** Projeto temático em geologia. Instituto de Geociências da UFRGS. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 75 p.

SANTOS, J. P. Estudos Hidrogeológicos para o Abastecimento de Água da Cidade de Laguna - SC (CASAN). Relatório Técnico nº 8.002. Instituto de Pesquisa Tecnológicas. Estado de São Paulo, 1975. 25 p.

SANTOS, M. **A natureza do espaço:** técnica e tempo; razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 1996. 97 p.

SAWYER, C, N.; McCARTY, P. L. **Chemistry for sanitary engineers.** Tokyo: Kogakuska, 1967. 518 p.

SCHNEIDER, R. L.; CASTRO, J. C. Análise estratigráfica, sedimentológica e possibilidades petrolíferas da Formação Rio Bonito no sudeste da Bacia do Paraná. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1975. Relatório interno.

SCHNEIDER, R. L. et al. Revisão da estratigrafia da bacia do Paraná. **Anais.** Congresso Brasileiro de Geologia, 28. Porto Alegre: SBG, 1974. v. 1. p. 41-65.

SCHÖELLER, H. Essai sur la qualité chimique de l'eau destinée à l'alimentation de l'homme dans le pays arides. Paris: Terres et Eaux, 24: 4-11, 1955.



\_\_\_\_\_. Geochemie des eaux souterraines. **Revue de L'Institute Français du Pétrole**, n. 10, p.230-244, 1955.

SCHULZ JUNIOR.; ALBUQUERQUE, L. F. F.; RODRIGUEZ, C. S. **Geologia da quadrícula de Florianópolis, SC**. Porto Alegre: DNPM, 1970. 75 p.

SCUDINO, P. C. B. Avaliação hidrogeológica em área de disposição de resíduos sólidos, com riscos de poluição de aquíferos. **Anais. CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 7, Belo Horizonte: ABAS, 1992. 1 v. p.128-135.

SEMANA INTERAMERICANA DA ÁGUA. A importância das bacias hidrográficas. Disponível em: <<http://www.Semana Interamericana da agua.htm>> Acesso em: 15 fev. 2003.

SILVA, L. C.; BORTOLUZZI, C. A. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: DNPM, 1987.

SILVA, L. M. **Água subterrânea em Içara**: construção do poço mais produtivo do Estado de Santa Catarina. **Acta Geológica Leopoldensia**, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, n. 27, p. 5-35, 1984.

SILVA, M. A. S.; LEITES, S. R. Mapa geológico da folha de Criciúma escala 1:250.000. SILVA, M.A.S.; LEITES, S. R. **Porto Alegre. Folha SH - 22-X-B, Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2000. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil)

SILVA, V. R. Caracterização geomorfológica e geológica da bacia do rio Maior, Urussanga - SC. Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia/MG, 3(15), edição especial, p. 399-402, 1996.

SMITH, N. D. The braided stream depositional environment: comparison of the Platte river with some Silurian clastic rock, North-Central Appalachians. **Bull. Geol. Soc. Am.**, Colorado, 81: 2993-3014, 1970.

SPALDING, R. G.; GORMLY, J. R.; CURTIS, B. H.; EXNER, M. E. Nonpoint nitrate contamination of groundwater in Merrick Country, Nebrascka. **Ground Water**, (16): 86-95, 1978.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. Classificação de costas e evolução geológica das planícies litorâneas quaternárias do sudeste e sul do Brasil. **Anais. SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA**. Cananéia: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1987. v. 2. p. 1-28.

SUGUIO, K. ; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. 1986. The quaternary sedimentary deposits in the states of Parana and Santa Catarian coastal plains. RABASSA, J. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY. Quaternary South American Antarctic Peninsula Rotterdam: Balkema, 1986. v. 4. p. 3-25.

TEIXEIRA, C. A. S.; CASTRO, E. C.; FERREIRA, L. A. D.; CASTRO, V. H. S.

**Geologia das quadrículas de Tubarão e Laguna, SC.** 1:250.000. Porto Alegre: DNPM-1º Distrito, 1969.

TEIXEIRA, M. B.; COURA NETO, A. B.; PASTORE, U.; RANGEL FILHO, A. L. R. Vegetação. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SH-22 - Porto Alegre e parte das folhas SH-21 – Uruguaiana e SI-22 – Lagoa Mirim, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, 1986. v. 33. p. 541-632.

THEIS, C. V. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. **Trans. Am. Geophys. Union**, 16 th Ann. Meeting, part 2, 1935.

