

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**A GESTÃO DA ÁGUA EM AMBIENTES COSTEIROS: UMA  
CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DAS  
SUB-BACIAS DAS LAGOAS DO MORRO DO FORNO E DO  
JACARÉ, LITORAL NORTE, RS**

ELAINE REGINA OLIVEIRA DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, para a obtenção do título de Mestre em Geografia na área de Utilização e Conservação de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho

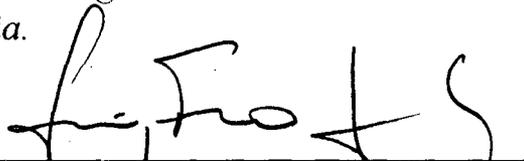
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos André Bulhões Mendes

Florianópolis, fevereiro de 2000

**"A gestão da água em ambientes costeiros: uma contribuição à análise da disponibilidade hídrica das sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e do Jacaré, litoral norte, RS".**

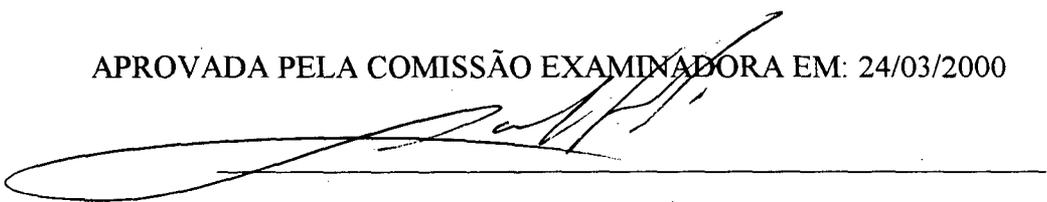
**Elaine Regina Oliveira dos Santos**

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



Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia

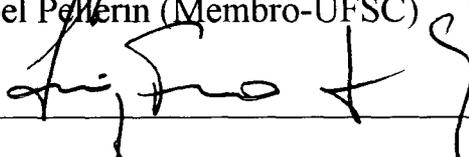
APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM: 24/03/2000



Dr. Jarbas Bonetti Filho (Presidente-Orientador-UFSC)



Dr. Joel Pellerin (Membro-UFSC)



Dr. Luiz Fernando Scheibe (Membro-UFSC)

*Dedico este trabalho aos paladinos das águas  
de todos os tempos e, em especial, ao meu amigo  
Zeno Simon, onde quer que esteja...*

*“O pé não sente mais o macio da grama. A mão não pega mais um punhado de terra escura ... Essa anti-realidade afeta a vida humana naquilo que ela possui de mais fundamental: o cuidado e a com-paixão ... Ponhamos com um mundo ainda por vir ... na grande casa comum, a Terra ... Ponhamos com o cuidado assumindo o ethos fundamental do humano e como compaixão imprescindível para com todos os seres da criação.”*

*Leonardo Boff*

## AGRADECIMENTOS

O Mestrado, a “fronteira final” ...?! Bem, é claro que não, mas é sem dúvida uma “jornada” que exige a superação de limites. A todo momento é necessário vencer a si mesmo. Muito esforço, coragem até para não esmorecer. Afinal, não é nada fácil quando se é uma “simples garça” em meio a “esplêndidos flamingos” ... E não se pode fraquejar, mesmo diante dos vários “coqueiros derrubados” ...

As melhores jornadas se idealizam com um desafio. No meu caso, tudo parece ter começado “aquele dia”, com “aquela conversa” sobre a Lagoa do Morro do Forno com a minha amiga Luiza Chomenko, uma verdadeira paladina das águas. Aceita a tarefa era necessário viabilizar as condições para o estudo. Neste sentido foi fundamental o apoio financeiro da CAPES, obtido graças à dedicação das professoras Sandra Maria de Arruda Furtado, Gerusa Maria Duarte e, principalmente, Leila Christina Duarte Dias.

As jornadas também exigem experiência, capacidade e, acima de tudo, generosidade na sua condução. E neste particular eu fui bem-aventurada com a orientação do Professor Jarbas Bonetti Filho que, muito mais que capitanear de forma eficiente, segura e serena esta jornada, soube respeitar o meu próprio “fazer do tempo”.

As dificuldades são um tempero a mais na “aventura” de um Mestrado. Isto eu aprendi com o meu co-orientador, Professor Carlos André Bulhões Mendes, que sempre valorizou o geógrafo e muito me ajudou no aprendizado de novas técnicas de representação e análise do espaço.

A revisão criteriosa de alguns procedimentos e as sugestões de novos caminhos no roteiro estabelecido foram importantes contribuições oferecidas pelos

Professores Joel Pellerin e Luiz Fernando Scheibe, especialmente na etapa da Qualificação .

Mas esta jornada não teria qualquer sucesso se não fosse o excepcional apoio dos colegas da EMATER de Dom Pedro de Alcântara, Morrinhos do Sul, Três Cachoeiras e, notadamente, Torres, que disponibilizaram recursos e acompanharam os primeiros trabalhos de campo. Assim, aos amigos Paulo, Vicente, Acir, Jânio e Roque o meu muito obrigada. Também foi primordial a contribuição concedida pela Prefeitura Municipal torrense, representada pelo Senhor José Vargas, Secretário da Agricultura, que não mediu esforços para ajudar no estudo proposto. Além disto, seria imperdoável não reverenciar igualmente os senhores Abílio da Luz, Pedro Grande, Jorge Koling, José Sobrinho, Moisés, Bento dos Santos, Álvaro Caris, Altemir Schardosin, Edemar (o barqueiro), a Senhora Noilda Leffa, entre outros representantes da população da área estudada que, com suas informações, permitiram um melhor entendimento dos processos naturais e antrópicos investigados no presente trabalho.

O auxílio do Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento da Secretaria das Obras Públicas e Saneamento do Rio Grande do Sul foi uma verdadeira dádiva e, sem sombra de dúvida, permitiu o aprofundamento de questões importantíssimas na análise dos recursos hídricos em foco. E é claro que a compreensão e o estímulo recebidos dos meus colegas do DRHS jamais serão esquecidos.

A cooperação obtida junto ao IRGA de Torres e de Cachoeirinha do Sul é igualmente digna de nota. Todavia, sem o concurso do trabalho feito pela amiga e "Conselheira" Carla Bonetti, a quem deve ser concedido os louros da descoberta de foraminíferos na área em pauta, esta jornada não teria o mesmo charme. Neste particular, foi fundamental também o apoio do Laboratório de Oceanografia Costeira/UFSC nas fases de coleta e análise de dados sobre a influência do estuário do Rio Mampituba.

Foram muitos os amigos reencontrados ou revelados nesta caminhada: David Vieira da Rosa Fernandes, Diretor de Estudos Ambientais da FATMA/SC,

que emprestou a imagem de satélite para este estudo; Mário Cwik, que muito ajudou com a “bendita” Cartografia Digital e trabalho de campo; Henrique Hasenack e seus estagiários do Centro de Ecologia da UFRGS, sempre solícitos na concessão de valiosas dicas sobre geoprocessamento e de vários dados em formato digital; Professor Mondardo da UNISUL/SC, Lilian Ferraro e Maria Dolores Pineda da FEPAM/RS, Fernando Meirelles do IPH/RS, Pedro Fernando de Oliveira e Fávaro Lumertz com os inestimáveis subsídios bibliográficos; Maria Lúcia Rodrigues, FEPAM, e Teresinha Guerra, UFRGS, com as preciosas contribuições na discussão dos resultados das análises de água; Nelly Blauth, com a doação das Cartas Topográficas e, principalmente, com a sua amizade incondicional; Cristina Otsuschi e Marisa Emmer, duas singularidades maringaenses que fizeram muita diferença neste Mestrado; entre outros que rogo escusas por não nomeá-los pessoalmente porque são muitos.

E por fim, porém em primeiríssimo lugar no meu coração, desejo agradecer à minha querida e adorada mãe, Alair, por tudo que suportou e renunciou ao longo desta jornada que não termina aqui, mas apenas recomeça ...

## RESUMO

A escassez da água é considerada uma das questões mais prementes no limiar do novo século. Desperdício e ocupação inadequada de bacias hidrográficas encontram-se entre os fatores que colaboram de forma decisiva para o agravamento de conflitos, reclamando a adoção de um modelo de gestão que congregue sociedade e Estado, com vistas à harmonização dos múltiplos e competitivos usos deste bem. Para tanto, desde janeiro de 1997, o Brasil conta com a Lei 9.433, que instituiu o Sistema Nacional de Recursos Hídricos e norteou os princípios básicos da Política Nacional de Recursos Hídricos, regrido, assim, o uso da água em bacias hidrográficas federais.

Neste caso se enquadram os sistemas formados pelas lagoas do Morro do Forno e do Jacaré, pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Mampituba. Situadas no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, estas sub-bacias são fortemente condicionadas pelo domínio oceânico e pelas diferenças topográficas existentes entre as províncias geomorfológicas do planalto e da planície costeira. Problemas de degradação ambiental provocados pela substituição de ambientes naturais por lavouras, pela utilização indiscriminada de agrotóxicos e fertilizantes nas culturas de arroz irrigado, olerícolas e bananas, bem como pelo lançamento de esgoto *in natura* nos corpos d'água, se notabilizam neste contexto.

Com a finalidade de colaborar com ampliação do conhecimento sobre os processos hidrológicos locais, visando à futura gestão integrada da bacia hidrográfica do Rio Mampituba, o presente trabalho avaliou a disponibilidade hídrica superficial destas sub-bacias, considerando os principais fatores limitantes do meio natural juntamente com os possíveis impactos causados pela ação antrópica. A metodologia utilizada para este fim consistiu na aplicação de um

conjunto de técnicas capaz de responder questões pertinentes às condições qualitativas e à influência do estuário do Rio Mampituba nos sistemas estudados. Neste sentido, utilizou-se: a integração Sistema de Informação Geográfica (SIG) - modelagem hidrológica, o Índice de Qualidade da Água (IQA) da National Sanitation Foundation (NSF-WQI) modificado pelo COMITESINOS e ajustado pelo Índice de Toxidez (IT), a análise da ocorrência de organismos sensíveis ao gradiente salino, bem como o levantamento de dados físico-químicos e sedimentológicos de interesse ao estudo da dinâmica estuarina do Rio Mampituba,.

Os resultados obtidos permitiram concluir que o comportamento natural das sub-bacias em foco contribui, em parte, para diminuir a sua disponibilidade hídrica, em face do processo de colmatagem evidenciado na Lagoa do Morro do Forno e dos riscos de salinização decorrentes da expansão do setor estuarino. Somando-se a isto, foram constatados os efeitos negativos decorrentes dos usos dominantes da água e do solo sobre a qualidade dos principais corpos d'água superficiais estudados, o que concorre, também, para a redução da sua disponibilidade.

Finalizando, foram elencadas algumas sugestões para estudos futuros que poderão aprimorar o conhecimento da dinâmica das sub-bacias estudadas, criando, assim, subsídios importantes para a gestão dos seus recursos hídricos.

## **ABSTRACT**

The water scarcity is considered one of the most significant questions in the doorstep of the new century. There is no doubt that wastefulness and inadequate occupation of catchment drainage contribute to conflicts' aggravation, demanding the adoption of a management model that could integrate society and government with the purpose to harmonize the multiple and competitive water uses. For this, Brazil has the Law 9.433, since January 1997, that establishes the National Water Resources System and guides the basic principles of the National Water Resources Policy, regulating, therefore, the water use in the federal catchment.

In this situation are included the systems formed by Morro do Forno and Jacaré coastal lakes, which belong to the Mampituba river catchment. Located at Rio Grande do Sul northern coast, these sub-basins are strongly conditioned by the ocean domain and by the topographic differences observed between highlands and the adjoining coastal plain. Problems related to environmental degradation caused by the substitution of natural ecosystems by farmland, due to the indiscriminate use of biocides and fertilizers in rice crops, banana crops and in horticulture and also in function of uncontrolled domestic sewage disposal in water bodies are observed in this context.

With the aim to collaborate to the deepening in the knowledge of local hydrological processes, seeking for the future management of Mampituba river catchment, this work evaluated the surface water availability of Morro do Forno and Jacaré sub-basins, considering their natural limiting factors as so as the human impacts caused to these resources. The adopted methodology consisted in the application of a group of techniques capable to answer questions about local quality-quantitative water conditions and related to the investigation of the estuarine

quality-quantitative water conditions and related to the investigation of the estuarine influence of Mampituba river. In the analysis were used: a hydrologic model integrated to a Geographic Information System (GIS), the water quality index proposed by the National Sanitation Foundation (NSF-WQI) modified by COMITESINOS and adjusted by the Toxicity Index (IT), the analysis of biological indicators sensitive to the river/sea gradient and also the surveying of physical-chemical and sedimentological data for the study of local estuarine dynamics.

The obtained results allowed to conclude that the natural behavior of these sub-basins contribute, in part, to the reduction of their water availability. This occurs mainly due to the silting process observed at Morro do Forno Lake and to the salinity risks induced by the estuarine zone. In addition, the negative effects that actual water and land uses promote on surface water quality were also verified. It can be said that these are also contributing to the decrease of its availability. Finally, some suggestions were proposed for future studies that could improve the knowledge of these sub-basins dynamic, creating, then, important subsidies for management of local water resources.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>xii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO</b> .....	<b>2</b>
1.1- RELEVÂNCIA DO TEMA.....	3
1.1.1 - <i>A água como um bem público e escasso</i> .....	3
1.1.2 - <i>A gestão em ambientes costeiros</i> .....	4
1.2 – APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	6
1.3 – OS OBJETIVOS PROPOSTOS .....	9
1.3.1 - <i>Objetivo geral</i> .....	9
1.3.2 - <i>Objetivos específicos</i> .....	9
1.4 - ESTRUTURA GERAL DA DISSERTAÇÃO .....	10
1.4.1 - <i>Capítulo 1: Introdução</i> .....	10
1.4.2 – <i>Capítulo 2: Concepção teórico-metodológica</i> .....	10
1.4.3 – <i>Capítulo 3: Os sistemas lacustres estudados</i> .....	10
1.4.4 – <i>Capítulo 4: Metodologia adotada</i> .....	10
1.4.5 – <i>Capítulo 5: Avaliação da disponibilidade hídrica</i> .....	11
1.4.6 – <i>Capítulo 6: A influência do ambiente estuarino do Rio Mampituba</i> .....	11
1.4.7 – <i>Capítulo 7: Considerações finais</i> .....	11
<b>2 - CONCEPÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA</b> .....	<b>13</b>
2.1 - INTRODUÇÃO .....	13
2.2 – O GEOPROCESSAMENTO.....	14

2.2.1 – <i>Entrada e representação dos dados</i> .....	15
2.2.2 – <i>Processamento digital de imagens</i> .....	23
2.2.3 – <i>Métodos de Interpolação</i> .....	30
2.2.4 – <i>Modelo Digital do Terreno</i> .....	32
2.3 – OS ESTUDOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	34
2.3.1 – <i>Modelos hidrológicos: princípios e limitações</i> .....	35
2.3.2 – <i>Métodos de análise qualitativa: vantagens e restrições</i> .....	38
2.4 – O ESTUDO DE AMBIENTES ESTUARINOS.....	49
2.3.1. <i>Conceituação de estuário</i> .....	50
2.4.2. <i>Hidrodinâmica e condicionantes</i> .....	54
2.4.3. <i>Processos de sedimentação e de propagação salina</i> .....	58
2.5 – ESTUDOS ANTERIORES: IMPORTÂNCIA E CRÍTICAS .....	60
2.5.1 – <i>Trabalhos considerados na avaliação quantitativa de sistemas hidrológicos</i> .	60
2.5.2 – <i>Trabalhos considerados na análise qualitativa de sistemas hidrológicos</i> .....	62
2.5.3 – <i>Estudos considerados na avaliação da dinâmica da intrusão salina</i> .....	63
<b>3 – OS SISTEMAS LACUSTRES MORRO DO FORNO E JACARÉ</b> .....	<b>66</b>
3.1 – INTRODUÇÃO .....	66
3.2 – LOCALIZAÇÃO.....	67
3.3 – CARACTERIZAÇÃO GERAL .....	69
3.4 – DINÂMICA DO AMBIENTE NATURAL.....	72
3.4.1 – <i>O sistema lagunar holocênico</i> .....	73
3.4.2 – <i>O ambiente fluvial</i> .....	80
3.4.3 – <i>O clima e seus condicionantes</i> .....	83
3.4.4 – <i>As características do substrato edáfico</i> .....	90
3.4.5 – <i>O papel da cobertura vegetal</i> .....	94
3.5 – O PROCESSO DE OCUPAÇÃO DO ESPAÇO E SEUS IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS... 98	
3.5.1 – <i>Síntese histórica do povoamento de Torres aos seus desmembramentos</i> ....	99
3.5.2 – <i>O uso atual do solo e seus efeitos</i> .....	100
3.5.3 – <i>Usos preponderantes da água e seus conflitos</i> .....	105
<b>4 – METODOLOGIA ADOTADA</b> .....	<b>113</b>
4.1 – INTRODUÇÃO .....	113
4.2 – PARA A AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	113
4.2.1 – <i>Dados utilizados</i> .....	113
4.2.2 – <i>Digitalização</i> .....	116
4.2.3 – <i>Processamento digital das Imagens</i> .....	117
4.2.4 – <i>Cálculo da evapotranspiração potencial - Eti</i> .....	119
4.2.5 – <i>A geração das imagens de chuva e de evapotranspiração potencial</i> .....	120

4.2.6 - A geração das imagens do "balanço climático" .....	121
4.2.7. Simulação hidrológica.....	121
4.3 – PARA A ANÁLISE QUALITATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS .....	129
4.3.1 - Seleção dos pontos e dos parâmetros analisados.....	129
4.3.2 - Materiais e métodos para a coleta e análise da água e sedimentos .....	134
4.3.3 - Metodologia empregada nas análises das amostras .....	137
4.3.4 - Índices para a avaliação da qualidade da água adotados.....	138
4.4 – AVALIAÇÃO DA INTRUSÃO SALINA .....	138
4.4.1 - A análise dos fatores abióticos .....	139
4.4.2 - A análise de bioindicadores .....	141
<b>5 - AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA .....</b>	<b>146</b>
5.1 - INTRODUÇÃO .....	146
5.2 - DISPONIBILIDADE QUANTITATIVA.....	146
5.2.1 - Análise dos resultados.....	147
5.2.2 - Discussão dos resultados.....	157
5.3 - DISPONIBILIDADE QUALITATIVA .....	161
5.3.1 - Análise dos resultados das coletas de água.....	163
5.3.2 - Análise dos resultados da coleta de sedimentos.....	172
5.3.3 - Discussão dos resultados.....	173
<b>6 - A INFLUÊNCIA DO AMBIENTE ESTUARINO DO RIO MAMPITUBA .....</b>	<b>181</b>
6.1 - INTRODUÇÃO .....	181
6.2 - FATORES ABIÓTICOS .....	181
6.2.1 - Análise dos resultados.....	184
6.2.2 - Discussão dos resultados.....	187
6.3 - BIOINDICADORES .....	193
6.3.1 - Análise dos resultados.....	195
6.3.2 - Discussão dos resultados.....	196
<b>7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>201</b>
7.1 - SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	203
7.2 - AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA ADOTADA.....	204
7.3 - PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS.....	206
<b>8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>208</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sensores passivos e ativos, aplicados aos estudos ambientais, com ênfase à análise da dinâmica costeira e oceânica, conforme Green <i>et al.</i> (1996) .....	18
Tabela 2 – Classificação das águas brasileiras, conforme Resolução N° 20/86 – CONAMA .....	40
Tabela 3 – Parâmetros utilizados e valores dos pesos atribuídos para os Índices de Qualidade da Água NSF e Comitesinos.....	45
Tabela 4 – Faixas de Qualidade do IQA utilizadas pelo Comitesinos e NSF .....	45
Tabela 5 - Padrões adotados pelo Comitesinos para a aplicação do Índice de Toxidez, em mg/l ...	46
Tabela 6 - Classificação de estuário baseada no enfoque geomorfológico.....	55
Tabela 7 – Área e demografia dos municípios pertencentes às sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e Jacaré, Litoral Norte, RS.....	72
Tabela 8 – Divisão geomorfológica do Litoral Norte do Rio Grande do Sul.....	80
Tabela 9 – Grandes grupos de solos no subdomínio da planície costeira - sub-bacias Morro do Forno e Jacaré, Litoral Norte, RS.....	92
Tabela 10 – Síntese da aptidão agrícola dos solos representativos das sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré - Litoral Norte, RS.....	93
Tabela 11 - Principais agrotóxicos utilizados na bananicultura - bacia hidrográfica do Rio Mampituba, RS.....	106
Tabela 12 - Principais agrotóxicos utilizados na orizicultura – bacia hidrográfica do Rio Mampituba, RS.....	106
Tabela 13 - Principais agrotóxicos utilizados em olerícolas – bacia hidrográfica do Rio Mampituba, RS.....	107
Tabela 14 – Proposta de enquadramento das águas das Lagoas do Morro do Forno e do Jacaré e Rio Mampituba – Litoral Norte, RS.....	109
Tabela 15 – Estações meteorológicas e pluviométricas utilizadas na caracterização climática das sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré – Litoral Norte, RS .....	116
Tabela 16 - Coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) utilizados para a correção da evapotranspiração potencial na área da simulação hidrológica - bacia Rio Mampituba, Litoral Norte, RS .....	125
Tabela 17 – Estações para coleta de água e sedimentos nas sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e do Jacaré, em 1998, Litoral Norte, RS .....	131
Tabela 18 – Parâmetros para análise da água das sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré, Litoral Norte, RS.....	133

Tabela 19 – Parâmetros para análise de agroquímicos nos sedimentos flúvio-lacustres dos pontos amostrados nas sub-bacias das lagoas do Morro do forno e do Jacaré, Litoral Norte, RS ..	134
Tabela 20 – Metodologia adotada na análise da água – sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré, Litoral Norte, RS.....	137
Tabela 21 - Localização das estações destinadas à análise da ocorrência de foraminíferos, bacia do Rio Mampituba, Litoral Norte, RS.....	144
Tabela 22 - Valores e variação de I obtidos a partir das Imagens Índices geradas pelo geoprocessamento .....	151
Tabela 23 - Resultados das análises de sedimentos de superfície de fundo - sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré, Litoral Norte, RS.....	161
Tabela 24 - Resultados das análises nas amostras das águas superficiais, campanhas de inverno e verão - sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré - Litoral Norte, RS .....	162
Tabela 25 - Valores médios e percentuais de elevação/redução dos resultados identificados como problemáticos, nos parâmetros analisados, campanhas de inverno e verão, sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré - Litoral Norte - RS.....	166
Tabela 26 - Níveis de nitrato (NO <sub>3</sub> ), em relação à produtividade aquática, conforme PORTO <i>et al.</i> (1991), encontrados nas águas coletadas das sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré - Litoral Norte, RS.....	171
Tabela 27 - Direção e velocidade dos ventos dominantes registrados na estação de Torres no período de coleta de água de 1998.....	174
Tabela 28 - Parâmetros amostrados ao longo dos rios Mampituba e Monteiro, em 20.03.99, Litoral Norte – RS .....	183
Tabela 29 - Direção e velocidade dos ventos dominantes registrados na estação de Torres nos períodos de coleta de água de 1980, 1998 e 1999.....	188
Tabela 30 - Resultados das análises para identificação de bioindicadores de ambiente salino - bacia Rio Mampituba, RS .....	194

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geral da área de estudo.....	7
Figura 2: Exemplo de estimativa da área acumulada conforme Mediondo <i>et al.</i> (1998); Obs.: a célula marcada é indicadora do valor a ser considerado. ....	33
Figura 3: Representação dos modelos concentrado e distribuído conforme Mendes (1996).....	36
Figura 4: Municípios que compõem a área de estudo .....	68
Figura 5: Lagoa do Morro do Fomo .....	77
Figura 6: Padrão de circulação atmosférica no Rio Grande do Sul, conforme Hasenack (1987; <i>apud</i> Hasenack e Ferraro, 1989) .....	87
Figura 7: Regime de ventos e suas características no Litoral Norte e na Província Costeira do Estado .....	89
Figura 8: Exemplos de problemas ambientais identificados na área de estudo.....	104
Figura 9: Proposta de enquadramento das águas para o Litoral Norte pela FEPAM, em 1997 .....	110
Figura 10: Mapa de localização das estações meteorológicas .....	115
Figura 11: Fluxograma de funcionamento do modelo hidrológico <b>GeoAmb I</b> ®, segundo Mendes <i>et al.</i> (1999), com modificações; ressalta-se que o submodelo2 não pode ser aplicado à área selecionada para a simulação.....	122
Figura 12: Em "a" curvas de nível de Z e o vetor gradiente; em "b" derivadas numéricas em uma janela 3x3 regular do MDT; Fonte: Collischonn <i>et al.</i> (1998).....	124
Figura 13: Conceitos de armazenamento de água no solo e capacidade de campo; Fonte: Mendes <i>et al.</i> (1999), com modificações .....	126
Figura 14: Fluxograma da etapa da preparação dos dados para simulação .....	128
Figura 15 : Fluxograma geral do modelo hidrológico adotado, conforme Mendes (1996).....	129
Figura 16: Mapa de localização dos pontos de coleta de água.....	132
Figura 17: Equipamentos utilizados nas campanhas de coleta de água e sedimentos, em julho de 1998 .....	136
Figura 18: Localização das estações de amostragem ao longo do setor estuarino do Rio Mampituba .....	140
Figura 19: Equipamentos utilizados nas estações de amostragem no setor estuarino do Rio Mampituba .....	142
Figura 20: Gráfico dos volumes totais de chuva e de evapotranspiração estimados para a área ..	147

Figura 21: Gráfico da estimativa da disponibilidade e do consumo de água para a orizicultura na área de estudo.....	149
Figura 22: Imagens do balanço climático da área de estudo para condições médias de chuva e evapotranspiração .....	150
Figura 23: Imagem do Modelo Digital do Terreno; em 1 e 2 visualizam-se as lagoas do Morro do Fomo e do Jacaré, respectivamente .....	152
Figura 24: Imagem da topografia da área e janela utilizada para a simulação; pode-se observar nesta figura os problemas gerados na interpolação das cotas altimétricas; obs: a legenda da janela foi realçada por uma nova reclassificação .....	153
Figura 25: Imagem do Uso do Solo da área e janela utilizada para a simulação.....	154
Figura 26: Imagem do Solo da área de estudo e janela utilizada para a simulação .....	155
Figura 27: Gráfico da variação mensal das variáveis obtidas a partir da simulação hidrológica ....	156
Figura 28: Imagens da variação espaço-temporal dos excessos hídricos estimados para a área de simulação hidrológica .....	158
Figura 29: Rede de drenagem derivada pela simulação hidrológica.....	160
Figura 30: Gráfico da variação da DBO5, Fósforo Total e OD nas amostras de água.....	167
Figura 31: Gráfico da variação dos metais nas amostras de água.....	168
Figura 32: Gráfico da variação dos parâmetros microbiológicos nas amostras de água .....	169
Figura 33: Gráfico da variabilidade temporal do IQA calculado para as amostras de água .....	170
Figura 34: Gráfico da variabilidade do NO3 nas amostras de água .....	171
Figura 35: Gráfico da ocorrência de agroquímicos em sedimentos .....	172
Figura 36: Gráfico das condições meteorológicas que prevaleceram nas campanhas de coleta de água e sedimentos .....	173
Figura 37: Variação da profundidade das águas de superfície e de fundo.....	182
Figura 38: Variação da temperatura das águas de superfície e de fundo .....	184
Figura 39: Gráficos dos parâmetros salinidade, pH e turbidez medidos nos rios Mampituba e Monteiro .....	186
Figura 40: Gráficos dos parâmetros velocidade de corrente e classificação dos sedimentos de fundo avaliados no ambiente estuarino em foco. ....	187
Figura 41: Gráfico dos dados meteorológicos considerados para a análise da intrusão salina.....	189
Figura 42: Gráficos da amplitude de maré prevista e da velocidade de corrente de fundo medida	191
Figura 43: Diagrama triangular que representa a abundância relativa das testas de organismos bentônicos ao longo do gradiente salino (Bonetti <i>et al.</i> , em preparação) .....	196
Figura 44: Zonação ecológica - exemplos de tecamebas e foraminíferos bentônicos em ambientes com distintos regimes salinos; obs.: em amarelo estão destacados os gêneros identificados na área de estudo.....	197

## 1 - INTRODUÇÃO

*“A água faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão é plenamente responsável aos olhos de todos” (Art. 1º da Declaração Universal dos Direitos da Água) .*

## 1 – INTRODUÇÃO

A água representa um dos principais fatores ecológicos do planeta, condicionando a existência da vida à sua distribuição irregular no tempo e no espaço. Escassez e/ou excessos significam, pois, limitações à sobrevivência de distintas espécies.

Para o ser humano, entretanto, a água é mais que uma necessidade fisiológica do protoplasma. É uma condição primordial para o desenvolvimento de diversas atividades produtivas, quer na forma de matéria-prima, como na irrigação, quer na obtenção de insumos variados, como na geração de energia.

Assim sendo e para garantir as crescentes demandas deste bem o ser humano vem alterando processos naturais, imprimindo importantes intervenções no ciclo hidrológico. Todavia, os resultados que se observam estão muito mais próximos de culminar com o esgotamento deste recurso do que garantir o seu acesso permanente.

Para que este quadro de escassez possa ser controlado e, inclusive, revertido, é necessária uma gestão participativa, em que cada usuário, quer seja público ou privado, assuma sua responsabilidade para a manutenção da disponibilidade hídrica dos sistemas hidrológicos, ou seja, qualidade e quantidade em níveis satisfatórios.

No presente capítulo, estas discussões serão resgatadas com vistas à justificativa dos objetivos propostos no estudo de duas sub-bacias lacustres, situadas no Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Tais sub-bacias podem ser consideradas de especial interesse na análise dos múltiplos e competitivos usos da água, em função da sua dinâmica natural e forma de ocupação antrópica.

## **1.1 - Relevância do tema**

### **1.1.1 - A água como um bem público e escasso**

Drew (1986) ressalta que a água doce corresponde, individualmente, ao recurso mais importante da humanidade. É ela que, por exemplo, restringe a expansão agrícola e urbana de extensas regiões e que ordena, localmente, a instalação de determinadas indústrias. O autor lembra que a necessidade de garantir água potável provocou “... **as primeiras tentativas do homem para modificar o ambiente natural** ...”. Neste sentido, ele destaca que a ascensão e subsequente decadência de civilizações antigas, designadas de “hidráulicas”, como as do Egito, China, Índia e Mesopotâmia, se relacionam “... **ao uso e abuso da água**” (Drew, *op. cit.*; p.87).

No entanto, foi a partir da Revolução Industrial que a interferência humana nas distintas fases do ciclo hidrológico passou a adquirir proporções cada vez maiores em extensão e magnitude. Na tentativa de controlar os sistemas hidrológicos, o ser humano aprimorou tecnologias para a construção de represas, para a implementação de programas de irrigação e drenagem, para a extração do manancial subterrâneo, para a retificação de cursos fluviais, enfim, para criar uma nova ordem na dinâmica da natureza.

Estas alterações impostas aos fluxos da água nos vários compartimentos geosféricos seria o que Campos (1994) explica como o “... **fazer o tempo versus o fazer do tempo** ...”. Considerando as relações entre sociedade e natureza, ele ressalta a importância dos conceitos de tempo, espaço, lugar e energia para uma análise mais adequada, colocando que:

**“Entre os ritmos em concorrência, se por um lado a sociedade tecnológica é intensa e urgente em fazer o tempo sempre mais rápido na produção artificial e no consumo, por outro, a Terra, mais lenta em sua produção natural, não consegue recompor os recursos ao respeitar seu próprio fazer do tempo.” (Campos, *op. cit.*; p.9)**

Os efeitos dessa tentativa de controle da natureza foram ressaltados por Federico Mayor, Diretor Geral da UNESCO. De acordo com este, as necessidades

crescentes de água potável no mundo estão ligadas fundamentalmente às “... **mudanças do modo de vida ...**” decorrentes de um modelo de desenvolvimento econômico, que só neste século aumentou a demanda deste bem em sete vezes, enquanto o efetivo demográfico mundial multiplicou-se por três. Portanto, o recrudescimento nas limitações da disponibilidade quali-quantitativa dos recursos hídricos é um fato irrefutável. Eis o porquê da UNESCO alertar que a água doce será um dos graves problemas do século vindouro (Mayor, 1997).

O conseqüente acirramento de conflitos pelo uso da água torna, então, o planejamento integrado dos recursos hídricos uma necessidade real e imediata, reclamando uma legislação disciplinadora e que estabeleça, de forma inequívoca, a água como um bem público e finito. Na evolução deste processo, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão vem se consolidando, em face dos resultados satisfatórios alcançados, por exemplo, na França e na Alemanha. A legislação destes países, assim como a da Inglaterra e a dos Estados Unidos, juntamente com a experiência de organizações como os *Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas* e os *Consórcios de Bacias Hidrográficas*, surgidos no Brasil principalmente na década de 1980, inspiraram a elaboração da Política Nacional de Recursos Hídricos.

A promulgação da Lei 9.433, em 08.01.97, ao criar o *Sistema Nacional de Recursos Hídricos*, com o propósito de reger os diversos usos da água, representa importante marco jurídico deste processo, à medida que incorpora definitivamente os princípios da publicização e da gestão participativa e descentralizada.

### 1.1.2 - A gestão em ambientes costeiros

Se a água potável, em decorrência da sua limitada disponibilidade temporal e espacial, é considerada um recurso frágil, esta condição se reveste de uma complexidade ainda maior em ambientes costeiros, comparando-se aos exclusivamente continentais. Neste caso, trata-se de gerir um recurso inserido em um sistema de transição, fortemente condicionado à dinâmica oceânica.

Villwock (1994), na sua análise sobre a geologia e a evolução do litoral brasileiro, enfatiza a importância dos ventos, das ondas por estes geradas, das marés e das correntes, em especial as de deriva litorânea de sedimentos, nos processos de erosão e deposição que caracterizam a dinâmica costeira. Estes fatores em conjunto, associados a outros de escala global, como as condições climáticas atuais, as subatuais e suas implicações nas mudanças do nível do mar, bem como a tectônica de placas, representam os principais condicionantes da formação e evolução natural dos ambientes costeiros.

A interação mar-continente, desta maneira, se ultima com a organização de ecossistemas caracterizados por uma elevada produtividade biológica, dos quais se pode destacar os sistemas estuarinos, lagunares, de mangues e paludiais, no âmbito da costa brasileira.

Contudo, é necessário considerar que, historicamente, as regiões costeiras representam um pólo de atração para as populações humanas. Assim, a significativa fecundidade de seus ecossistemas e as facilidades de intercâmbio comercial com outros povos foram algumas condições que propiciaram o desenvolvimento de importantes nações na Antigüidade. Day *et al.* (1989) recordam que várias cidades, consideradas como "berço da civilização", surgiram e prosperaram próximas a estuários como o do Nilo, do Chang, do Indo e do Tigre-Eufrates. Na atualidade, muitas das maiores cidades do planeta se situam em ambientes costeiros. Este é o caso, por exemplo, de Nova Iorque, de Calcutá, de Tóquio e de Londres.

Essa intensa ocupação da zona costeira tem provocado impactos arrasadores na dinâmica natural dos seus ecossistemas associados. A elevada pressão demográfica, os resíduos provenientes das diversas atividades humanas, a redução e, até mesmo, a supressão de ambientes naturais por sistemas urbanos

e agrossistemas têm causado a redução e mesmo extinção de espécies menos tolerantes<sup>1</sup>.

Desta forma, percebe-se que o gerenciamento dos recursos naturais localizados na interface continente-oceano exige uma avaliação criteriosa da dinâmica própria de cada compartimento. Isto se torna mais complexo à medida que o recurso em foco é a água potável, cuja dinâmica nas bacias hidrográficas litorâneas está relacionada tanto à sazonalidade do regime hidrológico quanto ao comportamento das águas marinhas.

### **1.2 – Apresentação da área de estudo**

O recorte espacial do presente trabalho se restringe, fundamentalmente, à área das sub-bacias lacustres Morro do Forno e do Jacaré, localizadas no setor rio-grandense do baixo vale do Rio Mampituba.

O sistema hidrológico do Mampituba abrange o extremo sul de Santa Catarina e o nordeste do Rio Grande do Sul (figura 1)., drenando uma superfície de aproximadamente 1.800 Km<sup>2</sup>, consoante dados do Ministério do Interior (1983). Por abranger o território de mais de um Estado, o Rio Mampituba é enquadrado como federal, o que implica numa gestão compartilhada não apenas pelos municípios componentes da bacia hidrográfica, mas na participação conjunta das duas unidades federativas

Em linhas gerais, este geossistema se desenvolve em duas províncias geomorfológicas de características distintas – o planalto basáltico e a planície costeira –, integrando uma diversidade de ecossistemas terrestres e aquáticos, nos quais águas lólicas<sup>2</sup> e lânticas<sup>3</sup> se combinam num complexo sistema hidrológico muito suscetível à intervenção antropogênica, tendo-se em conta as flutuações da

---

<sup>1</sup> Estas espécies são designadas de *estenobiontes* e se caracterizam por apresentarem uma tolerância limitada às variações dos fatores abióticos (Martins, 1976 e Odum, 1988).

<sup>2</sup> Águas lólicas: águas correntes (Odum, 1988).

<sup>3</sup> Águas lânticas: águas paradas (Odum, *op. cit.*).

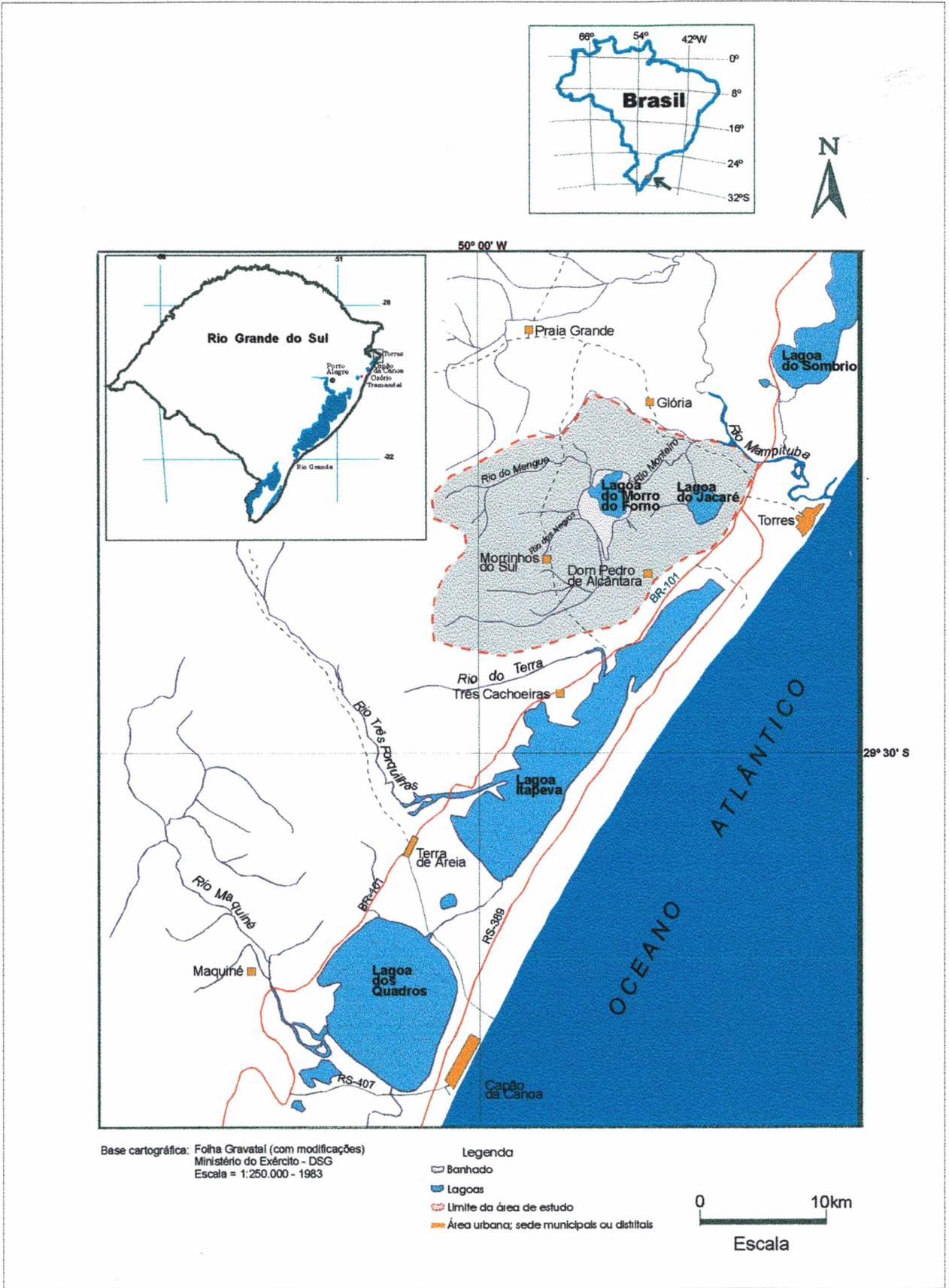


Figura 1: Localização geral da área de estudo

disponibilidade hídrica de sua rede de drenagem e a existência de interface com o oceano.

A intensa hidrodinâmica desta bacia se manifesta, por exemplo, no fenômeno do entrelaçamento<sup>4</sup> dos canais de importantes afluentes do Mampituba, bem como do seu próprio canal, o que acentua o problema das cheias na área.

Além disso, registros encontrados em estudos anteriores elaborados pelo Ministério do Interior (1982), assim como informações verbais de moradores locais e técnicos da Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMATER, atestam a ocorrência de uma intrusão salina, proveniente do Oceano Atlântico, através do curso inferior do Mampituba, onde o mesmo apresenta características estuarinas. Este fenômeno tem sido apontado como o responsável por problemas de salinização nas águas do baixo vale, comprometendo as culturas de arroz irrigado, que se destacam como uma das principais atividades produtivas na região.

Também é necessário ressaltar o papel das lagoas e dos banhados no âmbito desta bacia. Estes ecossistemas funcionam como importantes reguladores hidrológicos naturais do ambiente, à proporção que minimizam os efeitos provocados tanto nos períodos de excesso como nos de escassez de água. No contexto estudado, estes reservatórios naturais são submetidos a um tipo de ocupação humana que concorre para a sua degradação. Isto se evidencia, por exemplo, na aplicação indiscriminada de biocidas e fertilizantes nas lavouras predominantes na área, bem como no lançamento de esgoto *in natura* nos principais formadores dos corpos lacustres e na utilização sem controle de sistemas de drenagem e irrigação.

Os problemas acima referidos comprometem a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos nesta bacia, afetando, por conseguinte, os sub-sistemas

---

<sup>4</sup> O entrelaçado (*braided*) corresponde a um padrão de canal fortemente condicionado a uma grande carga de fragmentos rochosos grossos, que originam morfologias fluviais como barras e ilhas de cascalhos, as quais dificultam o fluxo da corrente que acaba se ramificando em vários canais (Miall, 1992).

hidrológicos enfocados neste trabalho, os quais representam, no Rio Grande do Sul, os seus principais contribuintes.

### **1.3 – Os objetivos propostos**

A gestão dos recursos hídricos implica na interdisciplinaridade. Distintos ramos do saber têm algo a colaborar para este propósito. No que tange à Geografia, Magalhães Júnior (1996) lembra que a perspectiva ambiental e, em particular, a dos recursos hídricos reforça a sua unidade científica, por meio da função integradora que a água exerce sobre os sistemas naturais e antrópicos.

Assim sendo e tendo-se em conta que os estudos geográficos podem contribuir para o diagnóstico e a prognose do comportamento de bacias hidrográficas, objetivando uma gestão solidária com as gerações atuais e futuras, a proposta deste trabalho consistiu, basicamente, em:

#### *1.3.1 - Objetivo geral*

Avaliar a disponibilidade hídrica superficial das sub-bacias das Lagoas do Morro do Forno e do Jacaré, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, considerando a dinâmica natural do ambiente e a intervenção humana.

#### *1.3.2 - Objetivos específicos*

1. Avaliar a evolução da ocupação do solo na área e suas implicações nos recursos hídricos.
2. Caracterizar os principais usos da água e seus conflitos reais e potenciais.
3. Avaliar as condições quantitativas dos recursos hídricos superficiais da área.
4. Estimar as condições qualitativas dos recursos hídricos superficiais, correlacionando-as com as características naturais da área de escopo e a sua forma de ocupação.
5. Verificar a existência de intrusão salina de origem marinha e seus condicionantes.

## **1.4 - Estrutura geral da Dissertação**

### **1.4.1 - Capítulo 1: Introdução**

Neste capítulo são tecidas considerações sobre a escassez dos recursos hídricos, destacando-se a sua fragilidade em ambientes costeiros. Além disto é feita uma apresentação da área de estudo com uma breve explanação da sua problemática para, em seguida, serem colocados os objetivos gerais e específicos do presente trabalho.

### **1.4.2 – Capítulo 2: Concepção teórico-metodológica**

Este capítulo inicia com uma ampla revisão conceitual das diversas técnicas de geoprocessamento e sua aplicação em estudos de bacias hidrográficas. Após, são analisados os princípios e as limitações da utilização de modelos hidrológicos para a avaliação quantitativa dos recursos hídricos. Na seqüência, são considerados os critérios legais para a análise da qualidade da água, assim como as vantagens e restrições dos métodos adotados para este fim. Posteriormente, são resgatados conceitos básicos pertinentes a ambientes estuarinos e sua dinâmica e, finalizando, tem-se um resumo das técnicas utilizadas nos estudos que serviram de base para a fundamentação metodológica do presente trabalho.

### **1.4.3 – Capítulo 3: Os sistemas lacustres estudados**

Este capítulo teve por objetivo localizar e caracterizar a área de estudo, destacando os principais condicionantes da sua dinâmica natural e seus efeitos na disponibilidade hídrica dos corpos d'água estudados. Para finalizar, é procedida uma análise do processo de ocupação antrópico e sua evolução até os dias atuais, dando-se ênfase aos impactos causados nos recursos hídricos.

### **1.4.4 – Capítulo 4: Metodologia adotada**

Neste capítulo estão especificados os dados utilizados e gerados para a avaliação da disponibilidade quantitativa das águas superficiais da área de estudo, bem como as características e as limitações do modelo adotado na simulação hidrológica. Além disto, estão sistematizadas todas as informações inerentes às

campanhas de coleta de água e sedimentos realizadas e os métodos empregados para a estimativa das condições qualitativas dos recursos hídricos em questão. Finalizando este capítulo, tem-se discriminadas as informações utilizadas e produzidas para a análise da influência estuarina na área de escopo, juntamente com as metodologias para a sua obtenção e interpretação.

#### *1.4.5 – Capítulo 5: Avaliação da disponibilidade hídrica*

Neste capítulo estão sistematizados os resultados gerados pela integração das técnicas de geoprocessamento com a modelagem hidrológica, bem como pelas campanhas de coleta de água e sedimentos e índices de qualidade adotados. No término da apresentação de cada conjunto de resultados, tem-se a respectiva análise e discussão.

#### *1.4.6 – Capítulo 6: A influência do ambiente estuarino do Rio Mampituba*

Este capítulo integra os resultados dos dados abióticos coletados em campanhas anteriores e nas definidas para o presente trabalho, com sua análise e discussão. No seu término, estão sintetizados os resultados obtidos com a análise da presença de bioindicadores de ambiente salino e a sua conseqüente interpretação.

#### *1.4.7 – Capítulo 7: Considerações finais*

Este capítulo representa o epílogo do trabalho desenvolvido nas sub-bacias lacustres do Morro do Forno e do Jacaré. Nele se resgata a relevância do estudo feito e a síntese dos resultados, assim como se avalia criticamente a metodologia utilizada. Ultimando, tem-se uma série de sugestões para futuros estudos com vistas à gestão integrada dos recursos hídricos em consonância com a legislação atual.

## **2 - CONCEPÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA**

*“ A água não é somente uma herança de nossos predecessores, ela é sobretudo um empréstimo dos nossos sucessores. Sua proteção constitui uma necessidade vital, assim como uma obrigação moral do homem para com as gerações presentes e futuras” (Art. 5º da Declaração Universal dos Direitos da Água).*

## 2 - CONCEPÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

### 2.1 - Introdução

O aprimoramento da representação da realidade tem sido, historicamente, uma constante busca para o ser humano preocupado em prever e controlar seu futuro. No entanto, a necessidade de organizar modelos cada vez mais precisos do mundo real tem-se intensificado ainda mais à medida que as relações entre sociedade e natureza vêm culminando com a degradação dos recursos naturais, juntamente com a deterioração do tecido social. Desta forma, a crise ambiental<sup>5</sup> observada em escala planetária requer, além de uma reavaliação de paradigma, instrumentos que promovam melhorias nas questões ligadas à gestão do espaço.

Neste sentido, o estímulo à investigação de novas formas de aquisição, armazenamento e manipulação de dados tem possibilitado progressos na elaboração de modelos espaciais.

No que concerne à análise de sistemas hidrológicos e, destacadamente, os situados em ambientes costeiros, a modelagem tem evoluído, gerando resultados interessantes para sua avaliação quali-quantitativa. A integração com os Sistemas de Informação Geográfica – SIG's -, ainda que existam limitações relacionadas principalmente à qualidade das informações disponíveis, representou um avanço no processo desta análise.

---

<sup>5</sup> Gonçalves (1988), refletindo sobre o tema ambiental coloca a sua preferência pelo termo “*degradação das condições de vida*”, considerando-o mais adequado para contemplar as duas dimensões envolvidas nesta questão, ou seja, “*as condições do homem e do seu-outro, a natureza*”. Isto explicita a imperiosa revisão da agonizante ideologia de que a natureza é mero palco das ações humanas.

Assim, mesmo tendo-se a certeza de que, modelar a realidade sempre implicará numa abstração, ou seja, na redução da sua inerente complexidade, as metodologias de representação espaço-temporal vêm desenvolvendo e agregando técnicas que constituem importantes ferramentas para o gerenciamento ambiental.

O desenvolvimento da investigação *in loco*, por sua vez, dada a crescente ênfase na busca de instrumentos mais eficientes para a aferição de parâmetros e para a coleta e preservação de amostras, entre outros aspectos, tem possibilitado ao pesquisador não somente a aquisição de dados mais precisos sobre uma determinada área, mas também a constatação do nível de coerência e exatidão de modelos adotados para a sua análise. Neste particular, a adoção de indicadores biológicos tem enriquecido a pesquisa, uma vez que o estudo da distribuição de espécies<sup>6</sup>, do seu comportamento e das suas necessidades tendem a esclarecer questões importantes sobre o meio no qual estas habitam e interagem.

Neste capítulo serão abordadas algumas das metodologias e respectivas técnicas que estão sendo aplicadas para a avaliação da disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas, destacando-se as submetidas à influência de sistemas estuarinos.

## **2.2 – O Geoprocessamento**

As técnicas de Geoprocessamento têm melhorado de forma substancial o conhecimento do espaço geográfico nas últimas décadas. Os exemplos de sua aplicação se multiplicam nas mais diversas áreas da atividade humana, conforme se constata em Rodrigues (1990), Aronoff (1991), Hasenack (1995), Bonetti Filho (1996), Figueiró (1997) e Mendes *et al.* (1999).

Aronoff define Geoprocessamento como um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para a armazenagem e manipulação de dados espaciais (Aronoff, 1989; *apud* Hasenack, 1995). Assim, a Cartografia

---

<sup>6</sup> Ehrlich (1993) analisa estas questões ligadas à Biogeografia, enfocando as interações entre as espécies e seu meio nutridor, demonstrando o quanto se pode conhecer da evolução de um área específica, através do estudo de “quem vive onde, hoje, e por quê”.

Digital, o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica fazem parte deste conjunto, uma vez que representam tecnologias que trabalham com dados localizados e distribuídos no espaço e que são passíveis de processamento automatizado. Para Rodrigues (1990), estas ferramentas representam “**sistemas em Geoprocessamento**” que, associados às técnicas e metodologias de aprimoramento de sistemas computacionais, têm desenvolvido sobremaneira o processo de modelagem da realidade.

Crain e Macdonald (1984; *apud* Hasenack, *op. cit.*) explicam que os sistemas de Geoprocessamento surgiram na década de 1960, estando voltados, em sua primeira fase de desenvolvimento, ao inventário e à organização de dados, como tipos de florestas e classes de solos. Sua segunda fase se deu em decorrência das demandas dos próprios usuários, que almejavam desenvolver, com base nos dados armazenados, operações estatísticas e técnicas de análise espacial. A terceira e atual etapa deste processo consiste, fundamentalmente, na utilização destes sistemas para a tomada de decisão.

Os resultados obtidos têm demonstrado a relevância do Geoprocessamento, tendo-se em conta a sua grande capacidade de armazenar dados, manipulá-los e atualizá-los, garantindo uma maior eficácia no monitoramento de variáveis físicas e sociais, o que faculta um melhor controle no processo de gestão. Entretanto, a qualidade dos dados que alimentam os seus sistemas é uma questão permanente a ser avaliada pelo pesquisador, notadamente no momento da interpretação dos produtos resultantes. Desta forma, ainda que as vantagens da utilização das técnicas de Geoprocessamento sejam várias, não se pode esquecer das limitações inerentes, por exemplo, aos processos de aquisição das informações e aos modelos para a sua manipulação.

### 2.2.1 – *Entrada e representação dos dados*

No banco de dados de um sistema de Geoprocessamento as informações são necessariamente georreferenciadas, isto é, seu atributo *z* está associado a coordenadas *x* e *y*. Esta característica do sistema permite a associação de dados a

um mesmo endereçamento, aperfeiçoando os modelos que visam à representação da variabilidade espacial.

#### 2.2.1.1 – Entrada de dados

Rodrigues (1990) faz uma importante discussão com referência ao arcabouço conceitual em Geoprocessamento, destacando a caracterização de “**entes**” como parte do processo de criação dos modelos do mundo real. Estes podem ser considerados “**discretos**”, como as propriedades rurais e as indústrias, ou “**contínuos**”, como os solos e as variáveis meteorológicas.

O método de aquisição de informações sobre estes entes também pode ser caracterizado como discreto ou contínuo. O método discreto corresponde a uma grande simplificação da realidade, cujas propriedades são primordialmente contínuas. O atributo temperatura de uma dada região, exemplificando, é uma variável que se identifica em cada ponto de coordenada  $x$  e  $y$  da mesma. Todavia, a forma mais comum de aquisição deste dado, até o momento, é feita por meio de estações meteorológicas distribuídas difusamente no espaço. Desta maneira, a variável contínua temperatura é obtida por amostragens discretas.

Uma forma de incorporar este tipo de informação ao banco de dados de um sistema de Geoprocessamento é através da digitalização. Este processo requer uma mesa digitalizadora com um cursor para a captura das coordenadas  $x$  e  $y$ . Estes elementos eletrônicos devem estar acoplados a um *software* específico para a Cartografia Digital ou a um módulo de digitalização do próprio sistema, a fim de que a informação possa ser transferida ao banco de dados. A digitalização pode corresponder a pontos isolados, no caso do atributo temperatura, ou a um conjunto de pontos, formando redes, como na drenagem, ou polígonos, como nos dados de solos. Para a aquisição do atributo elevação, a título de exemplo, é necessário, inicialmente, fixar um mapa topográfico na mesa digitalizadora. Isto feito, devem ser definidos  $x$  e  $y$  máximos e mínimos da superfície, de acordo com o sistema de coordenadas do mapa utilizado. A digitalização das curvas de nível se processará com a entrada sucessiva de pontos, constituindo linhas que apresentam do início

ao fim um conjunto específico de coordenadas  $x$  e  $y$ , o que garante a sua localização espacial no sistema.

A scanerização e a imagem de satélite em formato digital constituem os principais exemplos do método contínuo para obtenção de dados georreferenciados. A scanerização se processa de maneira eficiente por meio de scanners de mesa, que transferem para o formato digital mapas, fotografias e imagens diversas, armazenando a informação de forma contínua, por meio de uma estrutura de grade. A identificação das coordenadas  $x$  e  $y$  é realizada posteriormente, tendo-se um mapa básico, a partir do qual se reconhecem determinados pontos visíveis na imagem scanerizada. Este procedimento será explicado com mais detalhes no subitem 2.2.2 – *Processamento digital de imagens*.

Já as imagens de satélite são obtidas com base na amostragem das interações da radiação eletromagnética com a superfície terrestre por um sensor, apto a detectar e registrar a energia refletida ou emitida pelos diferentes alvos. Rosa (1989) esclarece que este tipo de dado resulta da conversão do sinal analógico, medido pelo sensor, em uma representação digital, capaz de ser armazenada numa mídia compatível com o sistema computacional.

As informações sobre a área imageada, a exemplo dos dados scanerizados, são organizadas em uma estrutura matricial, compostas por  $x$  linhas e  $y$  colunas, na qual cada unidade mapeada no terreno – *pixel* - possui um número correspondente aos seus valores de radiância, designado de número digital.

Green *et al.* (1996), considerando os processos interativos da energia para a geração deste tipo de imagem, explicam que, como a intensidade e o comprimento de onda das radiações selecionadas são uma função da própria superfície<sup>7</sup>, cada alvo pode ser descrito como possuindo uma resposta ou “**assinatura espectral**” característica, passível de ser identificada e individualizada.

A definição dos objetivos da pesquisa, entretanto, deverá indicar o sistema de satélite mais adequado para fornecer os produtos digitais, tendo-se em vista as resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal mais apropriadas. A propósito disto, os atuais avanços nas técnicas de aquisição de imagens orbitais, especialmente no que tange às resoluções anteriormente citadas, tendem a melhorar de forma significativa a capacidade de análise ambiental. Como exemplo, pode-se consultar as páginas da Internet do *United States Geological Survey Spectroscopy Lab*<sup>8</sup>, da *OrbiView Products and Applications*<sup>9</sup>, do *Space Imaging*<sup>10</sup> e do *Eos-Am Webpage*<sup>11</sup> nas quais é possível conferir alguns produtos de última geração.

Na tabela 1 são exibidos os sensores passivos e ativos<sup>12</sup> mais utilizados na análise ambiental, sobretudo em ambientes costeiros, com as respectivas aplicações mais usuais.

Tabela 1 – Sensores passivos e ativos, aplicados aos estudos ambientais, com ênfase à análise da dinâmica costeira e oceânica, conforme Green *et al.* (1996)

Nome ou tipo de plataforma	Nome do sensor	Status	Faixa de cobertura	Resolução espacial	Resolução temporal	Bandas espectrais	Aplicações principais
<b>Sensores passivos</b>							
Landsat 1-5	MSS ( <i>Multispectral Scanner</i> )	Operacional	185 Km	80 m	18 dias	2V, 2IVP	Mapeamentos

<sup>7</sup> Neste caso o albedo e o calor específico dos alvos são as propriedades físicas mais importantes na sua diferenciação, uma vez que interferem nos processos de absorção, reflexão, transmissão e reemissão da energia.

<sup>8</sup> <http://spclab.cr.usgs.gov>

<sup>9</sup> <http://www.orbimage.com/worbview.htm>

<sup>10</sup> <http://www.spaceimage.com>

<sup>11</sup> <http://eos-am-gsfc.nasa.gov>

<sup>12</sup> Sensores passivos são aqueles que detectam a energia refletida e/ou emitida da superfície terrestre. Sensores ativos emitem sinais que, interagindo com os alvos na superfície do planeta, retornam ao sensor, permitindo seu imageamento.

Landsat 4 e 5	TM ( <i>Thematic Mapper</i> )	Operacional	185 Km	30 m	16 dias	3V, 1IVP, 2IVM, 1IVL	Mapeamentos
SPOT ( <i>Systeme Probatoire de L'observation de la Terre</i> )	HRV ( <i>Haute Resolution Visible XS</i> )	Operacional	60 Km	20 m	26 dias	2V, 1IVP	Mapeamentos
SPOT	HRV ( <i>Haute Resolution Visible Panchromatic</i> )	Operacional	60 Km	10 m	26 dias	1V	Mapeamentos
NOAA 9-12 ( <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> )	AVHRR ( <i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i> )	Operacional	2.700 Km	1100-4000 m	12 horas	1V, 1IVP, 1IVM, 2IVL	Estudos atmosféricos e da temperatura superficial do mar
ERS-1 ( <i>European Remote Sensing Satellite</i> )	ATSR ( <i>Along Track Scanning Radiometer</i> )	Experimental	500 Km	1.000 m	3 dias	1IVM, 3IVL	Estudos da temperatura da superfície marinha
Aeronave	ATM ( <i>Airbone Thematic Mapper</i> )	Operacional	Variável	Variável	Tempo de voo	12 bandas (V a IVL)	Mapeamentos e estudos térmicos da superfície do mar
Aeronave	CASI ( <i>Compact Airborne Spectrographic Imager</i> )	Operacional	1,2 Km	2,5 m	Tempo de voo	15 bandas (V to IV)	Mapeamento e estudos da cor do oceano
Nimbus 7	CZCS ( <i>Coastal Zone Colour Scanner</i> )	Interrompido em 1986	1.566 Km	825 m	6 dias	4V, 1IVP, 1IVL	Estudos da cor do oceano
NASA Seastar ( <i>National Aeronautics Space Administration</i> )	SeaWiFS ( <i>Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor</i> )	Programado para ser lançado em julho de 1994	2.801 Km	1.100 m	12 horas	6V, 2IVP	Estudos da cor do oceano

DMSP F8-11 (Defense Meteorology Satellite Programme)	SSM/I (Special Sensor Microwave Imager)	Operacional	1.400 Km	12,5 Km	5 dias	4 bandas de microondas	Mapeamentos
IRS (Indian Remote Sensing Satellite)	LISS I (Linear Imaging Self-Scanning)	Operacional	148 Km	72,5 m	22 dias	3V, 1IVP	Mapeamentos
IRS	LISS II	Operacional	74 Km	36,4 m	22 dias	3V, 1NIR	Mapeamentos
MOS (Marine Observation Satellite)	MESSR (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer)	Operacional	100 Km	50 m	17 dias	2V, 2IVP	Mapeamentos
JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite)	OPS (Optical Sensor)	Operacional	75 Km	24 m	44 dias	2V, 3IVP, 3IVL	Mapeamentos
<b>Sensores Ativos</b>							
JERS - 1	SAR (Synthetic Aperture Radar)	Operacional	75 Km	18 m	44 dias	1 banda de microonda (banda L)	Mapeamentos
Aeronave	LIDAR (Laser Radar)	Operacional	Variável	Variável	Tempo de voo	1V, 1IV	Batimetria
Aeronave	SAR	Operacional	Variável	Variável	Tempo de voo	1 banda de microonda	Observação de cardumes
ERS-1	SAR	Operacional	100 Km	25 m	3 dias	1 banda de microonda (banda C)	Condições do oceano
Radarsat	SAR	Lançado em 1995	50 - 500 Km	9 - 100 m	Variável	1 banda de microonda (banda C)	Condições do oceano

Legenda: V = visível; IVP = infravermelho próximo; IVM = infravermelho médio; IVT = infravermelho termal.

### 2.2.1.2 – Representação dos dados

A representação computacional de dados geográficos requer estruturas capazes de contemplar a sua complexidade, uma vez que estes precisam incluir informações sobre posição no espaço, conexões e propriedades do atributo. Neste sentido, Burrough (1986) esclarece que existem duas maneiras, contrastantes e complementares, para se alcançar este objetivo, ou seja, através de um método explícito – *raster* –, no qual as formas são construídas a partir de uma grade de pontos; ou implícito – *vetorial* –, no qual as entidades espaciais são representadas por um conjunto de pontos que apresentam algum tipo de conexão.

A representação raster se caracteriza basicamente por ser um sistema matricial, constituído por células ou pixels, no qual cada uma é referenciada por uma *x* linha e uma *y* coluna, endereçada independentemente com o valor de um atributo mapeado. Segundo Burrough (*op. cit.*), este método assume que o espaço geográfico pode ser tratado como se fosse uma superfície cartesiana plana, na qual cada pixel ou célula é associada a uma determinada área no espaço mapeado. Desta forma, a resolução ou escala dos dados raster passa a ser uma relação entre o tamanho do pixel no banco de dados e o tamanho da célula no terreno. Esta característica possibilita a sobreposição de planos bi-dimensionais ou *overlays*. Como cada célula neste tipo de arranjo só pode conter um único número, correspondente a um determinado atributo, a sobreposição de camadas acaba sendo um meio agregador de informação de distintos atributos, descritos e mapeados separadamente. A estrutura multidimensional assim resultante está mais próxima de representar o conjunto de informações que compõem o mundo real.

Estas facilidades em se combinar mapas numa estrutura simples de dados como a raster tem propiciado significativos progressos na análise espacial. A incorporação de informações inerentes a uma mesma área tem facultado o aprimoramento de simulações aplicadas às diferentes modelagens. Contudo, este método ainda apresenta problemas relativos ao processamento e armazenamento de um volume expressivo de dados. Além disto, o modelo raster apresenta limitações no que tange à identificação e manipulação de objetos individualmente

(Alves, 1990). Este seria o caso da representação de rodovias e da drenagem, por exemplo.

A representação de entidades espaciais por meio do formato vetorial visa a um resultado geometricamente mais próximo da realidade, de acordo com Burrough (1986). Neste caso, ao contrário do método raster, as coordenadas espaciais são consideradas contínuas. O conjunto de pontos, linhas e polígonos, característicos desta estrutura, não cobrem áreas, mas apresentam coordenadas interconectadas, às quais um dado atributo pode ser relacionado. Assim, os pontos são representados por um simples par de coordenadas  $x$  e  $y$ , sendo que se deve também armazenar a informação respectiva à propriedade mapeada nos mesmos. As linhas são construídas a partir de segmentos lineares obtidos de duas ou mais coordenadas  $x$  e  $y$ . Portanto, uma simples linha exige a armazenagem de um ponto inicial e um ponto final, com os dois pares específicos de coordenadas, mais o registro do atributo a ela agregado. Na aquisição de redes, a conectividade das linhas traçadas se dá através do auxílio de "nós". Entretanto, este processo possui o inconveniente de apresentar redundância de dados, uma vez que as coordenadas em cada nó são armazenadas todo o tempo. Quanto à representação de polígonos são necessários alguns cuidados para se evitar a sobreposição de linhas ou a formação de "ilhas", isto é, áreas sem identificação. O importante é lembrar que o conjunto de dados de um polígono deve ter capacidade de descrever as características topológicas de uma referida área, com sua forma, vizinhança e hierarquia, podendo, desta maneira, ser manipulado e exibido como um mapa temático (Burrough, 1986).

O método vetorial tem a vantagem de ser esteticamente mais acessível ao reconhecimento, porque procura representar o objeto tão exatamente quanto possível. Ele também ocupa um espaço menor no banco de dados dos sistemas, uma vez que utiliza um número pequeno de pontos comparado ao raster. Além do mais propicia uma eficiência maior na descrição de informações topológicas, como na análise de redes e na resolução de gráficos. No entanto, algumas desvantagens igualmente estão associadas a esta estrutura como de ser mais complexa, de

dificultar operações de sobreposição e de não contemplar de forma eficiente a variabilidade espacial.

Analisando-se os dois formatos de dados, brevemente caracterizados acima, fica evidente, mais uma vez, que a representação da realidade sempre incorporará as limitações inerentes à percepção humana e seus recursos. Por conseguinte, a associação conjunta destes métodos de representação acaba somando as vantagens e restringindo as limitações, especialmente na atualidade, quando os sistemas de Geoprocessamento já apresentam subprogramas que convertem uma estrutura em outra, recuperando dados no formato mais adequado ao objetivo do estudo.

### *2.2.2 – Processamento digital de imagens*

O processamento digital de imagens, em especial as orbitais, constitui uma das etapas fundamentais para a análise de informações adquiridas de forma contínua. O objetivo é alcançar uma melhor capacidade de discriminação dos alvos.

Eastman (1998) destaca quatro operações principais do processamento digital: correção, realce, classificação e transformação de imagens.

#### *2.2.2.1 – Correção de imagens*

A interação com a atmosfera, as possíveis interferências do próprio sensor, as pequenas variações na faixa imageada pelo satélite, assim como a possibilidade de ocorrência de uma variedade de distúrbios quando da recepção e processamento dos dados finais transmitidos pelo sensor são alguns fatores que acabam comprometendo a qualidade da imagem recebida. Assim sendo, é necessário, inicialmente, se utilizar técnicas de correção de imagens, para que os efeitos destes fatores de degradação possam ser removidos ou minimizados.

A correção de imagens compreende dois procedimentos básicos: o radiométrico e o geométrico. A correção radiométrica corresponde à remoção ou diminuição de distorções registradas nos valores digitais (níveis de cinza) de uma

imagem. Estas distorções podem ser provocadas, por exemplo, pela alta concentração de vapor d'água na atmosfera, que induz a elevação uniforme dos valores; pela descalibração dos detectores, que pode produzir listras ou faixas na imagem; por problemas na transmissão dos dados a partir do sensor, que se traduzem em ruídos aleatórios; e pela perda de sinal de específicos detectores, gerando falhas nas linhas de varredura. As técnicas utilizadas para a resolução destes problemas estão descritas com detalhe em Richards (1995).

A correção geométrica ou retificação é um procedimento que objetiva reorganizar os pixels de uma imagem em relação a um dado sistema de projeção cartográfica, com vistas a corrigir distorções provocadas pelo movimento de rotação da Terra e pela instabilidade da plataforma no momento da aquisição do produto orbital. Para tanto é realizada uma reamostragem dos pixels da cena imageada, mediante a identificação de pontos que possam ser facilmente identificados na imagem e na base cartográfica a ser utilizada. Este tipo de transformação, baseada em pontos de controle no terreno – PCTs -, é apontada por Crósta (1993) como a de melhor precisão no processo de correção geométrica. Todavia, é importante considerar que o resultado final está na dependência da correta identificação e posicionamento dos PCTs, o que é realizado, na maioria das vezes, de maneira interativa pelo usuário.

Nas imagens estes pontos são identificados por suas coordenadas x linha e y coluna, enquanto no mapa básico estes são localizados pelo respectivo sistema de coordenadas geográficas. Crósta (1993) explica que a base conceitual deste método é o estabelecimento das diferenças de posicionamento de alguns pontos na imagem e no mapa. Tendo-se esta informação, pode-se estimar a natureza da distorção existente na imagem e proceder a sua correção.

A seleção dos pontos deve, preferencialmente, contemplar aqueles que não modifiquem facilmente a sua posição espacial ao longo do tempo, como bifurcações de estradas e pontes. O uso de GPS's – *Global Positioning System* – podem contribuir na localização de pontos não identificados no mapa, melhorando, portanto, o processo de correção geométrica. O GPS corresponde a um sistema de posicionamento desenvolvido originariamente pelo Departamento de Defesa dos

EUA para fins militares. Seu conceito básico é o da triangulação por satélites. A técnica de levantamento empregada é definida, fundamentalmente, pela necessidade de exatidão requerida na identificação dos pontos. Assim, caso esta não seja muito elevada, um receptor individual de GPS pode ser usado para medições no limite de 30 metros de uma localização correta. Para aplicações que exigem elevado nível de exatidão, modelos de GPS Diferencial podem obter precisões de 0,5 cm (O'Regan, 1996).

O tamanho da imagem também é outro elemento a ser considerado na correção geométrica, visto vez que influi no número de pontos desejáveis para a reamostragem. Isto implica que, para uma imagem de 1.000 x 1.000 pixels, são necessários pelo menos de 6 a 10 pontos de controle (Crósta, 1993). Na verdade, quanto maior e mais distribuída for a malha de pontos de controle, mais exata tende a ser a retificação da imagem.

Após a identificação dos pontos, a transformação das coordenadas é modelada através de um polinômio linear, geralmente de primeira ordem, determinado pelo método dos *mínimos quadrados*. É importante que o programa utilizado para esta transformação esteja apto para verificar antecipadamente os erros resultantes dos ajustes entre os PCTs e seus equivalentes na imagem, para eliminação daqueles que, individualmente, apresentem erros elevados. O limite de erro tolerável é de aproximadamente um pixel (30 metros para uma imagem do Landsat TM-5).

Analisados individualmente os erros para cada ponto, é aplicada a transformação na imagem original, gerando-se uma nova imagem por meio de uma reamostragem por interpolação<sup>13</sup>, que estará corrigida conforme a projeção cartográfica do mapa utilizado.

---

<sup>13</sup> Crósta (1993) esclarece que o processo de correção geométrica de uma imagem através de PCTs gera uma nova imagem, na qual os pixels não mais correspondem espacialmente aos da imagem primitiva. Desta forma, é necessário definir o número digital dos pixels do *grid* corrigido, através da sua interpolação.

A reamostragem por interpolação, a seu turno, é alcançada por meio de vários métodos que apresentam precisões diferenciadas. Crósta (1993) destaca os seguintes como mais comuns no processamento de imagens de satélite: vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica.

A técnica da interpolação também é utilizada para a estimativa do valor de um dado atributo não amostrado em uma área definida. O item 2.2.3 faz uma discussão específica deste tipo de interpolação extremamente importante para a avaliação da variabilidade espacial de propriedades físicas e sociais.

#### 2.2.2.2 – Realce

O realce de imagens tem por objetivo facilitar sua visualização mediante procedimentos de modificação radiométrica. Para tanto, são aplicadas, principalmente, técnicas de manipulação de contraste e de geração de composições coloridas.

Crósta (*op. cit.*) explica que o contraste de uma imagem é uma medida do espalhamento dos níveis de cinza da mesma. A freqüência da distribuição destes valores é representada por um gráfico designado de histograma. Assim, quanto maior for o contraste da imagem, mais espalhada é a representação do histograma. As técnicas usuais para a manipulação de contraste são as de *realce linear de contraste*, *realce linear com saturação de contraste* e *equalização de histograma*.

O realce linear de contraste possibilita a criação de uma imagem nova por meio de uma função linear simples, na qual o valor do pixel atualizado é obtido a partir do antigo (Richards, 1995). Nesta técnica o formato do histograma não se altera, uma vez que o espaçamento entre as barras verticais é mantido constante. Assim, o realçamento da imagem deriva do melhor espalhamento das populações de pixels.

O *realce linear com saturação de contraste* possibilita a produção de uma imagem com alvos melhor discriminados, à medida que agrega algum valor de saturação nos extremos do histograma. Para tanto, o usuário define os percentuais

de pixels que devem ser saturados em cada extremidade para serem agrupados em um mesmo valor, enquanto os valores restantes são realçados linearmente. Esta técnica também pode ser muito útil para as imagens que apresentam áreas com uma distribuição restrita de níveis de cinza, com setores muito claros ou muito escuros. Neste caso, Eastman (1998) explica que o usuário deve estabelecer um novo escalonamento dos níveis de cinza, determinando o intervalo mínimo e o máximo que será saturado.

A *equalização de histograma* é considerada por Richards (1995) uma importante técnica para realce de imagens. Isto se viabiliza através de uma expansão ou contração na distribuição dos níveis de cinza, que tende a melhorar o seu espalhamento no histograma. Crósta (1993) destaca que este procedimento é útil para o realçamento de imagens que apresentam extensas áreas com intensidade uniforme, podendo revelar detalhes não perceptíveis na imagem.

A formação de uma *composição colorida* se associa a procedimentos avançados de combinação de bandas e ampliação de contraste. Crósta (*op. cit*) explica que nesta técnica são combinadas três bandas espectrais, sendo que a cada uma é atribuída uma cor primária (azul, verde ou vermelho).

#### 2.2.2.3 – Classificação

A classificação digital de imagens tem por fim a identificação dos componentes de uma cena por meio de técnicas de análise de dados, geralmente espectrais, em ambiente computacional. O êxito na obtenção de classes representativas da cobertura do solo depende, principalmente, da existência de um conjunto de bandas espectrais que possam contemplar distintas assinaturas radiométricas, representativas das classes de interesse, e da capacidade do pesquisador em determiná-las.

As metodologias para a classificação de imagens consideram a abordagem estatística para o reconhecimento de padrões. Em síntese, o procedimento consiste em uma fase de treinamento na aquisição das amostras, outra de avaliação de sua eficiência, uma terceira de classificação propriamente dita e a

posterior de aferição do resultado obtido. Assim, o processo de definição de classes de uso do solo a partir de imagens orbitais não dispensa um conhecimento prévio da área a ser classificada, bem como eventuais verificações *in loco* no decorrer do mesmo.

Há dois procedimentos analíticos consagrados para a classificação de imagens de satélite: o *supervisionado* e o *não supervisionado*. Richards (1995) faz referência a um terceiro, resultante da fusão dos referidos anteriormente, designado *metodologia híbrida supervisionada-não supervisionada*.

A *classificação supervisionada* se baseia na identificação de “áreas de treinamento”, determinadas pelo analista a partir de amostras de pixels representativos das classes de interesse na imagem. Nesta etapa são geradas “assinaturas” oriundas das amostras, tendo-se em conta variáveis estatísticas que analisam os níveis de cinza típicos para cada classe. O resultado dependerá do tipo de classificador a ser utilizado. No caso da classificação que utiliza o método do *paralelepípedo*, são considerados os valores máximos e mínimos do número digital em cada banda espectral. Para o classificador por *mínima distância*, as assinaturas representam os vetores médios das amostras em cada classe. Na classificação por *máxima verossimilhança* tanto vetores médios da classe quanto as matrizes de covariâncias constituem as assinaturas. Portanto, definido o treinamento, o classificador selecionado é chamado para agrupar todos os pixels da imagem, através das classes originalmente propostas.

Na *classificação não supervisionada* não é exigida uma prévia informação sobre as classes de interesse, uma vez que se trata de um procedimento estatístico, fundamentado na análise dos agrupamentos espectrais ou “clusters”, que predominam naturalmente na imagem. Desta forma, após a segmentação em agrupamentos, estes são associados às classes de cobertura do solo pelo pesquisador, que deverá ter, logicamente, um bom conhecimento da área de estudo para aceitar ou não as imagens de uso do solo então produzidas.

#### 2.2.2.4 – Transformação

As imagens orbitais podem ser ainda transformadas, com vistas a melhorar a sua aplicação no gerenciamento ambiental. Para este propósito, Eastman (1998) destaca duas técnicas: *índices de vegetação* e *análise por componentes principais*.

A aplicação de índices de vegetação tem por base as particularidades da interação entre a vegetação e a energia eletromagnética nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo<sup>14</sup>. De acordo com Eastman (*op. cit.*), o índice mais difundido é o denominado *Índice de Vegetação de Diferença Normalizada – NDVI*, que pode ser obtido pela divisão da diferença das bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V) pela soma destas mesmas bandas, ou seja,  $NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$ . O resultado desta técnica se traduz em uma medida relativa da biomassa de uma área considerada.

A análise por componentes principais – PCA – corresponde a uma técnica de transformação linear relacionada com análise fatorial, na qual um conjunto de bandas espectrais gera um novo conjunto de imagens, designadas de “componentes”, que estão “decorrelacionadas” entre si e ordenadas em função da variância do conjunto de bandas primitivo. Consoante Eastman (1998) esta técnica se aplica muito bem à compactação de dados, uma vez que as duas ou três primeiras componentes podem ser capazes de explicar, virtualmente, toda a variabilidade original. Neste caso, a exclusão das últimas componentes não implica na perda de informação importante. O autor igualmente ressalta a utilidade desta técnica na avaliação de mudanças e tendências, por ocasião de um monitoramento ambiental, quando se tem acesso a imagens de datas distintas.

---

<sup>14</sup> A vegetação apresenta respostas espectrais distintas, conforme a porção do espectro eletromagnético que se considere. Hoffer (1978) explica que, na banda do visível, a pigmentação das folhas consiste no fator dominante, sendo que a maior parte da energia incidente é absorvida e a remanescente é refletida. Na faixa do infravermelho próximo o controle é feito pela estrutura interna das folhas, o que resulta em aproximadamente 50% da radiação incidente refletida, algo em torno de 50% transmitida e apenas uma pequena parte é absorvida na folha. O teor de umidade da vegetação também é outro fator de controle da reflectância, mas já na faixa do infravermelho médio. A presença da água absorve uma boa parte da energia incidente, sendo o restante refletido. A combinação destas bandas, portanto, contribui para o monitoramento da cobertura vegetal de uma área imageada.

### 2.2.3 - Métodos de Interpolação

A interpolação é o procedimento de estimar valores ignorados, através da utilização dos valores conhecidos em uma vizinhança próxima (Aronoff, 1991).

Burrough (1986) coloca que, na média, pontos próximos uns dos outros apresentam maior probabilidade de que seus atributos tenham valores similares, em comparação com os pontos mais afastados. Assim, como o padrão real de variabilidade espacial das propriedades de uma determinada área, por exemplo as relacionadas ao meio-ambiente, não pode ser observado exclusivamente através da amostragem, pode-se interpolar o valor de uma dada propriedade situada entre dois pontos amostrados por meio de ajuste em modelos adequados de variação. Assim sendo, é fundamental a escolha correta do modelo. Os resultados então obtidos serão sempre uma função da qualidade dos dados de entrada e da adequação do modelo, ou seja,  $f(x) = f(\text{dados}) + f(\text{modelo})$ . Além disto, é importante considerar que a eficiência do resultado da interpolação depende do número e da distribuição dos pontos conhecidos (Aronoff, *op. cit.*).

Burrough (*op. cit.*) comparou métodos de interpolação, destacando suas vantagens e restrições, tendo-se em conta as dimensões e características da área a ser interpolada, bem como o nível de exatidão do interpolador. Neste sentido, ele ressaltou principalmente os métodos de interpolação pela determinação dos contornos, os de análise de superfícies de tendência, os de Séries de Fouriers, os de *Splines*, os que utilizam médias móveis e os de ótima interpolação.

A seguir serão discutidos brevemente os dois métodos de interpolação mais difundidos atualmente.

#### 2.2.3.1 – Utilizando médias móveis

Neste método o valor de uma variável  $z$ , em um ponto não amostrado, é obtido pelo cálculo de um valor médio de uma vizinhança ou “janela”. O tamanho destas “janelas” influencia, definitivamente, a forma de saída dos dados, à medida que as estreitas enfatizam pequenas variações e as amplas as reduzem em favor dos efeitos em grandes faixas. A superfície resultante da interpolação pela média

ponderada é dependente da função ou dos parâmetros da função utilizada, assim como do tamanho do domínio ou janelas, a partir das quais são obtidas as amostras.

A utilização de médias móveis é, essencialmente, um método de suavização, assim máximos e mínimos na superfície interpolada só podem ocorrer nos dados da amostra. A estimativa de erros é dificultada, a menos que seja calculada retrospectivamente.

#### 2.2.3.2 - Krigagem

O desenvolvimento desta metodologia foi motivado pelas incertezas inerentes a vários métodos de interpolação. Estas dificuldades se relacionam às necessidades de definição das dimensões do domínio ou "janela", de determinação da forma e da orientação de uma ótima interpolação, de verificação da existência de outros meios mais eficazes para estimar ponderadores que uma simples função da distância e de identificação dos erros associados aos valores interpolados (Burrough, 1986).

Na Krigagem – *Kriging* – os pesos ( $\lambda_i$ ) são escolhidos de forma a otimizar a função de interpolação. O método está fundamentado no reconhecimento de que a variação espacial de qualquer propriedade, como água subterrânea e solo, é muito irregular para ser modelada por uma função matemática plana, sendo mais apropriadamente descrita por uma superfície estocástica<sup>15</sup>. Assim, o primeiro procedimento é o da exploração para, após, ocorrer a modelagem estocástica, a partir da qual são estimados os ponderadores para a interpolação.

O sucesso da Krigagem advém da base oferecida pela teoria da variável regionalizada que foi descrita por Burrough (*op. cit.*). Em mapeamentos a Krigagem opera a interpolação de valores a partir de pontos amostrados, gerando uma grade regular mais fina. Os valores interpolados, então, podem ser convertidos para a

---

<sup>15</sup> Mendes (1994) explica que "*sistemas estocásticos*" são aqueles nos quais qualquer variável incluída é considerada ao acaso, de acordo com alguma probabilidade de distribuição.

produção de um mapa. A estimativa de erros também é passível de ser mapeada, a fim de se verificar o nível de confiabilidade dos valores obtidos.

Apesar da ampla difusão da Krigagem como método geoestatístico, ela é recomendável apenas para os casos em que as tendências locais estão bem definidas. A ocorrência de componentes aleatórias de grande magnitude dificulta a distinção das tendências, tornando as vantagens do método não muito atrativas, em face da sua complexidade.

Portanto, a qualidade da informação, bem como a existência de um maior número possível de pontos amostrados são, mais uma vez, requisitos básicos para o bom desempenho desta e de qualquer metodologia que objetive contemplar, da melhor forma possível, a variabilidade espaço-temporal de propriedades contínuas.

#### 2.2.4 – Modelo Digital do Terreno

Um Modelo Digital do Terreno - *MDT* - corresponde a uma representação da variabilidade contínua do relevo. Trata-se de um subproduto dos SIG's muito utilizado em estudos que exigem a avaliação dos efeitos da topografia na dinâmica de processos naturais, como na análise de bacias hidrográficas, tendo-se em conta os fluxos de matéria e energia inerentes aos fenômenos hidrológicos.

A geração de um MDT requer a entrada de dados georreferenciados do atributo topográfico, que pode ser a cota altimétrica, obtida através da digitalização de curvas de nível em um mapa topográfico, ou de curvas batimétricas adquiridas a partir da digitalização de cartas náuticas ou de mapas batimétricos. Estes dados vetoriais representam um arquivo de pontos que serão transformados no ambiente do SIG para o formato raster. Após a determinação das dimensões da grade é procedida a interpolação dos dados, resultando em uma matriz, na qual cada célula ou pixel apresenta um valor para o considerado atributo topográfico.

A inserção da rede de drenagem característica da área de estudo, no caso específico da propriedade altitude, torna-se uma informação importante para que o produto gerado seja o mais próximo possível da realidade. Segundo Abednego *et al.* (1990), por meio deste procedimento são determinados os pontos mais baixos

da topografia e corrigidas as posições máximas e mínimas, a fim de que o modelo traduza um escoamento contínuo nos talvegues. Feito o teste e os ajustes, o MDT é então produzido na forma 3D, contendo a localização espacial - latitude e longitude - e a propriedade mapeada - altitude ou profundidade.

A partir dos MDTs é possível ainda a obtenção de outras informações relativas às características morfológicas de uma determinada área. Assim, por meio de subprogramas dos SIG's são gerados parâmetros como orientação (aspecto) e declividade de vertentes, que representam importantes informações para a aplicação de modelos hidrológicos. Neste sentido, Mediondo *et al.* (1998) esclarecem, por exemplo, que a curvatura do perfil, definida como a taxa de variação da declividade na direção do aspecto é decisiva para a aceleração ou desaceleração dos fluxos de água sobre o terreno, enquanto a curvatura do plano<sup>16</sup> influencia a acumulação da umidade e dos fluxos de superfície e subsuperfície. A integração destes fluxos, por sua vez, origina a "área acumulada" que permite a delimitação automática de sub-bacias e da rede de drenagem. O algoritmo que comanda este processo está ilustrado no exemplo da figura 2. Assim, a área acumulada é produzida a partir do somatório das células na direção indicada pelos fluxos, que se dirigem das áreas mais altas (células escuras) para as mais baixas (células claras).

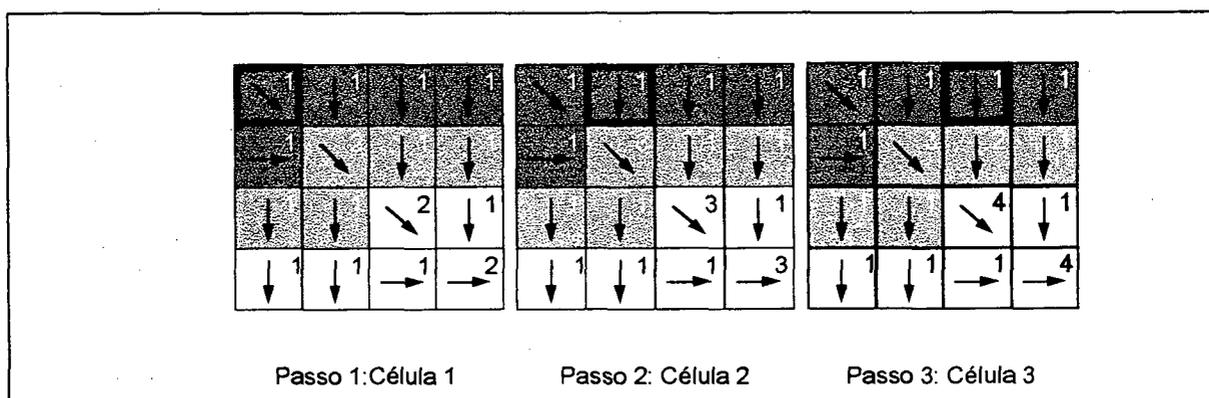


Figura 2: Exemplo de estimativa da área acumulada conforme Mediondo *et al.* (1998); Obs.: a célula marcada é indicadora do valor a ser considerado.

<sup>16</sup> Curvatura do plano corresponde à variação do aspecto ao longo das isolinhas de altitude, dada em graus/m (Collinschonn *et al.*, 1998)

As aplicações do MDT são várias e podem ser constatadas em trabalhos como os de Bonetti Filho e Furtado (1996), que analisaram o relevo de fundo de uma desembocadura lagunar, localizada no Litoral Sul do Estado de São Paulo, e de Mendes (1996), que utilizou esta metodologia na avaliação do balanço hídrico no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, e de Merot e Ezzahar (1992) que avaliaram a sua contribuição em estudos de solos hidromórficos.

### **2.3 – Os estudos em bacias hidrográficas**

Como já foi afirmado anteriormente, a necessidade inadiável de regar os múltiplos usos da água tem exigido estudos cada vez mais complexos da dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas. Isto se observa de forma mais intensa à medida que a própria legislação federal preconiza, entre outros objetivos, assegurar às gerações atuais e futuras uma adequada disponibilidade hídrica<sup>17</sup> e, como uma das diretrizes gerais de ação, o gerenciamento sistemático deste bem, sem dissociar questões de quantidade e qualidade<sup>18</sup>.

Para se viabilizar o proposto acima, mister se torna aperfeiçoar metodologias e técnicas de estudos das bacias. Esta questão, por sua vez, implica no constante aprimoramento dos processos de aquisição, de atualização e de manipulação de dados representativos do fenômeno analisado. No entanto, para que se possa concluir sobre o significado das informações adquiridas e dos modelos delas gerados, é indispensável um bom conhecimento da realidade investigada. Desta maneira, o pesquisador deve não somente estar familiarizado com a metodologia adotada, mas conferir e, eventualmente, corrigir os resultados obtidos, mediante checagens de campo.

---

<sup>17</sup> Capítulo II, art. 2º, inciso I da Lei 9.433/97.

<sup>18</sup> Capítulo III, art. 3ª, inciso I da Lei 9.433/97.

### 2.3.1 - Modelos hidrológicos: princípios e limitações

A modelagem hidrológica tem sido utilizada para a simulação do comportamento de bacias hidrográficas, tendo-se em vista tanto a dinâmica do ambiente natural quanto os efeitos de intervenções humanas provocadas de forma proposital ou não nas mesmas. É claro que a complexidade inerente à variabilidade espacial das propriedades do meio-ambiente reduz os modelos a abstrações da realidade. Todavia, a agregação da análise espacial tem significado um diferencial na produção de modelos hidrológicos, como se poderá constatar a seguir.

#### 2.3.1.1 – A caracterização dos modelos hidrológicos

Há maneiras distintas de se caracterizar os modelos em Hidrologia. Abednego *et al.* (1990) citam dois critérios, quais sejam, o da discretização espacial e o da utilização de parâmetros. De acordo com estes autores, os mencionados critérios deram origem a um conjunto de modelos opostos: o conceitual, contrário ao "caixa preta"; e o modelo global, oposto ao regional.

Os modelos considerados "caixa preta" apenas estabelecem uma relação funcional entre eventos pluviométricos e a vazão medida no exutório da bacia. Abednego *et al.* (*op. cit.*) explicam que neste caso os algoritmos se fundamentam na teoria dos sinais. Assim, a chuva corresponde a um sinal de entrada transformado para a bacia em sinal de saída, no débito do exutório. Isto exige, para a entrada, séries cronológicas representativas do evento chuva-vazão, que permitam a extração da denominada "função de transferência". Neste tipo de modelo a dimensão espacial é ignorada.

Na abordagem dos modelos conceituais, os mecanismos físicos do sistema estudado devem ser representados e expressos, na medida do possível, pelas equações da hidráulica. Abednego *et al.* (*op. cit.*) consideram que o significado físico dado aos parâmetros representa uma vantagem decisiva para a avaliação de modificações procedentes, por exemplo, de impermeabilizações do solo e da retificação de cursos d'água.

Os modelos globais baseiam sua hipótese na simplificação de que a bacia hidrográfica responde aos eventos climáticos na sua totalidade (Roche, 1986; *apud* Abednego *et al.*, *op. cit.*). Não se consideram a repartição espacial e a posição respectiva das diferentes classes de ocupação do solo, quando da introdução de parâmetros para a caracterização do conjunto da bacia. Neste exemplo se enquadram os modelos para reservatórios em cascatas ou os de hidrograma unitário. Em Mendes (1996), este tipo de metodologia é enquadrada na categoria de modelo concentrado, no qual os parâmetros e variáveis, ainda que considerados no âmbito da sua variabilidade temporal, são representados, ao longo do espaço, por um único valor médio.

Para os modelos regionais, a distribuição no espaço das classes de ocupação do solo tem papel fundamental. Desta forma, esta metodologia deve refletir o escoamento em cada classe e transferi-lo de uma a outra, conforme a geometria da bacia. Para contribuir com esta abordagem, Abednego *et al.* (1990) sugerem a utilização de modelos conceituais do tipo "malha" (raster), que dividem a bacia em células. Assim, cada célula será descrita pelos seus respectivos parâmetros físicos. Neste caso, o escoamento é calculado por equações hidráulicas, através de cada célula e de uma a outra. Esta modelagem se insere na categoria dos modelos distribuídos citados por Mendes (1996).

Na figura 3 podem ser visualizados os modelos concentrados e distribuídos.

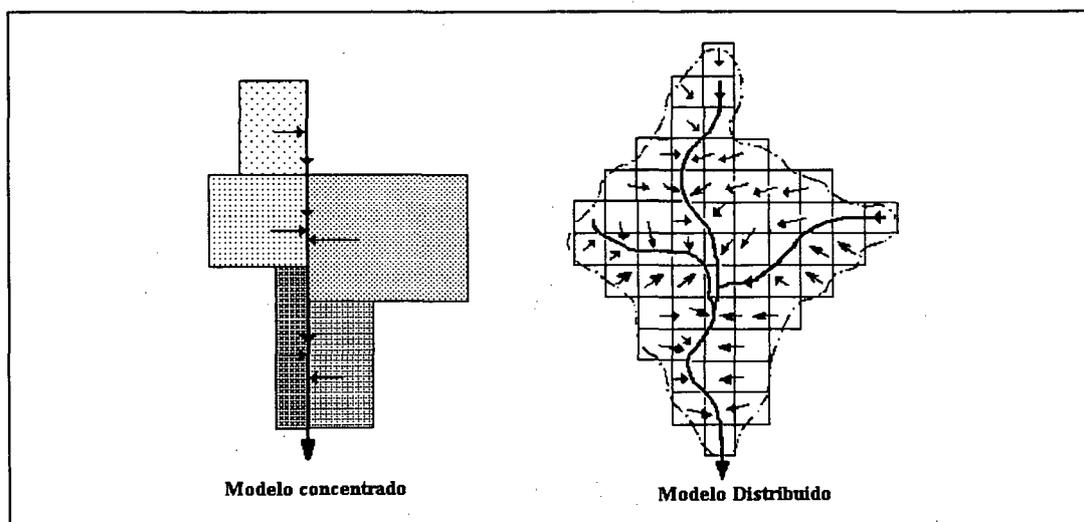


Figura 3: Representação dos modelos concentrado e distribuído conforme Mendes (1996)

### 2.3.1.2 – Limitações da modelagem

Modelos globais e concentrados apresentam a facilidade de serem simples e distorcerem um restrito número de parâmetros. Por outro lado, não possibilitam uma análise satisfatória da evolução do comportamento de uma bacia, uma vez que não contemplam a variabilidade espacial das propriedades consideradas para a análise dos fenômenos hidrológicos. Desta maneira, modificações, por exemplo, no tipo de cultivo desenvolvido em uma determinada bacia, que se refletem sobre o coeficiente de escoamento ao longo da mesma, não são expressas de forma adequada por este tipo de abordagem. Por conseguinte, simulações hidrológicas do tipo global não se aplicam a uma previsão eficiente de impactos, conforme argumentam Abednego *et al.* (1990).

Já os modelos distribuídos ou tipo “malha” propiciam uma avaliação mais consistente dos efeitos de alterações ambientais no comportamento hidrológico de bacias hidrográficas. Isto resulta da sua grande flexibilidade em agregar diferentes propriedades em uma única célula, ou seja, topografia, tipo de cobertura do solo, propriedades do substrato e seus reflexos em variáveis hidrológicas, como infiltração e escoamento entre outras. Além disto, eles apresentam a vantagem de promoverem uma convergência mais rápida dos resultados da simulação (Abednego *et al.*, *op. cit.*).

Contudo, nesta metodologia há que se considerar as limitações relacionados com o tamanho da célula e com as dificuldades na aquisição e representação dos dados. Assim, um *grid* com resolução espacial mais detalhada, no qual serão considerados vários parâmetros descritivos para uma boa representação física da bacia, irá produzir um sistema complexo e muito exigente em tempo de cálculo. Estes problemas estão sendo contornados graças à associação da modelagem hidrológica com os SIG's, conforme atestam Abednego *et al.* (*op. cit.*) e Mendes (1996).

Independentemente dos diferentes níveis de integração oportunizados pelos SIG's, os produtos gerados neste ambiente estão todos relacionados a uma base de dados georreferenciados. Isto é muito importante para os estudos hidrológicos

implementados através de modelos regionalizados ou distribuídos, que consideram a variabilidade espacial de descritores como a topografia e o tipo de ocupação do solo. Assim, utilizando-se o MDT é possível a derivação de outras informações úteis para a análise hidrológica como a delimitação de sub-bacias, a obtenção de índices de convexidade do terreno e de forma da bacia hidrográfica. O tipo de cobertura do solo também tende a ser mais detalhado com esta metodologia, mediante o concurso do processamento digital de imagens orbitais, que possibilitam, por exemplo, a extração de índices de vegetação, que contribuem para a avaliação do comportamento hidrológico da bacia.

Desta maneira e tendo-se em conta que a modelagem hidrológica, bem como outras tantas formas de representação de fenômenos complexos, apresenta vantagens e limitações, Abednego *et al.* (1990) destacam os seguintes critérios que devem ser contemplados para a escolha da modelagem:

1. O objetivo da simulação, bem como a precisão pretendida.
2. A disponibilidade de dados.
3. Os equipamentos de informatização e sua lógica, assim como seu domínio para uma modelagem definida.

Com base nestes critérios o pesquisador poderá conduzir o estudo da bacia hidrográfica com um menor nível de incerteza.

### 2.3.2 - Métodos de análise qualitativa: vantagens e restrições

Um dos grandes fatores responsáveis pela escassez de água em âmbito mundial é, indubitavelmente, a sua contaminação por distintas fontes. Neste particular, resíduos procedentes de atividades urbanas, industriais e agropastoris, conjugados com a extinção e/ou intensa fragmentação de sistemas naturais por sistemas antrópicos têm comprometido seriamente a qualidade dos recursos hídricos, provocando a redução da sua disponibilidade e, conseqüentemente, o aumento de conflitos entre os diversos usuários. Além disto, inúmeras populações,

em escala planetária, têm sido vitimadas por doenças que proliferam nos ambientes aquáticos degradados.

Pelo que se pode perceber, a qualidade dos principais corpos de água de uma bacia hidrográfica pode revelar aspectos importantes da sua forma de ocupação, bem como ensejar estratégias para o seu gradativo melhoramento. Entretanto, a avaliação consistente e contínua das características qualitativas dos recursos hídricos é um verdadeiro desafio, tendo-se em conta as dificuldades que advêm desde as inerentes limitações das metodologias conhecidas até os custos elevados para a instalação e manutenção de uma rede eficiente de estações de monitoramento.

A seguir serão considerados alguns métodos para a avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas, juntamente como suas vantagens e restrições. É importante notar, todavia, que as análises qualitativas dos recursos hídricos, apesar das limitações acima mencionadas, representam subsídios não negligenciáveis para o estímulo a uma gestão consciente e responsável deste bem cada vez mais escasso e finito.

#### 2.3.2.1 – Classificação das Águas – CONAMA 20/86

O advento da Resolução nº 20 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA -, em 18 de junho de 1986, significou um marco relevante para a construção de um gerenciamento coletivo da qualidade das águas superficiais brasileiras, no qual a sociedade e o Poder Público compartilham direitos e deveres. Esta Resolução teve o grande mérito de criar um sistema de classificação para as águas doces, salobras e salgadas, determinando para cada classe uma qualidade mínima, assim como os respectivos usos preponderantes. No caso específico das águas doces, foram estabelecidas cinco classes, que se sucedem em ordem decrescente de qualidade, conforme se pode constatar na tabela 2.

A partir deste sistema classificatório, a Resolução em apreço definiu, entre outras normas, as condições para a emissão de efluentes nas águas superficiais, a proibição do lançamento de poluentes nas águas subterrâneas e de qualquer

resíduo de origem antrópica nas águas de Classe Especial. Além disto, instituiu um importante instrumento para a sua aplicação, ou seja, o *enquadramento das águas*<sup>19</sup>. Este, que culmina com a decisão oficial sobre a classe que determinado trecho ou corpo d'água deve ter a contar de uma data definida, independentemente das suas atuais condições de qualidade, deve resultar de um trabalho conjunto entre o Estado, os usuários e a população representativa de uma bacia hidrográfica<sup>20</sup>.

Tabela 2 – Classificação das águas brasileiras, conforme Resolução N° 20/86 – CONAMA

ÁGUAS DOCES	
Classe	Usos preponderantes
Especial	Abastecimento doméstico, sem prévia ou com simples desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
Classe 1	Abastecimento doméstico após tratamento simplificado; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rente ao solo e que sejam ingeridas cruas, sem remoção de película; Criação natural e/ou Intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Classe 2	Abastecimento doméstico após tratamento convencional; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário; Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; Criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Classe 3	Abastecimento doméstico após tratamento convencional; Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Dessedentação de animais.
Classe 4	Navegação; Harmonia paisagística; Usos menos exigentes
ÁGUAS SALINAS	

<sup>19</sup> O art. 2º, letra “b”, da Resolução n° 20/86 do CONAMA define o enquadramento como “... *estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado e/ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo.*”

<sup>20</sup> Neste sentido, a Lei 9.433/97 previu a criação das *Agências de Água*, que terão a função de Secretaria Executiva, subsidiando técnica e financeiramente os comitês de bacia. Assim, é da sua competência, entre outras atividades importantes, propor ao respectivo ou respectivos comitês, o “... *enquadramento dos corpos de água nas classes de uso ...*”. (Art. 44, inciso XI, letra “a”)

<b>Classe 5</b>	Recreação de contato primário; Proteção das comunidades aquáticas; Criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
<b>Classe 6</b>	Navegação comercial; Harmonia paisagística; Recreação de contato secundário.
<b>ÁGUAS SALOBRAS</b>	
<b>Classe 7</b>	Recreação de contato primário; Proteção de comunidades aquáticas; Criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
<b>Classe 8</b>	Navegação comercial; Harmonia paisagística; Recreação de contato secundário.

Entretanto, o acompanhamento e controle de todos os parâmetros definidos para cada classe da Resolução nº 20/86 – CONAMA – é praticamente inexecutável, especialmente, em função dos custos envolvidos neste processo. A rigidez dos limites estabelecidos também é alvo de críticas, visto que um único parâmetro que não atenda o padrão estipulado na referida Resolução implicará no rebaixamento da classe do corpo de água considerado.

Apesar destes inconvenientes, o enquadramento continua representando um importante referencial para a gestão dos recursos hídricos do país, devendo a experiência prática no âmbito das diversas bacias hidrográficas promover a sua adequação.

### 2.3.2.2 – Os índices de qualidade da água – IQAs

Além da classificação há outros métodos para se estimar as condições qualitativas dos corpos de água. No que concerne aos índices de qualidade, constata-se a sua aplicação tanto para fins de diagnóstico e monitoramento, quanto para viabilizar mecanismos de compensação financeira<sup>21</sup> a municípios que,

<sup>21</sup> Decreto 974/91 do executivo paranaense que regulamentou a Lei Complementar 59/91, conhecida como “Lei do ICM Ecológico”, definindo para o cálculo dos percentuais relativos aos municípios contemplados a variação anual do Índice de Qualidade da Água, entre outras variáveis. (Samek e Roorda, 1995).

por exemplo, estejam situados em áreas de mananciais destinados ao abastecimento público para outras unidades administrativas.

Um índice de qualidade pode ser entendido como **“... uma forma de medida derivada da relação de um grupo de variáveis para uma escala comum, sendo combinadas em um único número”**, conforme Scottish Development Department (1976; *apud* Leite e Fonseca, 1995, p.250). Para que o índice possa ser representativo das condições atuais de qualidade e possa refletir as mudanças de forma adequada, os autores enfatizam que é necessário que o grupo em questão contenha os parâmetros mais significativos de uma série de dados. Logo, a aplicação de índices impõe a definição prévia dos parâmetros a serem utilizados na avaliação da qualidade das águas de um determinado sistema hidrográfico, tendo-se em consideração, fundamentalmente, as peculiaridades do ambiente natural e os usos dominantes de seus recursos hídricos.

Desta maneira, o número representativo do índice de qualidade da água – IQA -, é resultante de uma síntese de valores de diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, com vistas a expressar a qualidade de um sistema hídrico. Definida a metodologia, os valores são agregados dando origem ao valor do IQA, que, posteriormente, é classificado em faixas de qualidade, fornecendo assim uma indicação relativa das condições ambientais de um determinado corpo d'água no momento da coleta das amostras.

Kishi (1991) destaca as principais funções dos índices de qualidade, colocando-os como:

1. Um instrumento complementar na interpretação de dados, contribuindo para uma prévia avaliação dos resultados.
2. Uma forma de representação numérica da qualidade da água, facultando um meio para o julgamento da eficácia de programas de controle ambiental.
3. Uma maneira de comparar qualitativamente a água em escala espaço-temporal.

4. Uma forma de comunicação explícita entre os técnicos e o público, mantendo a população informada com referência aos níveis e a localização da poluição.

Todavia, Kishi (1991) ressalta a pouca aplicação dos IQAs para a tomada de decisões que exijam um conhecimento detalhado e preciso do corpo d'água. Portanto, não se pode esquecer que estes índices são apenas indicadores das condições qualitativas de um recurso hídrico, num tempo e local definido.

No trabalho desta autora também pode-se encontrar uma síntese de alguns índices formulados para um uso geral da água, que seguem as linhas da análise da estrutura de covariância, de opinião de especialistas e de classificação não paramétrica, como o de Horton (1965), o da National Sanitation Foundation – NSF (1976) e o de Harkins (1974), respectivamente. Em Comitesinos (1990) igualmente se pode encontrar referências sobre estes dois últimos índices, bem como outros aplicados para usos específicos da água como o de O'Connor, modificado e aplicado na cidade de Brasília.

Entre os índices acima citados, o NSF tem sido o mais amplamente testado em diferentes bacias hidrográficas, devido à facilidade da sua aplicação e ao fato de ser satisfatoriamente compreendido pela população interessada (Comitesinos, *op. cit.*). Desenvolvido pela National Sanitation Foundation, em 1970, utiliza uma metodologia estatística, baseada em pesquisa de opinião entre especialistas em água, denominada “**Método Delphi**”, objetivando obter informações relativas à seleção, transformação, ponderação e agregação de variáveis, conforme esclarecem Leite e Fonseca (1995). Os problemas surgem quando não há um consenso entre os profissionais consultados, com referência à importância do peso relativo dos parâmetros.

Para a sua aplicação, são analisados nove parâmetros, de acordo com Comitesinos (1990):

1. Oxigênio dissolvido (OD);
2. Coliformes fecais (CF);

3. Fosfato total (PO<sub>4</sub>);
4. pH;
5. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>);
6. Desvio de temperatura de equilíbrio;
7. Nitrato (NO<sub>3</sub>);
8. Turbidez (Turb);
9. Sólidos totais (SS).

Para o seu cálculo, o modelo multiplicativo é o mais utilizado, uma vez que apresenta uma boa sensibilidade quando um reduzido número de parâmetros exibe uma baixa qualidade relativa. Além disto, no que tange às propriedades matemáticas, torna-se o mais indicado, porque não permite a ocorrência de eclipse<sup>22</sup> e de ambigüidades. A sua fórmula é dada pela expressão a seguir, na qual  $w_i$  equivale ao peso do iésimo parâmetro e o  $q_i$  a qualidade relativa do iésimo parâmetro:

$$IQA = \prod q_i^{w_i}$$

O IQA, assim obtido, pode variar numa escala de zero a cem, diretamente proporcional à qualidade da água do corpo d'água considerado.

Este método foi adotado com modificações para a bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul, quando da execução do programa de monitoramento desta bacia, em 1989. Neste caso foram mantidos os parâmetros adotados pelo NSF, com exceção da temperatura de equilíbrio, considerada dispensável pela comissão técnica responsável. Esta decisão foi tomada tendo-se em conta, fundamentalmente, que a maioria dos rios do Estado não apresentam

---

<sup>22</sup> A "eclipse" é um problema matemático, que se manifesta quando pelo menos uma variável apresenta um escore de baixa qualidade e esta situação não é refletida pelo índice geral, o que produz um resultado tendencioso com referência a estimativa da qualidade ambiental. (Ott, 1978; *apud* Leite e Fonseca, 1995.)

problema de poluição térmica. Assim, a manutenção deste parâmetro tenderia sempre a aumentar o valor do IQA. Além disto, os técnicos concluíram que a variação máxima de aproximadamente 5% verificada no IQA, com referência tanto à exclusão quanto à permanência do parâmetro destacado, não é significativa para o nível de precisão alcançado por este índice. Desta maneira, foi eliminada a temperatura na análise do IQA, tendo sido redistribuídos os pesos entre os parâmetros restantes.

Na tabela 3 estão listados os parâmetros e os respectivos pesos adotados pelo NSF e pelo Comitesinos, para o cálculo do IQA, e na tabela 4 as respectivas faixas de qualidade por estes consideradas. Cabe explicar que a seleção destas faixas, feita pela comissão técnica do Comitesinos, ocorreu em virtude da sua representação intermediária entre um nível de detalhamento e uma simplificação, bem como pelo fato de serem as mais amplamente utilizada.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados e valores dos pesos atribuídos para os Índices de Qualidade da Água NSF e Comitesinos

IQA	PARÂMETROS E RESPECTIVOS PESOS (wi)								
	OD	CF	pH	DBO <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SS	Turb	T°C
NSF	0,17	0,15	0,12	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,10
Comitesinos	0,19	0,17	0,13	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	-

Fonte: Comitesinos (1990) e Leite e Fonseca (1995)

Tabela 4 – Faixas de Qualidade do IQA utilizadas pelo Comitesinos e NSF

FAIXAS IQA	QUALIDADE
0 – 25	Muito ruim
26 – 50	Ruim
51 – 70	Regular
71 – 90	Bom
91 – 100	Excelente

Fonte: Comitesinos (1990) e Leite e Fonseca (1995)

A avaliação da presença de substâncias tóxicas, como metais e agrotóxicos, não pode ser incluída em índices mais gerais, aplicáveis a áreas com diferentes características ambientais, em face de problemas relacionados à sua baixa

concentração espaço-temporal, conforme explica Dunnette (1979; *apud* Comitesinos, 1990). Este problema foi minimizado pela NSF por meio da aplicação de um Índice de Toxidez (IT). Este índice consiste em uma variável binária, que assume o valor zero sempre que um elemento tóxico detectado ultrapasse o padrão permitido e a unidade no caso contrário. Assim, a faixa de qualidade final do ponto amostrado será obtida multiplicando-se o valor calculado para o IQA pelo IT.

Os parâmetros e padrões para a adoção do IT pelo Comitesinos estão ilustrados na tabela 5 e foram definidos em decorrência dos usos da água dominantes na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, assim como do padrão ambiental exigido pelo CONAMA.

Tabela 5 - Padrões adotados pelo Comitesinos para a aplicação do Índice de Toxidez, em mg/l

Metais pesados	Padrões classes 1 e 2 (área predominantemente rural)	Padrões classes 3 e 4 (área predominantemente urbana)
Cádmio	0,001	0,01
Chumbo	0,03	0,05
Cobre	0,02	0,5
Cromo total	0,1	0,1
Mercúrio	0,0002	0,002 <sup>1</sup>
Níquel	0,025	0,025
Zinco	0,18	5,0

Fonte: Comitesinos (1990), com modificações; <sup>1</sup> o limite máximo segundo o CONAMA é de 0,0002 mg/l para todas as classes de água doce.

Mais uma vez é importante frisar que os índices de qualidade da água, baseados em parâmetros físico-químicos e microbiológicos, são indicadores da qualidade de um recurso hídrico no momento e no local amostrado. A correta distribuição de pontos de coleta, a sucessão de amostragens criteriosas e o rigor nas análises acompanhadas dos respectivos cálculos do IQA é que irão contribuir para a avaliação de possíveis impactos, oriundos da forma de ocupação da bacia hidrográfica, ao longo do tempo e do espaço.

### 2.3.2.3 – Métodos biológicos

Mais complexos, mas em contrapartida muito mais eficientes na identificação das reais condições de qualidade de um corpo d'água, são os métodos biológicos. A sua complexidade está relacionada à necessidade de um conhecimento consistente da ecologia do ecossistema aquático e sua eficiência está em permitir a análise da intensidade da degradação, mediante o estudo direto dos efeitos em biocenoses representativas.

Tuffery (1979) ressalta que todo ser vivo tem preferências ou exigências específicas com relação aos distintos fatores físico-químicos e biológicos do ambiente. Assim sendo, a ocorrência de determinadas populações de indivíduos, bem como suas várias formas de interação com outras espécies e com o meio abiótico irá caracterizar um certo equilíbrio nos sistemas aquáticos. Logo, perturbações impostas ao ambiente provocam transtornos profundos na estrutura das populações. Conforme o referido autor, estes transtornos se manifestam por uma alteração na dominância relativa de espécies distintas, acompanhados de substituição na flora e na fauna, podendo culminar com a extinção completa de biocenoses mais sensíveis.

Os métodos biológicos para a identificação de problemas de poluição hídrica têm como princípios, segundo Tuffery (1979):

1. Investigação das espécies indicadoras da qualidade da água, encontradas em uma lista de organismos classificados em função de seu comportamento frente às populações.
2. Estudo e caracterização das variações de estruturas biocenóticas, expressas por índices empíricos e matemáticos.

Os fundamentos do Método dos Índices Bióticos, assim como seu cálculo, e o emprego de índices matemáticos de diversidade de biocenoses podem ser encontrados em Tuffery (*op. cit.*). Um trabalho prático da aplicação de índices

bióticos, juntamente com o do Índice de Comparação Seqüencial<sup>23</sup>, aplicados para análise de comunidades bentônicas, pode ser verificado em Navas-Pereira (1995), que utilizou estes métodos associados ao Índice de Saprobidade<sup>24</sup> na avaliação de plânctons, com vistas ao diagnóstico por biomonitoramento em ecossistemas lóticos e lênticos (represas), em São Paulo.

Verneaux (1979) faz uma importante reflexão sobre as vantagens e restrições da utilização de métodos biológicos, em comparação com os de análises físico-químicas. Consoante este autor, após a definição do ecossistema aquático, é necessário conhecer suficientemente a sua anatomia – estruturas – e a sua fisiologia – fenômenos e mecanismos, a fim de que se possa evitar a realização de “... **mutilações intempestivas** ...”, oriundas de um manejo inadequado. Este conhecimento é ainda bastante imperfeito. No entanto, o que se pode aferir tem a vantagem de indicar a intensidade e o alcance da poluição, uma vez que o impacto da contaminação é materializado nas comunidades aquáticas e persiste além das fases agudas de poluição, podendo, inclusive, ser cumulativo. O autor lembra ainda que a determinação do efeito biológico global é muito menos aleatória que a determinação quantitativa de substâncias, cujas concentrações na água são, em geral, excessivamente baixas. Isto explica o porquê da dificuldade de se identificar fontes de poluição, analisando-se exclusivamente o elemento água, notadamente em corpos lóticos, que se caracterizam por um tempo muito pequeno de residência da água circulante, e em ambiente rural, notabilizado pela dispersão de poluentes. Além disto, é enfatizado que

**“... frente ao perigo permanente de uma classificação arbitrária dos sistemas aquáticos em categorias utilitárias que oficializam as populações, convém assinalar a existência de estruturas ecológicas precisas, que reflitam as vocações dos diversos tipos de sistemas aquáticos, cujo estudo permite obter algumas bases racionais de atuação.” (Verneaux, 1979, p.327)**

---

<sup>23</sup> Cairns *et al.* (1968 e 1971; *apud* Navas-Pereira, 1995).

<sup>24</sup> Sládeček, (1976; *apud* Navas-Pereira, *op. cit.*).

A aplicação de métodos biológicos é, pois, mais um recurso importantíssimo para a gestão dos recursos hídricos. A sua integração com métodos de análise físico-química e microbiológica tende a aprimorar o monitoramento qualitativo da água, o que, por si só, justifica o desenvolvimento de pesquisas neste sentido.

É importante considerar, ainda, que a moderna forma de gerenciamento dos recursos naturais se dá através da abordagem sistêmica, o que torna a observação de Trudgill (1977; *apud* Gregory, 1992) cada vez mais pertinente. Segundo este autor o meio-ambiente é um sistema mutuamente reativo, o que torna extremamente difícil isolar e discutir pontos especializados de forma simples, sem que se seja tentado a discutir toda interação e inter-relações aí existentes. Assim, a aplicação do enfoque sistêmico representa um avanço na pesquisa dos recursos hídricos, especialmente para aqueles que almejam o cumprimento da Lei 9.433/97, que preconiza como um dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, ***“assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”<sup>25</sup>***.

#### **2.4 - O estudo de ambientes estuarinos**

Os ambientes estuarinos representam um importante setor a ser considerado no âmbito da análise de bacias hidrográficas costeiras. Isto se justifica tanto pela singularidade da sua hidrodinâmica e produtividade biológica, resultantes da interface entre águas continentais e oceânicas, quanto pelos efeitos procedentes de sua intensa ocupação e exploração antrópica.

Desta maneira, a avaliação da disponibilidade hídrica de bacias que integram sistemas estuarinos, bem como seu ordenamento, deverá considerar as trocas de matéria e energia entre ambientes tipicamente continentais, ou seja, de águas doces, e os de transição entre estes e os marinhos, nos quais as águas se misturam na dependência de fatores como correntes de marés, geometria do estuário e descarga fluvial.

---

<sup>25</sup> Art. 2º, inciso I, Lei 9.433/97.

Para tanto, é conveniente proceder algumas considerações de caráter teórico relativas aos conceitos clássicos e modernos de estuário, aos critérios para a sua classificação, bem como à dinâmica hidrológica e aos processos de sedimentação que os caracterizam, com ênfase à propagação salina ao longo do sistema.

### 2.3.1. Conceituação de estuário

A construção de um conceito sistêmico de estuário evoluiu de uma abordagem exclusivamente física para uma que incorporasse não somente geometria, mecanismos de circulação e o comportamento químico, mas também processos como os de geração de matéria-orgânica e de organização biológica das comunidades bióticas. Os avanços na identificação e caracterização dos ambientes estuarinos tendem, pois, a fornecer elementos importantes para o desenvolvimento de critérios de classificação que visem à perspectiva ecológica, principalmente nestes ambientes tão sujeitos às intervenções humanas.

Na revisão dos conceitos clássicos, foi possível constatar que apenas as características físicas e/ou geológicas dos estuários eram fundamentalmente contempladas. Isto é observado em Pritchard (1967; *apud* Yáñez-Arancibia, 1987), que define estuário como um ***“corpo de água costeiro semi-confinado, com uma conexão livre com o mar e dentro do qual a água do mar se dilui mensuravelmente com a água doce que provém da drenagem continental”***. Yáñez-Arancibia (*op. cit.*) chama a atenção para as limitações deste conceito, explicando que o mesmo não considera a variabilidade regional de algumas propriedades importantes para a sua análise, como por exemplo, as peculiaridades das marés, que diferem de um ambiente para outro, podendo ser desprezíveis ou significativas a ponto de influir muito além do limite da intrusão salina; ou ainda a diversidade de climas, que pode ser árido o suficiente para não possibilitar um aporte de água doce por longo tempo ou também promover um isolamento temporário do mar, por meio da formação de barreiras arenosas.

Outros conceitos de estuário, por serem muito rígidos quanto a um determinado aspecto, acabam excluindo sistemas com comportamento

hidrodinâmico similar. Este é o caso da proposta de Fairbridge (1980; *apud* Bonetti Filho, 1995) ao explicá-lo como sendo **“um braço de mar que atinge um vale fluvial tão distante quanto o limite superior da maré”**, dando à forma o maior peso para a sua individualização, diferenciando-o de ambientes que apresentam um comportamento hidrológico semelhante, como as lagunas. Entretanto o próprio Fairbridge (1968; *apud* Bonetti Filho, *op. cit.*) reconhece a existência de **“sistemas estuarino-lagunares”**, capazes de apresentar grandes variações ambientais e dotados de uma elevada complexidade geométrica e hidrodinâmica.

A definição de laguna costeira sugerida por Lankford (1977; *apud* Yáñez-Arancibia, 1987) não obstante a falta de inclusão dos elementos fluviais e de salinidade, é mais abrangente, ao colocá-la como uma **“depressão da zona costeira situada abaixo do ponto médio maior das marés mais altas, tendo uma comunicação permanente ou efêmera com o mar”**. De acordo com Yáñez-Arancibia (*op. cit.*) este conceito tem a vantagem de considerar o aspecto da maré e ser amplo o suficiente para incorporar outras depressões costeiras como baías semicerradas, pântanos e estuários.

A revisão das principais características geofísicas de um estuário culminou com a introdução do termo **“zona estuarina”** pelo *National Research Council – Geophysics Study Committee*, no final da década de 1970, conforme atestou Miranda (1990; *apud* Bonetti Filho, 1995). Com base nesta proposta, o estuário, bem como as demais áreas de transição subordinadas direta ou indiretamente ao mesmo, como lagunas, canais, deltas e banhados, passam a ser designados por esta expressão.