THOMÉ, V. M. R.; ZAMPIERI, S.; BRAGA, H. J.; PANDOLFO, C.; SILVA JUNIOR, V. P.; BACIC, I. Z.; LAUS NETO, J.; SOLDATELLI, D.; GEBLER, E. F.; DALLE ORE, J.; SUSKI, P. P. **Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999. CD-ROM.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Climatology**, v. 8, n.1, p.1-12, 1955.

TODD, D. K. **Groundwater hidrology**. 2. ed. New York: John Willey & Sons, 1980. 535 p.

\_\_\_\_\_. **Hidrogeologia das águas subterrâneas**. Rio de Janeiro: USAID, 1973. 524 p.

TOMMASI, E. Geologia do flanco sudeste da bacia do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. **Anais. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 27. Aracajú: SBG, 1973. v. 3. p. 179-188.

TOMMASI, E.; RONCARATI, H. **Geologia de semidetalhe do nordeste de Santa Catarina e sudeste do Paraná**. Ponta Grossa: PETROBRAS/DESUL, 1970. 47 p. (Relatório Técnico Interno).

TRAININI, D. R. Mapa Geoambiental preliminar da porção correspondente ao litoral norte do Rio Grande do Sul. CPRM. Escala: 1:100.000. 90 x 110 cm, 1999. (documento interno).

TRAININI, D. R.; DIAS, A. A.; KREBS, A. S. J.; SOUZA, E. C.; CAPELETTI, I.; TONIOLO, J. A.; SILVA, L. C.; SILVA, M. A. S. **Projeto Vidal Ramos** – Biguaçu. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1978. 303 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Universidade, 1993. v. 4.

TWIDALE, C. R. Origin of the piemont angle as evidenced in South Australia. **Journal of Geology**, Chicago, 75 (4): 393 – 411, 1967.

U. S. SALINITY LABORATORY. **Diagnosis and improvement of salinity and alkali soils**. Washington D. C.: Handbook 60, U.S.. Dept. of Agriculture, 1954. 80 p.

UNESC. Instituto de Pesquisas Ambientais. **Monitoramento ambiental**: Mina do Trevo. Criciúma: UNESC, 1999. Relatório n. 5/99.

VALDATI, J. **Riscos e desastres naturais**: o caso da sub-bacia do rio da Pedra – Jacinto Machado, SC. 1 v. Florianópolis: UFSC - Departamento de Geociências, 2000. (Dissertação de Mestrado em Geografia, Área de Concentração: Utilização e Conservação de Recursos Naturais)

VILLWOCK, J. A ; TOMAZELLI, L. J. ; LOSS, E. L.; DENHARDT, E. A.; HORN FILHO, N. A; BACHI, F. A; DENHARDT, B. A. Geology of the Rio Grande do Sul Province. RABASSA, J. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SEA LEVEL CHANGES AND QUATERNARY SHORELINES. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula Rotterdam: Balkema, 1986. v. 4. p. 79-97.

VRBA, J.; ZOPOROZEC, A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH: Verlag Heinz Heise, 1994. v. 16. 131 p.

WHITE, I. C. **Relatório final da comissão de estudos das minas de carvão de pedra no Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, 1908. Parte I. p. 1-300.

WILDNER, W.; LIMA, E. F. Parana Basin flood basalts – mineral chemistry and stratigraphic correlation in the Southern border of the province. International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth Int. **General Assembly**, Cape Town, South Africa, 1999. p. 1558.

\_\_\_\_\_. Química mineral de uma parcela das unidades de lava da Bacia do Paraná e suas implicações estratigráficas. **Anais**. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 50. Belo Horizonte: SBG, 1998. p. 111.

ZALÁN, P. V. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. **Anais**. SIMPÓSIO SULBRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3. Curitiba: SBG, 1987. v. 1. p. 441-477.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; APPI, V. T.; NETO, E. V. S.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. LEIGHTON, M. W.; KOLATA, D. R.; OLTZ, D. F. Interior cratonic basins. **American Association of Petroleum Geologists, Memoir**, v. 51, p. 681-708, 1990a.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, C. T.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná. GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1990b. p.135-168.

ZINGANO, A.; KOPPE, J.; COSTA, J. F. Floor heave in shallow room-and-pillar mining. **21st International Conference on Ground Control in Mining**, Syd Peng Ed., Morgantown, WV, USA, pp.257-263, 2002.