Day e Yáñez-Arancibia (1982; *apud* Yáñez-Arancibia, 1987) buscaram uma conceituação com enfoque ecológico, através do que eles denominaram de **“meio ambiente lagunar-estuarino”**, explicando que o mesmo se trata de um **“ecótono costeiro, conectado com o mar de maneira permanente ou efêmera”**. A designação de *ecótono* já embute o caráter transicional destes ecossistemas, que compreenderiam corpos de água superficiais, semi-abertos, contendo volumes, temperaturas e salinidades que oscilariam, em conformidade com as condições

locais de clima e hidrologia. Os autores se aprofundam nessa proposta ecossistêmica, esclarecendo que

“A complexidade da matriz biótico-ambiental, as alternativas do fluxo energético e as adaptações biológicas dos organismos outorgam a este sistema características de estabilidade ecológica em um ambiente fisicamente variável, mas frágil às mudanças induzidas pelo homem ... ” (Day e Yáñez-Arancibia, 1982; *apud* Yáñez-Arancibia, 1987, p.5)

Odum (1988), assume uma conceituação genérica para estuário dizendo ser **“uma massa de água costeira semifechada que possui uma ligação livre com o mar aberto”**, esclarecendo também a forte influência das marés e a existência da mistura da água marinha com a doce, oriunda do continente. Para ele, uma foz de rio, uma baía costeira, um alagado marinho e massas de água associadas às depressões formadas entre cristas praias seriam exemplos de estuários. O autor igualmente pondera sobre a adequação de se considerar os estuários como ecótonos, uma vez que, segundo este, muitos de seus atributos físicos e biológicos são exclusivos e não transicionais. Questões ligadas aos usos e abusos destes ambientes pelas atividades antrópicas foram também abordadas, evidenciando a necessidade de se contemplar a variável ecológica na sua análise.

Kjerfve (1989; *apud* Bonetti Filho, 1995) formulou uma definição sistêmica para estuários, contemplando a do *National Research Council*, mas tornando-a mais abrangente, na avaliação de Bonetti Filho, visto que discrimina os segmentos do sistema. Assim, aquele autor identifica para os sistemas estuarinos as seguintes **“zonas”**:

1. Zona de Maré do Rio (ZR): que abrange o trecho fluvial e contém água doce, mas que está sujeita às oscilações da maré.
2. Zona de Mistura (ZM): que constitui o estuário propriamente dito e se distingue pela mistura das distintas massas de água (dulcícolas e marinhas) e, portanto, pela elevada variabilidade espaço-temporal das propriedades físico-químicas.

3. Zona Costeira (ZC): que equivale à região costeira do entorno, caracterizada por uma maior turbidez e menores valores de salinidade, quando comparadas ao ambiente próximo.

Bonetti Filho (*op. cit.*) ressalta as vantagens desta definição no âmbito das Geociências e da análise ecológica, uma vez que a mesma se aplica a diferentes sistemas costeiros cujo funcionamento é similar. Além disto, o referido autor explica que é preciso ter-se em conta a dinamicidade dos limites entre as zonas propostas por Kjerfve, que podem variar em escalas de tempo que abrangem desde um simples ciclo completo de maré até eras geológicas. Outro fato a considerar é que estas zonas não irão necessariamente ocorrer de forma simultânea em um determinado sistema estuarino. Os sistemas submetidos a pequena amplitude de maré, situados em regiões áridas ou semi-áridas podem não apresentar a ZR, conforme exemplifica Bonetti Filho (*op. cit.*). Da mesma maneira, durante as cheias em rios de vales estreitos, a ZM pode desaparecer temporariamente no interior do canal, ficando todo o processo de mistura na ZC. Em épocas de estiagem, quando o aporte fluvial é pequeno, a ZC se restringe, podendo praticamente desaparecer.

O zoneamento dos fenômenos estuarinos também aparece, na análise de Coutinho (1986), como um recurso para a identificação de áreas que apresentam sensibilidades distintas em função dos usos preponderantes. Assim, o citado autor coloca em evidência:

1. Zona Fluvial: caracterizada por uma crescente atenuação da corrente de maré enchente (fluxo), com referência à corrente de vazante (refluxo), o que deve ser considerado quando da localização de um emissário;
2. Zona Central: localizada no limite da intrusão salina, no setor de máxima concentração de material em suspensão e de poluentes, devendo ser o mais precisamente dimensionada, tanto no que concerne à sua extensão quanto à sua dinâmica, em face da instalação de empreendimentos como bacias portuárias, por exemplo.

3. Zona Jusante: dependente das características hidrodinâmicas próprias do estuário, que por sua vez variam em decorrência das condições de descarga e de marés; a realização de obras nos canais e o lançamento de rejeitos no sistema podem modificar a circulação estuarina, alterando, por conseguinte, o padrão de dispersão das substâncias.
4. Zonas Marginais: extremamente importantes para a manutenção do sistema, notadamente quando apresentam áreas úmidas, que são responsáveis pela fixação e acumulação de sedimentos e, portanto, pela depuração do ambiente estuarino.

Como se pode observar, a análise dos sistemas estuarinos, por definição, deve buscar abranger o melhor possível a complexa interação entre as variáveis abióticas e bióticas produtora da sua dinâmica natural, assim como as perturbações que se constata na mesma em virtude da ação antrópica.

#### 2.4.2. Hidrodinâmica e condicionantes

Conforme Coutinho (1986), a passagem de ambientes fluviais para os submetidos à influência de maré gera importantes alterações hidrodinâmicas. Neste sentido, a mudança se dá de um escoamento unidirecional para um movimento alternado, no qual se observam períodos de imobilidade (estofa).

Bonetti Filho (1995) explica que, num estuário típico, a água salobra flui pela camada superficial no sentido do mar, enquanto a água marinha se introduz pelas camadas inferiores no sentido contrário àquela, se misturando e modificando as propriedades físico-químicas do ambiente. Em Wood (1971) pode-se encontrar mais uma vez que, nestas condições, a intrusão salina é afetada pela oscilação da maré, a geometria do estuário e a descarga fluvial.

Os diferentes graus de mistura das águas doce e salgada, dependentes dos fatores acima e também do vento, como lembra Coutinho (*op. cit.*), ordenam o padrão de circulação estuarina. Processos advectivos, ou seja, de transporte de uma propriedade por movimento de massa, e difusivos, isto é, de deslocamento motivado pela existência de gradientes de concentração, respondem pelas trocas

entre as distintas parcelas de água, de acordo com Dyer (1973; *apud* Bonetti Filho, *op. cit.*). A mistura resultante é, pois, o fenômeno físico mais importante que advém da combinação dos efeitos destes processos. Bonetti Filho (*op. cit.*) destaca que, de modo geral, os processos de mistura associados ao transporte em pequena escala espaço-temporal são ocasionados pela componente difusiva, enquanto os de grande escala decorrem da advecção.

Percebe-se, assim, que modificações manifestadas em qualquer um dos fatores responsáveis pela indução desta mistura podem resultar em alterações importantes na hidrodinâmica do estuário. Isto se torna particularmente relevante na gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas costeiras, cujos usos podem influir nos processos de propagação salina ao longo do ambiente estuarino.

#### 2.4.2.1 – Sistemas de classificação de estuários

Nas propostas de classificação de ambientes estuarinos dominam os critérios geomorfológicos e hidrodinâmicos. Yáñez-Arancibia (1987) efetivou uma interessante análise de algumas destas propostas, com vistas a conferir o seu alcance prático em uma abordagem ecológica destes ambientes.

No sistema de classificação de enfoque geomorfológico, o mencionado autor destaca o de Pritchard (1967; *apud* Yáñez-Arancibia, 1987) com 4 tipos, ao qual foi acrescentado um quinto, por E. P. Odum (1972; *apud* Yáñez-Arancibia, *op. cit.*). Este esquema está sintetizado na tabela 6.

Tabela 6 - Classificação de estuário baseada no enfoque geomorfológico

Tipo de Estuário	Característica
Estuários de vales fluviais inundados	Localizam-se perpendicularmente à costa, com amplas desembocaduras; a bacia é em forma de V; o acesso ao mar é direto; a profundidade é média; ocorre a presença de um ou mais rios.
Estuários do tipo fiorde	Estão perpendiculares ou diagonalmente situados no litoral; a bacia é em forma de U; o acesso é direto ao mar; na desembocadura apresentam depósitos de morainas.
Estuários formados por frente de barreira arenosa	Situam-se paralelos à costa; a bacia é ampla e superficial; o contato com o mar é limitado; pode apresentar ou não rios.

Estuários formados por processos tectônicos	Localizam-se paralelamente ao litoral; as bacias e desembocaduras são amplas; apresentam bancos de areias entre rochas aflorantes; são profundos, com ou sem rios.
Estuários de delta de rios	São perpendiculares a diagonais à costa; a bacia exibe canais e sedimentação elevada; são superficiais; apresentam um rio caudaloso.

Fonte: Yáñez-Arancibia (1987)

Com referência ao critério hidrodinâmico, Pritchard (1952, 1955, 1967; *apud* Yáñez-Arancibia, *op. cit.*) sugeriu três classes. De acordo com esta classificação os estuários estão divididos em:

1. Estuário altamente estratificado ou de cunha salina: neste caso o fluxo do rio predomina sobre o efeito da maré e a estratificação é pronunciada. Wood (1971) ressalta que neste tipo de estuário, acima da interface, a água doce flui com quase nenhuma mistura, enquanto abaixo a salinidade é praticamente a mesma do mar. Não há fluxo líquido no interior da cunha quando a mesma se encontra numa posição estacionária. Entretanto, a "**tensão de cisalhamento**", na interface com a água doce, força a circulação na cunha salina a avançar no fundo e fora da mesma.
2. Estuário parcialmente misturado ou moderadamente estratificado: neste tipo as influências dulcícolas e marinhas são aproximadamente análogas, sendo que a mistura turbulenta, provocada pelas marés, funciona como um atenuante da estratificação. Wood (*op. cit.*) considera que a maioria dos estuários acaba se enquadrando nesta classe, visto que apresentam um gradiente de salinidade tanto horizontal quanto vertical. Bonetti Filho (1995) informa que nesta categoria os estuários são geralmente rasos, ostentando correntes de marés relativamente expressivas, com um aumento no valor da salinidade a partir da cabeceira. O autor ainda destaca que o fluxo dirigido ao continente tem capacidade suficiente para transportar material em suspensão até o limite da intrusão salina, onde a turbidez normalmente é máxima. Com

referência a isto, Coutinho (1986) lembra que a mescla das águas favorece a floculação dos sedimentos finos, que procedem principalmente da zona de turbidez máxima. Esta zona, por sua vez, se origina do efeito de retenção e concentração de sedimentos em suspensão, provocado pelas correntes residuais de fundo dirigidas para montante.

3. Estuário completamente misturado ou verticalmente homogêneo: neste caso o gradiente se desloca com a ação da maré. Wood (1971) enfatiza que nesta categoria a variação vertical de salinidade é muito pequena, isto ocorre quando o volume de água trocado durante a maré é expressivo comparado com a subida da água. Segundo Bonetti Filho (1995), a boa capacidade de mistura da maré provoca a homogeneização da coluna de água. Assim, as águas estuarinas tendem a fluir como um todo para a desembocadura, enquanto a salinidade progride em sentido contrário, por difusão turbulenta, em profundidade. Os sedimentos em suspensão acabam se concentrando nas porções interiores do sistema, ocorrendo, ainda, um efetivo processo de ressuspensão dos mesmos, a partir do fundo, pela ação das correntes de marés.

Gradientes e estratificações salinas também serviram como critérios para a classificação de estuários. Neste contexto, Emery e Stevenson, 1957; e Hedgpeth, 1957; *apud* Yáñez-Arancibia (1987) propuseram o seguinte, tendo em conta o estado de equilíbrio de água e sal:

1. Estuário positivo, normal ou hipohalino: a salinidade do estuário é sempre inferior à da zona marinha adjacente.
2. Estuário negativo, antiestuário ou hiperhalino: os valores de salinidade encontrados no interior do estuário são superiores aos do oceano.

Dentre estas classificações a mais aceita, ainda hoje, é a que utiliza o critério hidrodinâmico.

Os fatores acima discutidos indubitavelmente influenciam a distribuição das biocenoses no sistema estuarino, mas conforme destaca Yáñez-Arancibia (1987) a inserção da variável biótica facultaria a elaboração de um diagnóstico ecológico, o que parece ser mais compatível com as atuais demandas de gerenciamento ambiental dos ecossistemas costeiros. Para tanto, o mencionado autor faz uma interessante revisão de algumas classificações que se enquadram neste tipo de propostas.

Todavia, será aqui considerado apenas o fato de que as propostas de classificação ecológica, ainda que se caracterizem por uma extrema complexidade, tendem a evoluir. Isto se observa, especialmente, em face da necessidade humana de compreender os limites de produção biológica e de assimilação de resíduos nos sistemas estuarinos, tendo-se em vista os usos antrópicos e seus efeitos no aumento da energia de estresse nos mesmos. Esta preocupação foi bem fundamentada por Odum (1988) que ressalta o significado dos estuários para a sustentação energética dos seres humanos, em decorrência, por exemplo, do seu trabalho de manutenção da biomassa utilizada e por contribuir para a reciclagem de ar e água. Estas propriedades deveriam ser incorporadas na avaliação econômica, ou seja, na valoração dos bens naturais, os quais na percepção humana ainda são considerados, na sua maioria, como gratuitos e ilimitados.

#### *2.4.3. Processos de sedimentação e de propagação salina*

Nos ambientes estuarinos os sedimentos são controlados, principalmente, em virtude do aporte fluvial, da oscilação da maré e, também, em face de condicionamentos meteorológicos, como destacou Bonetti Filho (1995). De acordo com este autor, a descarga dos rios, fornecedora de parcela sedimentar importante em muitos estuários, é responsável pela manutenção dos gradientes longitudinal e vertical de salinidade, os quais promovem a circulação estuarina e a dispersão parcial de sedimentos. A maré, por sua vez, representa a principal fonte de energia para a mistura das águas doce e salgada na maior parte dos estuários. Relacionadas a forças astronômicas e condicionadas pela geometria da bacia, sua amplitude tem influência decisiva nos processos de transporte e sedimentação estuarinos. Os dados referidos em Nichols e Biggs (1985; *apud* Bonetti Filho, *op.*

*cit.*) exemplificam dois casos extremos, isto é, o do estuário de Chesapeake Bay, nos Estados Unidos, que apresenta pequena amplitude de maré, entre 0,2 m a 0,9 m, e corrente usualmente inferior a 0,5 m/s; e o de Gironde, na França, que se caracteriza por amplitude de marés superiores a 4 m e correntes que podem alcançar 3 m/s. No primeiro a concentração de material em suspensão varia de 10 a 150 mg/l, no segundo esta concentração oscila de 1 a 10 g/l, considerando-se uma carga de aporte de sedimentos similar para estes estuários em torno de 2,5 e  $2,2 \times 10^6$  t/ano, respectivamente.

Assimetrias na onda de propagação da maré, ocasionadas pela geometria da bacia estuarina, igualmente se refletem no transporte de sedimentos em suspensão, especialmente em estuários rasos, onde o efeito do atrito tende a provocar um acréscimo na altura da coluna de água, o que aumenta a velocidade da corrente de enchente e provoca ressuspensão dos sedimentos.

Quanto aos condicionantes meteorológicos e em destaque os eólicos, embora considerados menos efetivos que os mencionados anteriormente, percebe-se que sua influência pode ser importante para as correntes superficiais, que ampliam ou mesmo anulam em parte os fluxos induzidos pelos rios e marés, principalmente em estuários rasos, como atestou Bonetti Filho (1995). Desta forma, desembocaduras estuarinas alinhadas no sentido e direção do vento aumentam a capacidade de troca entre águas continentais e marinhas e, conseqüentemente, elevam o câmbio de sedimentos em suspensão (Killey e Welch, 1989; *apud* Bonetti Filho, *op. cit.*).

No que tange às principais fontes de sedimentos nos sistemas estuarinos, percebe-se que estas se originam, fundamentalmente, dos processos erosivos na bacia, incluindo o desgaste dos interflúvios e o solapamento de margens fluviais, da plataforma continental, do leito do próprio estuário, da atividade biológica e dos resíduos inerentes à ocupação antrópica. Com relação a este último aspecto, Wood (1971) chama a atenção para o impacto das irrigações no regime de fluxo, que podem aumentar de forma considerável as correntes de retorno de salinidade. Isto também foi lembrado por Coutinho (1986) ao colocar que a intrusão de água salgada em sistemas de irrigação ocorre devido a modificações na geometria do

estuário procedentes de dragagens, retificação de margens, aterros e eliminação de ambientes úmidos, como banhados e mangues.

A propagação salina no sistema estuarino, portanto, é também função dos usos dominantes que interferem na sua hidrodinâmica. Conforme foi colocado anteriormente, o processo se dá por difusão ou por advecção. No entanto, considerando-se as diferentes “zonas” que caracterizam os estuários, bem como suas peculiaridades hidrodinâmicas, pode-se identificar ao longo das mesmas ora um processo em evidência ora outro. Assim sendo, verifica-se, mais uma vez, a fragilidade destes sistemas submetidos à intensa variabilidade de fatores abióticos em ciclos temporais reduzidos, tanto em face da sua dinâmica natural quanto da induzida pela ação antrópica.

### **2.5 - Estudos anteriores: importância e críticas**

A avaliação de metodologias encontradas em estudos relacionados à temática abordada neste trabalho foi muito importante para a definição das técnicas e procedimentos mais adequados às condições da área em apreço.

Assim sendo, neste item foram discriminados os trabalhos básicos considerados na construção da metodologia aplicada ao presente estudo, juntamente com uma breve crítica à sua aplicabilidade no contexto em pauta.

#### **2.5.1 - Trabalhos considerados na avaliação quantitativa de sistemas hidrológicos**

1. Ministério do Interior (1982): este trabalho foi realizado no baixo vale do Rio Mampituba, contemplando a quase totalidade da área de abrangência deste estudo. Nele o balanço hídrico dos solos foi calculado segundo o método de Thorntwaite-Mather, por meio da equação hidrológica de continuidade dada por

$$ETP = P - Pp - ES \pm \Delta s$$

Onde *ETP* corresponde à evapotranspiração potencial; *P* equivale à precipitação; *Pp* representa as perdas por percolação; *Es*, o

escoamento superficial; e  $\Delta s$ , as variações das reservas de umidade do solo.

A aplicação deste método não permitiu na época contemplar de forma mais abrangente a variabilidade espacial, uma vez que recursos como imagens de satélite e SIG's não foram utilizados. Isto resultou numa análise quantitativa do tipo global, que contemplou apenas as variáveis inerentes ao próprio método, não incluindo, por exemplo, o tipo de cobertura do solo. Entretanto, as informações geradas foram importantes para a confrontação com os resultados obtidos a partir da aplicação de metodologias que incorporam a variável espacial.

2. Mendes (1996): utilizou uma metodologia que agrega um modelo distribuído simples a um SIG na área das lagoas situadas a leste de Palmares do Sul e norte de Osório, no Rio Grande do Sul. Esta área apresenta características similares à estudada neste projeto, em virtude da ocorrência de ambientes lacustres ocupados por lavoura irrigada, associados a uma planície costeira que está em contato com a escarpa do planalto. A superfície estudada foi de 2.744 Km<sup>2</sup>, tendo sido utilizada uma resolução espacial de 50m x 50m, resultando numa grade de 1120 linhas por 980 colunas. Assim, cada célula representou um elemento de cálculo do modelo, no qual dados de chuva, evapotranspiração potencial, tipo de solo, classe de ocupação do solo e outras informações importantes à análise do balanço hídrico foram incorporadas.

Através deste estudo, Mendes (*op. cit.*) demonstrou ser possível quantificar e avaliar as mudanças nos distintos componentes do balanço hídrico, oriundas de alterações nas variáveis climáticas e/ou uso do solo. A modelagem obtida por meio desta metodologia resultou em mapas que representam a variabilidade dos processos inerentes ao balanço hídrico, ao longo do tempo e do espaço. O autor também esclareceu que o uso de SIG's conjugados a modelos hidrológicos não é recente. Em seu trabalho ele cita pesquisadores como Gupta e Solomon (1977),

Roo *et al.* (1989) e Panuska *et al.* (1991), que utilizaram esta metodologia para a modelagem do escoamento superficial e transporte de sedimentos, erosão do solo e chuva-vazão, respectivamente. Na atualidade, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul -IPH/RS - vem aprimorando estes procedimentos para o estudo de bacias hidrográficas, como as dos rios dos Sinos e Ibicuí, RS.

A modelagem proposta por Mendes (1986) foi aplicada em uma parte da área considerada neste trabalho, a qual foi selecionada em face da existência de dados necessários à simulação.

#### *2.5.2 - Trabalhos considerados na análise qualitativa de sistemas hidrológicos*

1. Ministério do Interior (1982): este estudo compreendeu a parte de análise quantitativa dos recursos hídricos aplicada ao baixo vale do Rio Mampituba. Neste trabalho foram efetuadas quatro campanhas para coleta e análise de água, nos períodos: 22 a 23.07.1980; 25 a 26.08.1980; 29 a 30.09.1980; e 24 a 25.11.1980. As análises se destinavam à verificação da qualidade da água para fins de abastecimento público e irrigação. Os parâmetros analisados para consumo humano foram: nitrogênio amoniacal, odor, cor, turbidez, sólidos sedimentáveis, pH, oxigênio dissolvido, DBO<sub>5</sub>, DQO, fenóis, cobre, chumbo, zinco, cromo, cianetos e coliformes totais. Para irrigação foram determinadas as seguintes análises: pH, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos, boro e condutância específica. Os resultados obtidos apresentaram informações importantes sobre problemas de contaminação e de potencial de salinização nos recursos hídricos da área. Contudo, não foi observada uma avaliação integrada entre os problemas de qualidade detectados pelas amostragens e os usos dominantes da água no contexto em pauta. É necessário considerar que, naquela época, sequer havia o concurso da Resolução n.º 20/86 do CONAMA e tão pouco a idéia de gestão por bacia hidrográfica. Mesmo

assim, estas informações foram importantes como um registro histórico das condições qualitativas no momento amostrado, tendo sido resgatadas para comparação com as análises de qualidade efetuadas no presente estudo.

2. Ecoplan (1997): realizou estudos sobre disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Rio Tramandaí, em uma área de 2.540 Km<sup>2</sup>. Esta bacia compreende um sistema flúvio-lagunar-estuarino com características ambientais e de ocupação antrópica análogas ao escopo deste trabalho nos setores dominados pelas atividades agrárias. Por esta razão os parâmetros adotados para avaliação da qualidade da água de superfície, bem como o Índice de Qualidade foram aproveitados neste estudo, após consulta feita aos técnicos da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - FEPAM. Isto possibilitou comparar resultados com uma bacia hidrográfica vizinha e muito semelhante no que tange à dinâmica natural e antrópica, respeitando-se, obviamente, as questões de escala.

### *2.5.3 - Estudos considerados na avaliação da dinâmica da intrusão salina*

1. Ministério do Interior (1982): este estudo compreendeu a parte de análise da influência estuarina verificada no baixo vale do Rio Mampituba. Neste trabalho efetuaram-se considerações sobre a intrusão salina a partir do estuário do Rio Mampituba, assim como de seus possíveis efeitos na salinização dos corpos lacustres Morro do Forno e Jacaré. Porém, esta análise não produziu resultados que esclarecessem o fenômeno da salinização das lagoas por influência do ambiente estuarino, restringindo-se a perfis linigráficos, realizados no mês de março de 1978 com vistas a avaliar o efeito da maré, e a dados de risco de salinização comprovados em uma campanha, sem uma maior integração e discussão dos mesmos. No entanto, mais uma vez, estas informações foram úteis para a confrontação com as geradas neste trabalho.

2. Bonetti Filho (1995): efetuou estudos sobre transporte de sedimentos em suspensão, no ambiente estuarino de Cananéia, São Paulo, demonstrando a importância prática do conhecimento deste processo para a caracterização hidrodinâmica destes sistemas e como indicador da distribuição de poluentes neles lançados. Com base na metodologia aplicada neste trabalho, realizou-se uma campanha de coleta e medidas de dados abióticos ao longo de parte do setor estuarino do Rio Mampituba. Os resultados da análise destes dados, conjugados com os da ocorrência de bioindicadores, foram muito úteis para a avaliação de riscos de salinização nas lagoas estudadas.
  
3. Bonetti e Eichler (1997): realizaram estudos sobre a distribuição de foraminíferos bentônicos<sup>26</sup> como reveladores da existência de subambientes de influência marinha. As técnicas citadas pelas autoras foram aplicadas na área em foco em três campanhas de coleta de sedimentos, para a identificação da presença destes organismos. Os resultados encontrados foram decisivos para a verificação da abrangência do estuário do Mampituba e seus possíveis efeitos na disponibilidade hídrica dos sistemas considerados.

---

<sup>26</sup> Foraminíferos são protozoários tipicamente marinhos, embora também tolerantes a condições salobras, que possuem testa (carapaça) rígida capaz de ser preservada mesmo após a morte do organismo. O grupo caracteriza-se por apresentar um elevado número de espécies com exigências ecológicas distintas, as quais podem ser empregadas como bioindicadores de qualidade ambiental (Carla Bonetti, comunicação verbal).

### **3 - OS SISTEMAS LACUSTRES MORRO DO FORNO E JACARÉ**

*“A água não é uma doação gratuita da natureza; ela tem valor econômico: precisa-se saber o que ela é, algumas vezes, rara e dispendiosa e que pode muito bem escassear em qualquer região do mundo” (Art. 6º da Declaração Universal dos Direitos da Água).*

## 3 - OS SISTEMAS LACUSTRES MORRO DO FORNO E JACARÉ

### 3.1 - Introdução

A promulgação da Lei 9.433/97, ao instituir a *Política Nacional de Recursos Hídricos*, representou uma nova etapa na história da gestão das águas do Brasil, conforme já foi colocado. Sua relevância se evidencia, em especial, quando dispõe sobre a administração de bacias hidrográficas federais. Neste caso, o processo de gerenciamento requer uma participação que transcenda as fronteiras territoriais dos estados e mesmo de países.

No que tange especificamente à bacia hidrográfica do Rio Mampituba é importante realçar que, além de se enquadrar neste processo e não obstante a pouca expressão da sua área de abrangência, ela se distingue pela diversidade de ambientes que abriga. A avaliação de estudos anteriores, destacadamente, a do *Macrozoneamento Costeiro do Rio Grande do Sul*, realizado pela FEPAM em convênio com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em 1989, e a do *Plano Diretor de Desenvolvimento da Bacia do Rio Mampituba*, de 1983, demonstrou que esta bacia compreende um complexo sistema hidrológico, produzido pela interação entre os domínios oceânico e continental, este último singular em face dos notáveis contrastes topográficos registrados entre a Serra Geral e a planície costeira. Desta forma, os modelos clássicos de bacia hidrográfica, por si só, não possibilitam uma análise consistente da dinâmica deste sistema flúvio-lacustre-estuarino, exigindo, portanto, um abordagem capaz de contemplar a sua diversidade.

As sub-bacias das Lagoas do Morro do Forno e do Jacaré, que se destacam no setor rio-grandense desta bacia hidrográfica, são representativas, em menor escala, da sua complexidade. A caracterização dos seus principais ambientes

constitui, por conseguinte, importante etapa para a futura gestão integrada do “Sistema Mampituba”.

Neste capítulo buscou-se ressaltar os processos naturais considerados mais significativos para a análise da disponibilidade hídrica dos corpos d'água superficiais destes ambientes. Além disto, também procurou-se identificar nos mesmos os efeitos potenciais e reais que procedem do tipo de ocupação humana que caracteriza o seu entorno.

### **3.2 - Localização**

As sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e do Jacaré situam-se entre as coordenadas geográficas de 29°15'00” a 29°26'30” de latitude sul e 49°46'00” a 50°02'30” de longitude oeste, abrangendo as províncias geomorfológicas do planalto basáltico e planície costeira, em uma superfície de aproximadamente 310 Km<sup>2</sup>, de acordo com dados de Ministério do Interior (1982). A sua área de abrangência engloba a totalidade do município de Morrinhos do Sul, incorporando ainda a porção setentrional do município de Três Cachoeiras, a maior parte do município de Dom Pedro de Alcântara e o noroeste de Torres, todos situados no Litoral Norte do Rio Grande do Sul (figura 4).

Para facilitar os estudos, a área de escopo deste trabalho foi delimitada um pouco além da abrangida exclusivamente pelas sub-bacias em foco, totalizando 336,97<sup>27</sup> km<sup>2</sup>. Desta maneira, o norte é definido pelo divisor de águas da sub-bacia da Lagoa do Morro do Forno, pela Sanga Grande e pelo Rio Mampituba até a ponte sobre a BR-101. A leste prossegue por esta estrada, no sentido sudoeste, até sua bifurcação com a estrada vicinal que conduz à Porteira do Faxinaí. A partir daí continua pelo divisor de águas da sub-bacia da Lagoa do Jacaré até encontrar o divisor de águas da sub-bacia da Lagoa do Morro do Forno, configurando, assim, os limites sul e oeste.

---

<sup>27</sup> Área calculada através do comando *Analysis – Database Query*, programa *Idrisi* (detalhado no capítulo 4).

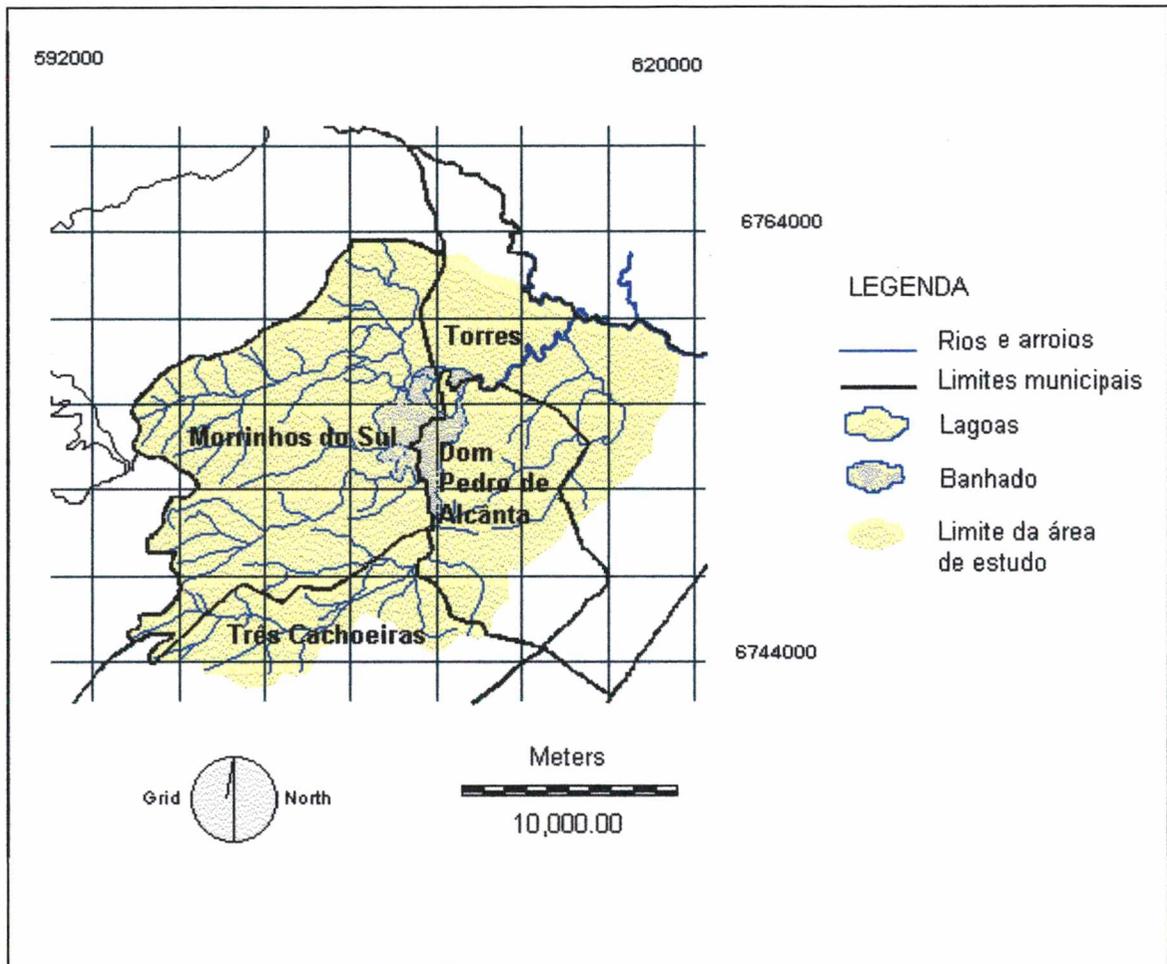


Figura 4: Municípios que compõem a área de estudo

A situação geográfica da área de estudo a coloca a uma distância de aproximadamente 200 km de Porto Alegre – RS, utilizando-se a estrada RS-786, e a cerca de 280 km de Florianópolis – SC, através da rodovia BR-101. Estas facilidades de acesso a duas capitais estaduais e a proximidade de centros urbanos como os de Criciúma, Tubarão e Laguna foram consideradas positivas para a formação de um “...**espaço concentrado para a produção de alimentos com vistas ao mercado interno**”, no baixo vale do Rio Mampituba, conforme consta em Ministério do Interior (1983, p.9). Além disto, também foi computada a presença de uma orla marítima, principal responsável pela atividade turística da região, para justificar uma série de estudos com vistas à formação de um pólo olerícola na área, na década de 1980. Estes estudos fazem parte da bibliografia levantada para a elaboração deste trabalho.

### **3.3 - Caracterização geral**

As sub-bacias lacustres Morro do Forno e do Jacaré têm sua dinâmica associada aos processos de erosão, transporte e deposição característicos do Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

Os principais formadores da Lagoa do Morro do Forno nascem na escarpa da Serra Geral, em altitudes que variam entre 700 e 1000 metros. O seu regime hídrico encontra-se fortemente condicionado ao elevado gradiente topográfico da área, visto que as cotas registradas na planície encontram-se entre 6 e 12 metros. Assim, em uma distância inferior a 2,5 Km a diferença altimétrica pode ser superior a 700 metros, como ocorre no vale do Rio do Mengue, importante contribuinte da referida lagoa.

O sistema lacustre do Jacaré está bem menos submetido à influência do planalto. Os morros localizados em Dom Pedro de Alcântara, que representam um conjunto isolado de elevações inserido no ambiente deposicional da planície, não superam os 250 metros de altitude. É deste setor que procedem os tributários da Lagoa do Jacaré.

Neste contexto, as atividades produtivas que se destacam são todas ligadas à produção agrícola. Esta, a seu turno, é desenvolvida em solos formados predominantemente por sedimentos argilosos e material orgânico, o que lhes confere uma boa fertilidade natural, consoante dados do Ministério do Interior (1982).

No município de Morrinhos do Sul, no qual se encontram as maiores elevações da área de estudo e que pertence à sub-bacia da Lagoa do Morro do Forno, destaca-se o cultivo da banana nas encostas da escarpa da Serra Geral, associado à cana-de-açúcar, ao aipim e às pastagens, estas últimas desenvolvidas em pequenos platôs. Nas várzeas dos rios, no entanto, predomina o arroz irrigado, produzido principalmente em pequenas propriedades. Há apenas uma exceção à estrutura fundiária característica deste município. Trata-se de uma propriedade de aproximadamente 1000 ha que abrange as planícies de inundação do Arroio do Costão e do Rio do Mengue, a norte de Morrinhos do Sul.

No que concerne aos diversos usos da água neste município, é importante colocar que o abastecimento público é feito por poços artesianos e fontes drenadas, sem um monitoramento qualitativo sistemático. Cabe ressaltar que este município, a exemplo dos demais que compõem a área de estudo, não dispõe de saneamento básico. Os rios que drenam o território municipal são utilizados para o lançamento *in natura* de esgoto doméstico e resíduos sólidos diversos. Infelizmente este tipo de uso da água é praticamente uma regra na área estudada.

Além disso, as técnicas de produção dos diversos cultivos que são destaque na economia do município indicam potenciais problemas de degradação ambiental. A utilização de agrotóxicos no combate a pragas na cultura da banana e na lavoura do arroz, por exemplo, foi nomeada por alguns moradores e técnicos do local como responsável pela ocorrência de mortandade de peixes nas águas da sub-bacia da Lagoa do Morro do Forno. Todavia, as causas deste fenômeno não foram devidamente investigadas.

Outro município que faz parte da área em foco é Dom Pedro de Alcântara. Emancipado em 1996, este antigo distrito de Torres tem na agricultura a base da

sua economia. A exemplo de Morrinhos do Sul, a bananicultura se notabiliza nas encostas dos morros que dominam a paisagem municipal, em conjunto com o tomate, cultivado nas partes mais elevadas, as pastagens, situadas nas várzeas do Rio das Pacas, e o arroz irrigado, cultivado a leste da Lagoa do Morro do Forno. Os problemas ambientais enfocados anteriormente também são típicos deste município, ou seja, uso de biocidas nas lavouras e falta de esgotamento sanitário. Há ainda o registro de problemas de escassez de água para a irrigação das culturas nas áreas mais elevadas, no início do verão, no outono e início do inverno, consoante relato de proprietários e técnicos da EMATER.

O município de Torres abrange área das duas sub-bacias em questão, assim como uma parte das várzeas do próprio Mampituba, que foram contempladas neste estudo. Neste setor o uso da água preponderante é a irrigação para o cultivo do arroz. Nas localidades de Jacaré e Vila São João, situadas respectivamente a noroeste e nordeste da Lagoa do Jacaré, também se constata a utilização dos recursos hídricos para o lançamento de esgoto sem tratamento.

O restante da área de estudo faz parte do município de Três Cachoeiras, que participa da sub-bacia da Lagoa do Morro do Forno com uma pequena superfície, situada na porção meridional de Morrinhos do Sul. Esta área pertence à localidade de Morro Azul, que está compreendida no vale do Arroio Paraíso, importante tributário do Rio das Pacas. Em comparação com os demais, este vale é mais largo, permitindo uma maior ocupação das áreas planas para o cultivo de olerícolas. O arroz irrigado também se destaca nas várzeas, enquanto que as pastagens dominam a paisagem do alto e médio vale do Arroio Paraíso e a bananicultura se evidencia nas encostas.

A tabela 7 ilustra alguns dados relativos à área e à demografia dos municípios citados acima, na qual é possível perceber a importância do espaço agrário neste contexto, notadamente nos municípios de Dom Pedro de Alcântara e de Morrinhos do Sul.

Tabela 7 – Área e demografia dos municípios pertencentes às sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e Jacaré, Litoral Norte, RS

Município	(*) Área (Km <sup>2</sup> )	População Absoluta	Densidade Demográfica (hab/Km <sup>2</sup> )	População Urbana	População Rural	% Pop. Urbana	% Pop. Rural
<i>Dom Pedro Alcântara</i>	79,4	2.297	28,9	590	1707	25,7	74,3
<i>Morrinhos do Sul</i>	166,6	3.562	21,4	680	2.882	19,1	80,9
<i>Torres</i>	161,7	25.891	160,1	19.256	6.635	74,4	25,6
<i>Três Cachoeiras</i>	253	9.390	37,1	4.131	5.259	44,0	56,0

Fontes: FEE – 1997 - *Estimativas Populacionais por Município*“; (\*) IBGE/RS – 1997

### 3.4 – Dinâmica do ambiente natural

A análise dos processos naturais, sua dinâmica e possíveis respostas às intervenções antropogênicas, constitui etapa elementar para os estudos ambientais. Neste sentido, a compreensão, por exemplo, dos fatores que condicionam os principais fluxos de matéria e energia nos sistemas se torna primordial para a viabilização de sua prognose futura.

Entretanto, no que tange à hidrologia de bacias hidrográficas, ou melhor, à verificação da sua disponibilidade hídrica e, em especial, daquelas situadas em ambientes costeiros, a formulação do diagnóstico requer um esforço de detalhamento capaz de contemplar, o melhor possível, as múltiplas formas de interação entre as variáveis abióticas e bióticas que dominam a organização do sistema hidrológico. Este conhecimento é imprescindível, principalmente para a verificação da confiabilidade dos resultados obtidos por meio da aplicação de modelos.

Assim sendo, procurou-se neste item analisar, de forma integrada, os componentes do meio físico e biológico que mais se salientam no arranjo espacial da área estudada.

### 3.4.1 - O sistema lagunar holocênico

No Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul destaca-se um conjunto de ambientes, designado por Tomazelli e Villwock (1991) de “sistema lagunar”, que resultou do isolamento de lagunas iniciado há cinco mil anos atrás, por ocasião do último evento transgressivo do Quaternário. Os reservatórios naturais mais importantes para o atendimento dos múltiplos usos da água na região encontram-se justamente associados aos subambientes deposicionais deste vasto sistema.

O tempo tem revelado que a fragilidade deste “complexo lagunar” se manifesta tanto pela tendência natural da sua evolução, quanto pelos impactos da exploração dos seus recursos hídricos, considerados, equivocadamente, como abundantes e inesgotáveis pela maioria dos seus distintos usuários.

#### 3.4.1.1- Gênese e evolução

Para a análise da evolução do sistema lagunar holocênico do Litoral Norte rio-grandense é necessário considerar, fundamentalmente, a dinâmica geológico-geomorfológica responsável pela sua estruturação. Estudos importantes como os de Leinz (1949), que considerou as mudanças provocadas na região pelo derrame de lavas do Mesozóico, os de Ruschel (1961), que analisou o processo de formação das “torres” e as variações nos níveis eustáticos na planície litorânea do Estado, os de Jost (1971) e Jost, Pinto e Loss (1971), que empreenderam mapeamentos na sua porção setentrional e revisaram a classificação estratigráfica da sua seqüência deposicional, os de Andreis e Bossi (1978), que tratam da sedimentologia do conglomerado Mampituba, o trabalho de Horn (1987), que mapeou com detalhes a geologia da área em questão e os artigos de Tomazelli e Villwock, publicados em 1991 e 1995, que abordam os principais processos responsáveis pela dinâmica costeira do Rio Grande do Sul, contribuíram para o entendimento da evolução natural do ambiente estudado.

Com base nestes estudos foi possível identificar que, no contexto geológico da planície costeira rio-grandense, a área em foco está inserida predominantemente no setor denominado *Sistema Depositional Tipo Laguna-*

*Barreira IV.* Este sistema começou a se estruturar no auge da fase transgressiva do Holoceno, quando, aproximadamente, há cinco mil anos atrás o nível do mar atingia cerca de cinco metros acima do atual. No máximo transgressivo o aporte de sedimentos arenosos, oriundos da plataforma continental interna, culminou com a formação de uma barreira que isolou uma extensa faixa de terrenos baixos, durante a fase regressiva seguinte. Os grandes corpos lagunares, que ocupavam o continente no pico transgressivo, sofreram um isolamento principalmente graças à construção de cordões litorâneos regressivos. A partir de então, evoluiu um complexo de ambientes e subambientes deposicionais, representados por lagos, lagoas e sistemas aluviais, deltáicos e paludiais.

Conforme Villwock e Tomazelli (1995), a tendência evolutiva atual dos principais componentes deste sistema é o da passagem gradativa "laguna-lago-pântano costeiro". Com referência a isto, Ruschel (1961) já mencionava a ocorrência de depósitos turfáceos na denominada planície do Cortume, em Torres. Jost (1971), a seu turno, também atestou a continuidade da colmatagem das bacias anteriormente individualizadas, a contar da última estabilização do nível marinho.

#### 3.4.1.2 - Os sistemas lacustres estudados

Nos corpos lacustres da área de estudo os processos naturais anteriormente referidos tendem a ser intensificados pelas atividades humanas, demonstrando, mais uma vez, a sua vulnerabilidade como recurso hídrico.

A Lagoa do Morro do Forno compreende o centro de convergência de uma sub-bacia de aproximadamente 260 Km<sup>2</sup>, conforme dados do Ministério do Interior (1983), no qual os rios das Pacas, dos Negros e do Mengue se destacam como principais contribuintes. O corpo lacustre está situado na planície costeira, entre a escarpa do Planalto Meridional Brasileiro e um conjunto de elevações isoladas, constituídas predominantemente por rochas da Formação Botucatu, capeadas por basaltos da Formação Serra Geral, no qual o Morro dos Leffas registra a maior altitude, cerca de 250m.

No que se refere à sua dinâmica, observa-se um processo natural de colmatagem, considerando-se a tendência já observada para os corpos de água do chamado sistema lagunar holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

A colmatagem é definida como o **"trabalho de atulhamento ou de enchimento realizado pelos agentes naturais ou pelo homem, em zonas deprimidas"** (Guerra, 1980, p.98). Tomazelli e Villwock (1991), designando este processo de **"colmatação"**, explicam que ao longo da planície lagunar holocênica as lagoas isoladas, ou seja, distantes das fontes ativas de sedimentação eólica ou fluvial, apresentam um preenchimento sedimentar mais lento. Este é ativado, sobretudo, pela vegetação marginal que gradualmente avança para o centro do corpo lacustre. Os autores ainda registram que estas lagoas, com pequeno aporte de sedimentos clásticos, podem evoluir para turfeiras.

Martins (1976), discorrendo sobre a dinâmica das comunidades bióticas, chamou de **"colmatagem"** ao fenômeno oriundo da deposição e acúmulo de material orgânico em uma **"hidrosere"**, isto é, numa sucessão ecológica que se inicia na água. Assim, na fase submersa, explica o autor, as plantas abaixo do nível das águas vão morrendo e se depositando no fundo da lagoa. Na flutuante, a profundidade se encontra bastante reduzida, e já se observam vegetais com as folhas acima do nível das águas. A morte destes dá continuidade ao processo de colmatagem. A fase seguinte, a de alagado, se individualiza por uma profundidade de meio metro e uma vegetação que ostenta farta folhagem sobre o nível das águas. As fases posteriores correspondem à transição final do ecossistema aquático para o terrestre, denominadas, em ordem sucessória, de charco, arbustiva e bosque.

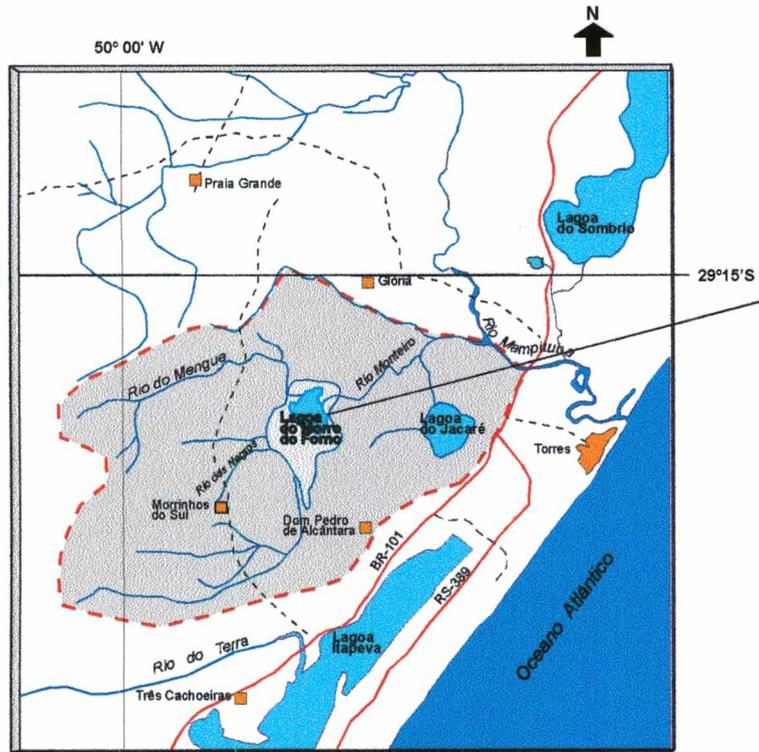
Gomes e Ab'Saber (1969), referindo-se ao sistema lagunar do Litoral Norte rio-grandense, registraram a ocorrência do fenômeno acima descrito, colocando que

**“Às costas altas do litoral anterior, com seus sucessivos recortes (enseadas e angras), e pequenos promontórios, opõem-se às atuais grandes extensões de costas rasas, dominadas por retilíneos cordões de areia, campos de dunas, e um labirinto de lagunas atuais ou subatuais colmatadas. Não existindo manguezais nesse trecho subtropical do litoral brasileiro, o processo de colmatagem biogênico se faz pela extensão dos juncais nas reentrâncias das lagunas e dos velhos canais situados entre lagunas.” (Gomes e Ab’Saber, 1969, p.4)**

O processo da colmatagem também é referido nos estudos desenvolvidos pela Fundação de Economia e Estatística (1978, p.30), quando da análise estratigráfica dos sedimentos quaternários da **Formação Chuí** encontrados na região norte da província costeira do Estado. As conclusões obtidas neste trabalho atestam que **“... o gradual enriquecimento de silte e argila, bem como matéria orgânica ... sugerem que estes sedimentos originaram-se por uma progressiva colmatagem de corpos lagunares de dimensões e profundidades variáveis...”** .

Em Ministério do Interior (1982) também existem referências a este processo mas com a diferença de ser associado apenas a depósitos de sedimentos trazidos pelos afluentes da Lagoa do Morro do Forno. Neste sentido, afirmou-se que, associado a um vasto banhado, de aproximadamente 18.000 ha e cota em torno de 1,5 m acima do nível do mar, havia um núcleo permanente da lagoa, já bastante colmatada pelos sedimentos carreados pelos seus tributários, que nascem nas escarpas do planalto basáltico. Além disto, é mencionado que, em época de cheias, a área do banhado se confundia com o núcleo lacustre, configurando uma superfície inundável bem superior à da lagoa propriamente dita.

As explicações acima e as observações *in loco* permitem concluir que atualmente a Lagoa do Morro do Forno encontra-se entre a segunda e a terceira fase de uma hidrosere, ou seja, entre flutuante e alagado, num processo de colmatagem característico para as lagoas que sofrem um certo isolamento na planície costeira do Litoral Norte do Estado (figura 5).



Base cartográfica: **Folha Gravatal** (com modificações)  
Ministério do Exército - DSG  
Escala = 1:250.000 - 1983

0 10km  
Escala

#### Legenda

- Banhado
- Lagoas
- Limite da área de estudo
- Área urbana; sedes municipais ou distritais

Obs: Foto 1 datada de 01.09.98;  
Fotos 2 a 3, 21.07.98;  
foto 4 cedida pelo Sr. Marco Antonio Thumé, Prefeitura Municipal de Torres.



1: Vista geral a partir da margem leste



2: Entrada da Lagoa: confluência com o Rio Monteiro



4: Detalhe do fundo do corpo lacustre



3: Detalhe da superfície do corpo lacustre

Figura 5: Lagoa do Morro do Forno

Outra característica importante do sistema Morro do Forno, cuja profundidade média está em torno de 1 m<sup>28</sup>, é a ocorrência de salinização em determinadas épocas do ano, quando, segundo os técnicos da EMATER e orizicultores, se conjugam fatores como escassez de chuva, vento sul e maior amplitude de maré (condição de sizígia). Isto poderia estar relacionado com uma expansão do setor estuarino do Rio Mampituba, através de uma intrusão salina a partir do Rio Monteiro ou do Forno, que interliga o corpo lacustre ao rio principal. Esta é a justificativa aceita pelos agricultores e técnicos locais que foram referendadas em Ministério do Interior (1982, p.96) ao colocar que “... **Existe a penetração de língua salina proveniente do Oceano Atlântico, através do curso inferior do Rio Mampituba, e de seus afluentes que se situam em cotas baixas ...**”. A dinâmica da propagação salina no sistema Morro do Forno foi pesquisada e consta do capítulo 6 deste trabalho.

O outro sistema lacustre de destaque na área de escopo está situado a nordeste do município de Dom Pedro de Alcântara. Trata-se da Lagoa do Jacaré que representa o elemento mais importante na definição do comportamento hídrico de uma sub-bacia de aproximadamente 50 Km<sup>2</sup>. Sua superfície, em condições normais, isto é, sem estiagem ou cheias, atinge cerca de 420 ha, apresentando um volume de 3,5 X 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (Ministério do Interior, 1983).

Diferentemente da Lagoa do Morro do Forno, os contribuintes deste sistema não são expressivos e se originam em interflúvios de altitudes modestas, ou seja, inferiores a 250 metros, que representam testemunhos isolados da Formação Botucatu.

Em estudos anteriores encontram-se referências importantes sobre a gênese deste sistema lacustre, a exemplo do anteriormente exposto. Ruschel (1961), por exemplo, ao explicar o eustatismo que afetou a província litorânea rio-grandense, fala de um “golfão”, que teria ocupado o médio e baixo vale do Rio Mampituba. Conforme este autor, na latitude de Torres existiria esta ampla

---

<sup>28</sup> Os dados de batimetria das lagoas Morro do Forno e do Jacaré, elaborados por ocasião do *Estudo de viabilidade técnico-econômica de drenagem e irrigação do baixo vale do rio Mampituba* (Ministério do

reentrância na costa, a partir da qual o mar atingiria, ao sul, os morros que se destacam na paisagem das lagoas do Jacaré e do Morro do Forno e que, nesta fase transgressiva, constituíam verdadeiras ilhas.

Atualmente, os processos de colmatagem evidenciados no sistema Morro do Forno também se verificam na Lagoa do Jacaré. Dados batimétricos obtidos em Ministério do Interior (1982), ainda que sejam incipientes, demonstram a assimetria do fundo lacustre. Isto sugere uma taxa de deposição superior nas bordas ocidental e sul desta lagoa.

Também se encontrou registros de uma possível influência da porção estuarina do Rio Mampituba, mediante um canal que conecta este corpo lacustre ao Rio Monteiro (Ministério do Interior, *op. cit.*). Todavia, no presente estudo não se conseguiu atestar este fato, uma vez que as coletas de água e sedimentos nesta sub-bacia ficaram restritas ao seu canal.

Problemas com inundações causadas pelas precipitações na própria sub-bacia e pelo represamento das águas do Mampituba marcam a dinâmica deste sistema, que tem na lavoura de arroz irrigado um dos principais usos de suas águas, a exemplo do que ocorre com o sistema Morro do Forno.

É relevante assinalar que o banhado da Lagoa do Jacaré é referido no trabalho realizado pela Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul<sup>29</sup>, que identifica áreas úmidas para:

1. Estabelecimento de critérios técnicos que viabilizem a distinção entre as áreas de preservação e uso agrícola.
2. Identificação de áreas de real interesse ecológico, no Estado, e sugestões sobre providências a tomar, tendo em vista sua preservação.

---

Interior, 1982, Vol.2, p.31-33), são incompletos e necessitam de uma revisão.

<sup>29</sup> Este trabalho foi encaminhado na forma de parecer, em 30 de agosto de 1982, para o Superintendente da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. Posteriormente, através do ofício 303/82, de 08 de setembro, uma cópia deste parecer foi enviado à apreciação do Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul.

Neste parecer o banhado às margens da Lagoa do Jacaré é citado, juntamente com outros sistemas afins, como área paludial a ser estudada para futuro manejo. Aliás, nos estudos feitos para a elaboração do *Plano Diretor da Bacia do Rio Mampituba* foi sugerido que esta lagoa, bem como o núcleo central da do Morro do Forno e as áreas marginais de banhado fossem mantidas em condições naturais, com vistas à manutenção da biocenose aquática. No caso específico da Lagoa do Jacaré, recomendou-se, inclusive, uma intensificação da fauna lacustre (Ministério do Interior, 1982).

No entretanto, consultas feitas junto à Fundação Zoobotânica do Estado demonstraram que os banhados do Litoral Norte do Rio Grande do Sul até o momento não foram elevados à categoria de Unidades de Conservação.

### 3.4.2 – O ambiente fluvial

Ainda que a maior parte da área de estudo esteja situada na planície costeira, o principal setor de alimentação hídrica e de sedimentos clásticos do seu sistema flúvio-lacustre-estuarino provém do ambiente tipicamente fluvial, localizado a oeste, nas encostas do Planalto Meridional. Desta forma, tanto a dinâmica natural quanto intervenções propositais realizadas neste setor de cabeceira de drenagem afetam, decididamente, o sistema como um todo.

A tabela 8 ilustra os domínios geomorfológicos encontrados na área de abrangência das sub-bacias em apreço e que serão considerados para a análise do ambiente fluvial em questão.

Tabela 8 – Divisão geomorfológica do Litoral Norte do Rio Grande do Sul

Domínio	Subdomínio	Compartimento
Das Terras Altas	Planalto Basáltico Arenito Botucatu	Das Encostas
		-
Das Terras Baixas	Planície Costeira	Praial Eólico Lagunar Marinho Pleistocênico Flúvio-deltáico

Fonte: Horn (1987)

### 3.4.2.1 - No domínio geomorfológico das Terras Altas

No contexto em foco, o domínio geomorfológico das Terras Altas, subdomínio do Planalto Basáltico, compartimento das encostas, caracteriza-se fundamentalmente por escarpas erodidas sobretudo pela ação fluvial. As falhas e fraturas que ali ocorrem se sobressaem como importantes fatores de controle do comportamento hidrológico da rede de drenagem. Esta, por sua vez, é representada, à exceção do rio principal, por cursos fluviais de pequena extensão, encaixados em vales profundos e dissecados na forma de “V”, que recebem importante contribuição do sistema de água subterrâneo para a sua manutenção, conforme atesta Fundação de Economia e Estatística (1978).

Horn (1987) explica que o compartimento das encostas constitui um relevo de transição entre os subdomínios do planalto e da planície costeira, sendo constituído por vertentes plano-convexas a planas, nas quais o declive aumenta, quando do contato entre o arenito Botucatu e o basalto.

Neste compartimento ainda é possível identificar o subsistema de leques aluviais que abrange o conjunto de fácies sedimentares, derivadas dos processos de transporte relacionados ao respectivo subdomínio geomorfológico. Assim, na parte proximal dos leques, os materiais sólidos acumulados resultam de processos predominantemente gravitacionais, originando depósitos de tálus e de colúvios. Já na porção distal deste subsistema se observam depósitos aluvionares, denotando a influência dos cursos de água fluviais que se desenvolvem a partir da encosta planáltica (Villwock e Tomazelli, 1995).

É necessário considerar que a geometria de “leque” não é facilmente identificada na Província Costeira do Rio Grande do Sul, a não ser em terrenos holocênicos, ligados a pontos mais ou menos fixos de aporte sedimentar. Villwock e Tomazelli (*op. cit.*) chamaram a atenção para o obscurecimento da morfologia típica de leques nesta região, explicando que as fácies são distribuídas em forma de rampa suave desde o setor proximal até o distal. A morfologia de rampa, consoante estes autores, atribui-se, em parte, à existência de diversos pontos de afluxo sedimentar, o que, a seu turno, favorece o fenômeno da coalescência de

leques. Além disto, os efeitos de retrabalhamento e erosão posterior, entre os quais os entalhamentos fluviais e os terraceamentos marinhos e lagunares que se manifestaram na porção distal dos leques em virtude das oscilações eustáticas, também foram elencados como responsáveis por este tipo de morfologia.

Há ainda outras morfologias, geradas por processos deposicionais em meio aquoso, como barras transversais e longitudinais, e que foram identificadas na área de estudo. A elas se associam canais fluviais de padrão entrelaçado (*braided*), que se desenvolvem em ambiente tipicamente continental.

#### 3.4.2.2 – No domínio geomorfológico das Terras Baixas

No domínio das Terras Baixas, subdomínio da planície costeira, o ambiente marcadamente fluvial está representado no compartimento flúvio-deltáico, no qual se evidenciam importantes corpos de água, como o do Rio Mampituba, em primeiro lugar, e dos rios Monteiro, do Mengue, dos Negros e das Pacas.

Neste compartimento, Horn (1987) enfatiza, entre outras características, a presença de depósitos de leques aluviais holocênicos, cujas fácies sedimentares são formadas por sedimentos que gradam de elúvios e colúvios, no setor proximal, a aluviões, na porção distal. Estes depósitos afloram nas áreas de contato do planalto basáltico com a planície costeira, demonstrando a estreita inter-relação entre estes dois subdomínios.

#### 3.4.2.3 - As inundações periódicas associadas à dinâmica fluvial

Devido à sua posição geográfica, as sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e do Jacaré apresentam um regime hidrológico bastante marcado pela ocorrência de precipitações orográficas e pelo elevado gradiente altimétrico que existe entre a planície costeira e o planalto basáltico. Assim sendo, é importante frisar, mais uma vez, a natureza dos vales estreitos e pequenos, nos quais os rios que contribuem para as mencionadas lagoas percorrem distâncias de poucos quilômetros, mas com desníveis que podem ultrapassar centenas de metros.

A dinâmica do ambiente natural, por conseguinte, é compatível com a existência de períodos de cheias com efeitos muitas vezes devastadores nos baixos vales dos rios que formam estas sub-bacias. A propósito disto, Horn (1987) ressaltou os problemas enfrentados pela população rural das encostas planálticas, quando das fortes enxurradas, nas quais as águas fluviais, migrando com grande velocidade, transportam elevadas quantidades de carga detrítica. A prova da capacidade e da competência dos corpos lóticos na área de escopo se constata pela presença de extensos depósitos fluviais, encontrados ao longo do leito e das margens dos rios do Mengue e dos Negros e dos arroios Paraíso e do Costão, localizados na porção ocidental da sub-bacia da Lagoa do Morro do Forno.

O fenômeno das enchentes também foi abordado em outros trabalhos realizados na área em foco. Segundo o Ministério do Interior (1982, p.64), as inundações no baixo vale do Mampituba afetam drasticamente os produtores, uma vez que **“Os períodos de maior probabilidade de ocorrência de excessos hídricos coincide com a época de preparo do solo e semeadura das culturas de primavera/verão.”** Esta situação se mantém atualmente, tanto que, em virtude dos constantes danos às culturas que se desenvolvem predominantemente nas várzeas destas sub-bacias, como é o caso do arroz, os produtores locais, mais uma vez, se mobilizaram em 1997 para viabilizar a “limpeza” dos rios das Pacas, dominado cada vez mais pela vegetação típica de banhado, e do Mengue, que tem trechos obstruídos pelos sedimentos grossos oriundos da escarpa basáltica. Estas medidas, no entanto, acabam sendo paliativos para um problema que exige a compreensão da bacia hidrográfica como um todo, isto é, das suas características físicas e da sua forma de ocupação pela sociedade, como se discutirá no final deste capítulo.

### 3.4.3 - O clima e seus condicionantes

Pelo que se constatou anteriormente, a compreensão da gênese do sistema lagunar holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul requer que se remonte às variações relativas do nível do mar, as quais derivam na sua maior parte de mudanças climáticas subatuais.

As evidências de ciclos transgressivos e regressivos que, por exemplo, retrabalharam as porções distais do sistema de leques aluviais foram correlacionadas aos eventos glaciais da era Cenozóica (Villwock e Tomazelli, 1995). No entanto, as causas que provocam os ciclos glaciais ainda não foram equacionadas de forma definitiva. Mesmo assim, é fato que os seus efeitos deixaram testemunhos na paisagem da planície costeira rio-grandense.

Atualmente, os condicionantes climáticos que comandam os processos morfogenéticos na região são inerentes à sua posição transicional entre as latitudes médias e subtropicais. Isto faz com que o Litoral Setentrional do Estado esteja submetido, principalmente, à influência de dois importantes centros de ação atmosférica: o anticiclone semipermanente do Atlântico Sul e o anticiclone migratório polar. Nestes sistemas de circulação são individualizadas, respectivamente, as massas de ar Tropical Atlântica (*Ta*) e Polar Atlântica (*Pa*). Vale colocar que, mesmo de forma secundária, esta região é afetada em parte pelas massas de ar Equatorial Continental (*Ec*) e Tropical Continental (*Tc*), durante o verão.

Associados às características térmicas e higrométricas, assim como à frequência de atuação dos sistemas acima mencionados, destacam-se três grandes fatores estáticos: latitude, geomorfologia e maritimidade. Estes em conjunto são os principais condicionantes climáticos responsáveis, de forma genérica, pelo clima mesotérmico brando da porção norte da planície costeira rio-grandense (Vieira e Rangel, 1988).

#### 3.4.3.1 - A dinâmica atmosférica e seus efeitos sobre as condições do tempo

As massas de ar que afetam a área de escopo deste estudo têm sua origem em centros de ação que procedem de distintas latitudes. A passagem destes sistemas pelo continente acarreta uma sucessão de tipos de tempo que resultam, entre outros fatores, das transformações ocorridas nas massas de ar durante o seu deslocamento.

O anticiclone semifixo do Atlântico Sul está associado à faixa de altas pressões subtropicais do hemisfério austral. Trata-se de um centro positivo, dispersor de ventos que sopram de Sudeste a Nordeste e que influencia as condições meteorológicas da região durante o ano todo. Em conformidade com as oscilações sazonais de temperatura, este anticiclone ora se afasta, ora se aproxima do continente, provocando mudanças nas condições meteorológicas.

Oriunda deste centro tem-se a massa de ar *Ta* caracterizada geralmente pela temperatura e umidade elevadas, as quais são mantidas pela intensidade da radiação solar e da evaporação marítima que distinguem as latitudes tropicais. A constante subsidência superior do centro de alta pressão produz inversão térmica na massa de ar, restringindo sua umidade à camada mais superficial. Assim, as condições atmosféricas associadas ao seu domínio são de tempo estável e ensolarado, que se altera em função da chegada das *correntes de circulação perturbada*<sup>30</sup> ou ainda em decorrência de fortes ventos de Este a Nordeste gerados pelo anticiclone do Atlântico<sup>31</sup> (Nimmer, 1979). É importante ressaltar que, no período compreendido pela primavera e pelo verão, quando a insolação é mais intensa no hemisfério sul, o Litoral Norte do Estado é mais afetado pela borda instável deste centro de alta pressão, o que provoca precipitações freqüentes e predominantemente do tipo convectivo, segundo explicam Hasenack e Ferraro (1989).

---

<sup>30</sup> As *correntes de circulação perturbada* derivam da formação de sistemas frontais gerados entre duas massas de ar ou de duas ou mais altas pressões, que tornam o tempo instável e, de maneira geral, chuvoso (Nimmer, 1979).

<sup>31</sup> Isto ocorre em face de uma ascendência dinâmica do ar provocada pelo obstáculo orográfico (Serra Geral), conforme Nimmer (*op. cit.*).

O anticiclone polar marítimo da América do Sul representa outro importante centro de ação positivo que afeta a região, em virtude do gradiente barométrico que o atrai para o Equador. A sua formação está relacionada ao acúmulo de ar proveniente dos turbilhões polares sobre os oceanos, em latitudes subpolares (Fundação de Economia e Estatística, 1975). De acordo com Nimmer (1979), em sua origem este centro de alta pressão apresenta forte subsidência e inversão térmica, sendo o ar muito seco, frio e estável. Porém, ao longo de sua trajetória absorve calor e umidade da superfície marinha, tornando-se instável já nas médias latitudes.

A massa *Pa* é individualizada neste anticiclone nas proximidades do continente, na latitude da Patagônia. Trata-se de uma massa de ar fria e úmida que eventualmente pode ser reforçada pela *Polar Pacífica*, tornando mais vigoroso o seu avanço no sentido Sul-Norte. Sua atuação é mais intensa no inverno, quando as condições de frontogênese são comuns, mas também é observada nas demais estações do ano. A sua passagem está relacionada primeiramente à forte instabilidade, característica das *corrente perturbadas de Sul* ou *Frente Polar* que invade o território gaúcho com ventos de direção Sul a Sudeste (Nimmer, *op. cit.*). Posteriormente, se observa uma queda brusca de temperatura seguida de estabilidade atmosférica, após a passagem da frente. Contudo, os impactos da passagem deste sistema são minimizados em parte, devido à presença da escarpa do Planalto Meridional, que funciona como um obstáculo aos ventos continentais de sudoeste, frios e secos, o que torna o inverno mais ameno na região.

No verão o Litoral Norte pode ser afetado mais ou menos intensamente por outras duas massas de ar, ambas quentes, mas com características higrométricas diferentes: a *Ec* e a *Tc*.

A massa de ar *Ec* tem seu centro de ação na Amazônia e representa uma célula de convergência dos alísios. Consoante Nimmer (*op. cit.*), a ocorrência desta massa de ar no sul do Brasil está vinculada às *correntes perturbadas de Oeste* ou às *Linhas de Instabilidade Tropicais*. Como consequência da sua passagem tem-se a precipitação de chuvas convectivas que se verificam ao entardecer ou no início da noite, podendo ficar circunscritas às escarpas do Planalto e suas proximidades.

A  $T_c$  se origina de um centro de ação negativo situado na região do Chaco, no interior do continente sul-americano. Esta massa de ar é quente e seca e só adquire importância para a circulação atmosférica do Litoral Norte do Estado quando da ocorrência de anos secos.

Na figura 16, pode-se observar o conjunto de massas de ar que define as condições meteorológicas, no verão e no inverno, para o Rio Grande do Sul.

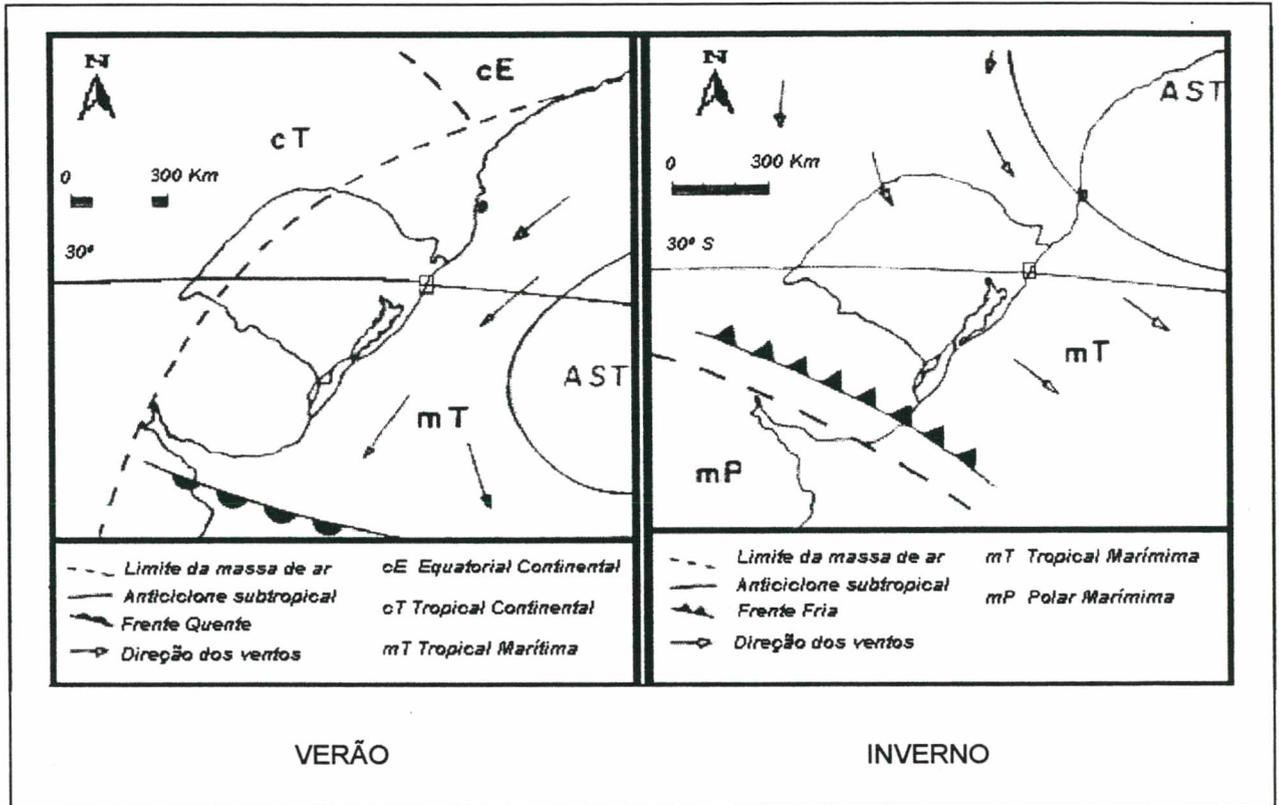


Figura 6: Padrão de circulação atmosférica no Rio Grande do Sul, conforme Hasenack (1987; *apud* Hasenack e Ferraro, 1989)

Pelo exposto, pode-se inferir que a interação desses sistemas atmosféricos com os elementos de uma paisagem marcada pelos contrastes topográficos e pela presença de corpos lacustres e lagunares, explica o clima do Litoral Setentrional Rio-grandense.

Assim, em termos de condições médias, esta região apresenta temperaturas que variam de 15°C a 19°C. A média das máximas oscila entre 21°C a 25°C e a

média das mínimas entre 11°C a 18°C (Secretaria da Agricultura e Abastecimento,1994).

As precipitações pluviométricas ocorrem durante o ano todo, com média anual oscilando entre 1100 mm a 1900 mm. Os maiores índices estão situados no setor correspondente à *escarpa do Planalto*, denotando o efeito da orografia na distribuição das chuvas na região. É importante considerar que estes índices podem superar os 2000 mm em São Francisco de Paula, ficando acima da média do Estado que é de 1540 mm, de acordo com Berlato (1992).

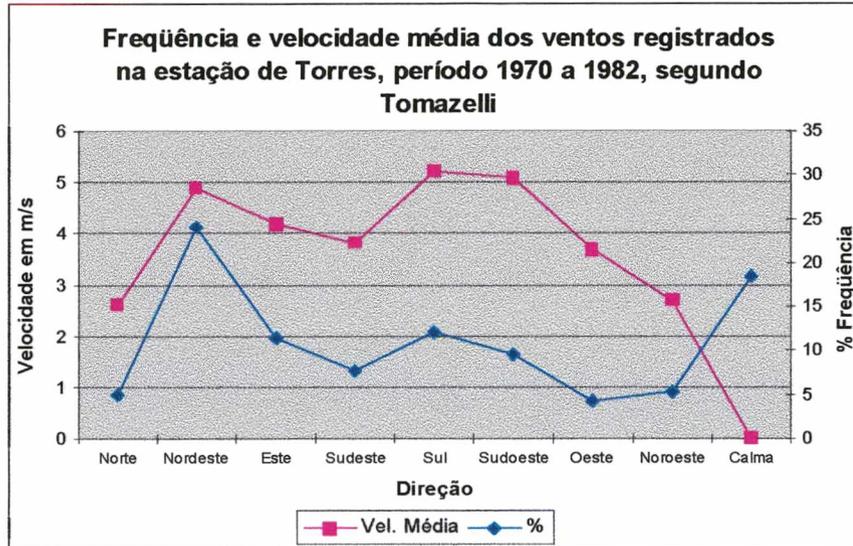
Quanto à umidade relativa, os dados de Secretaria da Agricultura e Abastecimento (*op. cit.*) indicam uma variação média entre 75% a 85%, evidenciando a influência das massas de ar *Ta* e *Pa*, caracterizadas pelo elevado teor de umidade, bem como pela proximidade com o oceano.

No que tange à evapotranspiração potencial anual, verifica-se um gradiente da zona costeira até as áreas mais elevadas do planalto, em decorrência do decréscimo da temperatura. Assim, a partir do litoral de Torres até Palmares do Sul a evapotranspiração pode atingir até 1000 mm/ano; no domínio das Terras Altas, oscila entre 600 mm a 900 mm anuais; e na planície lagunar, varia entre 900 mm e 1000 mm/ano (Fundação de Economia e Estatística, 1975).

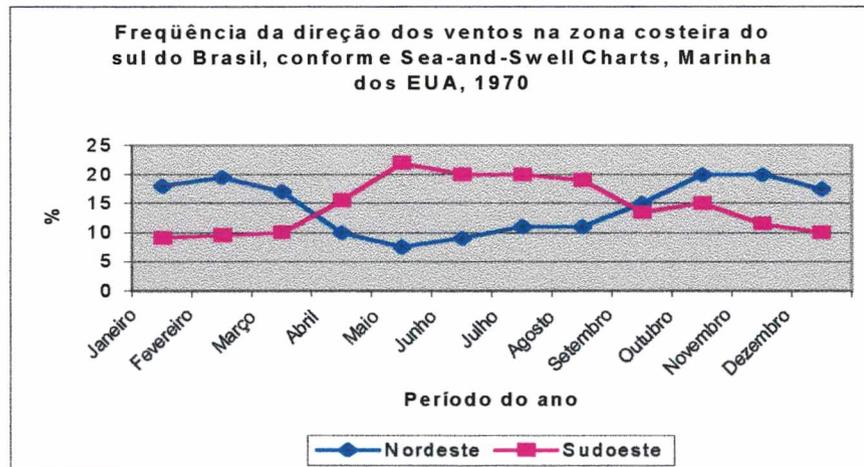
O regime típico de ventos representa outro relevante fator para a avaliação da dinâmica costeira da região, notadamente no que concerne à modelagem de feições geomorfológicas superficiais, aos processos de colmatagem e segmentação de lagoas e às oscilações do nível de maré.

Tomazelli (1993; *apud* Villwock e Tomazelli,1995) verificou que no Litoral Norte do Estado o vento predominante procede de Nordeste, oriundo do anticiclone do Atlântico Sul. Embora ocorra o ano todo, a frequência deste é maior na primavera e no verão, em virtude da maior proximidade do centro de alta pressão com o continente nesta época do ano. Secundariamente e de forma mais eficaz no inverno, se manifesta o vento de Oeste-Sudoeste que está associado à passagem dos sistemas frontais. Segundo as informações dos técnicos e produtores da

região, são os ventos do quadrante sul que, combinados com condições de estiagem, provocam a intrusão de água salgada nas sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré (figura 7).



Fonte dos dados: Villwock e Tomazelli (1995)



Fonte dos dados: Godolphim (1976; *apud* Fundação de Economia e Estatística, 1978)

Figura 7: Regime de ventos e suas características no Litoral Norte e na Província Costeira do Estado

### 3.4.4 – As características do substrato edáfico

O solo tem papel extremamente importante para a manutenção dos recursos hídricos das bacias hidrográficas. A capacidade de infiltração e de armazenamento da água no substrato edáfico interfere, decididamente, na disponibilidade hídrica dos sistemas hidrológicos, afetando, por conseguinte, os seus usos múltiplos.

A importância da variável solo se dá muito em virtude da natureza singular da água. Caracterizada por uma notável fluidez, ela migra entre os compartimentos geosféricos – atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera -, interagindo com os seus componentes sólidos, líquidos e gasosos. Assim sendo, as mudanças naturais ou artificiais que atingem estes compartimentos podem alterar o estado qualitativo e quantitativo dos seus recursos hídricos.

Farb (1964), Lacoste e Salanon (1973), Duvigneaud (1974), Tricart (1977) e Odum (1988) também chamam a atenção para a destacada importância ecológica do solo, que participa de forma decisiva na dinâmica dos principais ciclos biogeoquímicos do planeta. A ciclagem dos nutrientes mais necessários ao suporte da biota terrestre, que caracteriza a extraordinária economia da natureza, se faz, em grande parte, graças ao concurso de microorganismos sediados neste ecossistema.

A formação do solo ocorre fundamentalmente pelo processo de decomposição da rocha matriz, através dos agentes bioclimáticos. No processo de pedogênese os fatores que se evidenciam são o clima, de maneira determinante, devido principalmente à ação da temperatura e das precipitações; a natureza da rocha-mãe, em face das suas características físico-químicas; a topografia, cujo grau de declividade pode favorecer a erosão, a migração de elementos ou o seu acúmulo; e a cobertura vegetal, pela sua função protetora e por ser importante fornecedora de matéria orgânica ao substrato edáfico.

#### 3.4.4.1 – Os solos representativos da área de estudo

Na área de abrangência deste estudo os solos do setor planiciário foram detalhadamente avaliados, por ocasião da elaboração do *Plano Diretor de*

*Desenvolvimento da Bacia do Rio Mampituba*, no início da década de 1980. Nesse trabalho foi constatada a boa fertilidade dos recursos edáficos, especialmente aqueles constituídos por sedimentos argilosos e material orgânico da Unidade Gravatal, associados aos processos de colmatagem de lagoas, que dominam no entorno dos sistemas lacustres Morro do Forno e do Jacaré (Ministério do Interior, 1982).

Os solos do subdomínio do Planalto, não contemplados no trabalho acima referido, resultam da pedogênese realizada predominantemente sobre os basaltos da Formação Serra Geral. De acordo com a Fundação de Economia e Estatística (1975), são do tipo Brunizem avermelhado, medianamente profundos, apresentam horizonte B textural e argila de atividade alta (unidade de mapeamento Ciríaco), que se encontram associados a solos litólicos eutróficos (unidade de mapeamento Charrua<sup>32</sup>), nas áreas de relevo mais íngreme.

Na tabela 9 estão listados os solos que ocorrem na área de estudo, assim como as suas características gerais de capacidade de armazenamento e necessidades de irrigação, conforme detalhado em Ministério do Interior (1982).

#### 4.4.4.2 – A aptidão agrícola

O Litoral Norte do Rio Grande do Sul apresenta, em geral, solos com boa fertilidade natural, tendo como principais fatores restritivos à sua utilização agrícola a topografia acidentada ou a textura predominantemente arenosa. Na área em foco, entretanto, é necessário destacar outro condicionante ligado ao substrato edáfico, qual seja, o comportamento das águas de subsuperfície.

---

<sup>32</sup> Estas unidades de mapeamento constam do trabalho do Ministério da Agricultura (1973) que trata do levantamento e reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul. O mapa final deste estudo foi apresentado em uma escala de 1:750.000.

Tabela 9 – Grandes grupos de solos no subdomínio da planície costeira - sub-bacias Morro do Forno e Jacaré, Litoral Norte, RS

Ordem	Subordem	Grande grupo	Substrato	Relevo	Unidade Mapeamento	Capacidade de armazenagem	Irrigação
Solos com horizonte B textural	Não hidromórfico/ argila atividade baixa	Podzólico vermelho amarelo	Sedimentos coluviais de arenito e basalto	Ondulado	Molha Côco ( <i>Mco</i> ) <sup>1e2</sup>	Alta	D
			Sedimentos arenosos	Plano suave a ondulado	Araranguá ( <i>Ar</i> ) <sup>1e2</sup>	Muito baixa	I
Solos com horizonte B incipiente	Não hidromórfico/ argila atividade alta	Cambissolo	Sedimentos arenosos e argilosos	Plano a suave ondulado	Jacinto Machado ( <i>JM</i> ) <sup>1</sup>	Média	C
Solos pouco desenvolvidos	Hidromórfico argila atividade alta	Glei pouco húmico	Sedimentos argilosos	Plano	Poço de Lontra ( <i>PL</i> ) <sup>1e2</sup>	Alta	D
	Hidromórfico argila atividade baixa	Glei pouco húmico	Sedimentos arenosos e argilosos	Plano	Várzea da Areia ( <i>VA</i> ) <sup>1e2</sup>	Baixa	C
		Glei húmico	Sedimentos arenosos e argilosos	Plano suave a ondulado	Tapera ( <i>Tp</i> ) <sup>1e2</sup>	Muito baixa	I
	Hidromórfico argila atividade alta	Glei húmico	Sedimentos argilosos	Plano	Jundiaí ( <i>J</i> ) <sup>1</sup>	Muito baixa	I
	Hidromórfico argila atividade baixa	Areias quartzosas	Sedimentos arenosos e argilosos	Plano	Curumim ( <i>Cur</i> ) <sup>2</sup>	Muito baixa	I
Solos orgânicos	Hidromórficos	Turfoso	Sedimentos arenosos e argilosos	Plano	Rio do Sertão ( <i>RS</i> ) <sup>1</sup>	Muito baixa	I
			Sedimentos orgânicos	Plano	Gravatal ( <i>GR</i> ) <sup>1e2</sup>	Muito baixa	I

Fonte: Ministério do Interior (1982), com modificações; Legenda: I – irrigação indispensável; C – irrigação conveniente; D – irrigação dispensável; <sup>1</sup> – sub-bacia Lagoa Morro do Forno; <sup>2</sup> – sub-bacia Lagoa do Jacaré

Estudos realizados por Ministério do Interior (1982), através da instalação de uma rede de cinquenta poços, monitorados durante doze meses, nos solos que circundam as lagoas do Morro do Forno e do Jacaré atestaram a pouca profundidade do lençol freático. Isto afeta as culturas devido à deficiência de aeração, bem como à diminuição do horizonte de solo passível de exploração pelo sistema radicular das mesmas (Ministério do Interior, *op. cit.*).

A tabela 10 resume o quadro de aptidão dos recursos edáficos que caracterizam a área estudada.

Tabela 10 – Síntese da aptidão agrícola dos solos representativos das sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré - Litoral Norte, RS

Classe de Solo <sup>1</sup>	Unidades de Mapeamento	Restrições	Aptidão
1	MCo, JM e PL	Riscos de inundações e deficiência hídrica.	Milho, feijão, fumo, cana-de-açúcar, pastagens, fruticultura e silvicultura, nas áreas elevadas, e arroz, nas várzeas.
2	Ar e VA	Baixa fertilidade natural, pobres em matéria orgânica e com baixa capacidade para o armazenamento de água.	Pastagens nativas, eucaliptos, mandioca e, eventualmente, citrus.
3	Tp-J e Cur	Deficiência de drenagem e de fertilidade.	Corrigidas as deficiências de drenagem e fertilidade em alguns locais pode-se obter bons resultados com milho, arroz, cana-de-açúcar, abacaxi, pastagens cultivadas e olerícolas.
4	RS e GR	Problemas de drenagem e acidez.	Milho, arroz, cana-de-açúcar, pastagens cultivadas e olerícolas.
5	Ciríaco e Charrua	Elevada suscetibilidade à erosão, o que exige a adoção de intensas práticas conservacionistas.	Culturas permanentes associadas ao reflorestamento e a fruticultura.

Fontes: Ministério do Interior (1982); Ministério da Agricultura (1973) e Secretaria da Agricultura e Abastecimento (1994); Legenda: <sup>1</sup> - classes definidas pelos grandes grupos de solos mapeados na área de estudo.

### 3.4.5 – O papel da cobertura vegetal

A conservação do substrato edáfico é de suma importância para a garantia das condições quali-quantitativas dos recursos hídricos. Isto se dá fundamentalmente em decorrência da manutenção do seu revestimento florístico.

A vegetação tem a capacidade de reduzir a incidência de radiação solar, influenciando, assim, na temperatura e nas oscilações térmicas no interior do solo. Ela abranda os efeitos da erosão pluvial e ajuda a manter a umidade, à medida que diminui a velocidade e a energia cinética das gotas de chuva. Este efeito também se manifesta na redução do escoamento superficial, o que, a seu turno, minimiza a denudação sobre as encostas. Além disto, a cobertura vegetal interfere de maneira a amenizar a ação eólica no transporte de partículas, promovendo a sua deposição.

Tricart (1977) sintetizou o papel estabilizador da vegetação através do termo *fitoestasia*<sup>33</sup>, acrescentando, a exemplo de Lacoste e Salanon (1973) a sua importante contribuição à pedogênese, em virtude, também, do fornecimento de detritos vegetais à superfície do solo.

Desta maneira, torna-se imperiosa uma avaliação correta do sistema solo-planta-atmosfera, a fim de que se possa apreciar a real disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica. Isto, por sua vez, viabiliza-se por meio de uma análise criteriosa do papel da flora nativa e da cultivada na sua dinâmica hidrológica.

#### 3.4.5.1 - A vegetação florestal primitiva remanescente

O Litoral Norte do Rio Grande do Sul compreende o setor mais meridional do domínio da Floresta Atlântica *stricto sensu*. Considerada um dos ecossistemas mais ameaçados do mundo consoante Consórcio Mata Atlântica (1992), a sua

---

<sup>33</sup> O termo original *bioestasia*, utilizado pelo pedólogo H. Erhart, foi considerado muito genérico, visto que abrange todas as biocenoses. Assim, foi substituído por *fitoestasia*, contemplando apenas o conjunto de plantas de um dado ecossistema, o que pareceu mais preciso e justo para Tricart (1977).

elevação à Reserva da Biosfera<sup>34</sup>, em outubro de 1993, não foi suficiente para cessar o processo de degradação que vem reduzindo, drasticamente, as espécies nativas nas encostas e planícies do nordeste rio-grandense. Ainda assim, a diversidade biológica que caracteriza esta floresta é suficiente para que se mobilizem esforços, com o fim de concretizar o estruturado pelos agentes proponentes da sua transformação em Reserva da Biosfera, ou seja, de se conservar corredores ecológicos, sendo que o maior destes deve seguir, ininterruptamente, da Serra do Mar à Serra Geral. Isto significa uma extensão de aproximadamente 1.500 Km, que vai do Rio de Janeiro ao Rio Grande do Sul (Consórcio Mata Atlântica, 1992).

Muito antes dos estudos que culminaram com a criação da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Rambo (1954; *apud* Fundação Estadual de Proteção Ambiental e Centro de Ecologia da UFRGS, 1991) já destacava a importância desta região como passagem estreita entre a Serra Geral e o oceano, pela qual migraram espécies da flora tropical, procedentes do norte. Esta passagem ou corredor foi denominado pelo autor de **“Porta de Torres”**. A propósito da importância desta entrada natural para a difusão e expansão de espécies, Ministério do Interior (1982) esclarece que há apenas três portas de entrada para a flora tropical no Estado: a citada *Porta de Torres*, para a vegetação costeira; o *Rio Pelotas*, para a flora campestre do Brasil Central; e o *Alto Uruguai*, para a fitocenose tropical da Bacia do Paraná. No sentido inverso a migração também se ultimou. Isto é referido por Klein (1975; *apud* Fundação Estadual de Proteção Ambiental e Centro de Ecologia da UFRGS, *op. cit.*) e em Ministério do Interior (*op. cit.*).

O Litoral Norte do Rio Grande do Sul, desta maneira, representa uma importante zona de transição entre ecossistemas tipicamente tropicais e os

---

<sup>34</sup> A elevação de um ecossistema à *Reserva da Biosfera* é realizada pela UNESCO e significa um relevante instrumento para a sua proteção. Assim, bem entendida, ela se torna um centro de monitoramento, pesquisa, educação ambiental e gerenciamento de ecossistemas, promovendo a formação e o desenvolvimento profissional de técnicos. Sua administração resulta do trabalho conjunto de organizações governamentais e não governamentais, buscando, de forma integrada, uma relação mais ética entre a sociedade e seu meio ambiente (Consórcio Mata Atlântica, 1992).

nitidamente subtropicais e temperados, constituindo-se em verdadeiro ecótono, no qual a biodiversidade ainda se notabiliza, apesar dos impactos negativos da sua ocupação. Associada a esta biodiversidade, característica dos ambientes florestais tropicais e subtropicais, existe a influência dos ecossistemas lacustres, estuarinos, lagunares e marinhos, que tornam a região, na qual as sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e do Jacaré se inserem, singular do ponto de vista biogeográfico.

No que concerne às formações florestais, constata-se a sua presença em diferentes habitats no escopo do presente estudo, abrangendo desde as áreas baixas da planície lacustre até as elevações da escarpa da Serra Geral.

No setor da planície costeira, ocupando terrenos de origem fluvial e lacustre em patamares que vão de 5 a 30 metros acima do nível do mar, encontram-se remanescentes da floresta paludosa, uma das formas de vegetação da Floresta Ombrófila Densa de Encosta – Floresta Atlântica. Esta floresta está quase sempre inundada e se encontra como fragmentos de vegetação nativa nos solos turfosos das várzeas das lagoas em apreço. Nos solos arenosos de origem marinha verifica-se a ocorrência da Floresta de Restinga. Com referência ao significado destas florestas para os estudos hidrológicos, Fundação Estadual de Proteção Ambiental e Centro de Ecologia da UFRGS (1991) destaca a sua função protetora, controlando os fluxos de água e restringindo os riscos de dessecação. A espécie arbórea que se distingue no domínio planiciário é a *Ficus organensis* (figueira-de-folha-miúda), de acordo com Secretaria da Agricultura e Abastecimento (1994).

A Floresta Atlântica propriamente dita ocupa diferentes patamares nas encostas do planalto, estando bastante descaracterizada em todo o setor setentrional do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Originalmente esta floresta recobria toda a escarpa do Estado e hoje se reduz a poucos fragmentos, ameaçados pelo avanço da bananicultura, com exceção dos localizados em setores de relevo muito íngreme, no qual a ocupação agrícola é inviabilizada.

O limite topográfico abrangido por esta formação florística é variável. Na designada *Floresta Submontana* as espécies arbóreas se distribuem em altitudes de 30 a 400 metros. Em áreas de relevo mais acentuado e de difícil acesso

registram-se fragmentos da chamada *Floresta Montana* (Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1994).

O substrato edáfico da *Floresta Submontana* é composto por solos medianamente profundos, o que faculta uma ocupação por exemplares arbóreos com altura de 25 a 30 metros, em média, com amplo dossel. O epifitismo é elevado e se constitui, principalmente, por bromélias dos gêneros *Vriesia* e *Tillandsia*. As espécies arbóreas latifoliadas representativas desta floresta são a *Ocotea catharinensis* (canela-preta), a *Slonea guianensis* (laranja-do-mato), *Schisolobium parahyba* (guarapuvu) entre outras. O estrato arbustivo é caracterizado fisionomicamente pela presença de espécies como a *Euterpe edulis* (palmito), ameaçada de extinção no Litoral Norte do Estado, e a *Esenbeckia grandiflora* (cutia). A estabilidade das encostas depende basicamente da manutenção desta flora nativa. Esta vegetação desempenha importante função protetora nas cabeceiras de drenagem dos principais formadores da sub-bacia da Lagoa do Morro do Forno.

A *Floresta Montana* recobre os solos da escarpa planáltica em altitudes superiores a 400 metros. Sua composição florística é bastante diversificada e pode-se observar a gradativa diminuição de *Euterpe edulis*, assim como de lianas e epífitas, à medida que a altitude aumenta. As espécies que se sobressaem no estrato médio deste ecossistema são representadas pela *Ocotea pretiosa* (canela-sassafrás), *Alchoernea sidifolia* (tanheiro) e uma gama de mirtáceas dos gêneros *Eugenia*, *Myrceugenia* e *Calypttranthes*, entre outras. Em níveis topográficos superiores a 1000 metros o número de espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas é reduzido, sendo representado basicamente por *Weinmannia humilis* (gramimunha), *Drymys brasiliensis* (casca d'anta), *Siphoneugena reitzii* (cambui), *Myreugenia sellowiana* (xaxim-bugio) e *Gunnera manicata* (urtigão).

#### 3.4.5.2 – As demais formações vegetais típicas da região

As formações restantes que representam a flora do Litoral Norte do Estado estão adaptadas a específicas condições edáficas e de topografia. Na área de

estudo pode-se identificar dois grandes setores representados por solos arenosos e por solos orgânicos.

De acordo com Secretaria da Agricultura e Abastecimento (1994), em locais secos e planos na região do Litoral Norte se manifesta uma vegetação campestre hemicriptófila, rala, constituída por gramíneas e ciperáceas, nas quais se destacam o *Andropogon leucostachyus* (capim-mambeca), o *Cenchrus echinatus* (capim-amoroso), entre outros. Já nas áreas úmidas dos banhados são encontradas espécies higrófilas como *Juncus spp.* (juncos), *Panicum reptans* (grama-branca), *Pontederia lanceolata* (rainha-dos-lagos) e outras.

Pelo que se pode verificar na síntese feita sobre a vegetação representativa do contexto no qual as lagoas do Morro do Forno e do Jacaré se inserem, a diversidade de ambientes é de fato uma característica marcante na área. Neste sentido, é sempre necessário frisar que, associada à fitocenose, existe sempre uma fauna interdependente, que encontra nas diversas formações vegetais alimento, abrigo e local para a procriação. Em contrapartida, a flora em interação com as várias espécies de animais também se beneficia, como nos processos de reciclagem de elementos biogênicos, produzidos predominantemente por fungos e bactérias, e de dispersão, provocados por pássaros e outros exemplares da fauna. Intervenções nestes ambientes, como a substituição de florestas por lavouras, pode afetar toda uma comunidade biótica, fragilizando os ecossistemas e tornando-os mais suscetíveis à ação e proliferação de espécies indesejáveis.

### **3.5 - O processo de ocupação do espaço e seus impactos nos recursos hídricos**

Pelo exposto anteriormente é possível inferir que a dinâmica do ambiente natural das sub-bacias estudadas concorre para a redução dos seus recursos hídricos superficiais, tendo-se em conta especialmente a crescente colmatagem dos ecossistemas lacustres dominantes na área e os riscos de salinização oriundos da influência do setor estuarino do Rio Mampituba. Por outro lado, as limitações impostas pela ocorrência de inundações e de estiagens, que se intercalam em decorrência de condicionantes climáticos e topográficos, também

representam fatores não negligenciáveis na análise dos recursos hídricos dos sistemas em foco, especialmente em face das particularidades dos solos da área.

A complexidade deste quadro tende a ser agravada pelas atividades antrópicas que nele se destacam, uma vez que a disponibilidade quali-quantitativa dos corpos de água é uma resultante da interação sociedade-natureza. O entendimento das causas que motivaram a formação das comunidades e a evolução das mesmas, com destaque para as suas demandas presentes e seus possíveis efeitos na dinâmica hidrológica, representam, assim, etapas importantes para o diagnóstico do cenário atual, prognose do cenário futuro e definição de estratégias necessárias à conservação dos recursos hídricos.

### *3.5.1- Síntese histórica do povoamento de Torres aos seus desmembramentos*

O Litoral do Rio Grande do Sul até as primeiras décadas do século XVIII era tão somente uma região de passagem no contexto estadual. A efetiva ocupação da planície costeira do Estado só se viabilizou em função do núcleo de povoamento de Laguna, no Litoral Sul de Santa Catarina, considerado um ponto estratégico da rota litorânea até a Colônia de Sacramento. Vieira e Rangel (1988) colocam que, no início dos anos de 1700, Laguna representava o primeiro marco de importância para o povoamento do território rio-grandense. Foi o aumento populacional desta vila que acabou desencadeando novos fluxos de populações para o Rio Grande do Sul, conforme explicou Bernardes (1962).

Nessa época Torres teve um importante papel devido à existência de antigas trilhas indígenas, que foram utilizadas pelos colonizadores para deslocamento e obtenção de recursos. O controle desta passagem estratégica contribuiu para que, em meados da década de 1770, o futuro município fosse elevado a “Guarda Militar de Itapeva e Torres”, vindo a ser um dos núcleos mais antigos de povoamento do Estado.

Na segunda década de 1800, com a chegada dos imigrantes alemães, novos núcleos populacionais começaram a se instalar no espaço rio-grandense. Foi a partir desse momento que surgiriam, entre outros, os povoados que dariam

origem aos municípios de Morrinhos do Sul, Três Cachoeiras e Dom Pedro de Alcântara. Entretanto, ao contrário do registrado na antiga colônia de São Leopoldo, fundada em 1824, esses povoados não se caracterizaram pelo crescimento econômico. O exemplo da colônia alemã de Três Forquilhas, município também desmembrado de Torres na década de 1990, pode esclarecer este fato. Desdobrada em dois núcleos, ela foi instalada na base da encosta planáltica. Todavia, a distância de Porto Alegre, que encarecia o acesso à colônia, aliada às dificuldades de sobrevivência na floresta provocaram a decadência deste núcleo de povoamento. Bernardes (1962) coloca que o isolamento talvez tenha sido a razão principal para o surgimento de uma cultura distinta de outras de origem alemã no Estado. Assim, no processo de colonização do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, este autor destacou que “... **seus habitantes foram se caboclando progressivamente**” (Bernardes, *op. cit.*, p.31).

Estas questões são importantes para a avaliação das formas de ocupação dos espaços na atualidade, tendo-se em vista a herança de um passado marcado pelo abandono. Isso também se refletiu em outras regiões do Estado e contribuiu para deflagrar o intenso movimento emancipacionista verificado durante as décadas de 1980 e 1990. Este processo possibilitou que os antigos distritos rurais provenientes do espaço agrário torrense, a exemplo de outros, conquistassem a sua autonomia. Desta forma surgiram as novas unidades administrativas de Morrinhos do Sul e Três Forquilhas, em 1992, e de Dom Pedro de Alcântara, em 1995.

### 3.5.2 - O uso atual do solo e seus efeitos

A forma atual de utilização da área estudada tem seus remanescentes no processo de sua ocupação original, caracterizado pelo isolamento e pela percepção do ambiente natural como um empecilho à sobrevivência das comunidades e ao seu crescimento econômico. Nos contatos feitos com os produtores rurais isto se torna perceptível, principalmente quando afirmam ser uma “necessidade social” a expansão das culturas em detrimento dos sistemas naturais.

Outra constatação importante é a falta de entendimento do conceito de bacia hidrográfica, o que é perfeitamente compreensível considerando-se a sua recente incorporação na legislação sobre a gestão de recursos hídricos no Brasil<sup>35</sup>. No contexto em foco, isto se observa claramente nas manifestações de moradores e de técnicos do local, que se remetem fundamentalmente aos problemas de balneabilidade na porção final do ambiente estuarino do Rio Mampituba, devido à falta de um sistema eficiente de esgotamento sanitário nos municípios do entorno. As áreas de cabeceiras de drenagem, bem como os sistemas lacustres ocupados preponderantemente por lavouras e pastagens não figuram, à primeira vista, como uma preocupação que deva ser considerada por todos os municípios e, em especial, pelos situados na parte baixa da bacia.

Na área de estudo é possível verificar o impacto provocado pelos sistemas agrários. A cultura da banana, desenvolvida em pequenas propriedades, se expande de forma implacável nas encostas anteriormente ocupadas pela Floresta Atlântica. A substituição da floresta pela bananicultura tem como efeito imediato a perda de diversidade biológica e a proliferação de pragas. Isto decorre basicamente do caráter de monocultura impresso a este cultivo, que tem ocupado extensões contínuas da encosta planáltica, e do uso indiscriminado de agrotóxicos. O mais grave é que o produto final desta atividade acaba muitas vezes perecendo na estrada, conforme foi possível se constatar por ocasião dos trabalhos de campo.

Desta maneira, a perda do patrimônio natural representado pela floresta é bastante discutível no âmbito de um sistema produtivo que se configura imprevidente e antieconômico em várias propriedades inseridas no contexto estudado.

Quanto à orizicultura, responsável pela maior rentabilidade econômica da região, verificou-se que sua expansão ultrapassa o permitido pela lei, ocupando

---

<sup>35</sup> A Lei 9.433/97 no seu artigo 1º, inciso V, esclarece que " *a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*".

inclusive áreas consideradas de preservação permanente como as dominadas originalmente pelas matas-ciliares. Este tipo de cultivo, ainda que se desenvolva principalmente em pequenas propriedades, tem efeitos que não podem ser menosprezados, devido à fragilidade natural dos recursos hídricos do baixo vale do Rio Mampituba, conforme caracterizado anteriormente.

As tentativas de superação dos limites impostos pelo ambiente natural têm apresentado resultados mais negativos que positivos. O exemplo mais notável na área foi a construção de um extenso dique na margem oriental da Lagoa do Morro do Forno, na propriedade dos De Boni. O propósito desta obra era de controlar as cheias, assim como garantir um abundante suprimento de água para a irrigação do arroz e de olerícolas nas terras que margeiam o leste da lagoa. De acordo com informações da EMATER de Torres, este dique foi construído com aproximadamente 10 metros de base maior, 5 metros de base menor e 4,5 metros de altura. Instalada a obra na década de 1980, parte da área foi drenada para o cultivo de 50 hectares de tomate em solo turfoso. O objetivo era o desenvolvimento de uma agroindústria ligada ao extrato deste fruto. No entanto, a drenagem trouxe como consequência a remobilização de sais do solo, tornando-o inadequado para o plantio do tomateiro. Apenas as culturas mais tolerantes como as da cebola e da beterraba apresentavam um bom rendimento até que a frequência e a intensidade das inundações típicas da área romperam o dique, arrasando estas lavouras.

Atualmente esta edificação figura quase como um testemunho silencioso de uma desastrosa intervenção humana na paisagem local. O proprietário das terras drenadas nas várzeas da Lagoa do Morro do Forno acabou falindo e os arrendatários abandonaram o empreendimento. Hoje parte desta área continua sendo arrendada a terceiros para o cultivo do arroz. As bombas hidráulicas são utilizadas ora para drenar a água do solo e lançá-la no interior da Lagoa e ora no sentido inverso. Enquanto isto, as cheias permanecem como uma dificuldade real para o produtor.

Com referência à melhoria tecnológica no cultivo do arroz, é fato que a introdução em 1983 do sistema pré-germinado implicou numa economia de água, segundo informam os técnicos do local. Todavia, o uso de biocidas não foi

excluído, tanto que são citados por moradores da área como responsáveis pela mortandade de peixes na Lagoa do Morro do Forno, como já havia sido referido anteriormente. Os orizicultores se defendem, alegando que este dano ambiental é resultante da bananicultura que utiliza agroquímicos no controle de pragas.

No que tange às olerícolas, destaca-se o seu cultivo em três sítios geográficos distintos na área de escopo: as encostas do vale do Rio do Mengue, a planície de inundação do Rio das Pacas e as baixas elevações dos morros de Dom Pedro de Alcântara. A exemplo das culturas acima mencionadas, as olerícolas são desenvolvidas em pequenas propriedades. No seu âmbito alguns graves problemas se salientam tais como: uso de queimadas, ocorrência de solo exposto, plantio em encostas declivosas e utilização indiscriminada de agrotóxicos.

Uma outra atividade potencialmente poluidora na área é a avicultura em Morrinhos do Sul, exercida até o momento em apenas um aviário, situado no vale do Rio do Mengue. Cabe destacar que não há controle sobre os resíduos gerados nesta atividade.

Em síntese, o quadro acima expõe uma economia que se fundamenta num modelo agrícola ainda muito tradicional, subordinado à utilização de agroquímicos e que é decididamente discutível em termos de sustentabilidade. Isto se verifica na crescente dificuldade do controle efetivo das pragas nos cultivos, nos baixos preços pagos aos produtores e na degradação do ambiente natural, o que contribui para a formação de um cenário vulnerável às constantes flutuações da economia e incompatível com as novas regras de mercado internacional definidas pela Iso-14.000<sup>36</sup>.

Na figura 8 tem-se alguns exemplos dos principais problemas ambientais observados nas sub-bacias estudadas.

---

<sup>36</sup> A Iso-14.000 é representada por normas universais para o gerenciamento ambiental. Assim, a conquista de mercados para a exportação de produtos exigirá a certificação, por exemplo, da classificação ambiental dos processos e dos produtos, requerendo um controle na qualidade ambiental desde a obtenção de matérias-primas até a utilização e disposição final do produto (Brandão, 1994).



1: Queimada nas encostas de Morrinhos do Sul

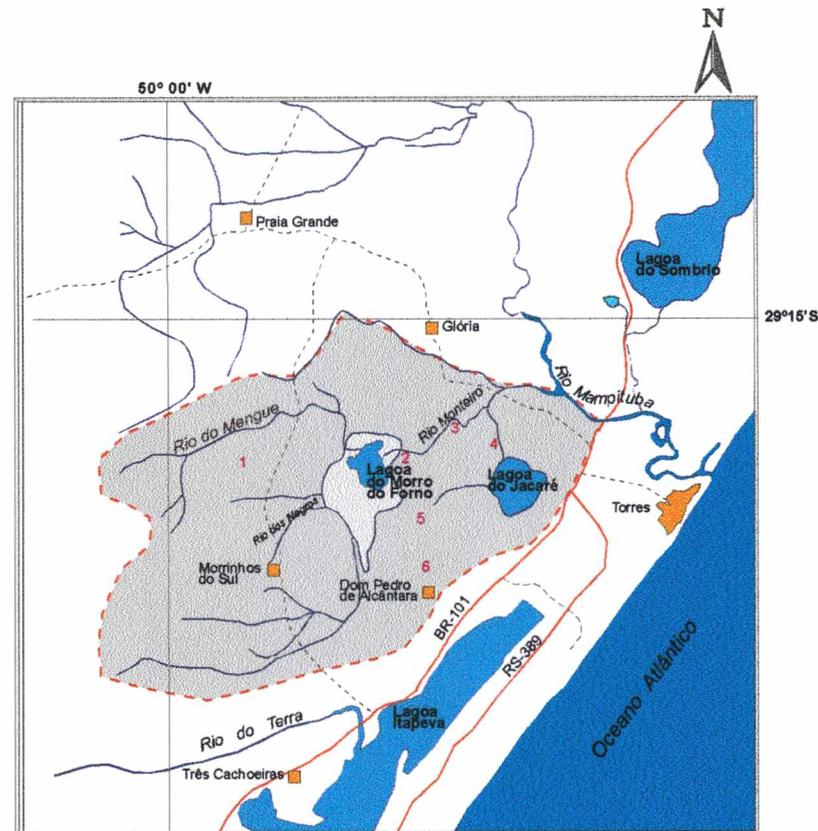


2: Dique: Margem leste da Lagoa do Morro do Forno



3: Bomba para irrigação do arroz: Rio Monteiro

Obs: fotos 1, 5 e 6 datadas de 01.09.98;  
fotos 2 a 4, 21.07.98

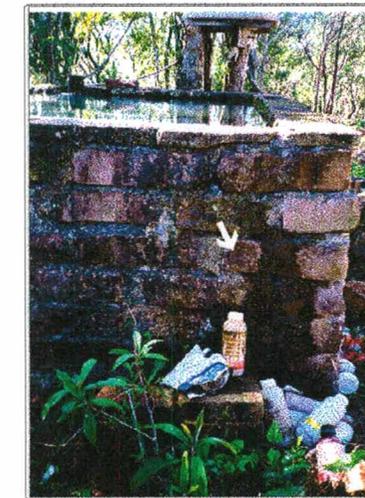


Base cartográfica: Folha Gravataí (com modificações)  
Ministério do Exército - DSG  
Escala = 1:250.000 - 1983

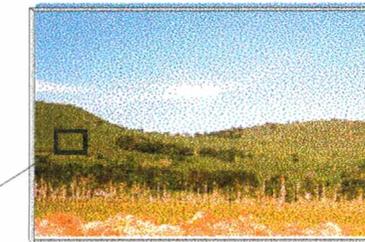
- Legenda**
- Banhado
  - Lagoas
  - Limite da área de estudo
  - Área urbana; sedes municipais ou distritais
  - Localização aproximada das fotos que ilustram a degradação ambiental na área



4: Área de cultivo de arroz ao longo do Canal da Lagoa do Jacaré



5: Embalagens de agrotóxicos dispostas junto ao reservatório de água; D. Pedro Alcântara



6: Bananicultura nas encostas de Dom Pedro de Alcântara em substituição à Floresta Atlântica



Figura 8: Exemplos de problemas ambientais identificados na área de estudo

### 3.5.3 - Usos preponderantes da água e seus conflitos

Os estudos anteriores e o levantamento das atuais condições ambientais demonstram que os problemas dos recursos hídricos da área estudada abrangem tanto questões ligadas à quantidade quanto à qualidade.

Os principais usos da água na área estão ligados basicamente ao abastecimento público, ao lançamento de esgoto e resíduos sólidos, à dessedentação de animais e à irrigação. Outros usos contemplados pela Resolução n.º 20/86, do CONAMA, como preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e aqüicultura, ainda que tenham sido sugeridos como propostas de utilização nos ecossistemas lacustres da área, como consta no trabalho do Ministério do Interior (1982), não aparecem como usos preponderantes.

Conforme já foi colocado, as atividades agrárias dominantes neste espaço caracterizam-se pelo uso sem controle de adubos e agrotóxicos, apesar dos esforços dos técnicos da EMATER da região de reverter este quadro. Em visitas feitas a alguns agricultores de Morrinhos do Sul e Dom Pedro de Alcântara, em abril de 1998, constatou-se que a prática da utilização destes implementos agrícolas era feita pelo produtor sem que o mesmo registrasse a quantidade de produto/ha/ano utilizada na lavoura. Por outro lado, alguns proprietários rurais reclamavam, na época, da contaminação das águas dos rios e lagoas devido à utilização de biocidas nas lavouras. Este problema aparece de forma explícita por Silva (1996), na sua análise do saneamento ambiental de Morrinhos do Sul. Segundo esta autora, não há uma proteção eficiente das fontes de água destinadas ao abastecimento público. Faltam cuidados com a limpeza e a desinfecção e ainda existe a ocorrência de contaminações por agrotóxicos. Foram várias as denúncias de má utilização destes produtos nas lavouras próximas a captações de água feitas à Secretaria Municipal de Saúde. Na época do estudo realizado por Silva, a maior contaminação teve sua causa associada ao herbicida *Tordon*, que apresenta uma elevada toxicidade e é utilizado na “limpeza” da pastagem.

Outro grave problema está relacionado ao destino final das embalagens<sup>37</sup> dos agrotóxicos. Na área em apreço foi possível identificar *in loco* que muitas vezes estes resíduos sólidos são dispostos em qualquer lugar, constituindo-se em verdadeira fonte concentrada de poluição, inclusive para o próprio usuário.

As tabelas 11 a 13 ilustram os principais biocidas utilizados atualmente nas culturas preponderantes na área de estudo, apenas adiciona-se que para pastagens nativas é ainda utilizado o herbicida *Tordon 2,4-D*, cujo princípio ativo é o Picloran, pertencente ao grupo químico dos *fenoxiacéticos*, classe toxicológica<sup>38</sup> I.

Tabela 11 - Principais agrotóxicos utilizados na bananicultura - bacia hidrográfica do Rio Mampituba, RS

Tipo	Produto	Princípio Ativo	Classe Toxicológica
Fungicida	<i>Óleo mineral Spraytex</i>	Derivado petróleo	IV
Idem	<i>Benlate 500</i>	Benomyl	III
Idem	<i>Cercobin 700 PM e/ou Fungiscan 700 PM</i>	Thiophanate methyl	IV
Idem	<i>Titit</i>	Propiconazole	II
Idem	<i>Tecto 600</i>	Thiabendazole	IV
Idem	<i>Follicur</i>	Tebuconazole	III
Herbicida	<i>Rondup - Glifosato Nortox - Glion e/ou Gliz</i>	Glyphosate	II a IV
Idem	<i>Gramoxone 200</i>	Paraquat	I
Espalhante Adesivo	<i>Extravon</i>	Alquil-fenol-poliglicoléter	IV

Fonte: EMATER – Torres, 1998.

Tabela 12 - Principais agrotóxicos utilizados na orizicultura – bacia hidrográfica do Rio Mampituba, RS

Tipo	Produto	Princípio Ativo	Classe toxicológica
Herbicida	<i>Facet Pm</i>	Quinclorac	III
Idem	<i>Sírius</i>	Pyrazo sulfuron	IV
Idem	<i>Allay</i>	Metsulfuron	III

<sup>37</sup> A Lei 9.921, de 27.07.93, regulamentada pelo Decreto 38.356, de 01.04.98, dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos no Rio Grande do Sul. No caso de agrotóxicos, a lei define que a responsabilidade para a sua destinação final será do fornecedor ou do receptor local licenciado (art. 15, Decreto 38.356/98).

<sup>38</sup> A classificação toxicológica informa o nível de toxicidade de um agroquímico, sendo que esta é tanto maior quando menor a classe.

Idem	<b>Satanil</b>	Propanil e Thiobencarb	III
Idem	<b>Furore</b>	Fenoxaprop-ethyl	III
Idem	<b>Garnit</b>	Fenoxan	I
Idem	<b>Karatê 50 CE</b>	Lambdacyhalothrin	II
Idem	<b>Ambusch</b>	Permethrin	II
Idem	<b>Decis 25 CE</b>	Decamethrine	II
Idem	<b>Baytroid CE</b>	Cyfluthrin	II
Idem	<b>Furadan 50G e/ou Furadan 350</b>	Carbofuran	I
Idem	<b>Nuvacron 400</b>	Monocrotophos	I

Fonte: EMATER – Torres, 1998.

Tabela 13 - Principais agrotóxicos utilizados em olerícolas – bacia hidrográfica do Rio Mampituba, RS

<b>Tipo</b>	<b>Produto</b>	<b>Princípio Ativo</b>	<b>Classe Toxicológica</b>
Fungicida	<b>Manzate BR</b>	Mancozeb	III
Idem	<b>Cupravit Azul e/ou Verde</b>	Oxicloreto de cobre	IV
Idem	<b>Dithane PM</b>	Mancozeb	III
Idem	<b>Cercobim</b>	Thiophanate Methyl	IV
Idem	<b>Benlate</b>	Benomyl	III
Idem	<b>Daconil BR</b>	Chlorothalonil	II
Idem	<b>Ridomil Mancozeb BR</b>	Metalaxyl	III
Idem	<b>Roural</b>	Idropione	IV
Inseticida	<b>Tricard</b>	Cyromazine	III
Idem	<b>Diazion 600 CE</b>	Diazinon	II
Idem	<b>Baytroid CE</b>	Cyfluthrin	II
Idem	<b>Vertimec 18 CE</b>	Abamectin	I
Idem	<b>Karatê</b>	Lambdacyhalothrin	II
Idem	<b>Decis 25 CE</b>	Decamethrine	II
Idem	<b>Ambusch</b>	Permethrin	II
Idem	<b>Dipterex 500</b>	Trichlorfon	II
Idem	<b>Match</b>	Lufenuron	IV
Herbicida	<b>Fusilade</b>	Butil-propionato	II
Espalhante adesivo	<b>Agral</b>	Etanol	IV

Fonte: EMATER – Torres, 1998.

A utilização sem controle de fertilizantes também representa um problema potencial na área em questão, uma vez que concorre para a aceleração do processo de enriquecimento biológico dos corpos de água, especialmente os

lacustres. A este respeito, Yudelman (1992, p.87) alerta para a “... **a degradação de habitats naturais insubstituíveis ...**”, quando aborda a influência da irrigação na qualidade da água dos ecossistemas aquáticos. Segundo este autor, o uso cada vez mais acentuado de adubos químicos tem provocado a contaminação de aquíferos e águas superficiais, o que compromete outros usos deste bem, como a pesca e o abastecimento público. Como já foi mencionado, nas sub-bacias estudadas não há controle no uso de adubos e, muito menos, de seus possíveis efeitos na qualidade da água.

Não se pode esquecer de que, associada à poluição oriunda das atividades agrárias, existe a utilização dos recursos hídricos para o lançamento do esgoto doméstico *in natura*. A Resolução do CONAMA nº 20/86 não permite o abastecimento público sem prévia desinfecção da água que registre qualquer presença de *coliformes totais*. Na área estudada não existe um monitoramento sistemático das fontes drenadas, dos poços artesianos ou das águas superficiais que são utilizadas para o abastecimento da população. Além disto, a mesma Resolução adverte, no seu art. 4º, letra f, que “... **As águas utilizadas para a irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas que se desenvolvam rentes ao solo e que são consumidas cruas, ..., não devem ser poluídas por excrementos humanos ...**” Sabe-se que, no contexto estudado, a irrigação das olerícolas é feita pela água captada diretamente dos rios e arroios ou dos reservatórios artificiais, os quais são passíveis de contaminação pelas águas de escoamento superficial.

Em 1995 a FEPAM elaborou uma proposta preliminar para o enquadramento dos recursos hídricos do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Nessa proposta, as Lagoas do Morro do Forno e do Jacaré, bem como o Rio Mampituba foram contemplados (tabela 14, figura 9). Pode-se observar que, em virtude do uso dominante e da ocupação do entorno, as águas da Lagoa do Morro do Forno foram definidas apenas na classe 2. Todavia, como estes corpos de água drenam para um rio federal, a gestão deve ser necessariamente integrada com os municípios catarinenses que fazem parte deste sistema, cabendo ao conjunto da população da bacia e usuários da água definirem sobre esta questão.

Tabela 14 – Proposta de enquadramento das águas das Lagoas do Morro do Forno e do Jacaré e Rio Mampituba – Litoral Norte, RS

Recurso Hídrico	Uso Preponderante	Ocupação do Entorno	Proposta para Enquadramento	Usos conforme CONAMA 20/86
Lagoa do Morro do Forno	Irrigação de arroz	Arrozal, pastagens e bananicultura	Classe 2	Abastecimento doméstico, após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Lagoa do Jacaré	Proteção das comunidades aquáticas e irrigação de arroz	Arrozal e pastagens	Classe 1	Abastecimento doméstico após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rente ao solo e que sejam ingeridas cruas, sem remoção de película; criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Rio Mampituba trecho superior	Irrigação de arroz e dessedentação de animais	Pecuária, arrozal, mineração, hortaliças e bananicultura	Classe 2	Abastecimento doméstico, após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Rio Mampituba trecho inferior	Proteção das comunidades aquáticas, pesca comercial, diluição de despejos e recreação.	Sítios de lazer, lixão e área urbana	Classe C	Águas salobras – proteção de comunidades aquáticas; recreação de contato secundário e navegação comercial.

Fonte: FEPAM - 1997 (com modificações)

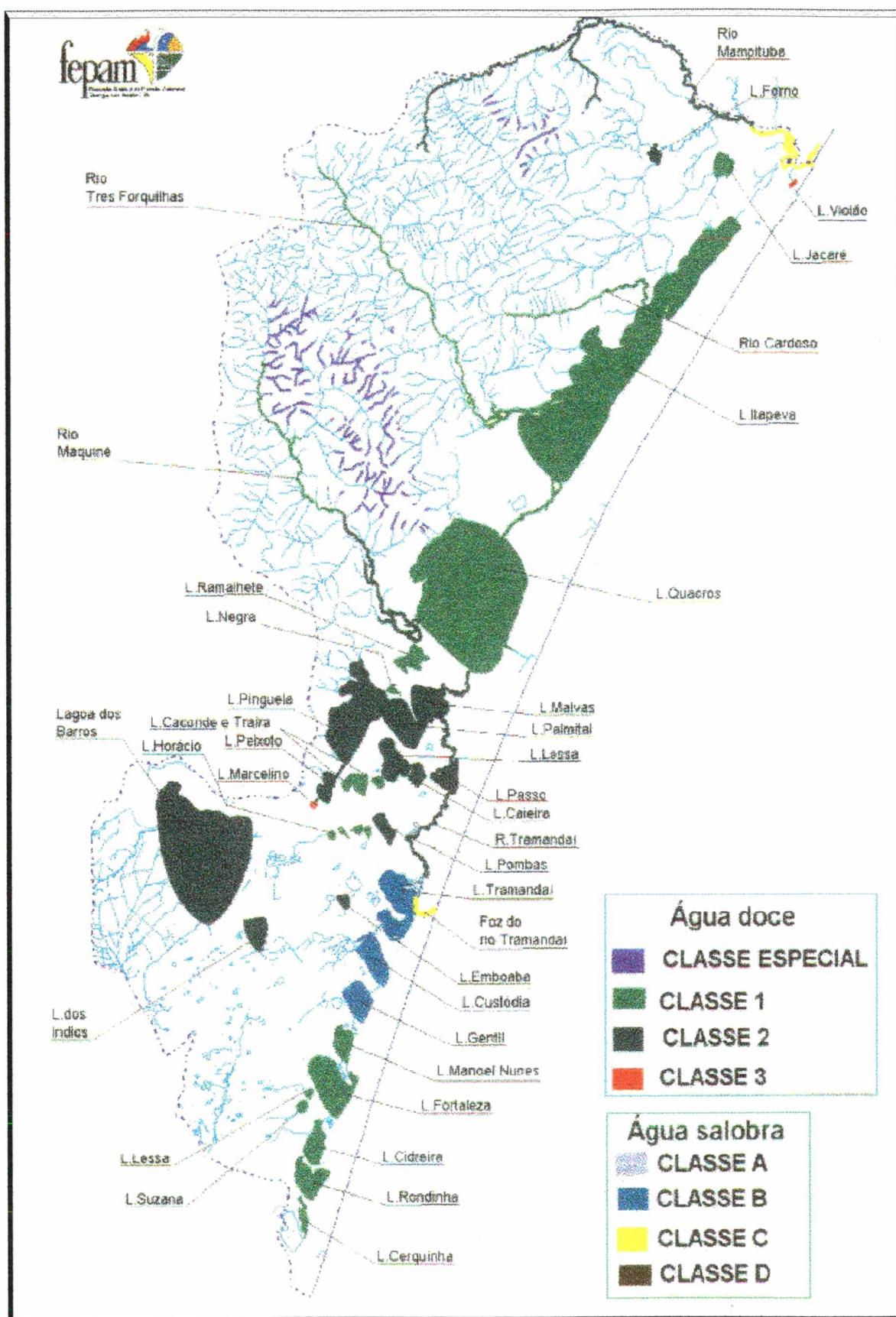


Figura 9: Proposta de enquadramento das águas para o Litoral Norte pela FEPAM, em 1997

Pelo que se constatou, os conflitos de uso da água estão ligados principalmente:

1. Abastecimento público x lançamento de esgoto;
2. Abastecimento público x poluição por agroquímicos;
3. Irrigação x poluição por agroquímicos;
4. Irrigação x poluição por esgoto doméstico.

A existência de conflitos entre os usuários, principalmente os ligados à irrigação, também foi constatada. Este problema pode recrudescer em épocas de estiagem, quando as demandas de água são maiores que a oferta.

A análise da dimensão dos conflitos de uso da água será retomada nos próximos capítulos deste trabalho, quando serão analisados e discutidos os resultados obtidos na simulação hidrológica e nas campanhas de coletas de água e sedimentos.

## 4 - METODOLOGIA ADOTADA

*“ A gestão da água impõe um equilíbrio entre os imperativos de sua proteção e as necessidades de ordem econômica, sanitária e social” (Art. 9º da Declaração Universal dos Direitos da Água).*

## **4 – METODOLOGIA ADOTADA**

### **4.1 - Introdução**

A metodologia que norteou o presente trabalho compreendeu um conjunto de técnicas e procedimentos capazes de responder aos objetivos propostos no mesmo, levando-se em conta os fatores limitantes representados pelo tempo e pelos recursos necessários à sua execução. Foi devido à diversidade deste conjunto que a carência de informações e os imprevistos inerentes ao processo, como adiamento de campanhas de coleta de dados ou impossibilidade de acessar algumas áreas para aferições *in loco*, puderam ser contornados.

Assim, neste capítulo serão discriminados os dados utilizados e as técnicas elencadas para a avaliação da disponibilidade hídrica superficial das sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e do Jacaré, englobando: os procedimentos utilizados no geoprocessamento das diversas informações, as características do modelo hidrológico utilizado, os parâmetros coletados nas campanhas de amostragem de água e sedimentos, bem como sua distribuição espacial e os métodos para a sua análise.

### **4.2 – Para a avaliação quantitativa dos recursos hídricos**

#### **4.2.1 – Dados utilizados**

1. Médias de temperatura (média das médias, média das máximas e média das mínimas) obtidas das estações meteorológicas de Torres, Maquiné e São Francisco de Paula; e dados pluviométricos (médias mensais, máxima e mínima mensal absoluta) dos postos de Maquiné, Porto Guerreiro, Praia Grande, Rio dos Carvalhos, Serra do Pinto, Terra de Areia e Torres (figura 10). Estes dados foram fornecidos na forma de

arquivos digitais pelo Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Cabe destacar que as estações selecionadas se localizam em pontos representativos do comportamento climático da planície costeira e do planalto, conforme se observa na tabela 15.

2. Cartas do Ministério do Exército – Diretoria de Serviço Geográfico: escala 1:50.000, ano 1980: folhas Cambará do Sul (2955/2), Praia Grande (2956/1), Sombrio (2956/2), Torres (2956/4), Três Cachoeiras (2956/3) e Aratinga (2955/4); escala 1:250.000, ano 1983: folha Gravataí (MIR 536 e 536-A) .
3. Mapa dos “Grandes grupos de solos – Baixo Vale do Rio Mampituba”, escala 1:50.000, elaborado pela Magna Engenharia Ltda., em 1982.
4. Imagem do sensor *Thematic Mapper* do satélite Landsat 5, bandas 3, 4 e 5, datada de 07.09.95, obtidas na Fundação de Amparo e Tecnologia Ambiental - FATMA, SC.

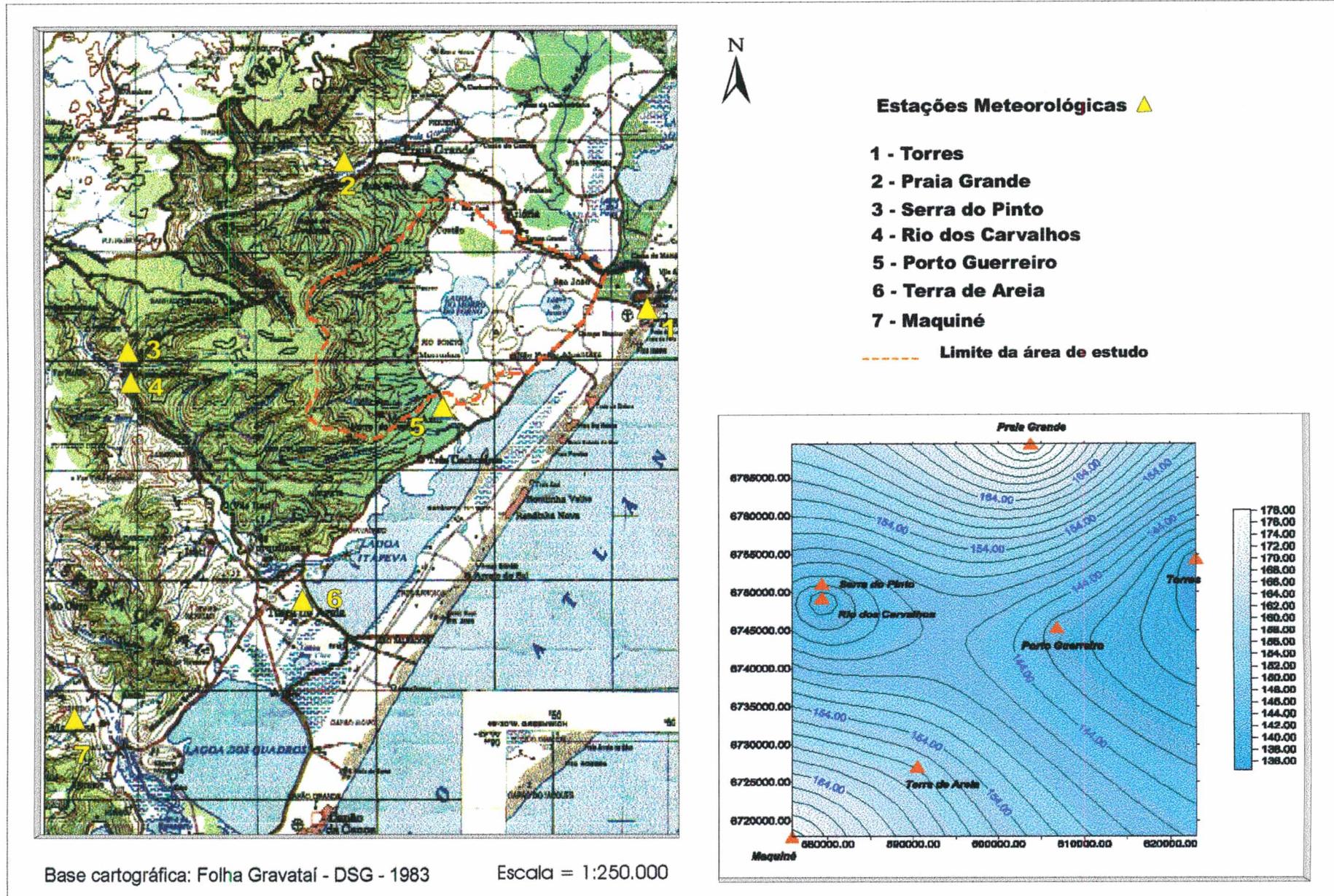


Figura 10: Mapa de localização das estações meteorológicas; ao lado um exemplo do resultado da interpolação dos dados pluviométricos (mm) para as médias de janeiro

Tabela 15 – Estações meteorológicas e pluviométricas utilizadas na caracterização climática das sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré – Litoral Norte, RS

Estação	Coordenadas esféricas	Local	Altitude (m)	Órgão	Período
Maquiné	29°40'49"S - 50°13'56"W	Encosta planáltica	32	IPAGRO	1959 – 1990
Porto Guerreiro	29°25'S - 49°54'W	Encosta planáltica	38	DEPRC	1948 – 1976
Praia Grande	29°12'S - 49°56'W	Planície costeira	60	DNAEE	1977 – 1987
Rio dos Carvalhos	29°23'S - 50°11'W	Encosta planáltica	40	CEEE	1960 – 1992
São Francisco de Paula	29°20'S - 50°31'W	Topo do planalto	922	INEMET	1931 – 1961
Serra do Pinto	29°22'S - 50°11'W	Encosta planáltica	470	CEEE	1960 – 1992
Terra de Areia	29°34'20"S - 50°03'23"W	Planície costeira	100	DNAEE	1974 – 1994
Torres	29°20'41'S - 49°43'41"W	Planície costeira	31	INEMET	1932 – 1993 <sup>1</sup> 1938 – 1995

Fonte: DNAEE (1996); Legenda: <sup>1</sup> - dados pluviométricos

#### 4.2.2 - Digitalização

Os arquivos digitais da drenagem e das categorias de solos encontradas na área de estudo foram obtidos através da digitalização da rede de drenagem das Cartas Topográficas e dos polígonos encontrados no Mapa dos "Grandes grupos de solos – Baixo Vale do Rio Mampituba". Para tanto foi utilizado o software *AutoCad R13* e mesa digitalizadora, formato A0, marca *Summagraphics*, modelo *Summagrid IV*. A imagem vetorial do solo totalizou cinco categorias e foi convertida para o formato raster, no programa *Idrisi for Windows*, versão 2.0<sup>39</sup> (comando

<sup>39</sup> O *Idrisi* consiste em um programa que combina SIG e processamento digital de imagens (Eastman, 1998). Este software permite uma boa interação com o usuário, facilitando o processo de entrada, visualização e manipulação de dados georreferenciados. A interface se dá por meio de um sistema de menu e teclado, que facilita o acesso a dois tipos básicos de dados: raster e vetorial. Estes dados podem ser convertidos no ambiente do *Idrisi* em um ou outro formato (vetorial ⇔ raster). Isto significa uma grande vantagem, quando na análise geográfica se requer os dois modelos de representação de dados.

*Reformat - Raster/Vector conversion - Polyras*), para sua posterior utilização na simulação hidrológica.

O arquivo vetorial das curvas de nível com equidistância de 20 metros, digitalizadas a partir das Cartas do Exército, foi fornecido pelo Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Como este Centro está elaborando o Modelo Digital do Terreno para todo o Litoral Norte do Estado, foi também possível obter-se diretamente o MDT da área em estudo.

Os dados digitais da topografia, a exemplo dos de solos, foram também manipulados no ambiente do *Idrisi* para a produção da imagem raster (comando *Reformat - Raster/Vector conversion - Lineras*). O MDT, a seu turno, derivou outros dados importantes para a análise hidrológica, como o da declividade e o da orientação das vertentes, os quais foram utilizados para a geração da matriz acumulada.

#### 4.2.3 – Processamento digital das Imagens

As técnicas de processamento digital foram necessárias para o georreferenciamento e a classificação de imagens aplicadas na modelagem hidrológica. Para tanto executaram-se os procedimentos abaixo discriminados.

##### 4.2.3.1 - Correção geométrica

A correção geométrica da imagem foi realizada no programa *Idrisi*, seguindo-se os seguintes passos:

1. Extração de uma janela, com o mesmo número de linhas e colunas (918 x 1005) e resolução espacial de 30 metros, nas três bandas, que abrangesse toda a área de estudo e facilitasse a correção geométrica – comando *Reformat – Window*.
2. Realce linear nos novos recortes para facilitar a visualização dos pontos de controle necessários ao georreferenciamento – comando *Stretch*. Nas bandas 3 e 4 foi necessário aplicar um realce linear com saturação de

5,0%, para permitir uma melhor visualização dos alvos espectrais, enquanto na banda 5 foi suficiente 2,5%.

3. Aplicação do comando *Reformat – Resample* -, utilizando-se um arquivo de correspondência com 57 pontos de controle<sup>40</sup>, para corrigir geometricamente a nova imagem. Para tanto, foi definida a interpolação baseada na vizinhança (*nearest neighbor*) e a função *Quadratic*.
4. Após a correção geométrica, foi gerada uma composição colorida com as bandas 3, 4 e 5, através do comando *Display – Composit*, com realce linear de 0,5%.

#### 4.2.3.2 - Classificação

A criação da imagem das classes de uso do solo da área foi realizada a partir de uma classificação supervisionada nas imagens brutas das bandas 3, 4 e 5 do Landsat TM-5.

Inicialmente foram definidas as categorias de uso do solo dominantes, chegando-se a nove classes: arroz, lagoa, banhado, floresta paludosa, pastagem, floresta de encosta, banana, solo exposto e outra classe. Esta última aglutinou áreas com mistura de classes e com as demais culturas que não puderam ser individualizadas (olerícolas, milho, aipim, fumo, maracujá, etc.).

Para facilitar a identificação das áreas de treinamento, as imagens brutas foram realçadas. A partir destas imagens, foram digitalizados os polígonos correspondentes às áreas-teste, criando-se um arquivo vetorial com os mesmos. Posteriormente, providenciou-se a criação dos arquivos de "assinaturas espectrais"

---

<sup>40</sup> A seleção destes pontos foi bastante dificultada devido à defasagem de informações contidas nas Cartas Topográficas em relação às fornecidas pela imagem. Além disto, a característica natural da área imageada dificultou muito esta tarefa, uma vez que, na sua porção ocidental, a escarpa planáltica não possui pontos adequados à identificação. Da mesma forma, o leste da área, dominado pela planície costeira, não apresenta boas opções para este fim, a exemplo da porção central, onde se localiza o extenso banhado da Lagoa do Morro do Forno. Portanto, como não foi possível selecionar pontos bem distribuídos, procedeu-se à identificação de um número que oportunizasse um resultado satisfatório.

para cada tipo de cobertura. Para tanto, foi executado o comando *Analysis - Image Processing - Signature Development - Makesig*.

A classificação preliminar foi realizada pelo método da máxima verossimilhança, através do comando acima especificado e do subcomando *Hard Classifiers - Maxlike*. Para minimizar os problemas de respostas espectrais análogas, como é o caso da bananicultura e da floresta, ou do sombreamento provocado pela topografia, e melhorar o resultado final da classificação, foram realizadas sucessivas reclassificações - comando *Reclass* - para a reedição de classes. Este procedimento fundamentou-se principalmente no conhecimento da área, oportunizado pelas visitas a campo, e no apoio das informações dos arquivos vetoriais das curvas de nível e de drenagem, bem como da imagem do tipo de solo. Foi desta maneira que outras classes de cobertura do solo puderam ser identificadas, como é o caso da "floresta de restinga", separada da classe "floresta paludosa" através do cruzamento com a mancha de solo "arenoso".

O resultado final deste processo de classificação foi uma imagem com doze categorias de uso do solo que inclui, além das anteriormente mencionadas, as classes urbana, macrófitas aquáticas e floresta de restinga.

#### 4.2.4 - Cálculo da evapotranspiração potencial - *Eti*

Para a análise do balanço hídrico é imprescindível a informação sobre a evapotranspiração. Assim, utilizando-se os dados de temperatura, foi calculada a evapotranspiração potencial -  $E_{ti}$ <sup>41</sup>, conforme sugerido em Dingman (1994).

A estimativa da evapotranspiração potencial foi feita com base na pressão de saturação de vapor –  $e_{sat}(T)$ , em milibares, que é considerada uma função da

---

<sup>41</sup> Thornthwaite (1948; *apud* Dingman, 1994) coloca a evapotranspiração potencial (*Eti*) como variável dependente sobretudo do clima. Dingman (*op. cit.*) ponderou que a *Eti* é influenciada decididamente pelas características da vegetação e apresentou modelos que consideram, por exemplo, o albedo, a condutância e a presença ou não de água interceptada pela cobertura vegetal. Este autor também ressalta o fato da magnitude da *Eti* ser frequentemente calculada com base em dados meteorológicos coletados abaixo das condições em que a evapotranspiração atual (*E<sub>ti</sub>*) é inferior a *Eti*. Todavia, como estes dados ainda são muito difíceis de serem obtidos, é mais útil considerar a *Eti* como um índice de “*secagem potencial*” das condições meteorológicas e, desta forma, na prática, esta variável acaba sendo definida pelo seu método de cálculo.

temperatura média mensal ( $T$ ). Para este cálculo, foi incluída a média das médias, a média das máximas e a média das mínimas, em graus centígrados, a partir de:

$$e_{\text{sat}}(T) = 6,11e^{(17,3T/T + 237,3)}$$

Em seguida foi calculada a evapotranspiração mensal ( $E_{ti}$ ), em mm/mês, através da fórmula:

$$E_{ti} = 4,09 [e_{\text{sat}}(T)]$$

Os valores de evapotranspiração potencial, calculados mês a mês, foram armazenados no banco de dados do programa *Surfer*<sup>42</sup>, versão 6.0, para serem interpolados com vistas à geração de imagens necessárias à modelagem hidrológica.

#### 4.2.5 - A geração das imagens de chuva e de evapotranspiração potencial

Os dados de chuva (máxima absoluta, média e mínima absoluta) e de evapotranspiração potencial, em mm, identificados com as respectivas coordenadas UTM de cada estação, foram armazenados no banco de dados do programa *Surfer*, através do comando *Worksheet*.

Para a produção das imagens foi necessário, primeiramente, operar a interpolação destes dados. O método escolhido foi o da *Krigagem*, definindo a resolução espacial (30m x 30m), o x e y máximos e mínimos idênticos aos que limitam a área de estudo. Isto foi realizado por meio do comando *Plot - Grid - Data*. Após este procedimento, foi acionado o comando *Map - Image*, para que finalmente fossem produzidas as imagens de chuva máxima, média e mínima, bem como evapotranspiração máxima, média e mínima, totalizando 72 arquivos. Estes arquivos foram, posteriormente, importados para o *Idrisi*, através do comando *File - Import - Software-Specific Formats - Surfer to Idrisi*, gerando imagens apropriadas para a manipulação no ambiente deste programa.

---

<sup>42</sup> O *Surfer* representa um importante software para a aquisição e manipulação de dados espaciais. Seus recursos facultam, além da geração de imagens e blocos diagramas, a interpolação de variáveis físicas a partir de um banco de dados, oportunizando, assim, a produção de imagens em formato raster.

As 36 imagens de chuva e as 36 de evapotranspiração potencial foram processadas para a produção de dados dos volumes totais precipitados e evapotranspirados, em cada mês, na área estudada. Para a obtenção destes valores foi necessário transformar a unidade "mm" das imagens para "m<sup>3</sup>". Como o pixel utilizado corresponde a uma área de 900 m<sup>2</sup> (30m x 30m) e um metro equivale a 1000 mm, o valor a ser multiplicado em cada célula das imagens foi de 0,9. Desta forma, tanto as imagens de chuva quanto as de evapotranspiração potencial foram multiplicadas por este número, por meio do comando *Analysis - Mathematical Operators - Scalar*, resultando na criação de 72 novas imagens, que apresentam os volumes, em m<sup>3</sup>, precipitados ou evapotranspirados na área em questão. Para a obtenção do volume total de cada imagem utilizou-se o comando *Analysis - Database Query - Extract*, especificando-se como imagem de definição a que limita a área estudada.

#### 4.2.6 - A geração das imagens do "balanço climático"

As imagens designadas de "balanço climático" correspondem a um índice - *I*, obtido a partir da relação chuva/Eti, que indica uma condição de escassez quando o seu valor é menor que a unidade.

O processo de produção destas imagens consistiu na divisão, mês a mês, das imagens de chuva (máxima, média e mínima) pela Eti (máxima, média e mínima), através do comando *Analysis - Database Query - Overlay*, do *Idrisi*. O resultado totalizou 108 novas imagens, que ilustram a variabilidade espaço-temporal dos possíveis excessos e déficits de água na área de estudo, considerando-se somente a relação quantidade de chuva que entra no sistema e quantidade de água que sai pela evapotranspiração potencial.

#### 4.2.7. Simulação hidrológica

O balanço hídrico da área em foco foi elaborado através da integração de um modelo hidrológico distribuído a um SIG, conforme metodologia descrita em Mendes (1996 e 1999), designado **GeoAmb I**®. A concepção geral deste modelo está ilustrada no fluxograma da figura 11.

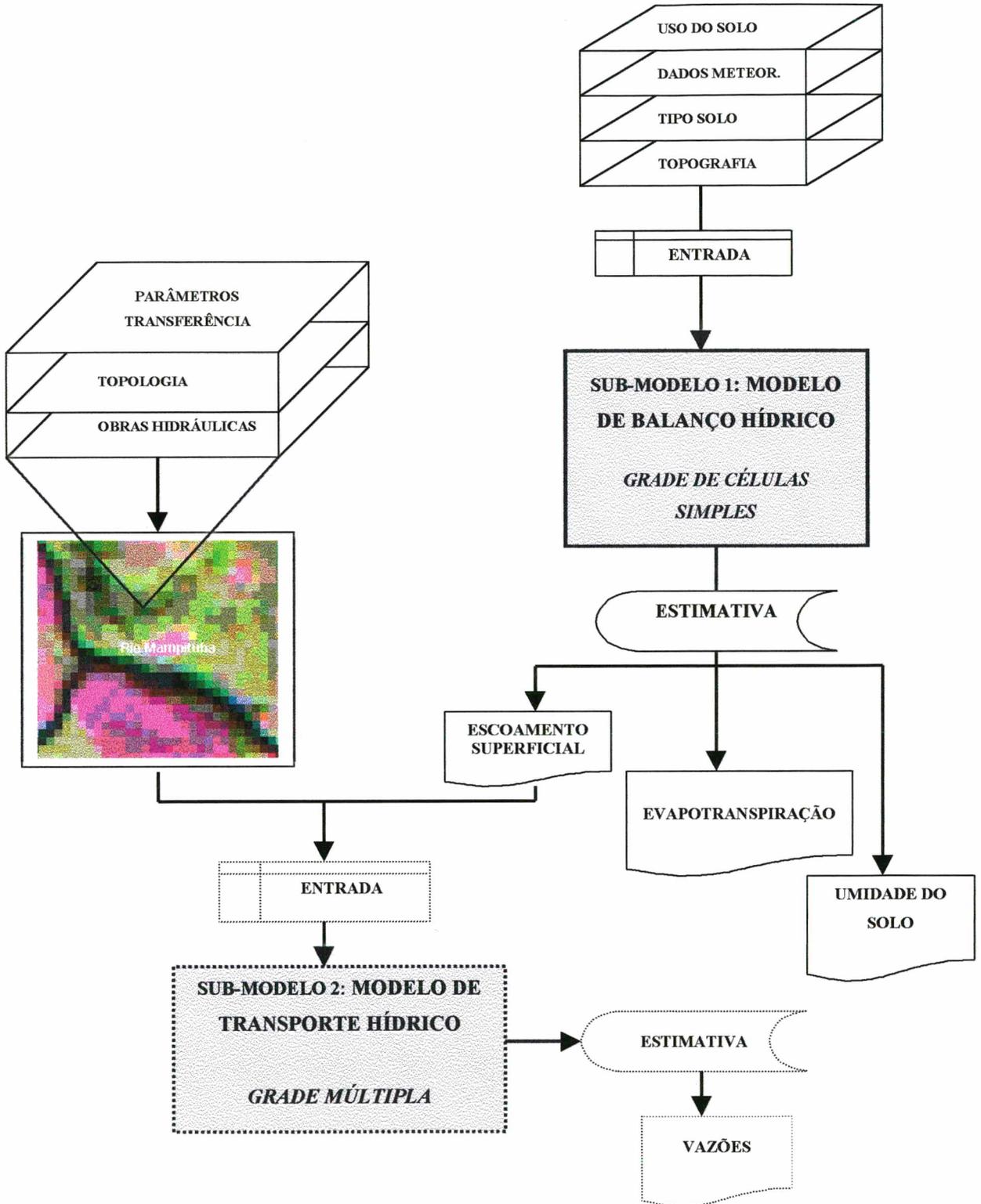


Figura 11: Fluxograma de funcionamento do modelo hidrológico **GeoAmb I**®, segundo Mendes *et al.* (1999), com modificações; ressalta-se que o submodelo2 não pode ser aplicado à área selecionada para a simulação

Pode-se observar que o mesmo engloba dois submodelos: um de balanço hídrico local e outro de transferência. No primeiro, as propriedades de cada célula são derivadas das imagens representativas das características físicas do espaço considerado e das diversas formas de sua ocupação, tais como: chuva, evapotranspiração real, tipo e padrão de cobertura do solo. A partir dos resultados obtidos neste primeiro submodelo é possível a simulação do transporte de fluxos de água que migram ao longo da bacia. Isto é realizado no segundo submodelo mediante a utilização do MDT.

Na área de estudo, a aplicação do modelo só foi possível no setor que apresentou, ao mesmo tempo, dados mais consistentes e detalhados de topografia e de solos, uma vez que estas informações são fundamentais para o seu funcionamento. Desta forma, optou-se por testar a modelagem hidrológica na porção leste da área de estudo, englobando a maior parte da sub-bacia da Lagoa do Jacaré. Para tanto foi extraída uma janela de 70,51 Km<sup>2</sup>, composta por 284 linhas e 272 colunas, nas imagens utilizadas para a simulação: chuvas e *Eti*, em condições médias; uso do solo; topografia; e solo.

Mesmo assim algumas limitações importantes para a execução da modelagem hidrológica não puderam ser plenamente superadas, visto que neste setor ainda há lacunas pertinentes aos dados de altitude. Em decorrência disto a interpolação dos valores das cotas altimétricas manteve importantes distorções no MDT nas áreas baixas, especialmente em virtude da resolução espacial adotada (30 x 30 metros) que requer um nível de detalhamento elevado.

Para contornar este problema, recorreu-se ao método proposto por Collischonn *et al.* (1998). Através deste são removidas as "depressões" isoladas, ou seja, as células ou grupo de células de altura inferior às da vizinhança e que impossibilitam a determinação da direção e sentido do fluxo. Este processo é realizado, simultaneamente e de forma interativa, por meio de uma "janela móvel" que percorre o MDT, atribuindo a cada uma das células um código que representa a direção do fluxo, conforme a vizinhança. O critério é o da maior declividade, que é calculada pela diferença entre a altura da célula mais próxima e a central, dividida pela distância entre as células. Assim, a partir da direção de fluxo

parcialmente obtida são removidas as depressões, finalizando o processo quando permanecer apenas uma única célula com direção indefinida. Um exemplo deste tipo de procedimento pode ser visto na figura 12 que ilustra o processo com uma janela 3x3. No caso específico deste trabalho, foi necessária uma janela maior (5x5), tendo-se em conta a extensão dos terrenos planos.

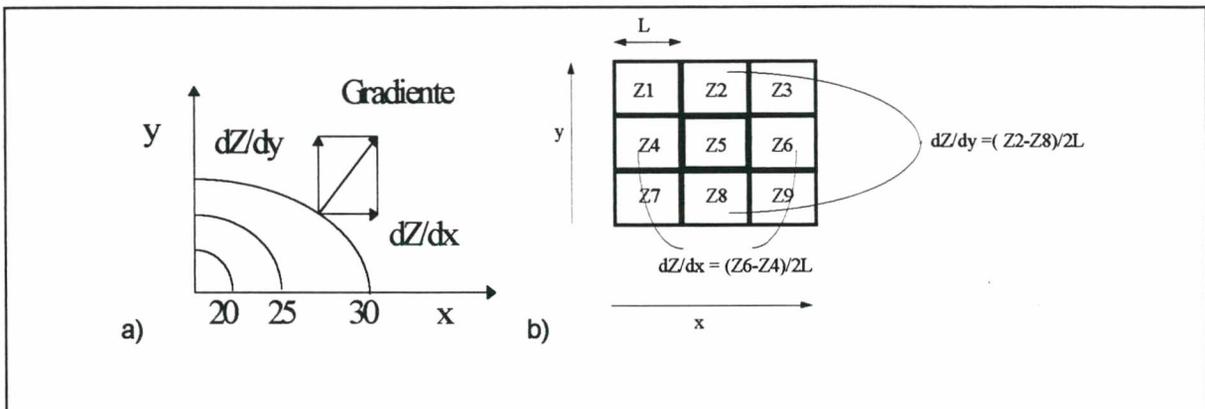


Figura 12: Em "a" curvas de nível de Z e o vetor gradiente; em "b" derivadas numéricas em uma janela 3x3 regular do MDT; Fonte: Collischonn *et al.* (1998)

A aplicação da modelagem hidrológica proposta no **GeoAmb I**® também exigiu ajustes nos dados de evapotranspiração potencial e de solo, com vistas à agregação de informações inerentes às relações que se estabelecem entre clima-solo-planta.

Para a correção da *Eti* foi utilizado um índice designado de coeficiente de cultivo ( $Kc$ ). Conforme Doorenbos e Pruitt (1975), este índice é uma forma de calibrar a evapotranspiração potencial, tendo-se em conta as demandas específicas de água por cultivo. Na área definida para a simulação os coeficientes identificados estão ilustrados na tabela 8, em conformidade com o tipo de uso do solo.

Tabela 16 - Coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) utilizados para a correção da evapotranspiração potencial na área da simulação hidrológica - bacia Rio Mampituba, Litoral Norte, RS

Cultura/uso solo	$K_c$
Banana	1.1
Arroz	1.15
Pastagem	1.0
Banhado	0.7
Água	1.1
Macrófitas aquáticas	1.05

Fonte: Doorenbos e Pruitt (1975)

Para as categorias de uso do solo que englobam as florestas, a área urbana, o solo exposto e outras classes não foi encontrado o respectivo  $K_c$ . Assim, arbitrou-se definir o valor de 1.0 para estas classes. Segundo Doorenbos e Pruitt (1975) a aplicação destes coeficientes resulta na evapotranspiração estimada para cada cultura, que Mendes (1996) designou de evapotranspiração real ( $ETP$ ) dada por

$$ETP = K_c \cdot E_t$$

Com base nos dados acima referidos, a imagem de uso do solo foi reclassificada para gerar as imagens do  $K_c$ , mês a mês, as quais foram posteriormente, multiplicadas pelas de  $E_t$ , resultando em 12 imagens de  $ETP$ .

A correção da grade de tipo de solo também é uma etapa relevante para a avaliação da disponibilidade quantitativa de água na simulação hidrológica. Mendes *et al.* (1999), aplicando esta metodologia na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí/RS, teceram importantes considerações sobre a dinâmica de armazenamento de água no solo. Nessa análise os referidos autores enfatizaram a dependência da drenagem em relação à textura do solo e seus efeitos na quantidade de água que pode ser mantida no mesmo contra a força da gravidade, ou seja, a "**capacidade de campo**". A influência da cobertura vegetal foi igualmente ponderada por Mendes *et al.* (*op. cit.*) através do conceito de "**ponto de murchamento**", que representa um limite de armazenamento de água a partir do qual as plantas não conseguem mais absorver a umidade do solo. Assim, são

referidos dois níveis: um máximo dado pela capacidade de campo e um mínimo identificado pelo ponto de murchamento. O solo, desta maneira, funciona como uma **"caixa d'água"**, com níveis que variam ao longo do ano em conformidade com a precipitação efetiva, as características do substrato edáfico e de sua cobertura (figura 13).

Com base nestes conceitos e suas aplicações, foram realizadas três reclassificações para a produção das imagens de densidade do solo ( $ds$ ), capacidade de campo ( $Cc$ ) e ponto de murchamento ( $Pm$ ). Estes dados foram obtidos de Rawls *et al.* (1982) que explicam a importância destas informações para um melhor entendimento dos processos de retenção de água no substrato edáfico.

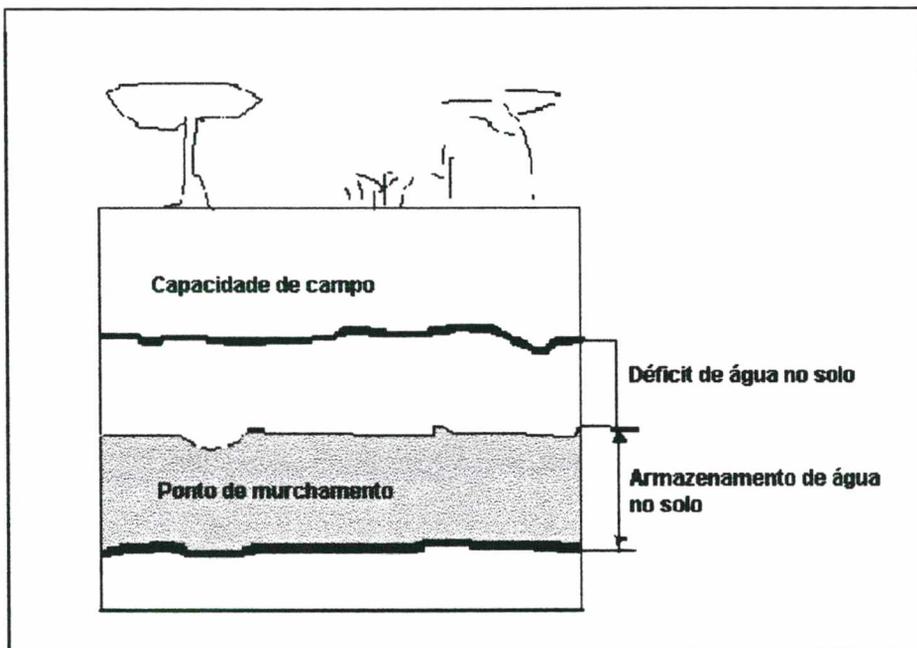


Figura 13: Conceitos de armazenamento de água no solo e capacidade de campo; Fonte: Mendes *et al.* (1999), com modificações

Para finalizar os ajustes, a imagem de uso do solo também foi reclassificada para a produção da imagem da profundidade do sistema radicular ( $H$ ), com base no trabalho de Lopes *et al.* (1994) e nas informações obtidas diretamente com técnicos da EMATER e com o professor Sandor Arvino Grehs<sup>43</sup>, do Instituto de

<sup>43</sup> O professor Grehs foi um dos técnicos que trabalhou na bacia do Rio Ibicuí com a modelagem hidrológica.

Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul que desenvolve trabalhos na área da agrogeologia.

A partir destes dados foi calculada a capacidade máxima de armazenamento de água no solo ( $S_{max}$ ), em mm, aplicando a seguinte fórmula no ambiente do SIG

$$S_{max} = d_s \cdot \frac{C_s - P_m}{100} \cdot H$$

Após a obtenção de todas estas informações que estão sintetizadas no fluxograma da figura 14, foram realizados os preparativos para a simulação hidrológica, estimando-se o armazenamento inicial de água no solo ( $S_0$ ), utilizando-se como ponto de partida o mês mais úmido, no qual o solo deve estar saturado e o valor de  $S_0 = S_{max}$ . Posteriormente, o modelo foi acionado durante o período de um ano somente para estabilizar numericamente os parâmetros e viabilizar a simulação. Feito este procedimento, o modelo ficou em condições de ser acionado para o cálculo da variação da quantidade de água no solo, ao longo do tempo e do espaço, conforme ilustra o fluxograma da figura 15. Nesse processo todas as unidades foram referidas em mm/mês, sendo que, em cada célula e em cada intervalo de tempo (mês  $i$ ), gerou-se: a) o armazenamento de água no solo ( $S_i$ ); b) o déficit de água no solo ( $D_i$ ); c) o excesso hídrico ( $Q_i$ ); e d) a evapotranspiração atual ( $ETA_i$ ). Desta maneira foram produzidas as imagens que representam a variabilidade espaço-temporal de  $S_i$ ,  $D_i$ ,  $Q_i$  e  $ETA_i$ , ao longo de um ano, simulado para condições médias de temperatura e precipitação na área definida para a modelagem.

Por fim, através dos subprodutos do MDT, foram geradas as imagens "aspecto" e "acumula", a partir das quais foi produzida a imagem representativa da rede de drenagem da área de simulação.

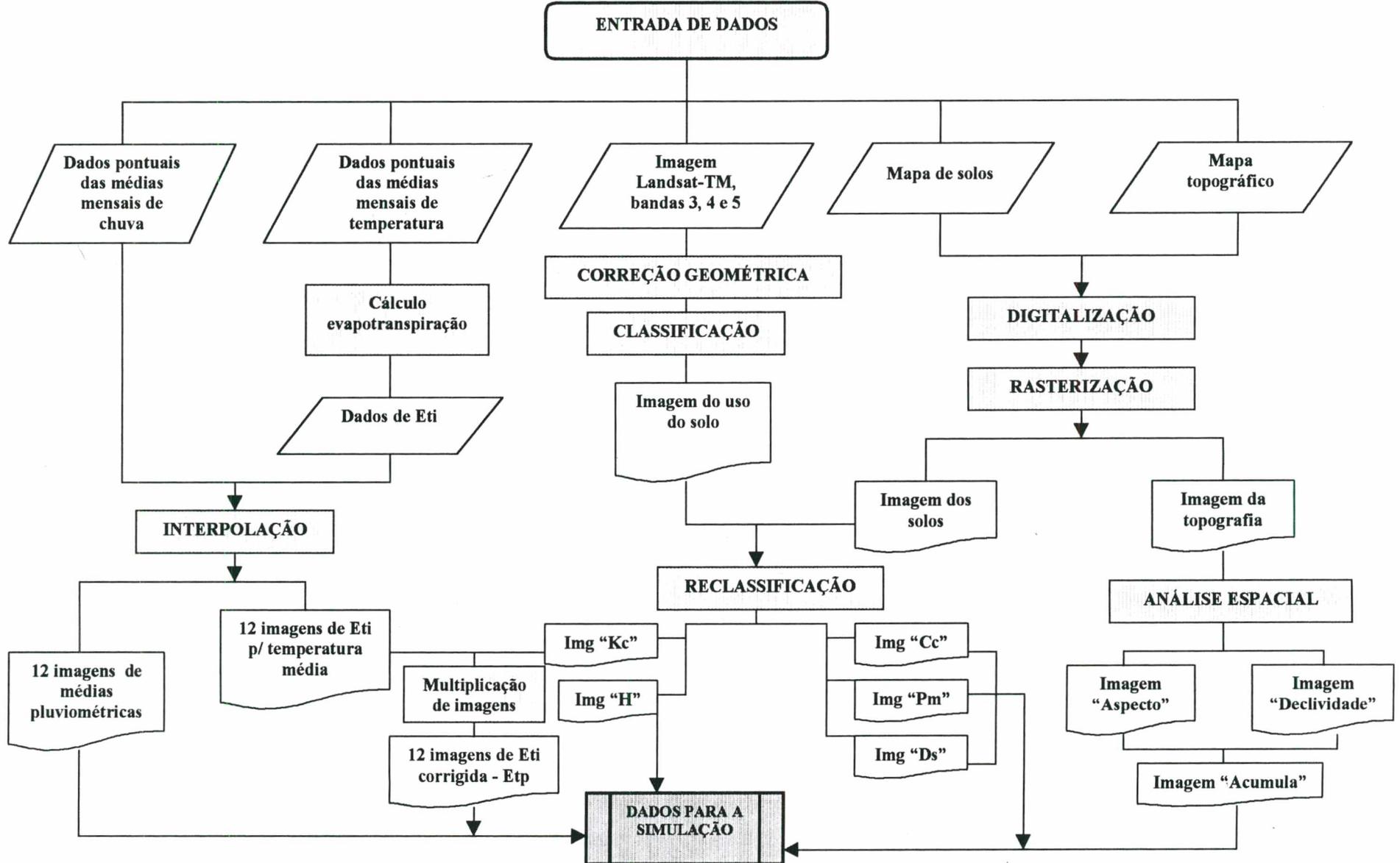


Figura 14: Fluxograma da etapa da preparação dos dados para a simulação

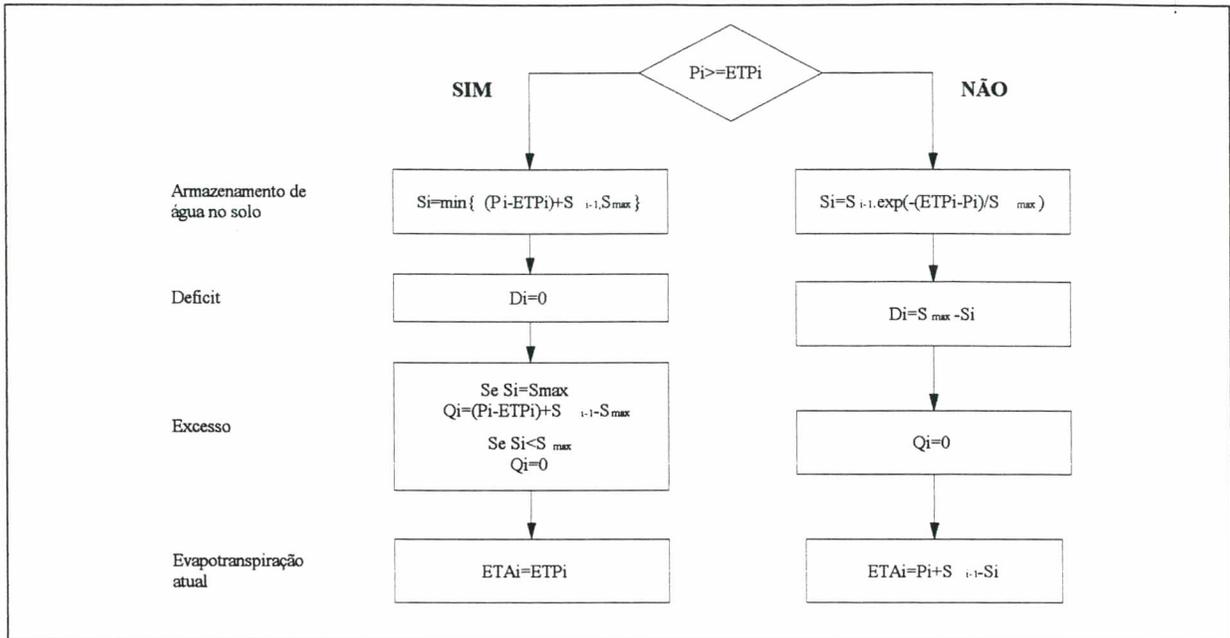


Figura 15 : Fluxograma geral do modelo hidrológico adotado, conforme Mendes (1996)

### 4.3 – Para a análise qualitativa dos recursos hídricos

A liberação de verbas oriundas do serviço de apoio à gestão de recursos hídricos pela Divisão de Recursos Hídricos - DRH, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, da Secretaria de Obras Públicas e Saneamento – SOPS, Rio Grande do Sul, foi o fato decisivo para que se pudesse abordar neste trabalho questões pertinentes à qualidade das águas, comprovando o interesse do Poder Público Estadual na bacia hidrográfica em questão. Só assim foi viável a realização de duas campanhas para coletas de água e sedimentos, em períodos distintos (inverno e verão), numa rede de seis pontos, totalizando doze amostras de água e seis de sedimentos.

Cabe destacar que estas campanhas, bem como os procedimentos para a conservação das amostras e posterior encaminhamento para análise, foram da responsabilidade da empresa Bourscheid Engenharia Ltda., contratada pelo Estado.

#### 4.3.1 - Seleção dos pontos e dos parâmetros analisados

A seleção dos pontos de coleta foi definida tendo-se em conta a disponibilidade de dados anteriores, assim como a formação de uma rede capaz

de abranger os principais corpos de água superficiais da área de escopo. Um dos passos consistiu em resgatar as informações geradas para a elaboração do *Plano Diretor de Desenvolvimento da bacia do Rio Mampituba*, em 1980. Naquela época, foram feitas quatro campanhas de coletas de água entre os meses de julho a novembro de 1980. Nas sub-bacias das lagoas Morro do Forno e Jacaré foram determinadas as seguintes estações (E) para amostragem da água, considerando o uso irrigação:

- 1) E-03 - na confluência do Rio Mampituba com o Rio Monteiro;
- 2) E-04 – no canal de ligação entre a Lagoa do Jacaré e o Rio Monteiro;
- 3) E-08 – no Rio Monteiro;
- 4) E-10 – na Lagoa do Morro do Forno, margem leste;
- 5) E-13 – no Rio do Mengue, localidade de Pixirica;
- 6) E-12 – no Rio das Pacas, ponte da estrada que conduz a Morrinhos do Sul.

Com referência ao abastecimento humano, as estações para coleta de água situadas na área de estudo eram:

- 1) E-10 – Lagoa do Morro do Forno;
- 2) E-14 – poço do DAER, Morrinhos do Sul (atualmente desativado).

No presente trabalho, além de se aproveitar em parte os pontos acima referidos, identificaram-se outros locais mais representativos da hidrodinâmica dos sistemas flúvio-lacustres em apreço. Assim, foram selecionados os seis pontos de amostragem, sendo que três compreendem os principais formadores da Lagoa do Morro do Forno e um se situa nesta mesma lagoa. Os dois pontos restantes estão situados no canal da Lagoa do Jacaré e um no Rio Monteiro, também designado de Rio do Forno (tabela 17 e figura 16).

Tabela 17 – Estações para coleta de água e sedimentos nas sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e do Jacaré, em 1998, Litoral Norte, RS

Ponto	Localização	Coordenadas	
		UTM <sub>x</sub>	UTM <sub>y</sub>
01	Ponte canal Lagoa do Jacaré – jusante da localidade de Jacaré – Torres	614688,00	6757170,00
02	Rio Monteiro, próximo à Lagoa Morro do Forno – Torres	608301,56	6756648,76
03	Lagoa Morro do Forno – Dom Pedro de Alcântara	608301,86	6756679,54
04	Ponte Rio do Mengue– jusante localidade Três Passos– Morrinhos do Sul	601698,00	6757374,00
05	Ponte Rio dos Negros – jusante da sede de Morrinhos do Sul	603572,00	6752050,00
06	Ponte Rio das Pacas – limite Três Cachoeiras e Dom Pedro de Alcântara	607146,34	6748594,60

A escolha dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, utilizados nas análises de água, seguiu a orientação da FEPAM, que definiu aqueles que têm maior probabilidade de apresentar modificações no padrão estipulado pela Resolução CONAMA n.º 20, na região do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, em face da sua forma de ocupação, bem como dos usos preponderantes de seus recursos hídricos. Estes parâmetros também foram utilizados para a avaliação qualitativa dos corpos de água superficiais da bacia hidrográfica do Rio Tramandaí, conforme explicado anteriormente. Desta maneira, foram selecionados vinte e oito parâmetros que estão discriminados na tabela 18.

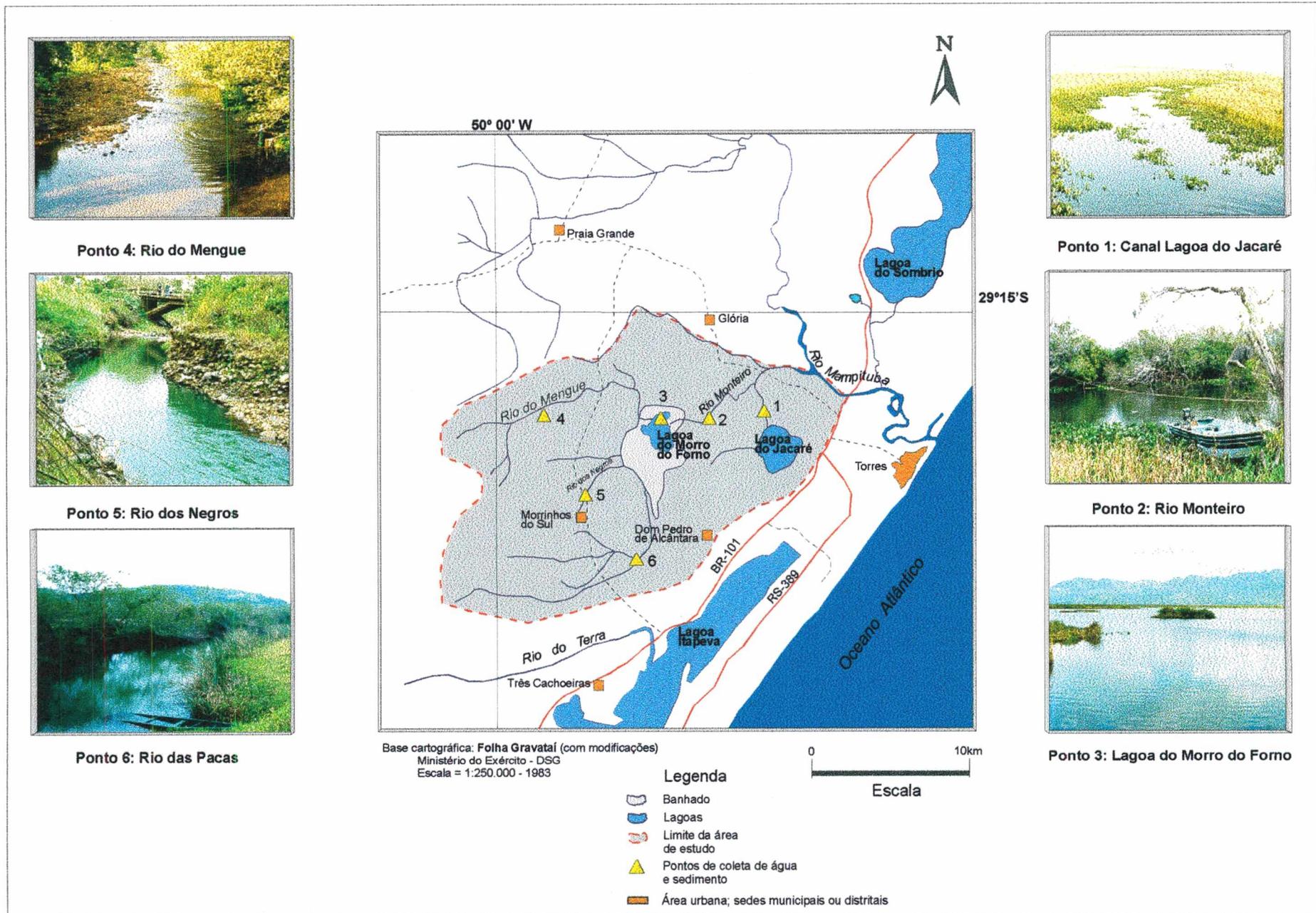


Figura 16: Mapa de localização dos pontos de coleta de água e sedimentos

Tabela 18 – Parâmetros para análise da água das sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré, Litoral Norte, RS

1. Salinidade	15. Fósforo total
2. Temperatura	16. Nitritos
3. Cloretos	17. Nitratos
4. Condutividade	18. Ferro
5. pH	19. Manganês
6. Turbidez	20. Mercúrio
7. Oxigênio Dissolvido	21. Cádmio
8. DBO <sub>5</sub>	22. Chumbo
9. DQO	23. Cobre
10. Óleos e graxas	24. Cromo
11. Sólidos suspensos	25. Níquel
12. Sólidos dissolvidos	26. Zinco
13. Sólidos totais	27. Coliformes totais
14. Surfactantes	28. Coliformes fecais

A tentativa de se verificar a contaminação por agrotóxicos foi feita através da análise nos sedimentos fluviais e lacustres dos pontos amostrados. O objetivo era a identificação da presença do princípio ativo dos biocidas utilizados na área em foco. Entretanto, foi necessário reduzir as análises devido ao seu elevado custo. Novamente, especialistas da FEPAM foram consultados para a definição dos princípios ativos mais prioritários, considerando-se seus efeitos e o tempo de permanência no ambiente. Assim sendo, definiram-se os seguintes agroquímicos para serem identificados: *Propanil, Glyphosate, Mancozeb, 2,4 Dicloran, Oxicloreto de Cobre e compostos mercuriais*.

Contudo, por falta de um controle eficiente<sup>44</sup> no encaminhamento do solicitado ao laboratório responsável, o resultado apresentado, além de contemplar

---

<sup>44</sup> Os problemas relacionados à análise de agrotóxicos também se referem à falta de tecnologia dos laboratórios consultados em Porto Alegre pela empresa responsável. De acordo com a Laborquímica – Laboratórios de Análises Químicas Ltda., designada pela Empresa Bourscheid Engenharia Ltda. para efetuar as análises, isto exigiu a consulta aos laboratórios de São Paulo, o que demandou muito tempo para a elaboração do orçamento e posterior encaminhamento das amostras. Todavia, ao longo de pelo menos três meses, nada foi informado ao contratante, a não ser que os resultados não estavam prontos.

apenas um dos princípios ativos acima mencionados, acabou identificando outros, independentemente do estabelecido, o que tornou os custos extremamente elevados. Isto motivou a restrição da análise nos sedimentos a apenas uma campanha, tendo-se em vista, também, que os resultados só foram divulgados em dezembro de 1998, ou seja, praticamente nas vésperas da segunda campanha.

Na tabela 19 estão ilustrados os princípios ativos analisados pela Laborquímica, bem como suas respectivas características.

Tabela 19 – Parâmetros para análise de agroquímicos nos sedimentos flúvio-lacustres dos pontos amostrados nas sub-bacias das lagoas do Morro do fomo e do Jacaré, Litoral Norte, RS

Parâmetro	Classe	Função
Carbaril	Carbamato	Inseticida
Clorfenvinfos	Organofosforado	Formicida
Malation	Organofosforado	Inseticida
Molinate	Carbamato	herbicida
Paration	Organofosforado	Inseticida
Propanil	Derivado Cloroanilina	herbicida

Fonte: Laborquímica – Laboratório de Análises Químicas Ltda, 1998.

#### 4.3.2 - Materiais e métodos para a coleta e análise da água e sedimentos

Os procedimentos de coleta e acondicionamento de amostras foram da responsabilidade do IPH/RS, contratado pela Empresa Bourscheid Engenharia para atender às duas campanhas. Todos os pontos foram georreferenciados através de GPS, marca Garmin.

Para a coleta de água, utilizou-se uma Garrafa de Van-Dorn, com capacidade para 3 litros. Distribuiu-se a água recolhida em cinco frascos, por pontos amostrados, previamente preparados da seguinte maneira:

- 1) Frasco 1: de vidro, com capacidade para 1000 ml, contendo ácido sulfúrico concentrado 2 ml, destinado às análises de DQO, nitritos, nitratos, fósforo total e óleo e graxas.

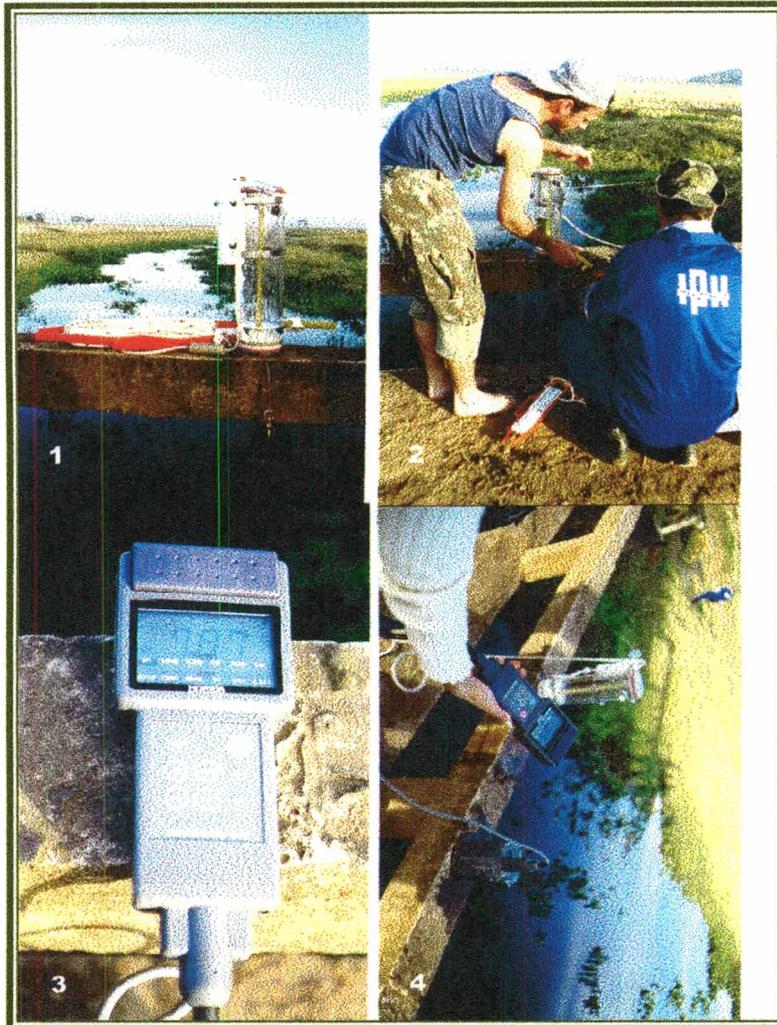
- 2) Frasco 2: de vidro, capacidade de 1000 ml, sem conservantes, para os ensaios de  $\text{DBO}_5$ , cloretos, pH, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, sólidos totais e surfactantes.
- 3) Frasco 3: de polietileno, contendo ácido nítrico, concentrado 2 ml, para a análise de metais.
- 4) Frasco 4: de vidro, sem conservantes, para o ensaio de oxigênio dissolvido.
- 5) Frasco 5: de vidro, sem conservantes, para as análises de contagem de coliformes totais e fecais.

No momento da transferência da água da Garrafa de Van-Dorn para os frascos, foram tomadas medidas diretas de temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade, turbidez e salinidade, por meio de um medidor multiparâmetro, marca *Horiba*, modelo U-10, Power DC9V, pertencente ao IPH/RS e previamente calibrado pelo mesmo.

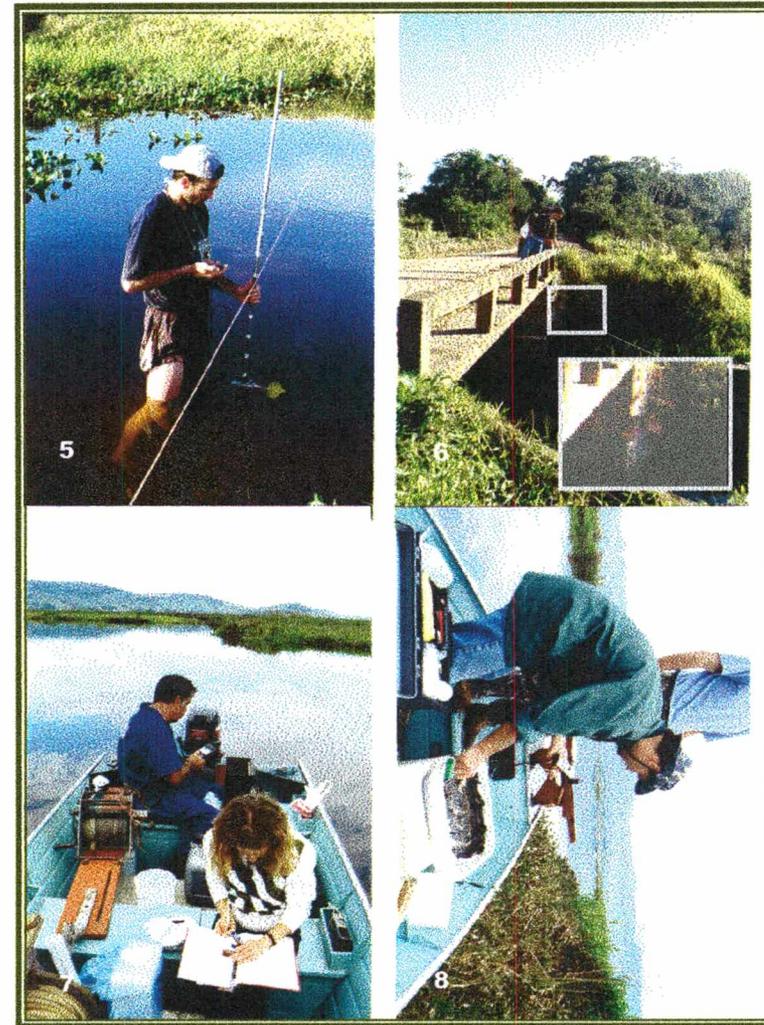
Realizou-se a coleta de amostras de sedimentos fluviais e lacustres com amostrador de fundo, tipo mandíbula, nos pontos de maior profundidade. Estas amostras foram acondicionadas em baldes plásticos, com tampa e capacidade para 5 litros, sendo posteriormente devidamente etiquetados.

Durante a primeira campanha igualmente foram feitas medidas de descarga e profundidade da água em cada seção amostrada. Para tanto foram utilizados os equipamentos: molinete, marca *Hidromec*, no ponto 1; molinete da marca *Ott*, com guincho hidrométrico, no ponto 2; e nos pontos 3,4 e 5 foi utilizado micromolinete, marca *Ott*, com haste graduada.

Na figura 17 estão exibidos os equipamentos utilizados na campanha de inverno.



Fotos 1 e 2: Garrafa Van-Dorn  
Fotos 3 e 4: Processador Multiparâmetro



Fotos: 5, Molinete; 6, Amostrador de sedimentos;  
7, embarcação; 8, detalhe da amostragem

Figura 17: Equipamentos utilizados nas campanhas de coleta de água e sedimentos (fotos de julho/98)

#### 4.3.3 - Metodologia empregada nas análises das amostras

A metodologia analítica dos parâmetros selecionados para a análise das amostras de água encontra-se resumida na tabela 20.

Tabela 20 – Metodologia adotada na análise da água – sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré, Litoral Norte, RS

Parâmetro	Metodologia	LD	IM
Condutividade	Condutometria Direta	0,3	2,0
Salinidade	Condutometria Direta	0,01	4
Turbidez	Turbidimetria	1,0	5,0
PH	Potenciometria Direta	0,01	4,0
DBO <sub>5</sub>	Potenciometria – Elet. Membrana	2,0	15,0
DQO	Dicromatometria – Refluxo Aberto	2,0	13,0
Fósforo Total	Espec. Abs. Mol. UV-V SnCl <sub>2</sub>	0,01	8,0
Oxigênio Dissolvido	Iodometria	0,2	0,05
Surfactantes	Espec. Abs. Mol. – Azul Metileno	0,01	10,0
Óleos e Graxas	Gravimetria – Partição	1,0	7,0
Cloretos	Titul. Precipit. – Argentimetria	0,2	1,7
Nitratos	Espec. Abs. Mol. Ácido Dissulf.	0,01	5,0
Nitritos	Espec. Abs. Mol. Sulfanilamida	0,005	3,0
Chumbo	Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,05	0,2
Cobre	Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,01	2,8
Cromo Total	Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,02	3,7
Cádmio	Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,01	5,1
Ferro Total	Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,02	2,3
Manganês	Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,01	6,0
Mercúrio	Espectrof. de Abs. Atômica – Vapor Frio	0,001	8,4
Níquel	Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,02	9,7
Zinco	Espectrofotometria de Absorção Atômica	0,02	0,4
Sólidos Suspensos	Gravimetria	0,001	5,0
Sólidos Totais Dissolvidos	Gravimetria	0,001	5,0
Sólidos Totais a 105°C	Gravimetria	0,001	5,0
N.M.P. de Coliformes Totais	Tubos Múltiplos	2,0	5,0
N.M.P. de Coliformes Fecais	Tubos Múltiplos	2,0	5,0

Fonte: Laborquímica – 1998; Legenda: LD = Limite de Detecção; IM = Incerteza do Método; N.M.P. = Número mais provável.

Quanto ao método utilizado para a análise de sedimentos, a Laborquímica informou<sup>45</sup> que as amostras foram submetidas ao processo de extração por solventes orgânicos e purificação por fase sólida. Após este procedimento, o extrato resultante foi submetido à derivação e análise através do método da Cromatografia Gasosa em Cromatógrafo HP 5890 II, Coluna Capilar DB5-30m. De acordo com o referido laboratório, este método apresenta uma sensibilidade de 0,01 ppm.

#### *4.3.4 - Índices para a avaliação da qualidade da água adotados*

Os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram classificados com base na Resolução CONAMA n° 20/86, bem como utilizados para cálculo do IQA - método da NSF, modificado pelo Comitesinos. A escolha deste índice se deu em virtude da facilidade de sua aplicação e sua boa aceitação para a avaliação de ambientes lóticos e lênticos. Isto possibilita compará-los com outros ecossistemas aquáticos situados em diferentes bacias hidrográficas. O cálculo da saturação de oxigênio foi elaborado a partir da tabela constante em Schäfer (1984). É necessário esclarecer que o parâmetro fosfato foi substituído por fósforo total<sup>46</sup>, uma vez que este era o dado disponível nas análises de água. Para a correção do IQA, aplicou-se um Índice de Toxidez (*IT*) seguindo a proposta do Comitesinos para as áreas predominantemente rurais.

#### **4.4 – Avaliação da intrusão salina**

A análise da amplitude da intrusão salina, a partir do Rio Mampituba, foi feita com base nos estudos anteriores, nos resultados de duas campanhas de coletas de água e sedimentos, na ocorrência de bioindicadores de ambiente salino e por meio de uma campanha específica de amostragem ao longo deste rio e do Rio Monteiro.

---

<sup>45</sup> Laudos de análise 28149, 28151, 18153, 28155, 28157 e 28159 de 03.12.98.

<sup>46</sup> O fósforo total também é considerado para o cálculo do IQA utilizado pela CETESB (Porto, 1991)

#### 4.4.1 - A análise dos fatores abióticos

A verificação de parâmetros abióticos indicativos da influência do ambiente estuarino do Rio Mampituba, nas sub-bacias em foco, iniciou com a análise da concentração de sais nos pontos amostrados durante as duas campanhas de coleta de água e sedimentos, realizadas no inverno e no verão. A amostragem de inverno foi efetivada nos dias 20 e 21 de julho de 1998 em condições de quadratura (Lua Minguante), sendo que a Lua Nova entraria no dia 23 desse mês. A amostragem de verão foi feita no dia 22 de dezembro de 1998, em situação de sizígia (Lua Nova).

Para a estimativa da amplitude da intrusão salina foi possível a realização de apenas uma campanha, que se verificou em 20 de março de 1999, também em situação de maré de sizígia (Lua Nova), num período que se estendeu por 6h37min. Nessa ocasião foi estabelecido um total de treze estações de coletas, que partiram da desembocadura do Rio Mampituba. As demais estações foram fixadas ao longo do eixo longitudinal dos rios Mampituba e Monteiro, até aproximadamente três quilômetros de distância da confluência deste último com a Lagoa do Morro do Forno. A partir deste ponto (estação 13) não foi mais exeqüível avançar, em face da obstrução imposta pela vegetação flutuante que se acumulou no eixo transversal do Rio Monteiro. A figura 18 ilustra a distribuição destas estações, georreferenciadas por meio de GPS, marca Garmin.

Os dados coletados foram: água de superfície e de fundo e sedimentos de superfície de fundo. Os parâmetros medidos diretamente no momento da amostragem, durante essa última campanha, foram: profundidade, através de ecobatímetro marca Eagle; salinidade, temperatura e pH das águas superficiais e de fundo por meio de um processador multiparâmetro marca Hoskin WTW Multiline; e direção e velocidade das correntes de superfície e de fundo, mediante um correntômetro Sensedata SD-30.

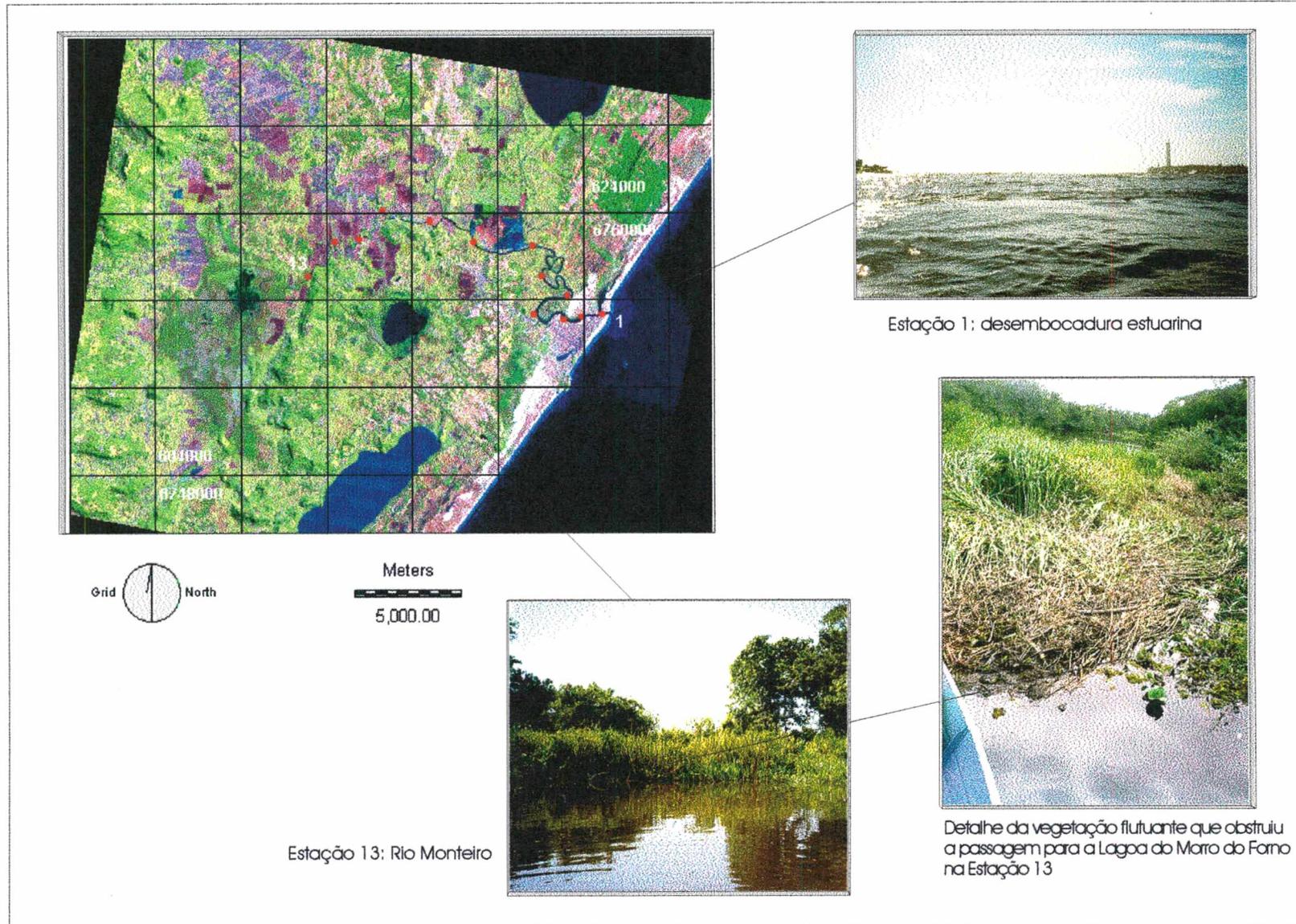


Figura 18: Localização das estações de amostragem ao longo do setor estuarino do Rio Mampituba

A coleta de sedimentos para análise granulométrica foi feita com amostrador de fundo, tendo sido acondicionados aproximadamente 300 ml de material em sacos plásticos, devidamente etiquetados para sua posterior análise. Esta seguiu a metodologia padrão de determinação granulométrica por peneiramento e pipetagem. Os parâmetros estatísticos associados seguiram a proposta de Folk & Ward (1957; *apud* Bonetti Filho, 1995).

A água foi coletada em Garrafa de Van-Dorn, com capacidade de 2 litros, sendo distribuída em 26 frascos, com capacidade para 200 ml. Parte desta água foi acondicionada em treze frascos, com capacidade para 2 litros, sendo devidamente fixadas com 15 ml de formol/1600 l de água. Tais amostras foram filtradas em laboratório para a determinação da concentração de sólidos em suspensão. Nas demais amostras de água (frascos menores) realizaram-se medidas adicionais de salinidade, mediante refratômetro, marca Atago, assim como de turbidez, através de turbidímetro marca LaMotte.

Os equipamentos acima mencionados estão ilustrados na figura 19.

Os resultados das análises dos parâmetros medidos e coletados nessa campanha foram comparados com os obtidos em 1980, pelo Ministério do Interior (1982), quando se verificaram os riscos de salinização nas águas destinadas à irrigação. O conjunto destes dados, adicionados à ocorrência de bioindicadores e às informações de produtores e técnicos do local, contribuiu para a avaliação da disponibilidade hídrica das sub-bacias estudadas, tendo-se em conta os critérios de qualidade necessários para o atendimento dos seus usos preponderantes.

#### *4.4.2 - A análise de bioindicadores*

A presença de determinadas espécies pode ser um importante indicativo das características do meio-ambiente, bem como das alterações impostas ao mesmo, quer por condicionantes naturais, quer por influência antrópica, conforme foi discutido no capítulo 2.

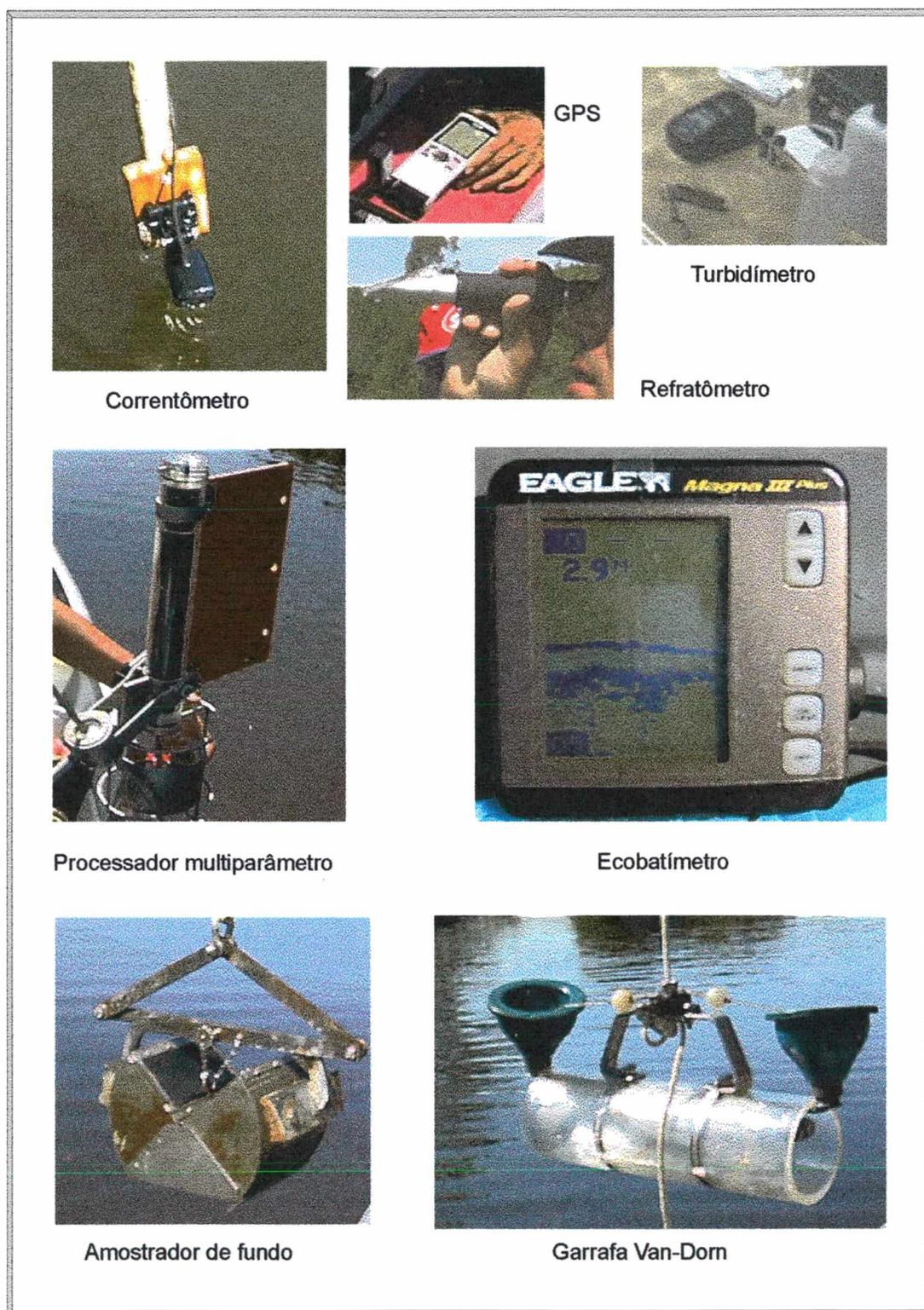


Figura 19: Equipamentos utilizados nas estações de amostragem no setor estuarino do Rio Mampituba

Nas sub-bacias estudadas, a intrusão salina caracterizou-se como um fenômeno que apresenta uma periodicidade subordinada a um conjunto de condições relacionadas à dinâmica atmosférica e oceânica, de acordo com a bibliografia consultada e os relatos de técnicos e moradores da área. Como a análise dos fenômenos responsáveis por esta dinâmica é complexa e requer um monitoramento efetivo de suas variáveis (amplitude de maré, direção e velocidade do vento, nível das águas dos rios e lagoas, etc.), buscou-se a identificação não apenas de parâmetros físico-químicos para a sua apreciação, mas também de indicadores biológicos capazes de refletirem o registro da influência marinha, mesmo após a retomada das condições hidrológicas habituais.

Para tanto, utilizou-se a metodologia aplicada por Bonetti e Eichler (1997) na avaliação da ocorrência de foraminíferos no setor estuarino do Rio Itapitangui, em Cananéia, Estado de São Paulo. Estes organismos fazem parte da fauna bentônica que pode ser encontrada em ambientes eurihalinos.

A coleta de sedimentos superficiais para a verificação da ocorrência destes organismos foi realizada em conjunto com as campanhas para análise da qualidade da água e a específica ao longo dos rios Mampituba e Monteiro, totalizando três campanhas (julho e dezembro/98; março/99) e 21 amostras distribuídas nas estações discriminadas na tabela 21.

Em cada estação foi coletado entre 70 a 100 ml de sedimento úmido. Na primeira campanha (julho/98), os sedimentos foram acondicionados em sacos plásticos, para a verificação da ocorrência de foraminíferos, mas sem a utilização de corantes. Na segunda (dezembro/98), foram preparados frascos com solução do corante Rosa Bengala, diluída em álcool, para a posterior identificação dos organismos que estavam vivos no momento da coleta, o mesmo ocorrendo por ocasião da terceira campanha (março/99).

Tabela 21 - Localização das estações destinadas à análise da ocorrência de foraminíferos, bacia do Rio Mampituba, Litoral Norte, RS

Campanha de julho/98		Campanha de dezembro/98		Campanha de março/99	
Estações	Localização	Estações	Localização	Estações	Localização
1	L. do Jacaré	-	-	-	-
2	L. do Jacaré	-	-	9 <sup>a</sup> a 11	Rio Monteiro
3	L. Morro do Forno	6	Rio Monteiro	12	Confluência <sup>1</sup>
4	Rio Monteiro	7	L. Morro do Forno <sup>2</sup>	13 a 20	Rio Mampituba
5	Confluência <sup>1</sup>	8	Confluência <sup>1</sup>	21	Desembocadura

Legenda: <sup>1</sup> ponto de confluência do Rio Mampituba com o Rio Monteiro; <sup>2</sup> ponto mais próximo da Lagoa do Morro do Forno

Todo o material coletado foi mantido refrigerado e conduzido para análise na Universidade Federal de Santa Catarina. O tratamento das amostras e o método para a identificação dos organismos estão descritos em Bonetti e Eichler (1997).

## **5 - AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

*“A água não deve ser desperdiçada nem poluída nem envenenada. De maneira geral, sua utilização deve ser feita com consciência e discernimento para que não se chegue a uma situação de esgotamento ou de deterioração da qualidade das reservas atualmente disponíveis.” (Art. 7º da Declaração Universal dos Direitos da Água)*

## **5 - AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

### **5.1 - Introdução**

No capítulo 3, foram analisados os principais processos que dominam na dinâmica natural, bem como os impactos mais visíveis que procedem da ocupação humana nas sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré. Estas informações são indicadoras das possíveis restrições impostas pelo conjunto natureza-sociedade à oferta de água necessária ao atendimento dos usos preponderantes nestes sistemas.

No presente capítulo, estão sistematizados os dados obtidos através da aplicação da modelagem hidrológica integrada a um SIG e das campanhas de coletas de água e sedimentos realizadas na área de estudo. A análise e a discussão destes objetivou estimar a magnitude das limitações oriundas do meio natural e antrópico para a manutenção da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos em pauta, tendo-se em conta as informações disponíveis e os produtos gerados pela metodologia adotada.

### **5.2 - Disponibilidade quantitativa**

Os resultados produzidos por meio das técnicas de geoprocessamento integradas à modelagem hidrológica permitiram que se avaliasse a variação espaço-temporal da disponibilidade quantitativa dos recursos hídricos superficiais da área em foco. A consistência destes foi verificada mediante o conhecimento da dinâmica do ambiente natural e das informações fornecidas por moradores e técnicos do local.

### 5.2.1 - Análise dos resultados

As imagens que estimam os volumes totais de chuva e de evapotranspiração potencial para cada mês, considerando-se as condições médias e de estresse (escassez ou excesso hídrico), produziram os resultados que estão exibidos no gráfico da figura 20.

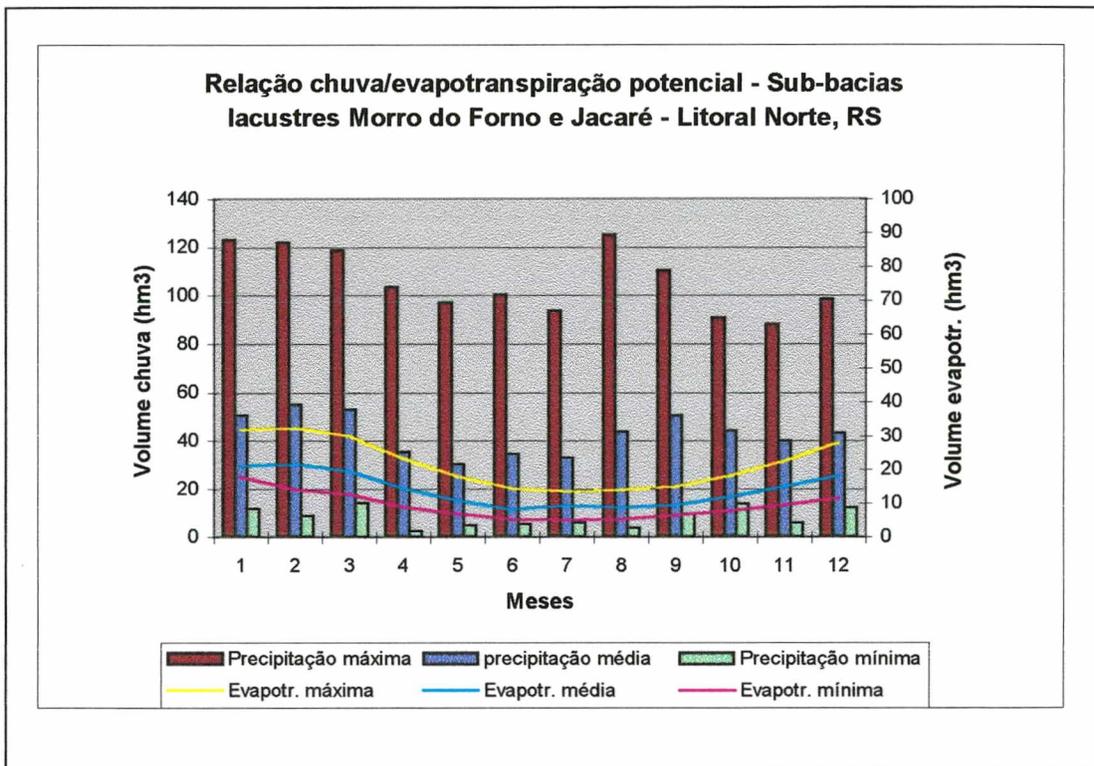


Figura 20: Gráfico dos volumes totais de chuva e de evapotranspiração estimados para a área

Analisando estes dados, percebe-se que:

1. Os maiores volumes de chuva são registrados primeiramente no verão e posteriormente no final do inverno e início da primavera.
2. Em situações de estresse por falta de chuva (chuva mínima), mesmo que a Eti seja mínima, a maioria dos meses apresenta déficit.
3. Quando os índices pluviométricos estão situados entre as médias para a área, mas com elevada Eti (Eti máxima), observam-se riscos de déficit,

em face do reduzido volume de água que estará disponível, notadamente nos meses de verão, quando as demandas são maiores, e no outono.

4. A variação entre chuva máxima e média é elevada em todos os meses, evidenciando uma importante amplitude pluviométrica interanual, que recrudescer nos anos secos.

Ainda com base nestes dados e nas informações obtidas diretamente com o Instituto Riograndense do Arroz - IRGA-RS foi possível estimar o balanço entre as demandas de água para a orizicultura e a disponibilidade hídrica nas sub-bacias estudadas. É importante considerar que no setor rio-grandense do baixo vale do Rio Mampituba mais de 90% das lavouras utilizam o sistema pré-germinado para o cultivo do arroz. Neste tipo de sistema, as demandas de água por safra compreendem 7.200 m<sup>3</sup>/ha/safra, valor teórico<sup>47</sup> em condições de chuva média. No sistema convencional, o consumo é da ordem de 12.000 m<sup>3</sup>/ha/safra, podendo ultrapassar este valor, conforme ocorre na fronteira oeste do Rio Grande do Sul.

Para as sub-bacias estudadas, a distribuição do consumo de água na lavoura do arroz é de 40%, no mês de outubro, 30%, em novembro, e 10% nos meses de dezembro a fevereiro. A partir da imagem do uso do solo, calculou-se que a área cultivada é de 4.807,8 ha. Este dado foi posteriormente confirmado pelos técnicos do IRGA, em Torres. Com estas informações foi possível estimar que a demanda total de água para esta lavoura é de 34.616.160 m<sup>3</sup>/safra, sendo distribuída da seguinte forma: 13.846.464 m<sup>3</sup>, no mês de outubro; 10.384.848 m<sup>3</sup>, em novembro; e 3.461.616 m<sup>3</sup> nos meses de dezembro a fevereiro. Comparativamente, no sistema tradicional o consumo seria de 57.693.600 m<sup>3</sup>/safra, para esta mesma área plantada com arroz.

O significado destes valores para a avaliação das condições quantitativas dos recursos hídricos estudados pode ser apreciado no gráfico da figura 21, que

---

<sup>47</sup> De acordo com o setor de Pesquisa do IRGA/RS, este valor varia conforme as condições de solo e de pluviosidade. Em época de estiagem as demandas de água no sistema pré-germinado são estimadas em 8.000 m<sup>3</sup>/ha/safra. Por outro lado, em anos chuvosos o consumo de água para o arroz pode-se reduzir a 6.500 m<sup>3</sup>/ha/safra.

relaciona as demandas de água para a orizicultura com a disponibilidade hídrica. Esta última foi estimada com base apenas nos dados dos volumes de chuva (média e mínima) e de Eti (média e mínima). Observando-se este gráfico é possível inferir que, em condições médias (chuva média - Eti média), não há escassez de água para atender as necessidades da cultura do arroz, na área em questão. Todavia, em períodos de chuva mínima, mesmo com Eti mínima, os déficits são previstos para os dois sistemas.

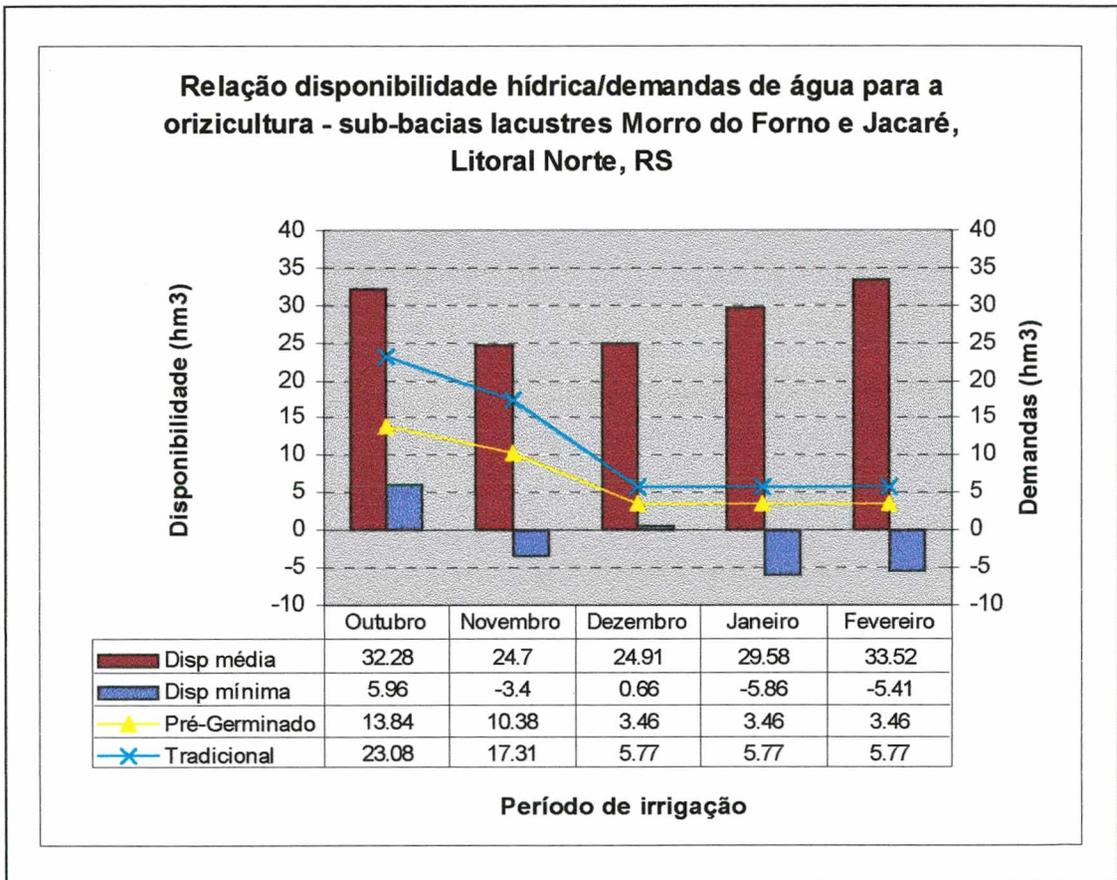


Figura 21: Gráfico da estimativa da disponibilidade e do consumo de água para a orizicultura na área de estudo

As imagens índices, geradas a partir da divisão entre as imagens chuva e as imagens Eti, deram indicativos interessantes da variação espaço-temporal das situações de escassez ( $I < 1$ ) e de excedente ( $I > 1$ ) de chuva, sendo representativas do balanço climático para as condições médias de chuva e evapotranspiração potencial nas sub-bacias estudadas .

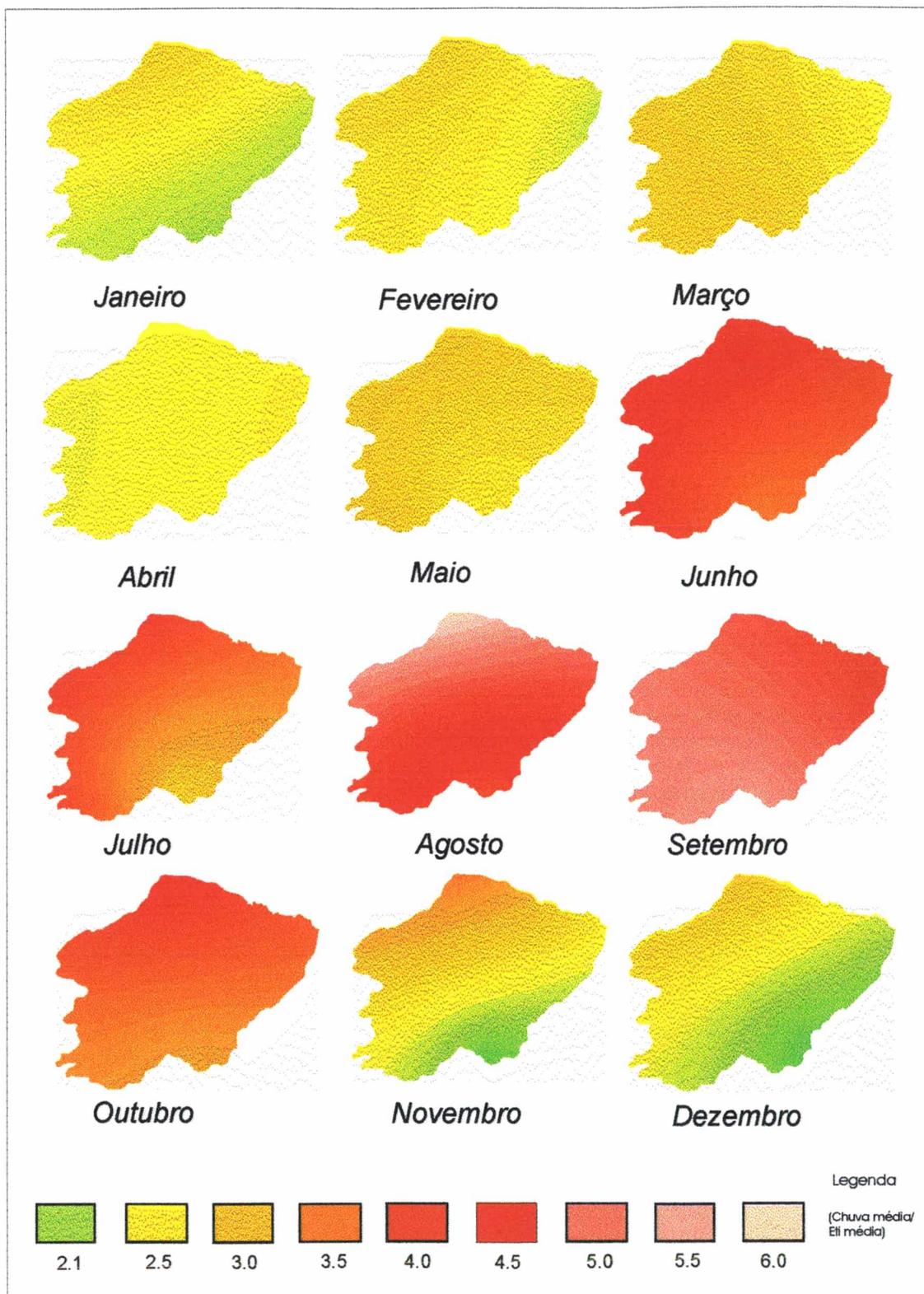


Figura 22: Imagens do balanço climático da área de estudo para condições médias de chuva e evapotranspiração

Os valores e a variação do I nas distintas épocas do ano e para as diversas associações entre precipitação (máxima, média e mínima) e Eti (máxima, média e mínima) foram analisados e sua síntese encontra-se na tabela 22.

Tabela 22 - Valores e variação de I obtidos a partir das Imagens Índices geradas pelo geoprocessamento

Período	Condição		I	ΔI	Mês mais crítico		
	Chuva	Eti			Menor I	Maior I	
Março a maio	Mínima	Máxima	< 1	0,50	Abril	Março	
		Média		0,78			
		Mínima		1,19			
	Máxima	Máxima	> 1	3,64	Março	Maio	
		Média		5,99			
		Mínima		10,00			
	Média	Máxima	> 1	0,61	Abril	Março	
		Média		0,54			
		Mínima		1,46	Março	Maio	
Junho a agosto	Mínima	Máxima	< 1	0,69	Agosto	Julho	
		Média		< 1 <sup>1</sup>			1,03
		Mínima		< ou > 1 <sup>2</sup>			1,92
	Máxima	Máxima	> 1	4,18	Julho	Agosto	
		Média		7,04			
		Mínima		9,71			
	Média	Máxima	> 1	1,67	Julho	Agosto	
		Média		3,05			
		Mínima		4,43			
Setembro a novembro	Mínima	Máxima	< e > 1 <sup>2</sup>	1,49	Novembro	Outubro	
		Média		2,32			
		Mínima		3,55			
	Máxima	Máxima	> 1	5,25	Novembro	Setembro	
		Média		8,22			
		Mínima		12,37			
	Média	Máxima	> 1	2,18	Novembro	Setembro	
		Média		3,56			
		Mínima		5,51			
Dezembro a fevereiro	Mínima	Máxima	< 1	0,48	Fevereiro	Dezembro	
		Média		< 1 <sup>1</sup>			0,78
		Mínima		1,13	Janeiro		
	Máxima	Máxima	> 1	1,57	Dezembro	Fevereiro	
		Média		2,03			
		Mínima		3,32	Janeiro		
	Média	Máxima	> 1	0,61	Dezembro		
		Média		1,07			
		Mínima		2,32	Janeiro	Dezembro	

Legenda: <sup>1</sup> – considerando a maior parte da área; <sup>2</sup> – I varia entre ±1

A digitalização e o processamento digital de imagens foram técnicas fundamentais para a geração de subsídios necessários à simulação hidrológica. No caso da imagem do MDT, ainda que o produto final não tenha tido a qualidade suficiente para sua aplicação na modelagem do transporte hídrico (submodelo 2 do **GeoAmb I**®), propicia uma boa visualização do gradiente topográfico entre o setor da encosta planáltica e o da planície lacustre (figura 23).

As imagens que permitiram o funcionamento do modelo de balanço hídrico (submodelo 1 do **GeoAmb I**®) estão ilustradas nas figuras 24 a 26.



Figura 23: Imagem do Modelo Digital do Terreno; em 1 e 2 visualizam-se as lagoas do Morro do Forno e do Jacaré, respectivamente

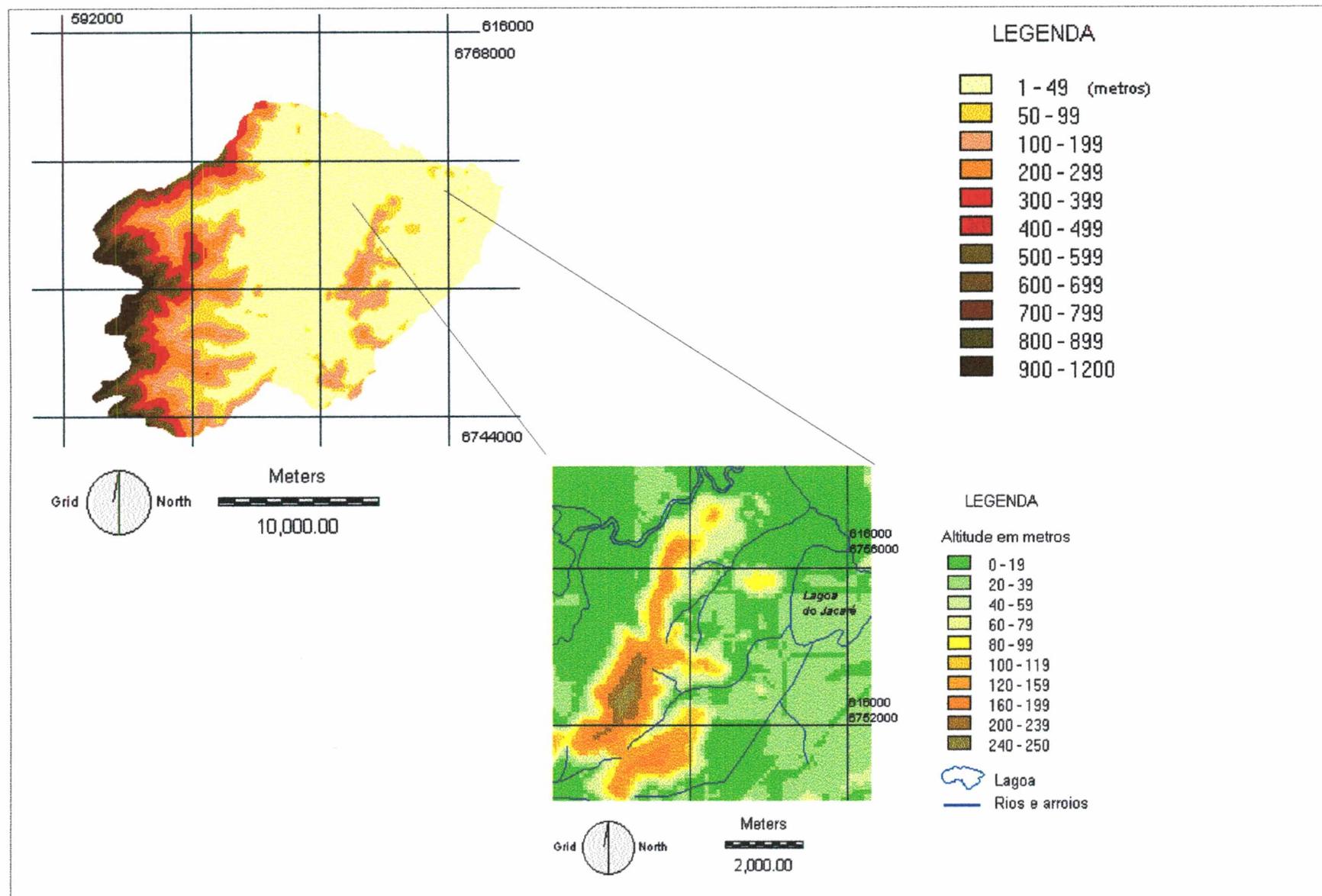


Figura 24: Imagem da topografia da área e janela utilizada para a simulação; pode-se observar nesta figura os problemas gerados na interpolação das cotas altimétricas; obs.: A legenda da janela foi realçada por uma nova reclassificação

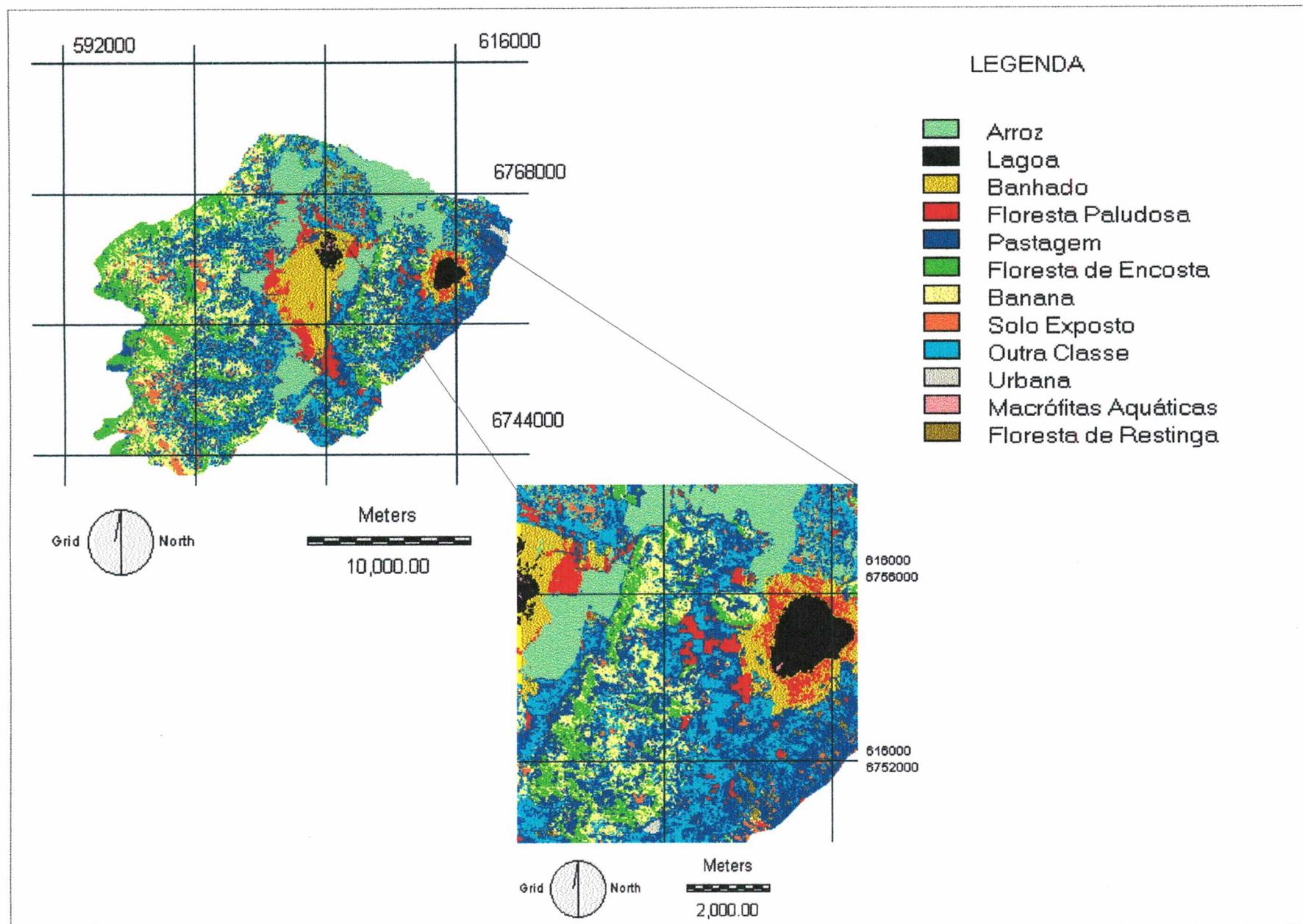


Figura 25: Imagem do Uso do Solo da área e janela utilizada para simulação

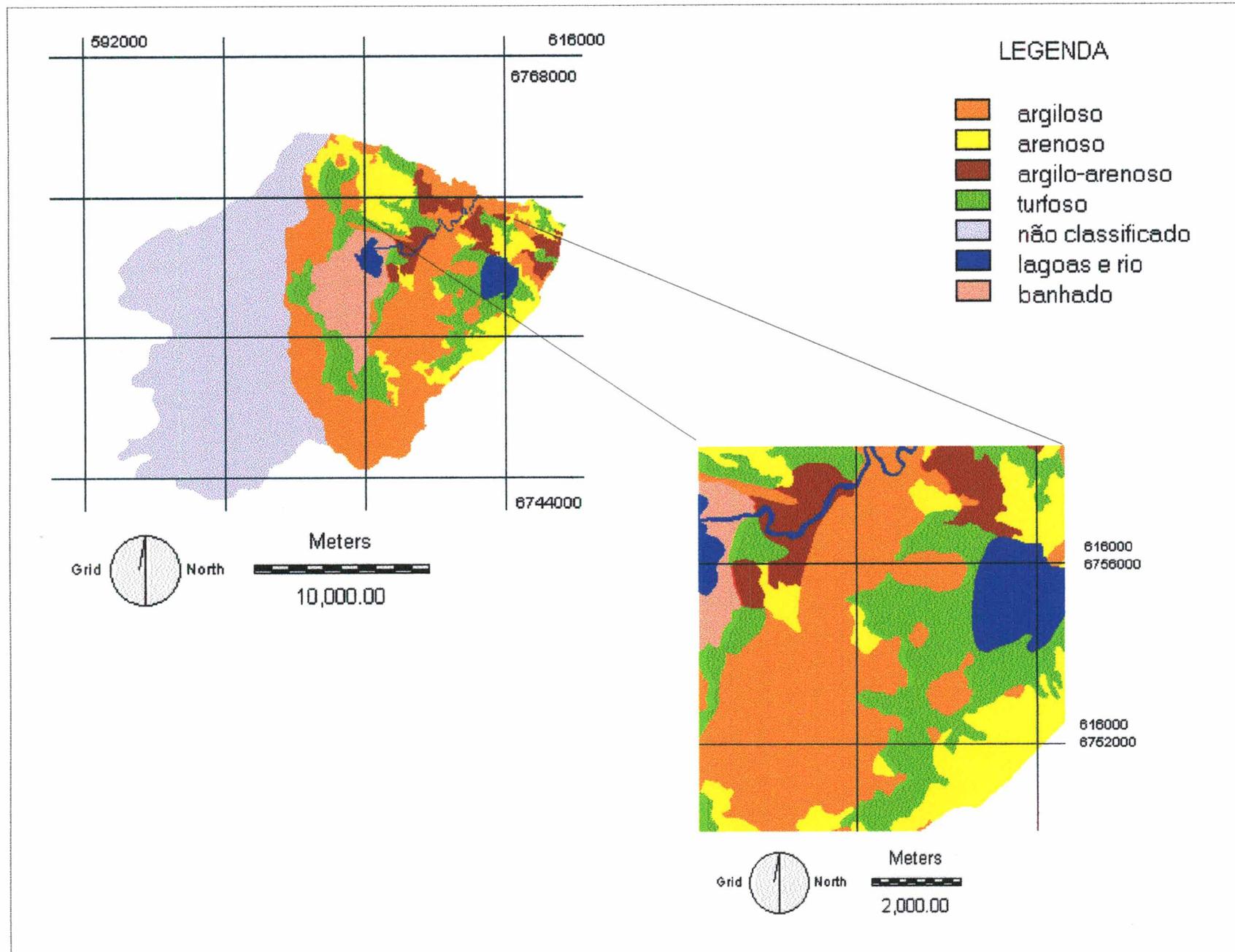


Figura 26: Imagem do Solo da área de estudo e janela utilizada para a simulação

A partir destes dados e tendo-se em conta as características médias de chuva e de evapotranspiração real, a modelagem hidrológica foi aplicada na porção oriental da área em foco, conforme explicado no capítulo 4. Os resultados da simulação foram sistematizados no gráfico da figura 27, derivado da mesma forma que o dos volumes totais. Com base nestas informações, verificou-se que não ocorrem déficits hídricos neste setor, mantendo os solos a sua capacidade máxima de armazenamento em todos os meses. Os maiores excessos hídricos foram registrados em setembro, a exemplo do observado no balanço climático, quando este mês apresentou um excedente de 41,02 hm<sup>3</sup> contra 29,58 hm<sup>3</sup> e 33,52 hm<sup>3</sup> calculados para os meses de janeiro e fevereiro, respectivamente.

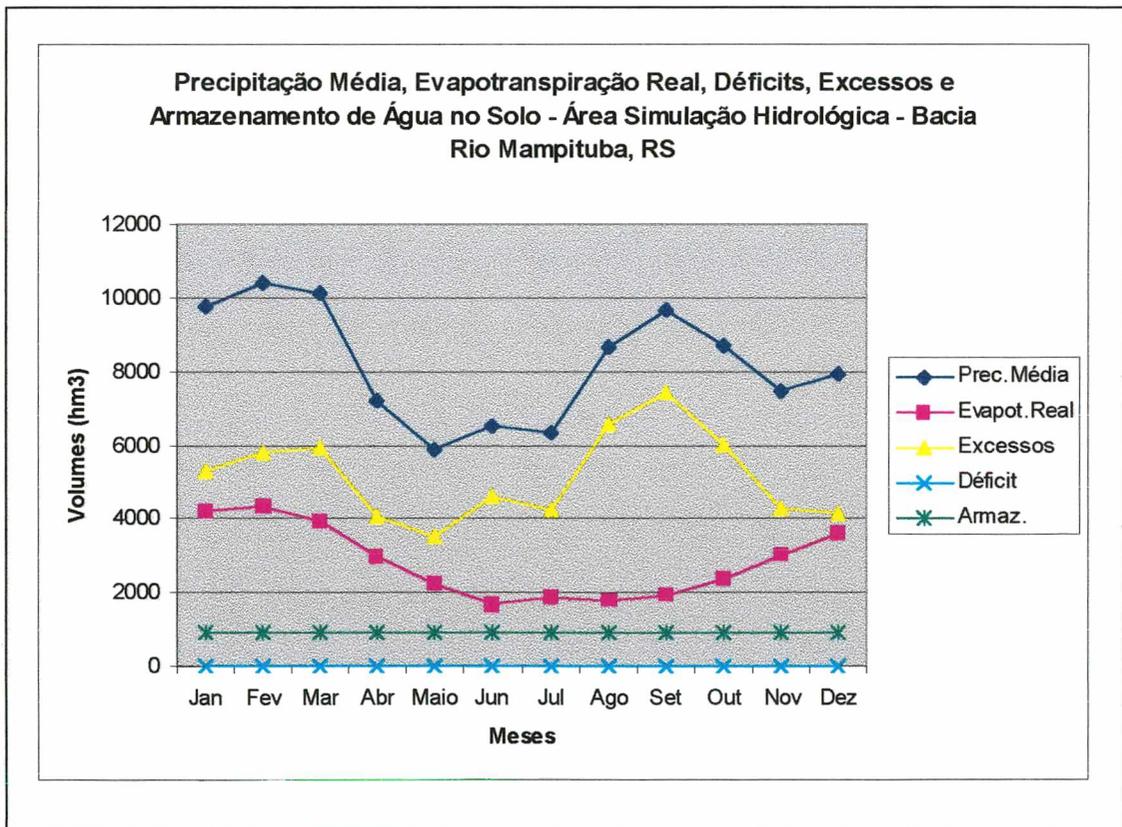


Figura 27: Gráfico da variação mensal das variáveis obtidas a partir da simulação hidrológica

As imagens relativas aos excessos hídricos podem ser visualizadas na figura 28. Da sua análise depreende-se que em todos os meses as áreas com maiores excessos são as ocupadas pelos banhados. Os menores excessos oscilaram espacialmente ao longo do ano. Nos meses de verão e outono (especialmente em maio) ocorreram predominantemente nas áreas cultivadas com arroz e banana. No inverno, destacadamente a partir de julho, observou-se que os menores índices de excesso hídrico foram registrados ao sul e nas porções mais elevadas da área. Esta tendência foi observada no início da primavera até novembro, quando, então, verificaram-se índices menores também nas áreas cultivadas com arroz.

#### 5.2.2 - *Discussão dos resultados*

Os resultados obtidos com a integração SIG-modelo hidrológico sugerem que na área de estudo, em condições normais de pluviosidade e temperatura, não há problema de déficit hídrico. No entanto, também foi possível constatar uma importante variabilidade interanual passível de ocorrer neste contexto, o que se traduz por excessos hídricos notáveis e déficits não desprezíveis em anos chuvosos e secos, respectivamente, de acordo com o observado no gráfico dos volumes precipitados e evapotranspirados. Com referência a isto, Berlato (1992), discutindo sobre a freqüência de anos secos e chuvosos no Rio Grande do Sul, concluiu que

**"... a variabilidade interanual das condições hídricas do solo determinada pela variabilidade da precipitação é o fator isolado que maior peso exerce na variação dos rendimentos das culturas de primavera-verão no estado." (Berlato, *op. cit.*, p.15)**

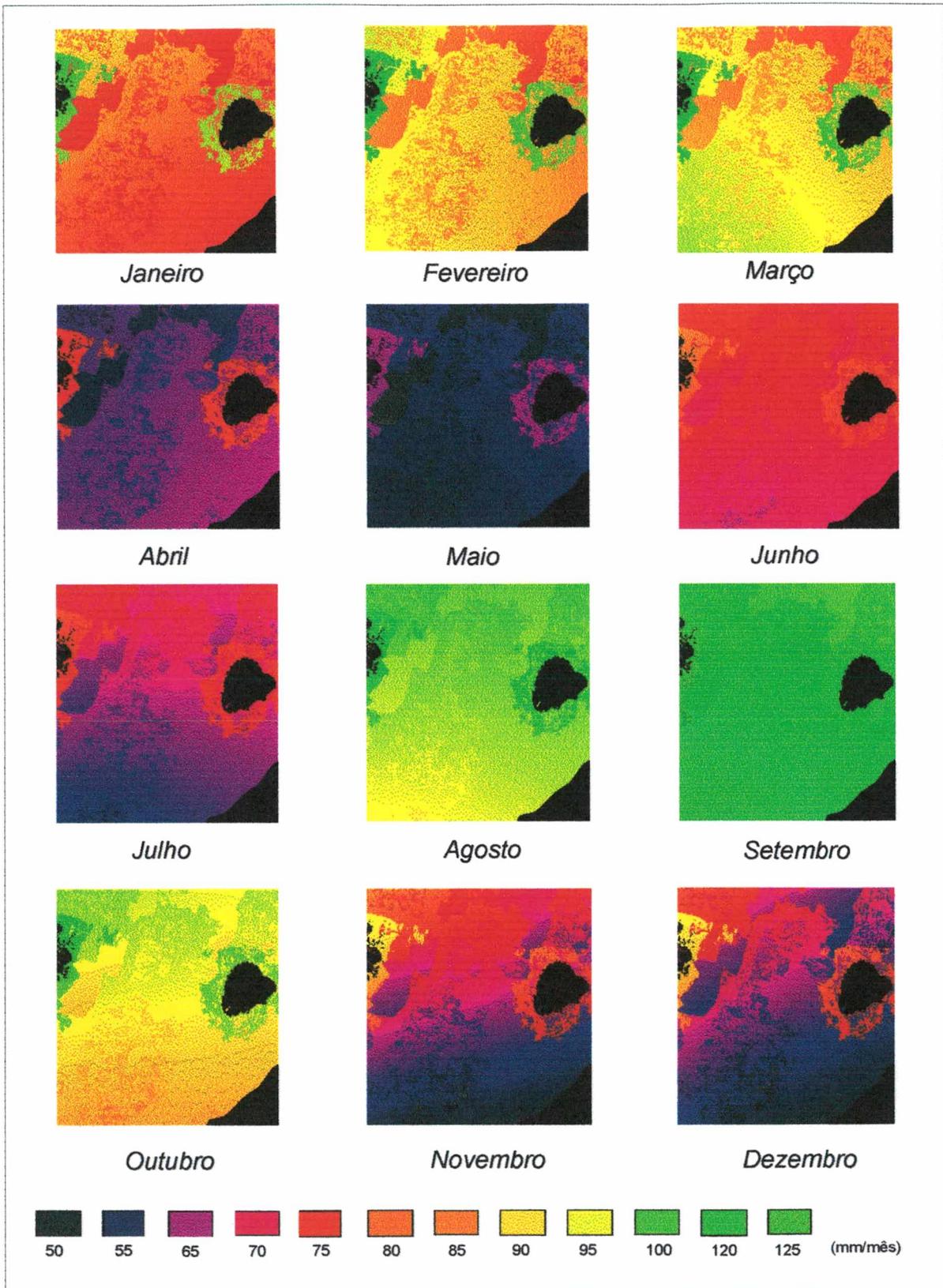


Figura 28: Imagens da variação espaço-temporal dos excessos hídricos estimados para a área de simulação hidrológica

Como regra, os excedentes hídricos se manifestaram sobretudo no mês de setembro. Isto foi observado na aplicação simples do balanço climático e, posteriormente, no cálculo do balanço hídrico realizado pelo modelo hidrológico. Estes excessos, confirmados pela população local e por estudos anteriores, devem estar relacionados não só aos volumes de chuvas precipitados neste período e às taxas mais baixas de evapotranspiração, mas também, e talvez de forma mais significativa, à contribuição da água subterrânea. É importante lembrar que no setor selecionado para a simulação existem áreas caracterizadas pela presença do lençol freático superficial e do importante aquífero representado pelo arenito Botucatu. Assim, a água que percola dos solos saturados no período de inverno deve alimentar o manancial subterrâneo que, a seu turno, influencia adicionalmente os volumes de água superficiais. Para as culturas de primavera-verão, como é o caso da orizicultura, as cheias podem se tornar devastadoras, confirmando os relatos dos produtores locais.

Nas imagens da variação espacial dos excessos hídricos, observou-se também que as áreas ocupadas por banhados apresentam os maiores índices, refletindo talvez as características naturais deste ecossistema que deve estar funcionando como um minimizador das cheias que atingem as sub-bacias estudadas. O mês de maio apresentou os menores excessos hídricos, uma vez que ostenta os menores volumes precipitados para a área de simulação, a exemplo do que ocorre nos meses de inverno, excetuando-se em agosto, quando, então, se observa o aumento dos índices pluviométricos. É interessante considerar, ainda com referência ao período compreendido pelo outono, o informado pelos olericultores que ocupam as áreas elevadas de Dom Pedro de Alcântara. Segundo estes produtores, ocorrem problemas de escassez de água nesta época, os quais podem se estender até outubro. Neste trabalho não se aplicou a modelagem para uma condição de estresse por falta de água. Além disto também não foi possível considerar a categoria "olerícolas" para a estimativa de demandas de água, visto que a mesma não pode ser isolada no processo de classificação das imagens. No entanto, pode-se inferir que esta baixa disponibilidade de água esteja relacionada não só aos menores índices de chuva, mas também às características dos solos associadas à topografia desta área.

O mapeamento da rede de drenagem também foi outro resultado interessante derivado a partir do modelo hidrológico, graças ao concurso do MDT e de seus subprodutos (matrizes “Aspecto” e “Acumula”). Pelo que se pode constatar, a distribuição espacial da drenagem está muito próxima da realidade, melhorando, inclusive, as informações originais da carta topográfica. As distorções que se observam são oriundas da falta de dados de topografia nas áreas da planície lagunar, de acordo com o referido no capítulo 4. Com base nisto seria possível, ainda, o cálculo de vazões ao longo dos cursos d’água fluviais, seguindo-se o submodelo 2 do **GeoAmb I**. Porém, devido à falta de dados que pudessem comprovar os resultados das vazões desta forma geradas, este procedimento não foi executado. As imagens da hidrografia produzidas para a área de escopo podem ser conferidas na figura 29.

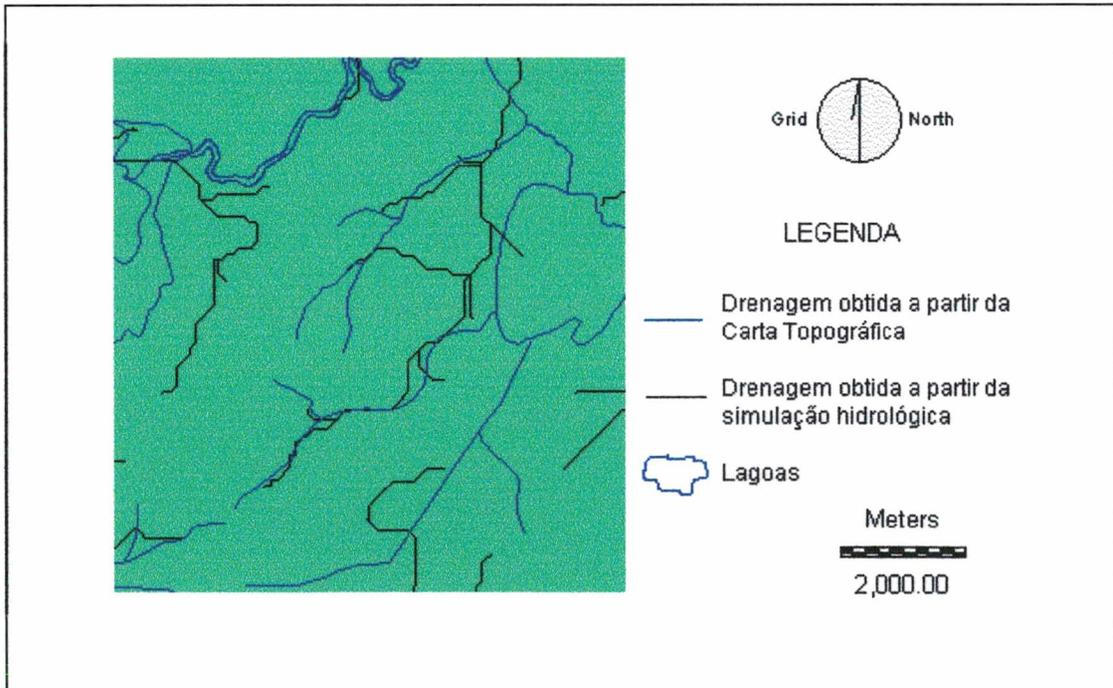


Figura 29: Rede de drenagem derivada pela simulação hidrológica

### 5.3 - Disponibilidade qualitativa

As condições qualitativas dos recursos hídricos superficiais das sub-bacias em apreço foram apreciadas em virtude dos resultados obtidos nas duas campanhas de coletas de água. A análise dos sedimentos coletados no leito dos pontos de amostragem, no entanto, não pode ter a mesma relevância na ponderação sobre fontes potenciais de poluição, conforme explicado no capítulo 4. Mesmo assim, os compostos identificados na única análise de sedimentos foram discriminados na tabela 23.

As coletas foram realizadas em condições médias de temperatura de 18,7°C, no inverno, e de 24,3°C, no verão. Quanto aos resultados das análises, é necessário esclarecer que, dos vinte e oito parâmetros previamente selecionados, quatro não puderam ter seus resultados apreciados, visto que o limite de detecção do método utilizado pelo laboratório responsável não atendeu às exigências da Resolução 20/86 do CONAMA. Estes parâmetros são: chumbo, cádmio, mercúrio e zinco. Desta forma, o resultado “não detectado” perde o seu significado, podendo, inclusive, encobrir problemas de contaminação que o método utilizado não foi capaz de identificar. Os resultados dos demais parâmetros estão sistematizados na tabela 24.

Tabela 23 - Resultados das análises de sedimentos de superfície de fundo - sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré, Litoral Norte, RS

Parâmetro (ppm)	Pontos de coleta					
	01	02	03	04	05	06
Malation	0,1	0,1	0,2	ND	0,05	0,2
Paration	ND	0,06	0,06	ND	ND	0,05
Propanil	ND	<0,01	ND	ND	ND	ND

Fonte: Laborquímica, em 03.12.98

Tabela 24 - Resultados das análises nas amostras das águas superficiais, campanhas de inverno e verão - sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré - Litoral Norte, RS

PARÂMETROS	ESTAÇÕES AMOSTRADAS												CLASSES CONAMA 20/86			
	1		2		3		4		5		6		1	2	3	4
	INV	VER	INV	VER	INV	VER <sup>1</sup>	INV	VER	INV	VER	INV	VER				
Condutividade ( $\mu\text{mho/cm}$ )	73,0	78,0	55,0	70,0	46,0	67,0	37,0	37,0	40,0	39,0	55,0	53,0	-	-	-	-
Salinidade (%)	0,0024	0,014	0,018	0,012	0,016	0,01	0,012	ND	ND	ND	0,013	0,01	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Turbidez (N.T.U.)	8,0	26,0	6,0	21,0	5,0	22,0	1,0	1,0	2,0	1,0	4,0	6,0	40	100	100	-
PH	6,5	6,4	6,6	6,5	6,4	6,6	7,2	7,2	7,3	7,5	7,2	7,1	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
DBO <sub>5</sub> (mg/l O <sub>2</sub> )	2,0	2,1	2,0	6,0	2,0	2,0	6,0	3,0	2,0	2,3	2,0	2,2	<3	<5	<10	-
DQO (mg/l O <sub>2</sub> )	20,0	8,0	12,0	16,0	12,0	4,0	12,0	8,0	8,0	8,0	8,0	12,0	-	-	-	-
Fósforo Total (mg/l P)	0,08	0,06	0,16	0,11	0,17	0,09	0,06	0,05	0,15	0,14	0,12	0,06	0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Oxigênio Dissolvido (mg/l O <sub>2</sub> )	8,4	0,6	8,1	1,0	7,3	1,8	7,8	8,2	8,6	8,2	7,8	7,4	>6	>5	>4	>2
Surfactantes (mg/l ABS)	0,02	ND	ND	ND	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	0,03	ND	<0,5	<0,5	<0,5	-
Óleos e Graxas (mg/l)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	VA	VA	VA	-
Cloretos (mg/l Cl)	13,0	8,0	10,1	6,4	ND	5,7	6,6	3,6	4,6	3,6	7,1	5,0	<250	<250	<250	-
Nitratos (mg/l NO <sub>3</sub> )	0,92	0,14	0,6	ND	0,64	0,02	0,64	ND	0,45	ND	0,32	ND	<10	<10	<10	-
Nitritos (mg/l NO <sub>2</sub> )	ND	0,006	ND	0,006	ND	0,009	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	<1	<1	<1	-
Cobre (mg/l Cu)	ND	0,02 <sup>2</sup>	ND	0,02 <sup>2</sup>	ND	0,02 <sup>2</sup>	ND	0,02 <sup>2</sup>	ND	0,01	ND	0,01	<0,02	<0,02	<0,5	-
Cromo Total (mg/l Cr)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-
Ferro Total (mg/l Fe)	0,41	5,0	0,45	2,62	0,27	2,72	0,08	0,09	0,24	0,1	0,68	0,74	-	-	-	-
Manganês (mg/l Mn)	ND	0,15	ND	0,16	ND	0,14	ND	ND	ND	ND	0,02	0,05	<0,1	<0,1	<0,5	-
Níquel (mg/l Ni)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0,025	<0,025	<0,025	-
Sólidos Suspensos (mg/l)	12,0	7,0	10,0	4,0	7,0	19,0	8,0	2,0	4,0	3,0	3,0	4,0	-	-	-	-
Sólidos Totais Dissolv. (mg/l)	50,0	133,0	37,0	131,0	31,0	149,0	25,0	98,0	27,0	107,0	37,0	96,0	<500	<500	<500	-
Sólidos Totais a 105°C (mg/l)	62,0	140,0	47,0	135,0	38,0	168,0	33,0	100,0	31,0	110,0	40,0	100,0	-	-	-	-
Coliformes Totais (NMP/100ml)	120	3500	130	350	350	540	330	540	3500	350	330	1600	<1000	<5000	<20000	-
Coliformes Fecais (NMP/100ml)	17	340	8	10	11	11	70	5	40	130	170	49	<200	<1000	<4000	-
Temperatura da água °C	19,2	23,3	18,4	23,8	19,0	24,0	18,9	25,1	18,9	25,5	17,9	24,0	-	-	-	-
<b>IQA</b>	<b>75,55</b>	<b>36,27</b>	<b>75,98</b>	<b>42,99</b>	<b>74,04</b>	<b>51,67</b>	<b>63,92</b>	<b>76,0</b>	<b>69,81</b>	<b>61,96</b>	<b>63,92</b>	<b>74,26</b>	<b>MÉDIA = 63,86</b>			

Legenda: ND = Não Detectado; VA = Virtualmente Ausente; (1) Ponto 3, coleta de verão: confluência da Lagoa do Morro do Forno com o Rio Monteiro; (2) Limite Índice de Toxidez;  Fora Classe 1 CONAMA  Fora Classe 2 CONAMA  Fora Classe 4 CONAMA  IQA tende a zero com a aplicação do IT

### 5.3.1 - Análise dos resultados das coletas de água

Nos parâmetros ilustrados na tabela 24, foram observados alguns resultados que registram variações importantes em certos pontos de coleta, principalmente comparando-se a campanha de inverno com a de verão. Estes parâmetros são: DBO<sub>5</sub>, fósforo total, oxigênio dissolvido, cobre, ferro total, manganês, coliformes totais e coliformes fecais.

A DBO<sub>5</sub> é uma medida que avalia a quantidade de oxigênio que será consumida na degradação da matéria orgânica pelos organismos aeróbios. Por meio desta medida é estimada a carga orgânica dos corpos d'água, seus impactos e as estratégias para a sua minimização, segundo atestam Porto *et al.* (1991). A DQO, por sua vez, representa indiretamente uma outra maneira de se medir o oxigênio consumido na degradação da matéria. De acordo com ECOPLAN (1997), através deste parâmetro são feitas as medidas dos compostos biodegradáveis e os não degradáveis. Nas amostras analisadas verificou-se que, para DBO<sub>5</sub>, apenas os pontos 2 (campanha de verão) e 4 (campanha inverno) apresentaram resultados acima do estabelecido na classe 2 do CONAMA. Para as medidas de DQO constatou-se que os teores mais elevados foram os registrados nos pontos 1, campanha de inverno, e 2, campanha de verão. Quanto à relação DQO/DBO verificou-se que variou entre 2 (ponto 3, no verão) e 10 (ponto 1, no inverno), estando aquém do limite máximo de 20 admitido para águas naturais, conforme Porto *et al.* (*op. cit.*).

O fósforo é considerado um nutriente essencial para as plantas, sendo raramente encontrado em concentrações elevadas na água devido à sua intensa utilização pela fitocenose. Em Ecoplan (*op. cit.*) tem-se que os níveis de fósforo total acima de 0,02 mg/l em lagos são indicativos de ambientes eutróficos. Nas análises consideradas, os valores deste elemento superam o limite fixado para a classe 4 em todos os pontos amostrados, principalmente nas estações 2, 3, e 5, na campanha de inverno. O valor máximo encontrado foi de 0,17 mg/l P, ponto 3, no inverno; e o menor foi de 0,05 mg/l P, ponto 4, no verão.

A importância da preservação das condições aeróbias nos ecossistemas aquáticos também são enfatizadas por Porto *et al.* (1991). Estas são necessárias, entre outros aspectos, à degradação da matéria orgânica e à estabilização do fósforo nos sedimentos de corpos lacustres. Nas análises de água das sub-bacias Morro do Forno e Jacaré o OD foi outro parâmetro que registrou significativa variação no período de amostragem, nas três primeiras estações de coletas. O ponto mais crítico foi o 1 com apenas 0,6 mg/l O<sub>2</sub>, na coleta de dezembro. Na mesma época seguem o ponto 2, com 1,0 mg/l O<sub>2</sub>, e o 3, com 1,8 mg/l O<sub>2</sub>. Estes valores ficaram abaixo do limite estabelecido para a classe 4, que exige um OD superior a 2 mg/l O<sub>2</sub>.

A variação da concentração de metais pesados no meio-ambiente é um outro dado relevante a ser considerado na avaliação da qualidade dos corpos hídricos, em face dos riscos que altos ou baixos teores representam à saúde pública. Na área em pauta, o resultado das análises da presença destes elementos na água detectou a ocorrência de cobre e manganês em níveis acima do exigido para a classe 2, nas amostras coletadas no verão. Para cobre, verificou-se o problema nos quatro primeiros pontos de coleta, enquanto para manganês isto foi verificado nos três primeiros. Quanto ao teor de ferro total, observou-se uma grande variação entre os resultados das coletas de inverno e os de verão. Os primeiros três pontos, mais uma vez, registraram os maiores valores na campanha de dezembro, destacando-se o ponto 1, com 5 mg/l Fe, e o 3, com 2,72 mg/l Fe. Os menores teores foram encontrados nos pontos 4 (0,08 mg/l Fe), amostragem de inverno, e 5 (0,1 mg/l Fe), amostragem de verão. O CONAMA estabelece limites de 0,3 mg/l de ferro na forma solúvel, para as águas doces enquadradas nas classes 1 e 2, e de 5 mg/l Fe, para a classe 3.

A detecção da presença de bactérias do grupo coliforme tem por objetivo a avaliação do potencial de contaminação da água por microrganismos patogênicos de origem fecal (Branco, 1991). Na área em apreço, os coliformes totais encontrados nos pontos 1 e 6, no verão, e 5 no inverno superaram o estabelecido para a classe 1. Quanto à ocorrência de coliformes fecais, apenas o ponto 1

registrou valores acima do preconizado para a classe 1, por ocasião da amostragem de verão.

Na tabela 25 foram colocados os valores médios dos resultados de cada parâmetro identificado como responsável pela diminuição das condições qualitativas dos pontos amostrados, bem como os percentuais de elevação ou redução dos mesmos. Com base nesta tabela, não obstante as limitações deste tipo de análise em face do número reduzido de amostras e de pontos de coleta, é possível observar a grande variação espaço-temporal de certos parâmetros. No caso do OD, observa-se uma redução de 700%, de 405% e de 203%, nas amostras de verão efetuadas nos pontos 1 a 3, respectivamente. Para  $DBO_5$ , constata-se um aumento de 150%, no verão para o ponto 2, e 100%, no inverno para o ponto 4. Os teores de ferro total registraram aumentos de 610%, 291%, 503,5%, 56,25% e 54,5%, na campanha de verão para os pontos 1, 2, 3, 4 e 6, respectivamente, e de 120%, no inverno para o ponto 5. A presença de Coliformes totais foi superior a 1400% e 240%, na coleta de verão efetuada nos pontos 1 e 6, e de 500%, na amostragem de inverno realizada no ponto 5. Para Coliformes fecais evidenciou-se um aumento de 1000% no ponto 1, no momento da coleta de verão. Os gráficos constantes das figuras 30 a 32 ajudam a visualizar esta variabilidade.

Quanto aos valores calculados para o IQA adotado neste estudo, constata-se que as amostras registraram, em média, uma água de qualidade regular (IQA médio = 63,86). Os pontos de pior qualidade estão situados nas áreas da planície lacustre, ou seja, nos três primeiros pontos, no período de verão, com o ponto 1 ostentando o menor IQA (36,27) e o três o maior (51,67). Estes valores classificam as águas destes pontos como ruim e regular, respectivamente. Nos demais pontos, o IQA calculado enquadrou as águas amostradas na faixa regular, com exceção dos pontos 4 e 6, na campanha de verão, que apresentam valores acima de 71, o que eleva estas águas para a faixa de boa qualidade. Todavia, no ponto 4, ainda que o IQA estimado seja o mais elevado em todas as amostras (76,0 para a amostragem de verão), a ocorrência de cobre acima do permitido para a classe 2

Tabela 25 - Valores médios e percentuais de elevação/redução dos resultados identificados como problemáticos, nos parâmetros analisados, campanhas de inverno e verão, sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré - Litoral Norte - RS

PARÂMETROS	ESTAÇÕES AMOSTRADAS											
	1		2		3		4		5		6	
	MÉDIA	%	MÉDIA	%	MÉDIA	%	MÉDIA	%	MÉDIA	%	MÉDIA	%
DBO <sub>5</sub> (mg/l O <sub>2</sub> )	2,05	-	4,0	150 (v)	2,0	-	4,5	100 (i)	2,2	-	2,1	-
Fósforo Total (mg/l P)	0,07	66,5 (i)	0,14	72,5 (i)	0,13	94,5 (i)	0,06	60 (i)	0,15	53,5 (i)	0,09	100 (i)
Oxigênio Dissolvido (mg/l O <sub>2</sub> )	4,5	- 700 (v)	4,6	- 405 (v)	4,6	- 203 (v)	8,0	-	8,4	-	7,6	-
Cobre (mg/l Cu)	0,01	(*)	0,01	(*)	0,01	(*)	0,01	(*)	0,005	-	0,005	-
Ferro Total (mg/l Fe)	2,71	610 (v)	1,53	291 (v)	1,50	503,5 (v)	0,085	56,25 (v)	0,17	120 (i)	0,71	54,5 (v)
Manganês (mg/l Mn)	0,08	(*)	0,08	(*)	0,07	(*)	-	-	-	-	0,035	-
Coliformes Totais (NMP/100ml)	1810	1458,3(v)	240	134,5 (v)	445	77 (v)	435	82 (v)	1925	500 (i)	965	242,5 (v)
Coliformes Fecais(NMP/100ml)	179	1000 (v)	9	62,5 (v)	11	-	37,5	700 (i)	85	162,5 (v)	109,5	173,5 (i)

Legenda: (v) aumento/diminuição verão; (i) aumento/diminuição inverno; (\*) elevados teores encontrados no verão; **valores:** aumento/diminuição rebaixaram a qualidade da água, conforme CONAMA 20/86; **valores:** elevados teores

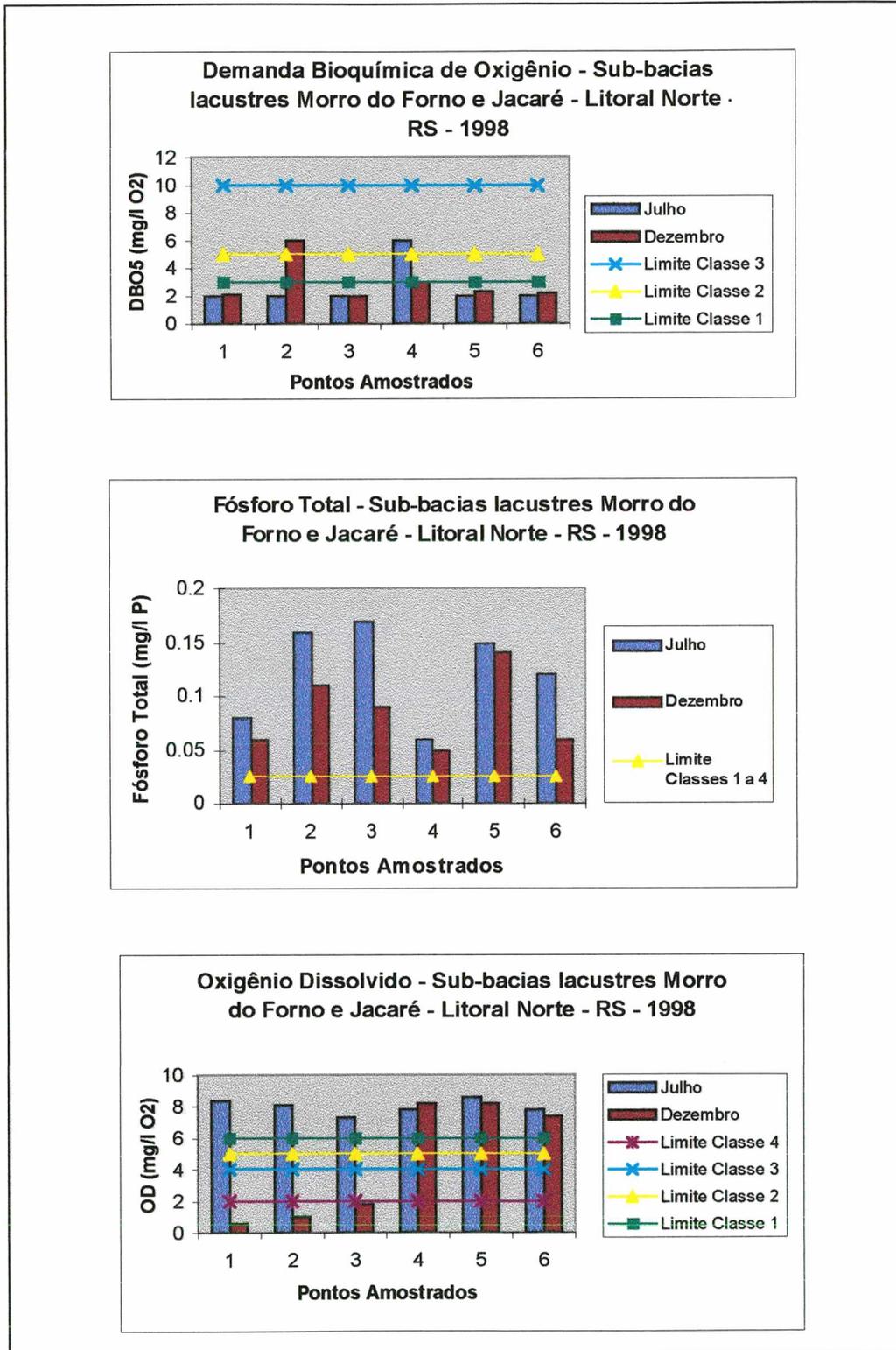


Figura 30: Gráfico da variação da DBO<sub>5</sub>, Fósforo Total e OD nas amostras de água

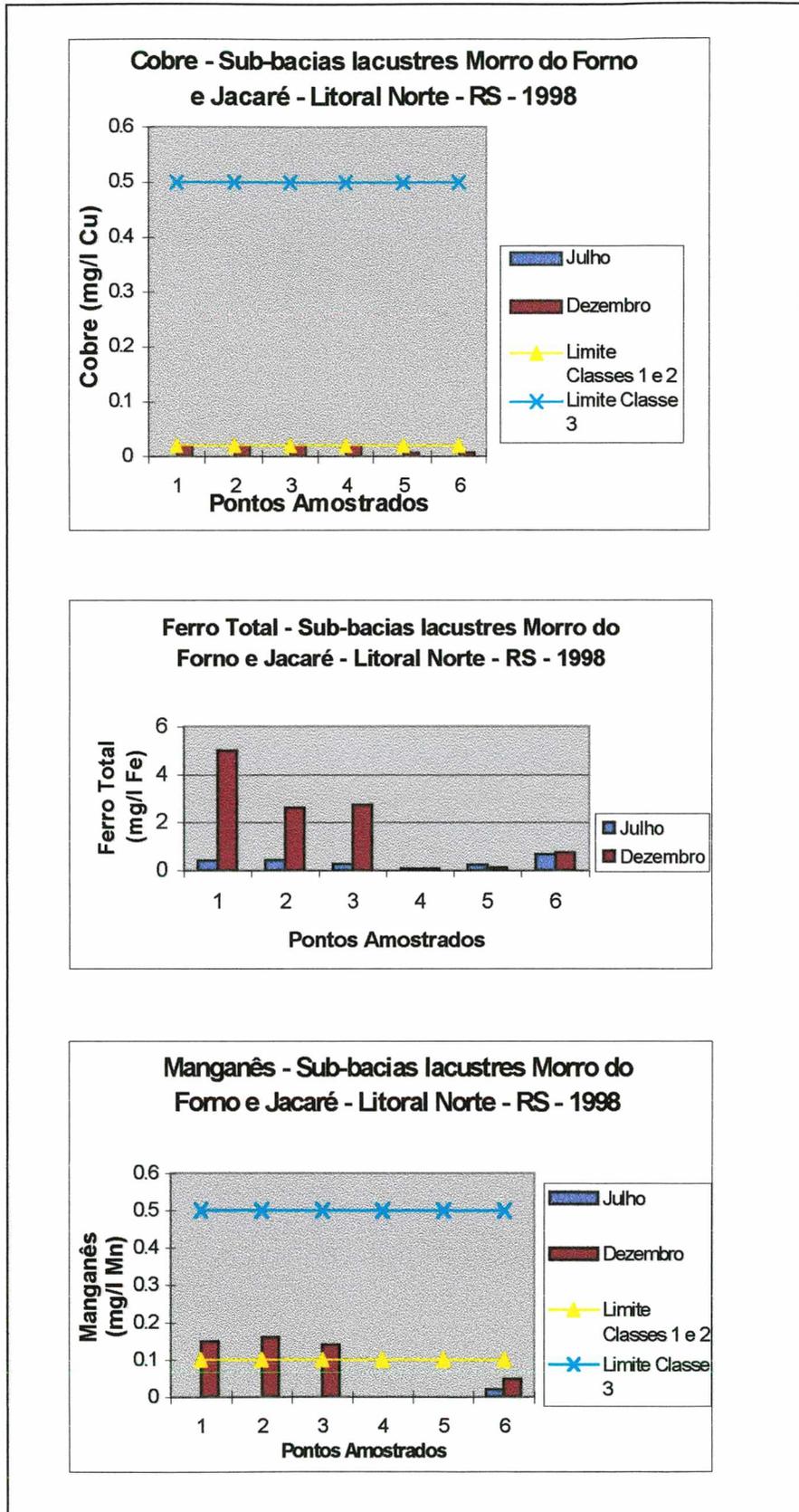


Figura 31: Gráfico da variação dos metais nas amostras de água

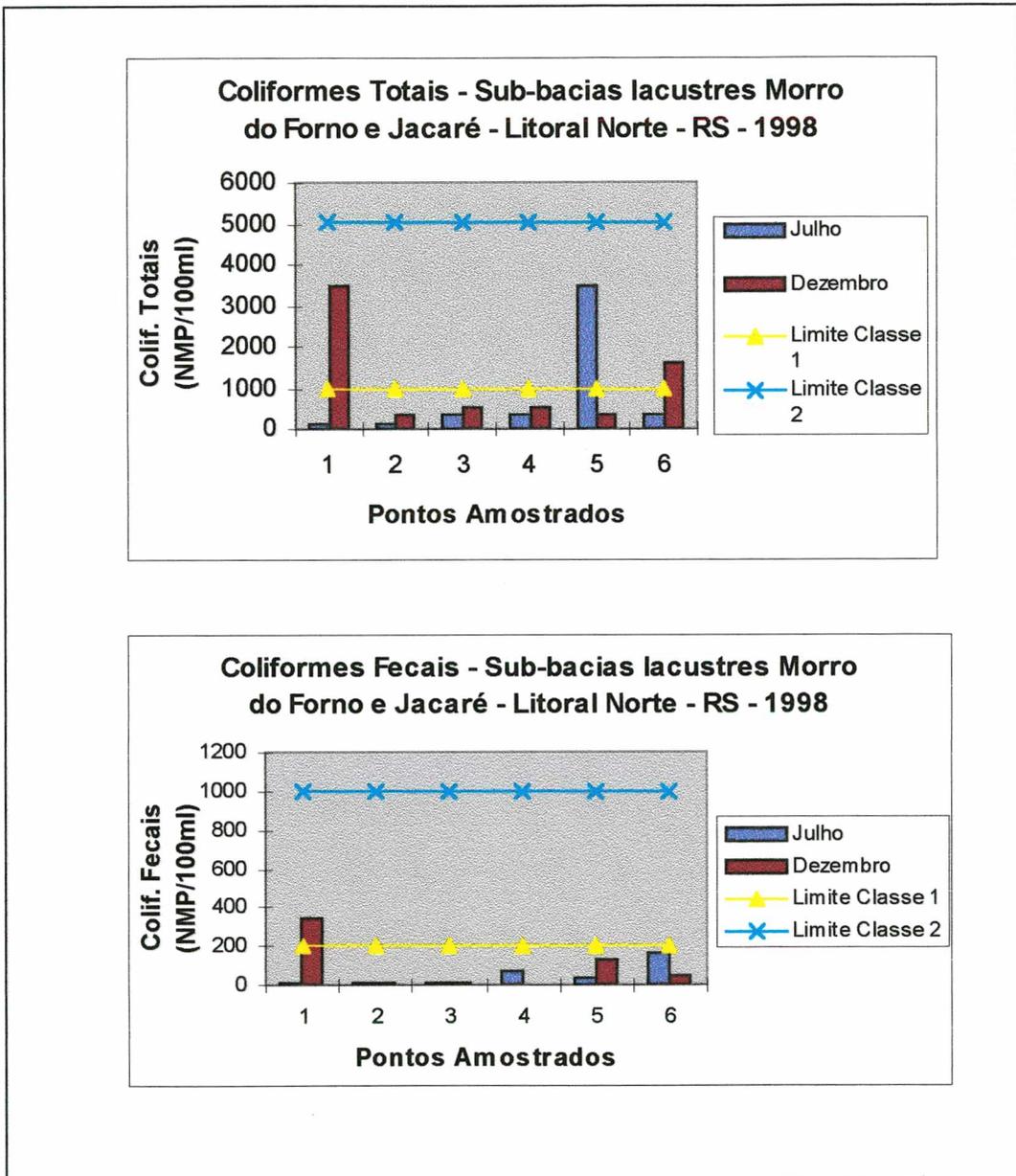


Figura 32: Gráfico da variação dos parâmetros microbiológicos nas amostras de água

reduziu esta faixa para a de pior qualidade, através da aplicação do Índice de Toxidez (IT). O mesmo aconteceu para os pontos 1, 2 e 3, para o mesmo período de coleta. No gráfico da figura 33 está ilustrada a variabilidade temporal do IQA sem a aplicação do IT.

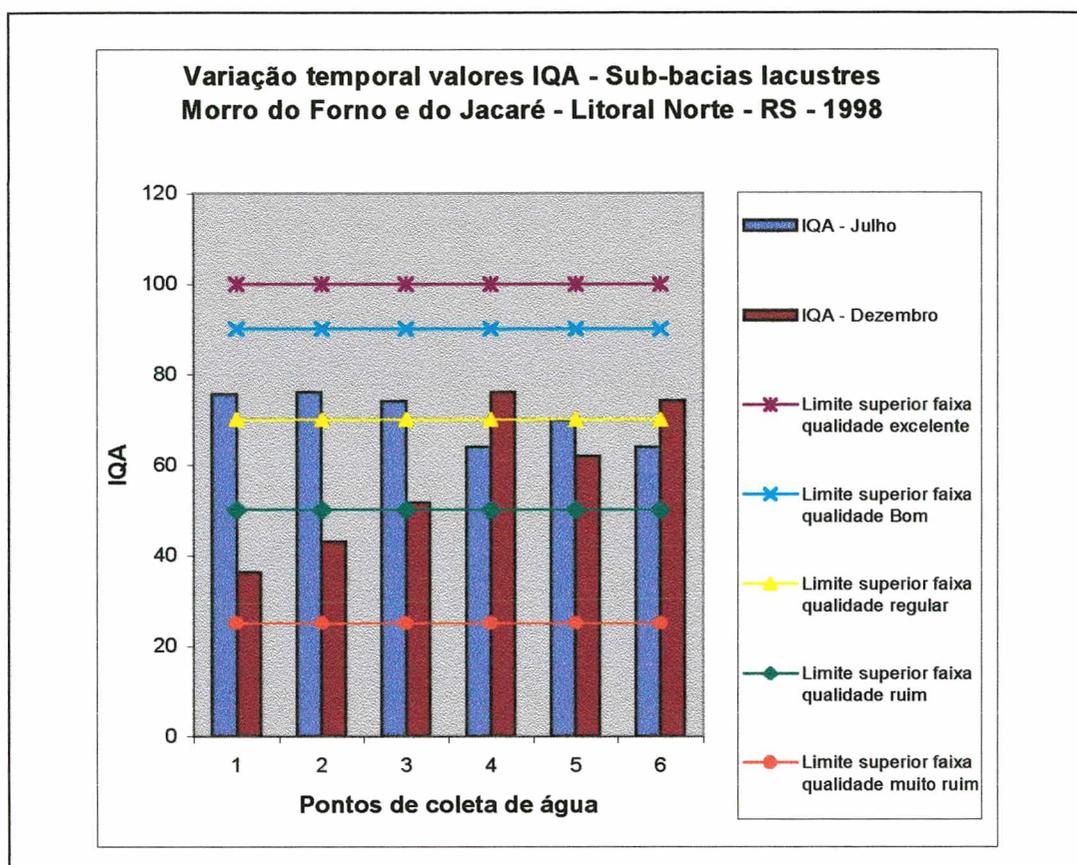


Figura 33: Gráfico da variabilidade temporal do IQA calculado para as amostras de água

A partir dos resultados obtidos nas análises dos teores de nitrato encontrados nas campanhas de coletas de água, também foi possível a estimativa da produtividade aquática dos ecossistemas flúvio-lacustres da área estudada, no momento da amostragem. Para tanto, utilizou-se a classificação de Porto *et al.* (1991). Conforme estes autores os níveis de nitrato podem ser indicativos de uma produtividade que varia de *muito baixa*, quando não superam os 0,2 mg/l NO<sub>3</sub>, até *muito alta*, quando estes níveis atingem 1,5 mg/l NO<sub>3</sub>. Os dados obtidos com a classificação de Porto *et al.* (*op. cit.*) estão sistematizados na tabela 26. Com base

nestas informações e no gráfico da figura 33 pode-se inferir que as águas amostradas apresentaram uma maior produtividade na campanha de inverno.

Tabela 26 - Níveis de nitrato ( $\text{NO}_3$ ), em relação à produtividade aquática, conforme PORTO *et al.* (1991), encontrados nas águas coletadas das sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré - Litoral Norte, RS

PONTOS	INVERNO		VERÃO	
	Valor	Classificação	Valor	Classificação
1	0,92	Alta	0,14	Muito baixa
2	0,60	Moderadamente alta	ND	Muito baixa
3	0,64	Moderadamente alta	0,02	Muito baixa
4	0,64	Moderadamente alta	ND	Muito baixa
5	0,45	Moderadamente alta	ND	Muito baixa
6	0,32	Moderadamente alta	ND	Muito baixa

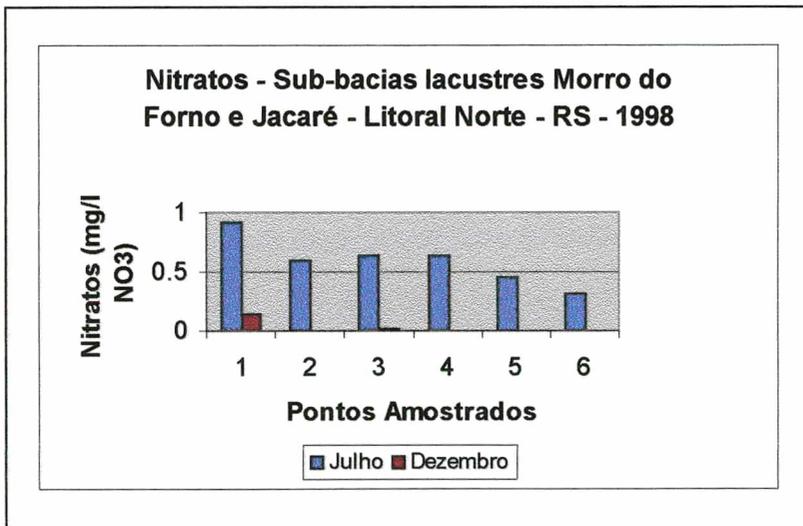


Figura 34: Gráfico da variabilidade do  $\text{NO}_3$  nas amostras de água

### 5.3.2 - Análise dos resultados da coleta de sedimentos

Os compostos identificados nas análises de sedimentos compreendem princípios ativos encontrados em inseticidas, no caso do Paration e do Malation, e em herbicidas, representado pelo Propanil. Os dois primeiros estão inseridos na classe dos organofosforados, enquanto o último é um derivado da Cloroanilina, conforme informado anteriormente.

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos nas análises de sedimentos foi elaborado o gráfico da figura 35. Com base apenas nestas informações, constata-se que os pontos 2, 3 e 6 são os mais afetados. O único ponto que não registrou a ocorrência de agroquímicos, considerando-se o método empregado, foi o 4.

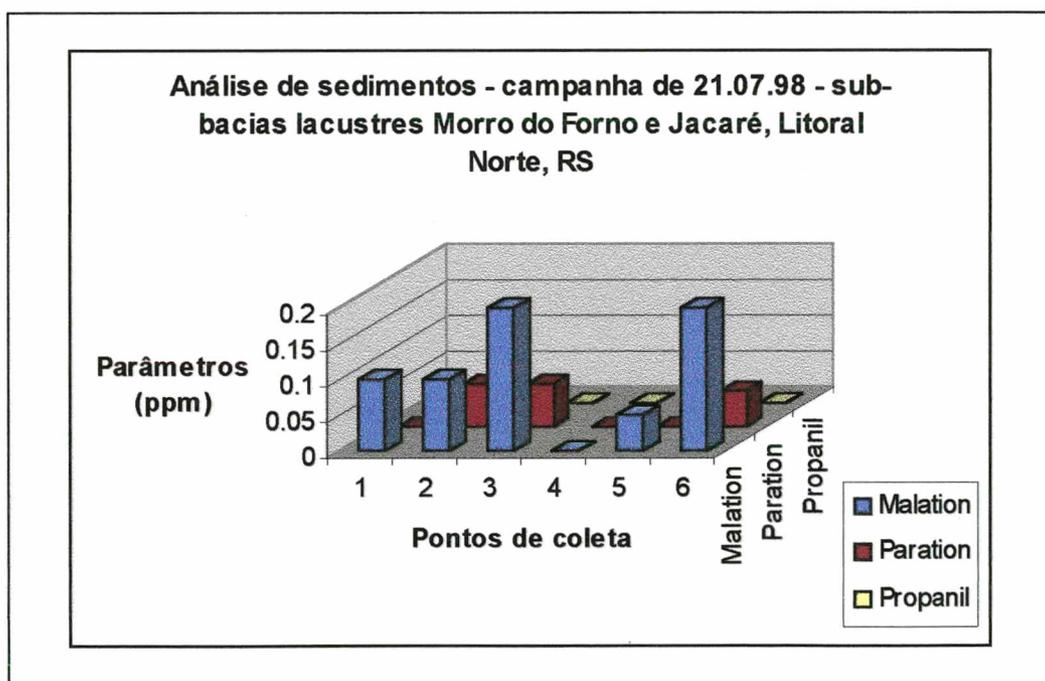


Figura 35: Gráfico da ocorrência de agroquímicos em sedimentos

### 5.3.3 - Discussão dos resultados

A análise dos resultados das campanhas de coletas de água e sedimentos demonstrou que existem problemas de qualidade nas águas superficiais das sub-bacias em apreço, notadamente nos pontos situados na planície lacustre. As causas prováveis devem estar relacionadas fundamentalmente aos usos preponderantes dos recursos hídricos em foco, assim como do seu entorno. No que se refere à água, mesmo que os dados sejam representativos apenas das condições qualitativas no momento da amostragem, eles refletem em parte os efeitos da interação da sociedade local com seu meio.

No entanto, para se viabilizar uma discussão mais adequada dos resultados em questão, não se pode negligenciar as condições meteorológicas que prevaleceram no período amostrado. É necessário, pois, apreciar a influência de variáveis como chuva, evaporação, temperatura e direção e velocidade dos ventos dominantes, nos corpos d'água avaliados. Estas informações foram sistematizadas no gráfico da figura 36 e nos dados da tabela 27.

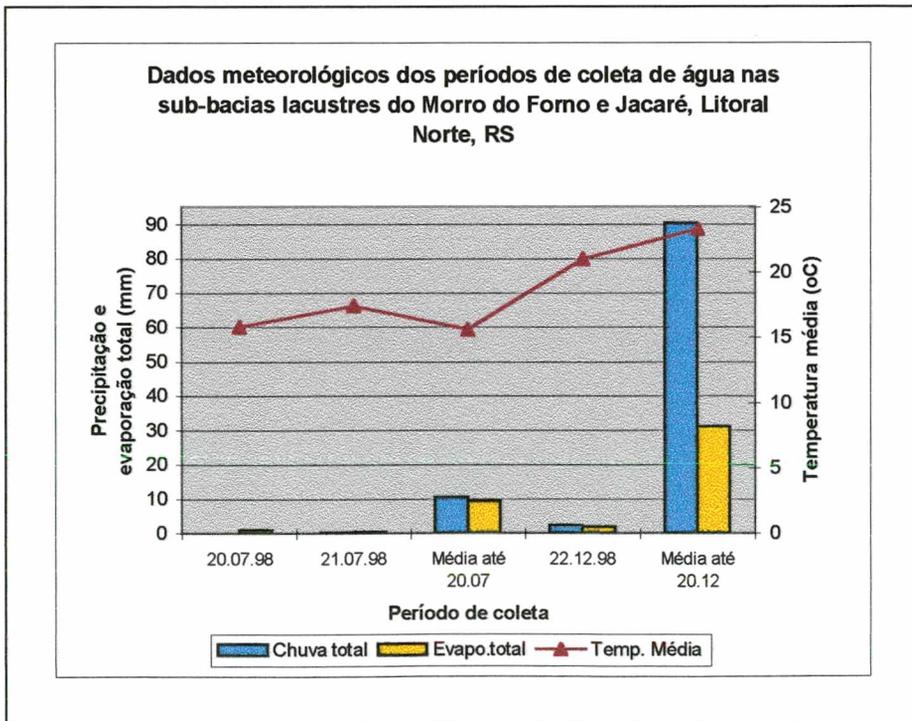


Figura 36: Gráfico das condições meteorológicas que prevaleceram nas campanhas de coleta de água e sedimentos

Tabela 27 - Direção e velocidade dos ventos dominantes registrados na estação de Torres no período de coleta de água de 1998

Dados		Julho/98			Dezembro/98	
		20.07	21.07	Média	22.12	Média
Direção dominante	12h	N	Calmo	O-E; SO-NE	SO	NE-S
	18h	NE	S		SO	
	24h	NE	S		SO	
Velocidade (m/s)	12h	2,1	0	1,6	4,1	3,0
	18h	3,1	5,1		6,2	
	24h	2,1	5,1		5,1	

Fonte: 8º Distrito de Meteorologia - INEMET; Legenda: \* médias relativas ao 2º período de observação (até o 20º dia do mês considerado).

Com base neste conjunto de informações, foi possível realizar algumas correlações interessantes entre qualidade e uso da água nas sub-bacias estudadas. Assim, no que tange à variação da ocorrência de coliformes fecais nas duas campanhas feitas, inferiu-se que os teores elevados deste parâmetro encontrados no ponto de amostragem 1, campanha de verão, provavelmente esteja relacionado aos excessos hídricos verificado no período imediatamente anterior à coleta de água, conforme se constata no gráfico da figura anterior. Este excedente de chuva associado à existência de um canal artificial, que conduz o esgoto procedente da vila São João ao canal da Lagoa do Jacaré, explicaria o aumento de coliformes fecais e totais para este ponto. É importante colocar que a referida vila, situada na porção nordeste do escopo deste estudo, representa a área urbana mais povoada no contexto estudado. Além disto, o canal da Lagoa do Jacaré constitui o curso d'água de menor extensão entre os selecionados como pontos de coleta, sendo pois mais suscetível à entrada de matéria-orgânica. O outro ponto que poderia refletir a influência de ambiente urbano é o 5, localizado à jusante da cidade de Morrinhos do Sul. Na campanha de verão este registrou um aumento importante da presença de coliformes fecais, em relação à campanha de inverno, mas isto representou somente a metade do verificado no ponto 1, não contribuindo, portanto, para a redução da qualidade da água coletada, nessa ocasião.

A redução de OD foi mais um fator decisivo para a diminuição qualitativa dos recursos hídricos em questão. O oxigênio é um gás pouco solúvel em meio aquático e apresenta uma solubilidade que varia em função da temperatura, da pressão atmosférica e do teor de sais dissolvidos no ambiente (Porto *et al.*, 1991). Nas coletas de verão os baixos teores encontrados de OD não se justificam apenas pela elevação da temperatura. No caso do ponto 2, localizado no Rio Monteiro, é possível uma analogia com um expressivo aumento da DBO<sub>5</sub>. Porém, nos pontos 1 e 3 o consumo elevado de oxigênio estaria relacionado a um conjunto de fatores combinados. Os baixíssimos níveis de OD registrados no ponto 1 poderiam ser explicados em parte pela presença significativa de bactérias do grupo coliforme. Todavia, neste mesmo ponto constatam-se também os mais elevados teores para ferro total. O ferro é um elemento metálico encontrado em águas naturais através da dissolução de compostos ferrosos presentes nos substrato edáfico. Odum (1988) esclarece que o ferro, assim como o manganês, o cloro, o zinco e o vanádio são micronutrientes necessários à fotossíntese, sendo, então, extremamente importantes para o desenvolvimento das plantas. Contudo, o excesso destes metais pode ser tão restritivo à biocenose como a sua falta. Na área de estudo é notável a abundância de ferro nas rochas e no solo. Com referência a este parâmetro, Branco (1983) tece considerações muito importantes sobre a função redutora de sais ferrosos. De acordo com este autor

**"Esses compostos, quando lançados à água, combinam-se rapidamente ao seu oxigênio dissolvido, provocando assim um 'roubo' de oxigênio que não depende da atividade de microrganismos."  
(Branco, 1983, p.41)**

Observando-se os demais pontos que ostentam os mais baixos valores para OD, constata-se que todos apresentam os mais elevados níveis de ferro total. As concentrações de ferro na água, por sua vez, estão fortemente relacionadas à redução de oxigênio no ambiente aquático. Neste sentido, Teixeira *et al.* (1996) explicam que mudanças no estado de oxidação têm um acentuado impacto sobre a solubilidade de alguns metais. Os autores destacaram, entre outros, o ferro e o manganês como os mais vulneráveis, especialmente em águas ácidas. Na área de estudo verificou-se que, nos pontos em questão, todos apresentaram altos teores

de ferro e manganês juntamente com baixos níveis de OD na campanha de verão. Assim, as mesmas chuvas que levaram os coliformes fecais para o canal da Lagoa do Jacaré podem ter lixiviado os solos da área, aumentando os compostos de ferro em suas águas. Estes compostos teriam funcionado como agentes redutores do ambiente, contribuindo para o aumento do consumo de oxigênio. A redução das condições oxidantes, a seu turno, teriam aumentado a solubilidade do ferro e do manganês, justificando os elevados teores encontrados nestes pontos que representam as águas mais ácidas amostradas nas duas campanhas. Aliás, é importante esclarecer, ainda, que o pH destas águas é afetado pelo carbonato de cálcio utilizado pelos produtores para corrigir a acidez natural dos solos encontrados na planície lacustre. Nos pontos 2 e 3 ainda é necessário referir as particularidades de circulação destes ambientes aquáticos, em face da influência do estuário do Rio Mampituba. Provavelmente a amostragem de verão nestes pontos<sup>48</sup> tenha sido também condicionada à situação de estufa, na qual não se verifica circulação das águas, o que se refletiria numa menor disponibilidade de oxigênio dissolvido.

Quanto aos teores de DQO, verificou-se pela revisão bibliográfica que os encontrados no ponto 3 (12 mg/l O<sub>2</sub> na amostragem de inverno) são considerados impróprios para a manutenção da biocenose aquática. Porto *et al.* (1991) ressaltam que o limite é de 10 mg/l O<sub>2</sub> para ambientes lênticos e de até 30 mg/l O<sub>2</sub> para águas lólicas.

As perdas de nutrientes das bacias hidrográficas e seus efeitos na qualidade dos recursos hídricos também estão muito ligadas à forma de ocupação do espaço. Neste sentido, Odum (1988) explica que estas perdas são pequenas em sistemas **"não-perturbados"**, que apresentam uma importante cobertura florestal nas cabeceiras de drenagem. Entretanto, à medida que as bacias hidrográficas são **"domesticadas"** pelas atividades agrárias e urbanas, verifica-se um aumento repentino na concentração de fósforo e nitrogênio nas águas dos rios e riachos.

---

<sup>48</sup> O período de amostragem dos pontos 2 e 3 iniciou às 11h30min e terminou aproximadamente às 12h30min do dia 22.12.98, em condições de maré de sizígia.

Odum (1988) também esclarece que estes sais biogênicos, vitais para a conservação da produtividade dos ecossistemas, são afetados praticamente da mesma forma pela alteração do ambiente natural. O autor ainda ressalta que a paisagem urbanizada tende a liberar relativamente mais nitrogênio, enquanto que a rural escoar uma quantidade maior de fósforo.

Com referência aos resultados obtidos nas coletas de água, é possível correlacionar a maior ocorrência de nitrato nas amostras de inverno ao emprego de fertilizantes à base de NPK nas lavouras de banana. Os técnicos da EMATER do local informaram que esta cultura deve receber a cada três meses um reforço de nutrientes no solo. Os produtores, porém, utilizam esta prática em duas épocas no ano: inverno e verão. Desta forma, é sugestivo que a primeira campanha tenha sido influenciada pela aplicação de adubos na bananicultura. Mais uma vez o ponto 1 refletiu os maiores índices atestando, por um lado, a relevância desta atividade produtiva no âmbito da sub-bacia da Lagoa do Jacaré e, por outro, a suscetibilidade do local amostrado ao manejo da área no seu entorno. É claro que os resultados deste parâmetro se mantiveram abaixo do estabelecido pelo CONAMA em todas as coletas feitas. No entanto, para fósforo total todos os resultados ficaram acima do padrão ambiental exigido em lei, principalmente na campanha de inverno. É provável que a adubação da lavoura de banana tenha contribuído para elevar os teores deste macronutriente na água. Além disso, na área de estudo se registra a presença de ambientes que naturalmente são fornecedores de fósforo para o meio, como é o caso das florestas que no conjunto totalizam cerca de 5.907,24 ha. No que concerne à possibilidade de eutrofização nas águas analisadas, é necessário colocar que não foi observada qualquer alteração que evidenciasse este fenômeno, tais como: mudança na cor, proliferação de algas ou aumento da turbidez. A presença do vasto banhado da Lagoa do Morro do Forno pode estar contribuindo para que o fósforo seja consumido em parte pela flora paludial. De outra forma, também é razoável que este macronutriente possa estar sendo acumulado no sedimento do leito dos corpos d'água estudados. No mais, deve-se destacar que em outras bacias hidrográficas do Estado os resultados para fósforo são acima do estabelecido pelo CONAMA, o que pode ser um indicativo de que o limite de 0,025 mg/l P seja

inadequado para uma avaliação mais criteriosa das águas lóxicas rio-grandenses, conforme sugeriu o órgão ambiental do Rio Grande do Sul. Isto também foi evidenciado para águas lânticas por ocasião do trabalho realizado pela Ecoplan (1997) no Litoral Norte do Estado.

O resultado mais expressivo para a identificação de problemas de contaminação na água, entretanto, foi o obtido após a aplicação do IT. A utilização deste índice implicou no imediato rebaixamento do IQA para a classe de pior qualidade, nos quatro primeiros pontos amostrados no verão, devido à presença elevada de cobre na água (0,02 mg/l Cu). Odum (1988) ressalta que o cobre juntamente com o manganês, o boro, o cobalto e o silício representam importantes micronutrientes para a realização das funções metabólicas das plantas. Todavia, altas concentrações deste metal podem provocar efeitos tóxicos para uma gama de espécies aquáticas, de acordo com Ecoplan (*op. cit.*). Considerando-se a utilização preponderante do solo das sub-bacias em apreço, é provável que a ocorrência de cobre em níveis elevados esteja associada à intensa aplicação do fungicida *oxicloreto de cobre*, em olerícolas. Na área em pauta isto é típico do que ocorre com o tomateiro, cultivado principalmente a partir de setembro e manejado com doses semanais de agroquímicos, consoante informações da EMATER de Torres.

Quanto ao resultado das análises de sedimentos, consultas feitas à Professora Elina Bastos Caramão, do curso de Pós-Graduação em Química da UFRGS, esclareceram que estes dados seriam indicativos apenas da existência de contaminação nos pontos amostrados. A professora também ponderou que o método utilizado para a análise de sedimentos está muito ultrapassado. Atualmente a UFRGS, em convênio com a FEPAM, está adotando as normas recomendadas pela *Environmental Protection Agency - EPA*<sup>49</sup>, com o objetivo de avaliar problemas de poluição por agrotóxicos. Seguindo sugestão da referida professora, foi feita uma consulta à EPA, através da Internet, sobre a relevância dos dados obtidos com as análises dos sedimentos amostrados nas sub-bacias em

---

<sup>49</sup> [http:// www.epa.gov](http://www.epa.gov)

foco. A resposta foi fornecida pela toxicologista Regina MacCartney<sup>50</sup> que esclareceu o seguinte:

1. O malation é um agente extremamente tóxico para peixes em níveis de 0,1 ppm. Contudo, este inseticida é adsorvido somente de forma moderada nos sedimentos e não é esperado que seja bioacumulativo em organismos aquáticos. A sua persistência na água é inferior a uma semana e também não é esperada a sua permanência no ambiente. Na avaliação de riscos para a saúde é registrado o teor de 0,2 ppm.
2. O nível de paration detectado nas amostras de sedimento é considerado abaixo do que pode ser moderadamente tóxico para os peixes. A adsorção química no sedimento promove a degradação por microrganismos e por hidrólise química.
3. As propriedades físicas do propanil sugerem uma fraca adsorção no sedimento e uma rápida fotodegradação. Assim sendo, este herbicida não é considerado persistente e o nível de 0,01 ppm encontrado no Rio Monteiro pode ser considerado negligenciável.
4. A análise dos resultados das amostras de sedimentos elaborada pela toxicologista da EPA permitiu uma melhor avaliação da sua significância. Contudo, em virtude dos problemas ocorridos por ocasião desta campanha, explicados no capítulo 4, pode-se dizer que, embora estes dados não permitam um diagnóstico apropriado da magnitude do impacto dos agrotóxicos na área de estudo e nem correlacioná-los de uma forma eficiente com o tipo de cobertura do solo, eles podem ser indícios importantes de degradação que precisam ser devidamente investigados.

---

<sup>50</sup> [mccartney.regina@epamail.epa.gov](mailto:mccartney.regina@epamail.epa.gov)

## **6 - A INFLUÊNCIA DO AMBIENTE ESTUARINO DO RIO MAMPITUBA**

*“O equilíbrio e o futuro de nosso planeta dependem da preservação da água e de seus ciclos. Estes devem permanecer intactos e funcionando normalmente para garantir a continuidade da vida sobre a Terra. Este equilíbrio depende, em particular, da preservação dos mares e oceanos, por onde os ciclos começam. (Art. 4º da Declaração Universal dos Direitos da Água)”*

## **6 - A INFLUÊNCIA DO AMBIENTE ESTUARINO DO RIO MAMPITUBA**

### **6.1 - Introdução**

O estudo da disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas situadas em ambientes costeiros requer a análise da influência do domínio oceânico no sistema, conforme foi enfatizado anteriormente. No caso das sub-bacias lacustres Morro do Forno e Jacaré as indicações de ocorrência de salinização das águas superficiais estavam embasadas principalmente no testemunho de proprietários rurais e de alguns técnicos do local. Portanto, era necessário a busca de evidências efetivas que pudessem atestar a existência deste fenômeno, identificar os seus possíveis condicionantes, bem como determinar, pelo menos em parte, a sua amplitude.

No presente capítulo estão reunidos os resultados dos procedimentos adotados para o estudo da dinâmica da intrusão salina a partir do estuário do Rio Mampituba. A conjugação dos produtos gerados com as análises de parâmetros abióticos e de bioindicadores possibilitaram uma discussão mais consistente acerca deste fenômeno e de sua abrangência na área em questão.

### **6.2 - Fatores abióticos**

As análises de salinidade das amostras de água, coletadas nas campanhas de julho e de dezembro de 1998, atestaram que os pontos situados no canal da Lagoa do Jacaré, no Rio Monteiro e na Lagoa do Morro do Forno caracterizavam ambientes dulcícolas, com salinidade muito inferior a 0,5‰.

A campanha específica, realizada em março de 1999 ao longo dos rios Mampituba e Monteiro, oportunizou a coleta de outros parâmetros que puderam fornecer informações mais decisivas para a análise do fenômeno da intrusão salina. Estes dados foram obtidos num intervalo de coleta de aproximadamente sete horas e a uma profundidade média de 4,36 metros (figura 37).

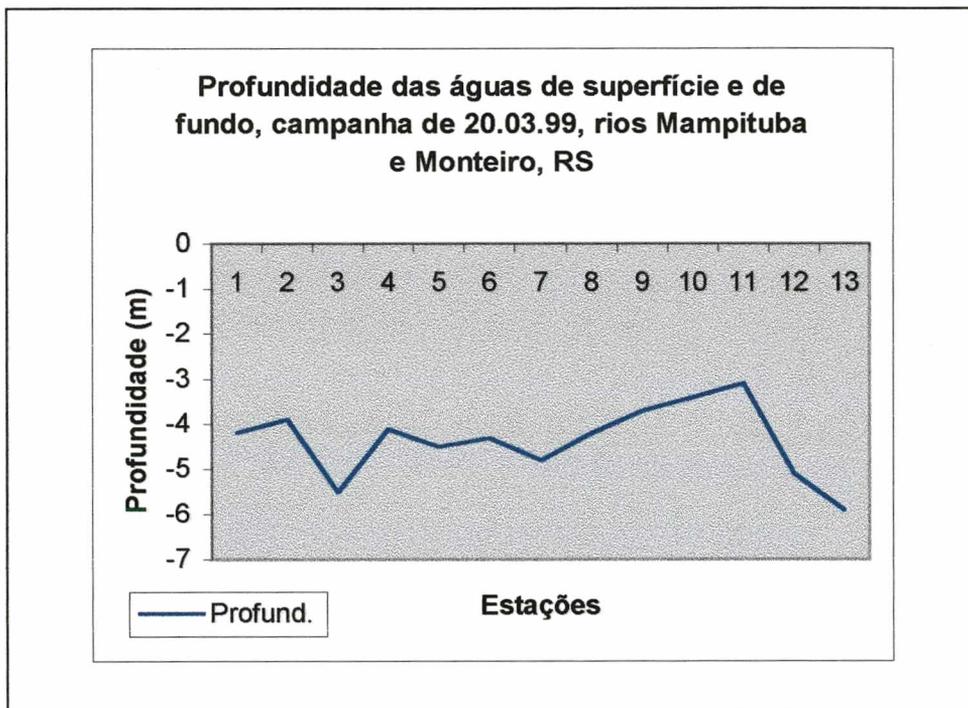


Figura 37: Variação da profundidade das águas de superfície e de fundo

Os resultados dos parâmetros amostrados estão exibidos na tabela 28.

Tabela 28 - Parâmetros amostrados ao longo dos rios Mampituba e Monteiro, em 20.03.99, Litoral Norte – RS

DADOS	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13
UTM <sub>x</sub>	0624876	0623930	0623070	0621709	0623220	0621914	0621608	0618858	0616843	0614579	0613514	0612395	0611113
UTM <sub>y</sub>	6755295	6755173	6755044	6755313	6756138	6757082	6758436	6758608	6759560	6760080	6758757	6758602	6757061
Profundidade (m)	4,2	3,9	5,5	4,1	4,5	4,3	4,8	4,2	3,7	3,4	3,1	5,1	5,9
Período	9h06min	9h38min	10h02min	10h41min	11h11min	11h47min	12h20min	13h15min	13h38min	14h07min	14h36min	15h07min	15h43min
Corrente <sup>s</sup> (cm/s)	11,4	24,6	41,8	16,2	52,6	19,2	16,8	18,4	32,4	20,0	16,2	15,4	0
Temp.(°C) H <sub>2</sub> O <sup>s</sup>	26,30	27,20	27,35	28,50	28,00	28,20	28,65	28,55	28,70	29,10	29,55	29,20	28,75
Direção <sup>s</sup>	113,1	73,4	146,4	220,2	264,6	276,8	129,2	314,4	296,1	299,0	249,5	294,7	-
Corrente <sup>f</sup> (cm/s)	5,2	0	5,2	7,6	13	0	18,4	21,6	24,6	14,6	20,8	12,2	0
Temp.(°C) H <sub>2</sub> O <sup>f</sup>	23,00	23,25	22,30	23,85	23,70	25,20	26,05	27,0	28,10	28,40	28,90	28,75	28,40
Direção <sup>f</sup>	228,4	-	165	205,1	54,4	-	315,4	336,9	323,3	295,4	142,1	328	-
Salinidade (‰) <sup>s</sup>	8,7	6,5	5,6	4,1	2,7	2,2	0,1	0	0	0	0	0	0
Salinidade (‰) <sup>f</sup>	28,8	31,7	34,2	32,4	31,1	23,5	20	0,5	0	0	0	0	0
pH <sup>s</sup>	6,36	7,20	7,46	7,46	7,22	7,15	7,16	7,27	6,81	6,59	6,56	6,25	6,36
pH <sup>f</sup>	7,35	7,63	7,75	7,65	7,74	7,35	7,01	6,82	6,61	6,51	6,45	6,34	6,30
Turbidez (NTU) <sup>s</sup>	2,7	3,44	3,17	3,62	4,54	4,92	4,9	4,85	6,36	6,69	4,19	4,29	5,42
Turbidez (NTU) <sup>f</sup>	22,3	11,6	14,7	4,31	2,36	2,08	1,97	4,63	7,02	6,38	4,64	4,95	4,9
Sedimentos	Areia c/ biodetritos	Areia fina escura	Lama c/areia	Areia marrom	Lama c/areia	Areia lamosa	Lama c/saibro	Lama arenosa	Areia média	Areia grossa	Areia média	Lama	Lama c/frag. vegetais

Legenda: <sup>s</sup> : superfície; <sup>f</sup> : fundo

### 6.2.1 - Análise dos resultados

A temperatura durante as amostragens não apresentou grandes variações. As águas mais frias, tanto as de superfície quanto as de fundo, foram registradas nas estações iniciais, próximas da desembocadura estuarina, e as mais quentes nas estações finais, no setor dominado pelo ambiente flúvio-lacustre. A média da temperatura ficou em 28,31°C, para as águas superficiais, e 25,93°C, para as águas de fundo (figura 38).

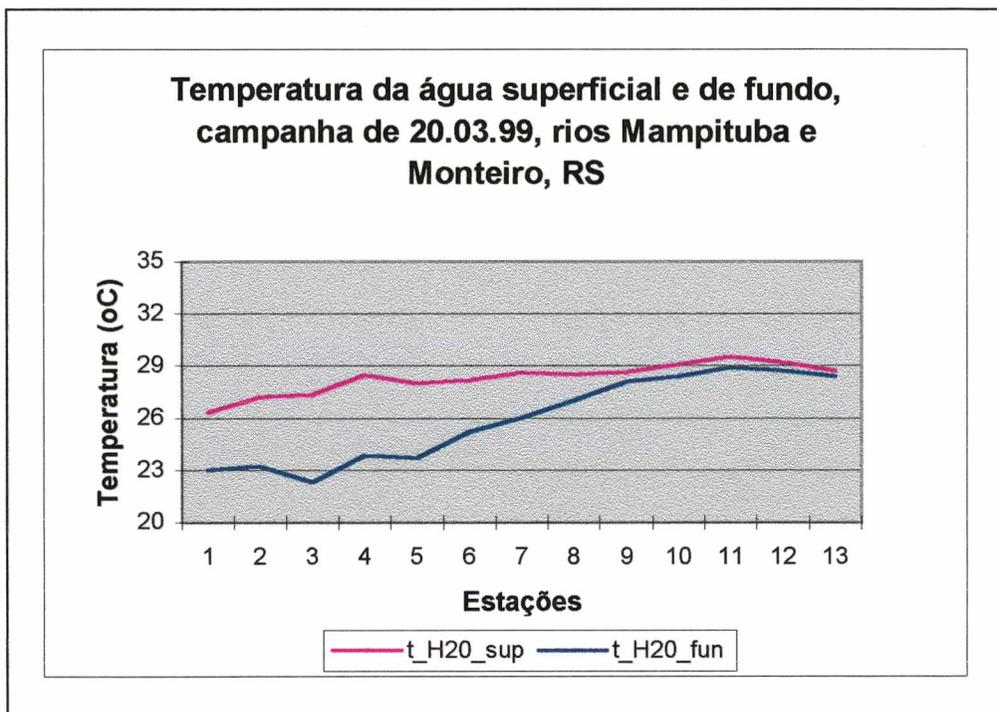


Figura 38: Variação da temperatura das águas de superfície e de fundo

Os dados de variação dos teores de sais nas proximidades do fundo indicaram que as águas salgadas foram limitadas às estações 2, 3, 4 e 5, enquanto as salobras se restringiram às 6 e 7, consoante a classificação do CONAMA (figura 39.a). As águas doces começaram a dominar a partir da estação 8. Para as águas de superfície foi observado que até a estação 6 as condições eram salobras, passando a doce a partir deste ponto

As oscilações do pH nas amostras atestaram valores mais elevados nas águas de fundo das primeiras cinco estações, com pouca variação. A partir daí

constatou-se uma diminuição constante de pH para estas águas (figura 39.b). Nas superficiais verificou-se que a estação 1 registrou o segundo valor mais baixo, comparando-se com as demais. Na estação 2, observou-se um aumento do pH que permaneceu constante até o ponto 4 de coleta. Nas estações seguintes, percebeu-se uma leve redução neste parâmetro que novamente se elevou no ponto 8. A partir desta estação verificou-se um gradiente quase contínuo até a última estação de coleta

Os dados de turbidez das águas de fundo demonstraram um gradiente acentuado da primeira para a segunda estação, quando, então, se constatou uma elevação deste parâmetro no ponto de amostragem 3 (figura 39.c). A partir daí o decréscimo da turbidez é praticamente contínuo até a estação 9, quando se registrou um novo pico. Para as águas superficiais este gradiente é inverso, com os níveis de turbidez aumentando lentamente a contar da desembocadura do estuário até o ponto de coleta 10, caracterizado como de máxima turbidez para estas águas. Deste ponto até o seguinte, observou-se uma pequena redução dos valores deste parâmetro que tornou a se elevar, gradativamente, nas últimas estações de amostragem.

Para a elaboração do primeiro gráfico constante na figura 40, adotaram-se, como critério, os valores positivos para a corrente que se desloca no sentido da desembocadura do estuário (superficial) e negativos para a que se dirige no sentido das cabeceiras (fundo). Verificou-se que as maiores velocidades de corrente superficial estavam situadas nas estações 3, 5 e 9 (figura 40.a). Quanto às correntes de fundo, constataram-se três pontos com velocidade nula: estações 2, 6 e 13. As estações que registraram as maiores velocidades então situadas entre a 7 e a 11.

No que se refere à relação grau de seleção/diâmetro médio dos sedimentos, pode-se verificar que os finos predominaram nas duas primeiras estações, assim como na 9 e na 11 (figura 40.b). Nas demais observou-se uma variação constante entre sedimentos finos e grossos.

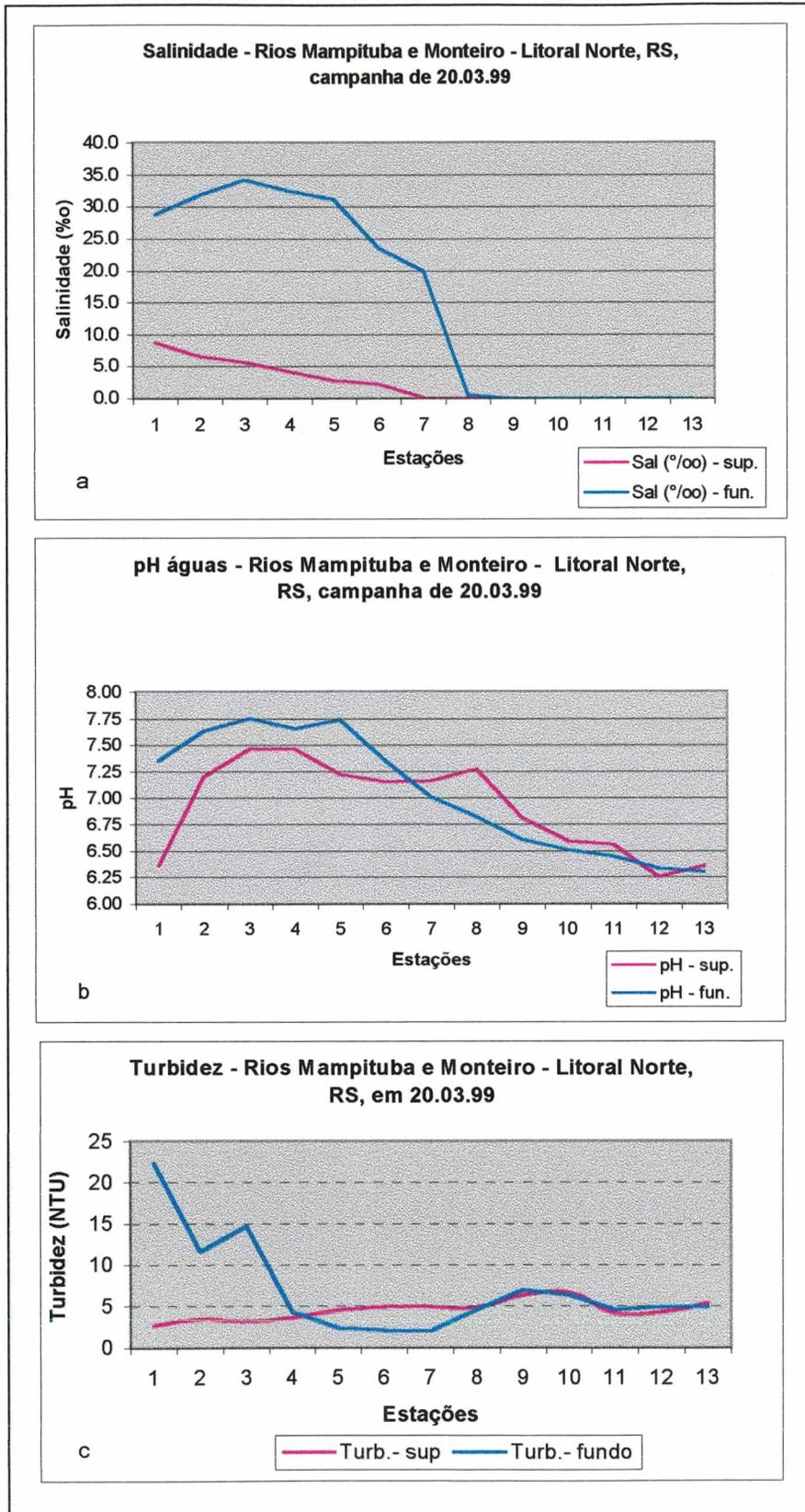


Figura 39: Gráficos dos parâmetros salinidade, pH e turbidez medidos nos rios Mampituba e Monteiro

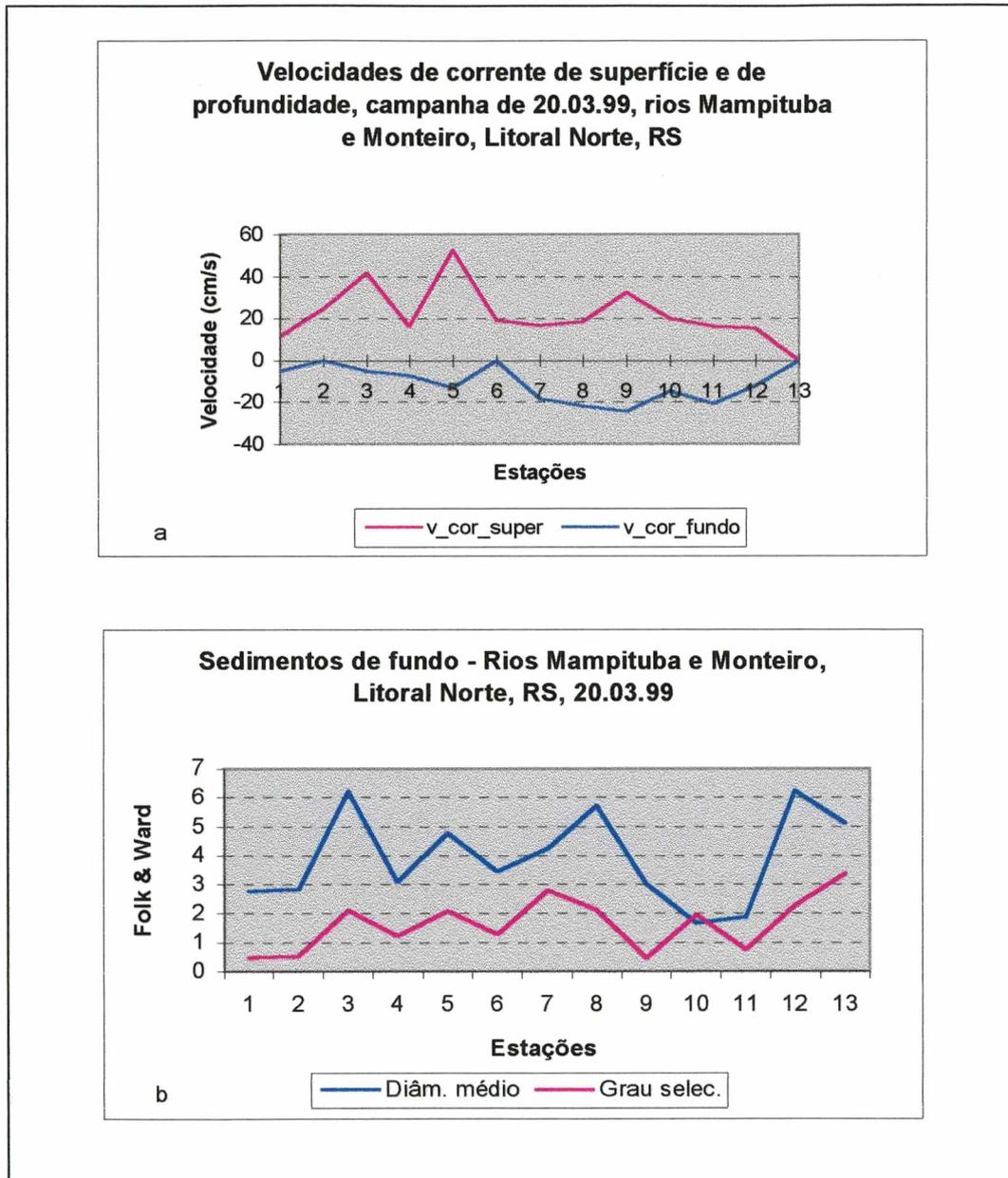


Figura 40: Gráficos dos parâmetros velocidade de corrente e classificação dos sedimentos de fundo avaliados no ambiente estuarino em foco.

### 6.2.2 - Discussão dos resultados

Os dados obtidos através desta única campanha ao longo de parte do ambiente estuarino do Rio Mampituba foram importantes como contribuição para uma avaliação futura mais aprofundada deste complexo processo. Ainda que esses dados sejam representativos para uma condição específica, as análises dos

resultados dos parâmetros abióticos forneceram algumas evidências interessantes sobre a dinâmica da intrusão salina, bem como dos efeitos da ocupação antrópica na área de escopo.

A exemplo do que foi feito na discussão dos resultados das análises qualitativas dos recursos hídricos, foram consideradas as condições meteorológicas que poderiam caracterizar o período de amostragem desta campanha, incluindo as médias de temperatura, os totais pluviométricos e de evaporação e a direção e velocidade dos ventos dominantes. Além disto, adicionaram-se informações dos três meses anteriores a esta amostragem, assim como em relação à campanha realizada em julho de 1980, que registrou problemas de salinização em alguns pontos abordados por este estudo. Os dados relativos à direção e velocidade dos ventos estão discriminados na tabela 29, enquanto os demais dados meteorológicos estão ilustrados na figura 41.

Tabela 29 - Direção e velocidade dos ventos dominantes registrados na estação de Torres nos períodos de coleta de água de 1980, 1998 e 1999

VENTOS		PERÍODO				
		22.07.80	23.07.80	20.07.98	21.07.98	20.03.99
Direção	12h	Calmo	Calmo	N	Calmo	Calmo
	18h	NO	SE	NE	S	Calmo
	24h	SO	Calmo	NE	S	S
Velocidade (m/s)	12h	0	0	2,1	0	0
	18h	3,1	1,0	3,1	5,1	0
	24h	1,5	0	2,1	5,1	1,5

Fonte: 8° Distrito de Meteorologia - INEMET

Com base neste conjunto de informações, é possível esclarecer o padrão estratificado que caracterizou o estuário do Rio Mampituba na campanha de março de 1999. Conforme se verifica no gráfico da figura 41, as condições meteorológicas atestaram excedentes hídricos para o período em questão. Bonetti Filho (1995) explicou que incrementos na vazão fluvial implicam em um aumento da penetração da água marinha pelo fundo, estuário adentro, resultando na criação de duas camadas de água com salinidades nitidamente diferenciadas. As medidas realizadas nas águas superficiais e de fundo, notadamente os dados de salinidade,

registraram esta característica, indicando uma condição de estuário tipo *cunha salina* para o Rio Mampituba no período considerado.

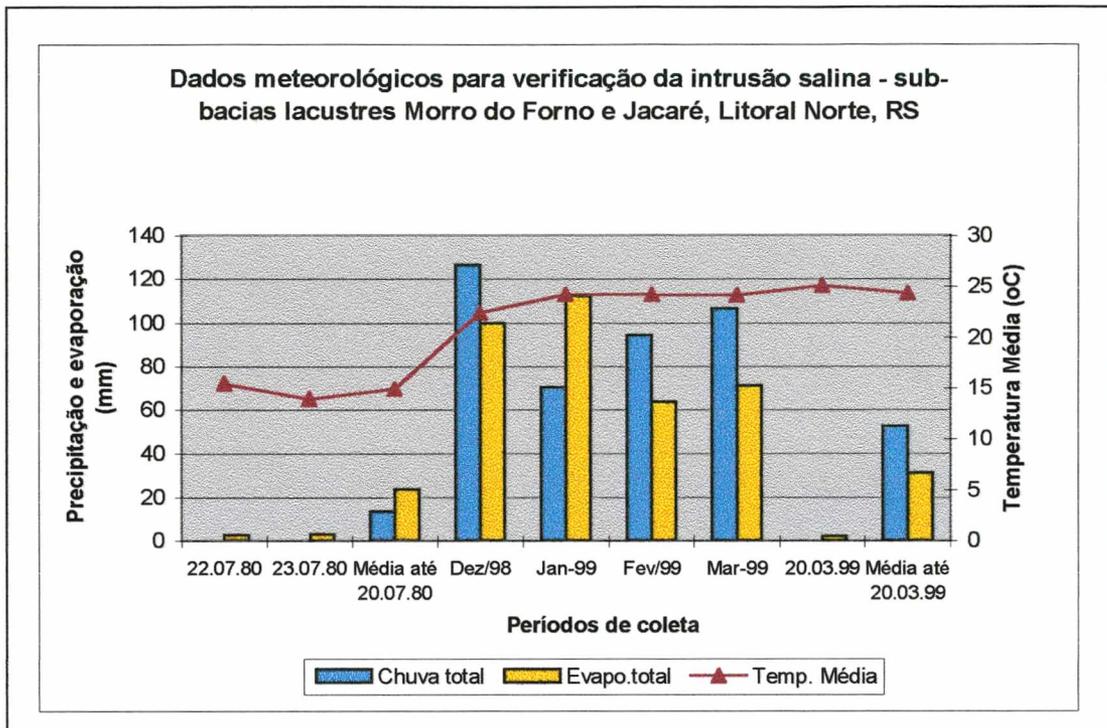


Figura 41: Gráfico dos dados meteorológicos considerados para a análise da intrusão salina

As oscilações nas velocidades das correntes de superfície e de fundo foram dados também importantes para a avaliação da dinâmica do ambiente estuarino estudado. No que concerne à corrente superficial, pode-se inferir que as variações observadas nas estações 3 a 6 estão relacionadas ao padrão meandrante do Rio Mampituba, neste trecho. A partir do ponto 6 até a foz do Rio do Sertão no Rio Mampituba, a montante do ponto de amostragem 8, os fluxos de superfície são favorecidos pela geometria quase retilínea do canal, apresentando pouca variação. Na estação 9, o aumento da velocidade da corrente deve estar relacionado com a topografia, que se torna mais significativa para o entendimento dos fluxos devido à sua constante elevação. A nova diminuição da corrente de superfície observada na estação 10 pode ser explicada pela amostragem feita fora do canal. A partir da estação 11 o comportamento hidrológico da corrente superficial atesta o padrão sinuoso do Rio Monteiro e o pequeno gradiente topográfico que notabiliza o baixo vale da sub-bacia da Lagoa do Morro do Forno.

Quanto à corrente de fundo, a estimativa das possíveis causas da variação da sua velocidade exigiu a análise da amplitude da maré astronômica prevista para o período enfocado. Assim sendo, utilizou-se a previsão feita para o Porto de Florianópolis, uma vez que representava a informação mais próxima disponível. Comparando-se estes dados com os das medidas da velocidade da corrente de fundo das estações amostradas percebe-se que há uma correlação entre eles. As amostragens iniciaram às 9h06min, com velocidade de 5,2 cm/s, na estação 1. No ponto 2 foi observado uma velocidade nula para a corrente de fundo que, a contar da estação 3 (10h02min) e até a 5 (11h11min) cresceu continuamente. Isto sugere que as amostragens até este último ponto foram realizadas no momento da maré enchente. Pode-se observar na figura 42 que foi previsto um máximo de amplitude para o primeiro pico de maré, às 11h17min. Na área em foco, este momento foi acompanhado até o ponto 5, uma vez que na estação seguinte foi evidenciado uma nova redução na velocidade da corrente com um mínimo identificado às 11h47min, na estação 6. Até então, é aceitável dizer que o padrão da curva da velocidade da corrente praticamente acompanha o da amplitude de maré prevista. Os dados das estações 7 (12h20min) a 9 (13h38min) sugerem o registro de um segundo pico de maré. A diminuição da velocidade na estação 10 pode indicar uma possível bifurcação da corrente de fundo, que seguiria a direita pelo Rio Mampituba e a esquerda pelo Rio Monteiro. As informações de moradores e técnicos do local evidenciam a ocorrência da intrusão salina a montante da localidade de Rio Verde. Os resultados obtidos ao longo do Rio Monteiro (estações 11 a 13) não podem ser explicados pela variação da amplitude de maré, visto que esta sozinha não justifica a difusão de sais neste ambiente. Neste sentido, é importante considerar que a contribuição do vento não se efetivou no período amostrado, que igualmente não se caracterizou por uma condição de estiagem. Os testemunhos de produtores e técnicos do local, que observam os fenômenos acima mencionados, são unânimes com referência aos condicionantes de uma intrusão salina no sistema Morro do Forno: estiagem na bacia hidrográfica, maré cheia e vento sul.

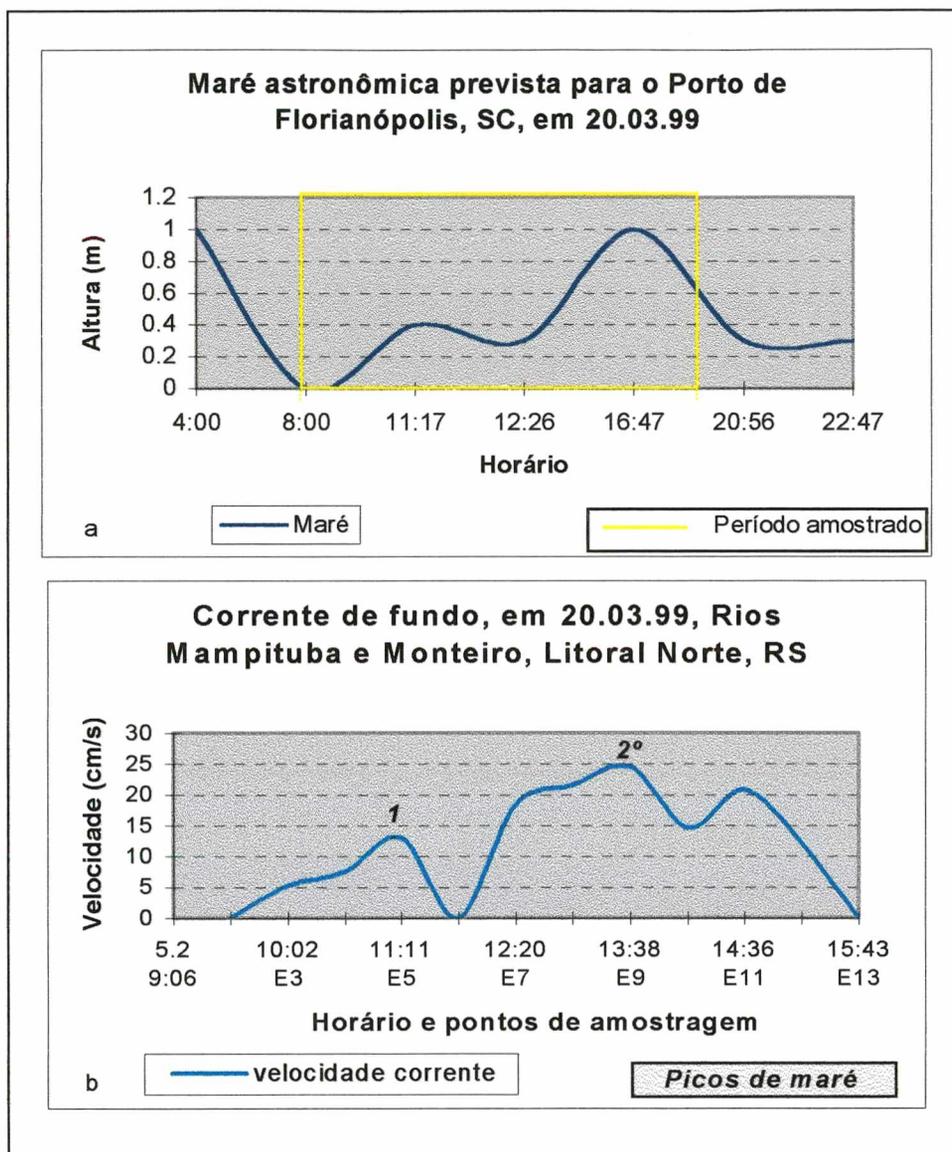


Figura 42: Gráficos da amplitude de maré prevista e da velocidade de corrente de fundo medida

Pelo menos uma condição, e talvez a mais relevante, das referidas anteriormente, foi identificada na campanha de 22 a 23 de julho de 1980, quando verificou-se o "**Perigo de salinidade muito alto**"<sup>51</sup> para a irrigação no ponto E-8, localizado no Rio Monteiro, nas proximidades da Lagoa do Morro do Forno, conforme consta em Ministério do Interior (1982). Note-se que nesse período foi

<sup>51</sup> Esta classificação foi feita segundo o Riverside (Richards *et al.* 1974, *cit. in:* Ministério do Interior, 1982), que avalia as águas destinadas à irrigação através da salinidade indicada pela condutividade específica e pelo índice de adsorção de sódio.

constatado um déficit hídrico importante na estação de Torres, o que, aliás, pode ser esperado em qualquer estação no contexto em foco, de acordo com o observado no capítulo anterior. É difícil explicar mais detalhadamente o ocorrido nessa campanha, visto que não se tem informações relativas às amplitudes de marés e ao horário das coletas. O fator vento nos dias citados não combinou com o padrão preconizado para a ocorrência da intrusão salina no Rio Monteiro. Porém, para o dia anterior, 21.07.80, foi registrado vento sul com velocidade de 7,2 m/s às 18 horas. A condição lunar era de quarto crescente e o plenilúnio só ocorreria no dia 28 daquele mês. Mesmo assim e não obstante as lacunas existentes para uma interpretação mais adequada dos dados obtidos nesse período, é necessário considerar que os mesmos registraram uma condição de salinidade não evidenciada nas campanhas posteriores.

No que se refere aos dados de pH, pode-se constatar o domínio das águas mais básicas nas primeiras estações, que sofrem a influência mais imediata do domínio oceânico. A partir da estação 9, verificam-se teores mais baixos para este parâmetro, indicando a dominância da componente fluvial no ambiente. Isto é particularmente acentuado nas águas do Rio Monteiro, que são fortemente condicionadas aos solos orgânicos e ao ambiente paludial da sub-bacia lacustre do Morro do Forno. O pico de pH observado na estação 8, contudo, pode estar relacionado ao emprego de calcário nos solos da área.

Os dados de salinidade e turbidez combinados possibilitaram a aplicação de um zoneamento para a área estuarina contemplada na campanha de março de 1999 e que é aplicável somente para o período da coleta. Desta forma, seguindo a classificação de Kjerfve (1989; *apud* Bonetti Filho, 1995) pode-se dizer que:

1. A estação 1 estaria dentro da Zona Costeira (ZC), considerando-se a maior turbidez das águas de fundo e a sua menor salinidade, em comparação com as adjacentes.
2. As estações 2 a 9 limitariam a Zona de Mistura (ZM), tendo-se em conta a maior variabilidade dos parâmetros físico-químicos, a mistura das massas de água e o máximo de turbidez interior registrado neste último

ponto, o que sugere ser este o limite da intrusão salina designado por Coutinho (1986) de "*ponto nodal*".

3. As estações 10 a 13 seriam representativas da Zona de Maré do Rio (ZR), na qual as águas são doces, mas sujeitas à influência da maré.

Desta maneira, tem-se que no período amostrado a influência marinha direta sobre as águas de fundo estendeu-se por cerca de 16 Km além da desembocadura.

Os resultados da avaliação granulométrica no que tange à intensa variação do diâmetro médio dos sedimentos e do grau de seleção das partículas atestam as características do padrão meandrante do Rio Mampituba notadamente a partir da estação 3 até a 7. O gradiente lateral prevaleceu em detrimento do longitudinal. Assim, não foi observado qualquer condicionamento marinho sobre o padrão de sedimentação, que parece ter no domínio fluvial o seu principal agente.

### **6.3 - Bioindicadores**

A avaliação da presença de organismos indicadores de ambiente salino foi mais um parâmetro considerado na discussão sobre a amplitude da influência estuarina do Rio Mampituba nos sistemas lacustres Morro do Forno e Jacaré. Apesar do número restrito de amostragens, os resultados obtidos foram significativos para o proposto neste estudo.

Na tabela 30 estão listadas as espécies identificadas nas três campanhas feitas, bem como a frequência de abundância relativa e frequência de ocorrência das mesmas.

Tabela 30 - Resultados das análises para identificação de bioindicadores de ambiente salino - bacia Rio Mampituba, RS

POPULAÇÃO TOTAL	JULHO DE 1998					DEZ DE 1998			MARÇO DE 1999											Freq. de Ocor.	Abund. Rel.		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			20	21
Riqueza de Tecamebas	9	9	5	10	11	5	8	10	7	7	10	8	11	10	2	10	6	1	3	1	0	-	-
Riqueza de Foraminíferos	1	1	3	5	3	6	5	5	1	1	3	1	3	4	5	5	5	11	6	9	10	-	-
<b>Ordem ARCELLINIDA</b>																							
<i>Arcella vulgaris</i>	4.1	-	-	0.4	0.7	10.0	-	1.7	5.0	2.3	-	-	-	0.8	-	-	1.8	-	-	-	-	42.9	0.8
<i>Centropyxis aculeata</i>	12.2	8.3	-	2.9	14.9	26.7	10.4	6.8	5.0	4.7	10.3	44.1	7.9	4.0	-	1.6	-	-	-	-	-	66.7	6.1
<i>Centropyxis constricta</i>	30.6	6.0	-	-	14.9	-	-	0.8	-	-	1.1	5.9	1.0	4.0	-	1.6	1.8	-	1.1	-	-	52.4	3.0
<i>Cyclopyxis impressa</i>	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.8	0.1
<i>Cucurbitella corona</i>	-	7.1	-	6.2	8.2	-	3.2	-	-	2.3	1.1	8.8	9.9	5.6	4.0	4.8	0.9	-	-	-	-	57.1	3.7
<i>Cucurbitella tricuspis</i>	2.0	11.9	-	6.2	3.7	-	5.6	2.5	5.0	-	2.3	2.9	3.0	1.6	-	3.2	-	-	-	-	-	57.1	2.9
<i>Diffugia mitiformis</i>	-	-	-	-	-	3.3	-	1.7	-	-	-	5.9	2.0	5.6	-	-	0.9	-	1.1	-	-	38.1	0.9
<i>Diffugia oblonga</i>	28.6	20.2	18.7	8.2	20.1	-	16.8	11.0	25.0	2.3	8.0	2.9	5.9	12.9	-	1.6	1.8	-	1.1	-	-	76.2	9.3
<i>Diffugia proteaiformis</i>	2.0	4.8	-	0.8	3.7	-	1.6	0.8	10.0	-	3.4	2.9	5.0	7.3	1.3	0.8	-	-	-	-	-	61.9	2.0
<i>Diffugia correntina</i>	-	-	-	2.9	1.5	-	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	-	-	-	-	19.0	0.6
<i>Diffugia urens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	1.0	-	-	2.4	-	-	-	4.0	-	19.0	0.3
<i>Lagenodiffugia vas</i>	8.2	26.2	1.1	4.1	3.0	3.3	-	5.1	15.0	2.3	5.7	8.8	4.0	-	-	2.4	-	-	-	-	-	61.9	3.7
<i>Lesquerusia spiralis</i>	6.1	11.9	2.2	28.0	11.9	-	0.8	5.1	-	-	8.0	-	4.0	1.6	-	2.4	-	2.6	-	-	-	57.1	6.7
<i>Pontigulasia compressa</i>	2.0	2.4	1.1	2.9	4.5	10.0	0.8	10.2	20.0	4.7	2.3	-	1.0	2.4	-	0.8	-	-	-	-	-	66.7	2.5
<b>Ordem FORAMINIFERIDA</b>																							
<b>Hialinos</b>																							
<i>Ammonia tepida</i>	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1	-	-	3.5	14.3	0.3	
<i>Buccella sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1	-	-	9.4	9.5	0.5	
<i>Bulimina elongata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4	4.8	0.1	
<i>Bulimina patagonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.5	4.8	0.2	
<i>Ephidium excavatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	1.2	9.5	0.1
<i>Ephidium poyeanum</i>	-	-	-	-	-	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.4	-	4.0	57.6	19.0	3.1	
<i>Hanzawaia boueana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4	4.8	0.1	
<i>Nonionella opima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1	-	-	-	4.8	0.1	
<i>Pseudononion atlanticum</i>	-	-	-	-	-	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35.9	-	17.6	14.3	1.6	
<b>Aglutinantes</b>																							
<i>Ammobaculites exiguus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	4.0	-	9.5	0.2	
<i>Ammotium salum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	0.8	-	-	3.3	-	1.2	19.0	0.3	
<i>Chitinosaccus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.8	0.1	
<i>H. manilaensis</i>	-	-	-	2.9	1.5	-	0.8	-	-	-	2.3	-	5.0	6.5	8.0	2.4	17.4	15.4	1.1	12.0	-	57.1	3.4
<i>Haplophragmoides wilberti</i>	-	-	-	-	-	-	-	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	8.0	-	14.3	0.3	
<i>Jadammina macrescens</i>	-	-	1.1	3.3	-	-	4.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.3	0.8
<i>Milammina spp.</i>	4.1	1.2	72.5	28.1	9.7	30.0	48.0	49.2	15.0	79.1	49.4	17.6	47.5	27.4	81.3	69.8	64.2	5.1	84.4	36.0	1.2	100.0	41.0
<i>Polyasammmina ipohalina</i>	-	-	2.2	2.9	1.5	3.3	4.8	1.7	-	-	4.6	-	3.0	0.8	2.7	-	5.5	-	-	8.0	-	57.1	2.1
<i>Saccammmina sp.</i>	-	-	-	-	-	3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.8	0.1
<i>Spiroplectammmina biformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.4	-	2.4	0.9	2.6	4.4	16.0	-	-	28.6	2.0
<i>Textularia earlandi</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3	3.2	-	-	1.1	4.0	-	-	19.0	0.4
<i>Trochammmina inflata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	-	-	-	4.8	0.1
<i>Trochammmina irregularis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.7	2.6	-	-	-	-	9.5	0.3
<i>Indeterminados</i>	-	-	-	-	-	3.3	1.6	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.3	0.2
<b>PRINCIPAIS GRUPOS</b>																							
Testas Carbonáticas	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.7	0.0	8.0	97.6		
Testas Aglutinantes	4.1	1.2	75.8	37.2	12.7	40.0	60.0	54.2	15.0	79.1	56.3	17.6	55.4	54.0	94.7	78.6	91.7	30.8	96.7	88.0	2.4		
Tecamebas	95.9	98.8	24.2	62.6	87.3	53.3	40.0	45.8	85.0	20.9	43.7	82.4	44.6	46.0	5.3	21.4	8.3	2.6	3.3	4.0	0.0		

Elaboração: Carla Bonetti; Obs.: Os valores referem-se a abundância relativa das espécies em cada estação de amostragem.

### 6.3.1 - Análise dos resultados

Os resultados das análises das 21 amostras de sedimentos de superfície de fundo registraram a existência de 14 espécies de tecamebas e 22 de foraminíferos.

As tecamebas foram encontradas em praticamente todas as amostras, mas com dominância apenas nas estações mais a montante do estuário. As espécies que apresentaram maior dispersão nos pontos amostrados foram: *Diffugia oblonga* (frequência de ocorrência = 76,2%), *Centropyxis aculeata* (66,7%) e *Pontigulasia compressa* (66,7%).

Nos pontos próximos à desembocadura do Rio Mampituba (estações 18 a 21), o número de espécies encontradas restringiu-se a somente cinco e o número de indivíduos foi pouco representativo para a composição faunística total destas estações, indicando este trecho como o fim do domínio fluvial na área de estudo.

A presença de foraminíferos também foi detectada em todas as amostras, inclusive nas coletadas em condições de salinidade zero. No entanto, a diversidade deste grupo diminuiu sensivelmente à medida que os pontos se interiorizavam. O gênero que apresentou a maior distribuição espacial na área estudada foi *Miliammina*, com 100 % de frequência de ocorrência, sendo responsável por 41% do total dos indivíduos identificados.

No diagrama triangular tri-dimensional da figura 43 estão plotadas as proporções entre as testas de tecamebas e de foraminíferos encontradas na área de escopo. Estas últimas foram separadas em aglutinantes e carbonáticas<sup>52</sup>. A distribuição dessas testas é considerada um indicativo do gradiente de salinidade ao longo do estuário, o que propicia um tipo de zoneamento ambiental para o sistema (figura 44).

---

<sup>52</sup> As testas *aglutinantes* ocorrentes em áreas costeiras englobam espécies na maioria eurihalinas típicas, ao passo que testas *carbonáticas* indicam a ocorrência de espécies estenohalinas e eurihalinas (Carla Bonetti, comunicação pessoal).

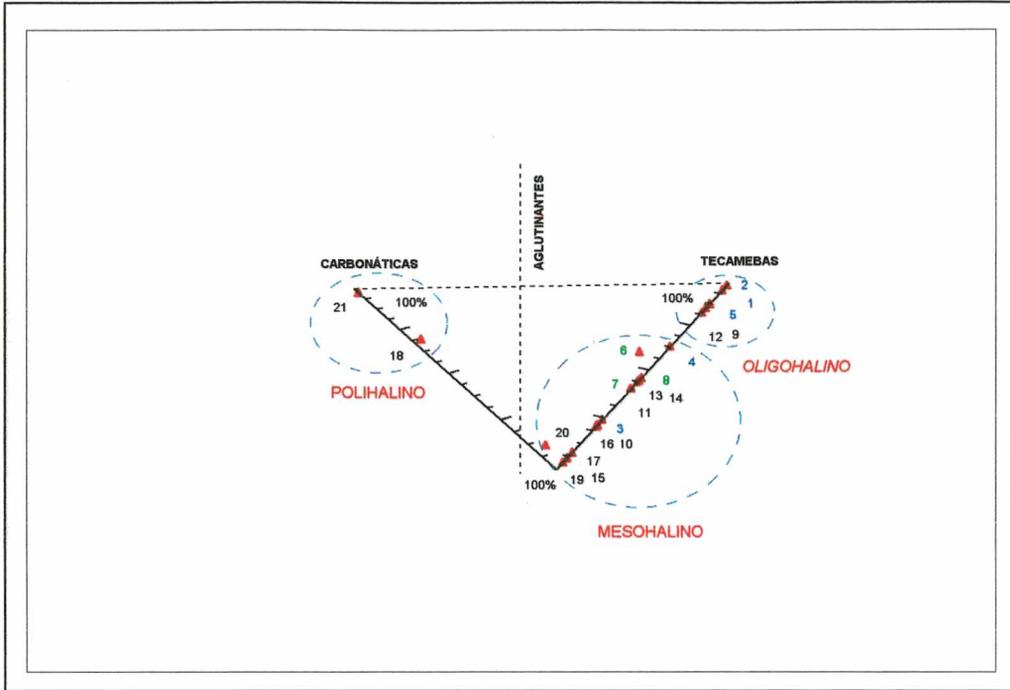


Figura 43: Diagrama triangular que representa a abundância relativa das testas de organismos bentônicos ao longo do gradiente salino (Bonetti *et al.*, em preparação)

Observando-se a distribuição das estações no diagrama constata-se que a proporção de testas aglutinantes foi superior a 50% na maioria das estações, o que caracteriza o estuário do Mampituba como predominantemente mesohalino (salinidades entre 5 a 18‰). Nas estações 6 a 8 (dezembro/98) e 11 a 14 (março/99) foram encontradas razões semelhantes entre testas aglutinantes e tecamebas, sugerindo uma condição transicional entre zonas mesohalinas e oligohalinas. As áreas oligohalinas (salinidades entre 0,5 a 5‰) foram identificadas pela dominância de tecamebas, cujas testas representaram mais de 75% do total de indivíduos encontrados (estações 1,2 e 5, em julho/98; e 9 e 12, março/99). A presença de testas carbonáticas só foi detectada nas estações 18 e 21, situadas nas proximidades da desembocadura do Rio Mampituba, refletindo as características de ambiente polihalino (salinidades entre 18 a 30‰).

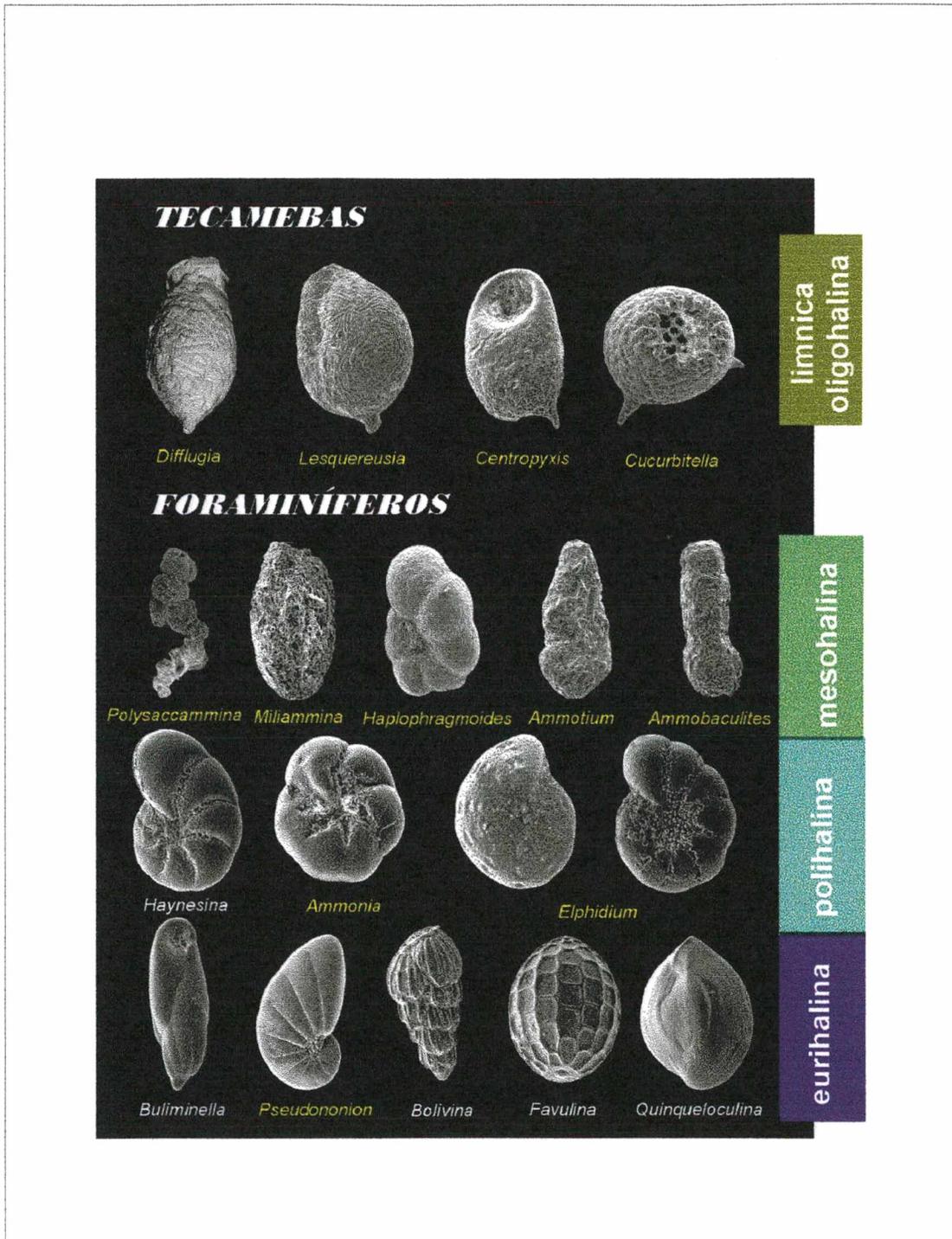


Figura 44: Zonação ecológica - exemplos de ocorrência de tecamebas e de foraminíferos bentônicos em ambientes com distintos regimes salinos; obs.: em amarelo estão destacados os gêneros identificados na área de estudo; fotos cedidas pelo Laboratório de Oceanografia Costeira da UFSC

### 6.3.2 - Discussão dos resultados

Os resultados fornecidos pelas análises de bioindicadores corroboraram a influência estuarina do Rio Mampituba pelo menos na sub-bacia da Lagoa do Morro do Forno. No que concerne à sub-bacia da Lagoa do Jacaré, devido à baixa ocorrência de testas aglutinantes evidenciada na primeira campanha, bem como à elevada presença de tecamebas, acredita-se que esta possa estar menos suscetível ao fenômeno de difusão salina. Contudo, é necessário considerar que, no presente trabalho, as amostragens na mencionada sub-bacia ficaram restritas exclusivamente ao seu canal de ligação com o Rio Monteiro e a uma única campanha<sup>53</sup>, ocorrida no inverno (estações 1 e 2).

No sistema hidrológico dominado pela Lagoa do Morro do Forno (estações 3 e 4, no inverno; 6 e 7, no verão; e 9 a 11, na campanha de março de 1999) a distribuição espacial de tecamebas e de foraminíferos bentônicos permitiu inferir a influência, ainda que esporádica, do setor estuarino do Rio Mampituba. Neste sentido, a ocorrência de *Miliammina* spp. em todas as amostras representou um importante indício da difusão salina a partir do Rio Monteiro. Com referência a este gênero, estudos anteriores como os realizados na Laguna dos Patos por Closs (1964) e Closs e Medeiros (1965), citados por Bonetti e Eichler (1997), já tinham atestado o caráter euribionte extremo desta espécie no que tange a ambientes marcadamente salobros. O gênero *Miliammina* caracteriza-se por possuir uma testa aglutinante, composta por partículas de quartzo e mica que se agregam a uma matriz orgânica, proporcionando uma alta resistência à dissolução em ambientes de pH baixo. Por conseguinte, a sua presença na sub-bacia em foco, embora possa ser considerada indicadora da extensão esporádica da zona submetida à influência marinha a partir do estuário do Rio Mampituba, também se justifica pela sua tolerância a ambientes periodicamente límnicos.

---

<sup>53</sup> Na campanha de verão não foi possível a coleta de sedimento prevista no canal da Lagoa do Jacaré, em face da intensificação do fluxo de água no mesmo, que impedia a amostragem de material necessário à análise de foraminíferos.

Além do discutido anteriormente, a razão tecamebas/foraminíferos observada em todas as amostras retratou as interações estabelecidas entre os ambientes fluvial e marinho, na área em foco. A dominância eventual deste último representa, pois, importante condicionante para a distribuição espacial das espécies consideradas. Assim, quanto mais altos os valores encontrados para esta razão, menor será a influência marinha na área.

Todavia, estas análises, ainda que conjugadas às obtidas a partir de parâmetros abióticos, consoante exposto no item 6.2, não foram suficientes para se precisar a dinâmica do processo de transporte das testas amostradas. O que se pode concluir, em caráter parcial e com base nos testemunhos reunidos e nos estudos realizados ao longo deste trabalho, é que o mesmo se deve dar através do transporte de sedimentos estuário acima, acionado pela propagação da cunha salina, quando se associam condições de estiagem na bacia com maré de sizígia ou mesmo meteorológica.

## **7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

*"A utilização da água implica o respeito à lei. Sua proteção constitui uma obrigação jurídica para todo o homem ou grupo social que a utiliza. Esta questão não deve ser ignorada nem pelo homem nem pelo Estado" (Art. 8º da Declaração Universal dos Direitos da Água)*

## 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas, mesmo quando é restrita à abordagem de corpos d'água superficiais, constitui sempre uma tarefa complexa, tendo-se em conta as propriedades da água e sua capacidade de dissolver, transportar, mudar de estado físico e migrar entre os distintos compartimentos geosféricos. Quando este tipo de análise está associada a ambientes costeiros, novos níveis de dificuldade são adicionados, em face das múltiplas formas de interação entre o domínio oceânico e o continental. Isto se evidencia desde a dinâmica atmosférica até os fluxos de matéria e de energia que se estabelecem entre os referidos domínios.

Além das características singulares do meio natural, deve-se salientar sempre os impactos inerentes às múltiplas e variadas formas de ocupação humana nestas bacias. A definição de espaços que se notabilizam pela supressão de sistemas florestais por atividades agrárias, a expansão do urbe em áreas frágeis e suscetíveis como a litorânea e, ainda, a instalação de empreendimentos diversos, que vão desde o estabelecimento de complexos industriais até o implemento de modificações na geometria de desembocaduras estuarinas, são alguns exemplos de como as atividades antrópicas podem decididamente transformar, acelerar ou retardar processos típicos da zona costeira.

No que concerne aos recursos hídricos, as conseqüências se manifestam através de um aumento exponencial nas demandas de água e por um constante comprometimento da sua qualidade. É sempre necessário lembrar que a disponibilidade hídrica nestes ambientes é extremamente vulnerável, em virtude da influência marinha e dos processos de sedimentação que prevalecem no setor planiçário destas bacias hidrográficas.

No trabalho realizado nas sub-bacias das lagoas do Morro do Forno e do Jacaré procurou-se desenvolver estas questões, que integram as peculiaridades da dinâmica natural com a intervenção humana. O objetivo maior deste estudo consistiu em identificar até que ponto a disponibilidade de água superficial nestes sistemas está submetida a condicionantes do meio físico ou às imposições do meio social. Para tanto, procurou-se confrontar as características naturais dos seus distintos ambientes com as modificações impostas aos mesmos pela ação antrópica.

Assim, os estudos revelaram que a evolução natural destes ecossistemas lacustres, a exemplo dos demais que ocorrem na província costeira rio-grandense, é no sentido da sua colmatagem e posterior transformação em sistema paludial. Isto, por si só, implica numa redução gradativa da sua disponibilidade hídrica.

A análise dos usos dominantes nestas sub-bacias, por outro lado, foi outra etapa importante para a avaliação de problemas reais ou potenciais de quantidade e qualidade de suas águas. Neste sentido, foi possível constatar a dominância absoluta das atividades agrárias, que tem nos cultivos do arroz, da banana e de olerícolas, desenvolvidos sobretudo em pequenas propriedades, a sua principal fonte de renda.

Algumas conseqüências da forma de manejo utilizada nestas culturas puderam ser conferidas no contexto em foco, especialmente no que tange à utilização de agroquímicos. Desta maneira, foi possível comprovar a degradação nas condições quali-quantitativas de corpos d'água superficiais importantes na área, inclusive para a manutenção das lavouras que dependem da irrigação. Com base nisto e também na avaliação de questões relacionadas, por exemplo, com a falta de saneamento e ao tipo de ocupação das áreas declivosas, pode-se inferir que os usos dominantes dos recursos hídricos das sub-bacias estudadas também concorrem para a diminuição da disponibilidade deste bem.

Os resultados mais significativos, gerados a partir destes estudos, foram sintetizados no presente capítulo.

Quanto à metodologia empregada, houve sempre uma preocupação em realçar as suas limitações, bem como dos dados utilizados na sua operacionalização. Neste capítulo também se avalia a sua eficiência para a ultimização dos objetivos propostos no trabalho como um todo.

Finalizando, foram elencadas algumas sugestões para futuros estudos na área em questão, com vistas à gestão vindoura da bacia hidrográfica do Rio Mampituba. Neste particular, é necessário referir que o Rio Grande do Sul, por meio do seu Conselho de Recursos Hídricos, decidiu assumir, por enquanto, o gerenciamento dos recursos hídricos das sub-bacias em foco, preparando os seus usuários e a sua população para o gerenciamento integrado com o Estado catarinense e a União, em consonância com a legislação vigente no país.

### **7.1 - Síntese dos resultados**

Conforme colocado anteriormente, no decorrer dos estudos realizados constatou-se que a oferta de água para atender os seus diversos usos está tanto na dependência das restrições do ambiente natural quanto da forma de ocupação dos solos da área.

Através da aplicação da modelagem hidrológica integrada a um SIG foi possível comprovar os problemas inerentes aos excessos hídricos. As inundações testemunhadas tantas vezes por moradores e técnicos do local puderam ser conferidas, especialmente na primavera, época crítica em virtude da preparação do solo para as culturas de verão. A ocorrência de déficits hídricos, igualmente informados pela população da área, também foi verificada, demonstrando a variabilidade pluviométrica interanual que caracteriza esta região e que deve ser considerada para o planejamento mais adequado das culturas que dependem fundamentalmente da água para o seu desenvolvimento. Contudo, na avaliação quantitativa realizada no presente trabalho, os excessos e seus efeitos foram considerados mais problemáticos que os déficits, em condições médias, para a área de simulação.

No que tange à análise qualitativa das águas superficiais, a existência de poluição por esgoto doméstico e por agrotóxicos pode ser verificada, sobretudo mediante as campanhas de coleta de água. Os dados revelaram que os pontos situados na planície lacustre são os mais atingidos. Isto ocorre em função da intensidade das atividades agrárias do seu entorno e das características hidrológicas dos seus corpos d'água, que são influenciados por um baixo gradiente topográfico e também pelo setor estuarino do Rio Mampituba.

A época do ano e suas implicações relativas às mudanças pluviométricas, térmicas e de uso agrícola igualmente se refletiram nas condições qualitativas das amostras analisadas, denotando a elevada suscetibilidade dos ambientes estudados.

Desta maneira, verificou-se que a disponibilidade hídrica das sub-bacias em foco não está limitada, aparentemente, a uma situação de falta de volume de água, em condições normais. No entanto, com base nas análises feitas, pode dizer que existe uma redução real da oferta deste bem em virtude de sua baixa qualidade.

Outro condicionante significativo para a aferição da existência de água, capaz de atender aos múltiplos e competitivos usos, foi constatado mediante a investigação da influência do setor estuarino do Rio Mampituba. Assim, depreendeu-se que, se a disponibilidade de água tende a diminuir em decorrência de problemas de qualidade provenientes das atividades antropogênicas, a própria natureza da dinâmica estuarina na área em pauta pode ser outro fator restritivo para a manutenção de atividades produtivas que se notabilizam neste contexto. Isto pode ser comprovado graças à identificação de bioindicadores da abrangência do ambiente marinho na sub-bacia lacustre do Morro do Forno, que tem na orizicultura a sua utilização preponderante.

## **7.2 - Avaliação da metodologia adotada**

O exame da eficiência da metodologia empregada neste trabalho demonstrou que a mesma permitiu atender a quase totalidade dos objetivos propostos no presente estudo. Entretanto, é necessário colocar que houve

limitações importantes que não puderam ser contornadas, especialmente no que concerne à avaliação quantitativa e qualitativa das águas superficiais dos sistemas hídricos estudados.

Na aplicação da simulação hidrológica, a falta de dados topográficos gerou significativas distorções na interpolação das cotas altimétricas, sobretudo nas áreas de planície, produzindo, por conseguinte, um MDT não representativo para a totalidade da área em apreço. As tentativas de minimização dos erros ajudaram em parte, mas não foram suficientes.

Outra questão evidenciada foi a inadequação do modelo adotado para a análise hidrológica em áreas caracterizadas por extensos setores planos. Além disto, as resoluções espacial e espectral conseguidas pelo sensor TM-Landsat 5 não foram suficientes para classificar imagens que se salientam por expressiva diversidade de formas de ocupação, o que impossibilitou a separação de classes importantes para a análise do balanço hídrico das sub-bacias estudadas, como é o caso das olerícolas.

Mesmo assim, a integração SIG-modelo hidrológico gerou produtos que, interpretados com base no conhecimento da dinâmica do meio natural e antrópico da área, contribuíram para um melhor entendimento dos processos hídricos dominantes no contexto em pauta.

Quanto à análise de sedimentos para a identificação de agroquímicos, os problemas de encaminhamento das amostras e os resultados fornecidos inviabilizaram um diagnóstico consistente desta questão que se revela grave na área, segundo os vários relatos feitos. Desta forma, não foi viável correlacionar o emprego de agrotóxicos com a qualidade da água dos recursos hídricos, através deste tipo de análise.

Por outro lado, o IQA selecionado teve sensibilidade suficiente para indicar fontes reais de poluição, facultando interessantes correlações com os usos preponderantes. Além disto, a aplicação do IT foi fundamental para a adequação

da análise qualitativa, tendo-se em conta a ocorrência de metais na água e suas implicações.

A comprovação da influência estuarina do Rio Mampituba em ambientes predominantemente dulcícolas, como é o caso da Lagoa do Morro do Forno, foi possível através da análise da presença de foraminíferos bentônicos. Este procedimento tornou-se fundamental, em decorrência da falta de recursos e tempo necessários para o monitoramento da intrusão salina.

Pelo exposto pode-se inferir que, no seu conjunto, as técnicas e procedimentos utilizados no decorrer deste trabalho ampliaram o entendimento da mesma e abriram possibilidades para novas investigações.

### **7.3 - Propostas para estudos futuros**

Para uma avaliação mais aprofundada da disponibilidade hídrica presente e futura das sub-bacias estudadas são sugeridos os seguintes procedimentos:

1. Adequar a modelagem hidrológica ao ambiente físico caracterizado pela planície lacustre e, em especial, para as áreas ocupadas por banhados. Neste sentido é imprescindível um levantamento topográfico mais detalhado.
2. Incluir na correção das classes de uso do solo índices de diversidade biológica, para o cálculo do balanço hídrico, a fim de se verificar as diferenças de demandas de água requeridas por áreas agrícolas e sistemas naturais, comparando, por exemplo, a bananicultura com a floresta de encosta.
3. Aprofundar os riscos de poluição por agrotóxicos e fertilizantes na avaliação qualitativa dos recursos hídricos. No caso dos biocidas, sugere-se a análise da presença de metais pesados nos sedimentos de superfície de fundo e de elementos e substâncias tóxicas em organismos aquáticos, especialmente bentônicos, pois são estes que tendem a acumular os contaminantes, uma vez que vivem associados ao substrato. No que tange aos fertilizantes, será importante também a análise da sua possível acumulação no sedimento.

4. Efetuar a batimetria das lagoas, com vistas ao aprimoramento da estimativa da sua disponibilidade quali-quantitativa, tendo-se em conta o processo natural de colmatagem e o incremento que o mesmo possa estar recebendo, em face da forma de ocupação das encostas e da remoção das matas-ciliares na área.
5. Utilizar imagens orbitais com resolução espaço-temporal que oportunize uma melhor classificação dos tipos de cobertura dos solos da área, a fim de que se possa melhorar a avaliação dos conflitos de uso da água.
6. Intensificar o número de coletas de parâmetros abióticos para o monitoramento da dinâmica da intrusão salina.
7. Melhorar a qualidade dos dados meteorológicos e fluviométricos, mediante a instalação e o monitoramento de uma rede hidrometeorológica, mais densa e melhor distribuída, capaz de registrar condições de excepcionalidade na região em foco.

Estas são apenas algumas sugestões de estudos que tendem a facultar um diagnóstico mais aprimorado das sub-bacias em apreço. A geração de novos dados, o monitoramento sistemático dos existentes e a busca de metodologias adequadas às condições ambientais que prevalecem nos sistemas enfocados representam, indubitavelmente, etapas importantes para a identificação de problemas quali-quantitativos inerentes aos seus recursos hídricos.

Assim, o futuro comitê poderá contar com informações necessárias à seleção de estratégias mais compatíveis com a realidade da bacia, podendo, então, elencar prioridades com vistas à recuperação, proteção e manutenção dos seus recursos hídricos.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNEGO, B., CALOZ, R. e COLLET, C. 1990. L'utilisation des SIG dans la modélisation en hydrologie de surface. *Geographica Helvetica*. **4**: 161-167.
- ALLEY, W. M. 1984. On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting, and aquifer recharge in monthly water balance models. *Water Resources Research*. **20**: 1137-1149.
- ALVES, D. S. 1990. Sistemas de informação geográfica. *In: Geoprocessamento*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 66-78p.
- ANDREIS, R. R. e BOSSI, G. E. 1978. Sedimentologia del conglomerado Mampituba, RS, Brasil. *In: Pesquisas*. Porto alegre: **10**: 45-54.
- ARONOFF, S. 1991. Geographic information systems: a management perspective. Ottawa: WDL Publications, 294p.
- BERLATO, M. A. 1992. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. *In: Agrometeorologia aplicada à irrigação/ coordenador Homero Bergamaschi*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 125p.
- BERNARDES, N. 1962. Os fatores naturais do povoamento. *In: Bernardes, N. 1962. Bases geográficas do povoamento do Estado do Rio Grande do Sul. Separata do Boletim Geográfico. C.N.G. IBGE, p.6-36.*
- BONETTI, C., SANTOS, E. R. O dos e BONETTI FILHO, J. Delimitação e caracterização do sistema estuarino do Rio Mampituba através do uso de foraminíferos e tecabemas como bioindicadores hidrológicos. (em preparação).
- BONETTI, C. e EICHLER, B. B. 1997. Benthic foraminifera and thecamoebians as indicators of river/sea gradients in the estuarine zone of Itapitanguí River – Cananéia/SP, Brazil. *In: Anais Academia Brasileira de Ciências*, **69**(4): 545-563.
- BONETTI FILHO, J. 1995. Transporte de sedimentos por suspensão nas proximidades da Barra de Cananéia – SP. Vol. 1 (Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo).

- BONETTI FILHO, J. 1996. Sensoriamento remoto aplicado à análise de ambientes costeiros impactados – avaliação metodológica: Baixada Santista. (Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo).
- BONETTI FILHO, J. e FURTADO, V. V. 1996. Modelo digital de terreno aplicado ao estudo de feições costeiras submersas no Litoral Sul do Estado de São Paulo. *In: Geociências*. São Paulo: **15**(2): 367-380.
- BRANCO, S.M. 1983. Poluição: a morte de nossos rios. 2ª edição, São Paulo: ASCETESB, 166p.
- BRANCO, S. M. 1991. A água e o homem. *In.: Hidrologia ambiental*. Rubem La Laina Porto (org.). São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 3-25.
- BRANDÃO, V. 1994. Proteção em dose dupla. *In: Expressão*. Florianópolis: ano 5, nº 51, p.12-16.
- BURROUGH, P. A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assesment. Clarendon Press. Oxford: 194 p.
- CAMPOS, M. D. 1994. Fazer o tempo e o fazer do tempo: ritmos em concorrência entre o ser humano e a natureza. *In: Ciência & Ambiente*. Santa Maria, janeiro/junho: 7-33.
- COLLISCHONN, W., MEDIONDO, E. M.; e MENDES, C. A. B. 1998. Modelos numéricos do terreno e suas aplicações a bacias hidrográficas 1: princípios gerais. *In: Anais do XVII Congresso Nacional del Agua e II Simposio de Recursos Hidricos del CONSUR*. Santa Fe – Argentina: volume 2, p. 82-90.
- COMITESINOS. 1990. Utilização de um índice de qualidade da água no Rio dos Sinos. Porto alegre: COMITESINOS, 42p.
- CONSÓRCIO Mata Atlântica. 1992. Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Consórcio Mata Atlântica. UNICAMP, Campinas: volume I, 101 p.
- COUTINHO, P. N. 1986. Sugestões para gerenciamento de estuários. *In: Art. Ciên. Mar*. Fortaleza: **25**: 77-98.
- CRÓSTA, A. P. 1993. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: IG/UNICAMP, 170p.
- DAY Jr., J. W.; Hall, C. A. S.; KEMP, W. M. & YAÑES-ARANCIBIA, A. (eds.). 1989. Human Impacts in Estuaries. *In: Offprints from estuarine ecology*. John Wilwy & Sons, Chichester, p. 512-542.
- DNAEE - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1996. Inventário das estações pluviométricas. Brasília: DNAEE – Divisão de Controle de Recursos Hídricos.

- DINGMAN, S. L. 1994. *Physical Hydrology*. New York: Macmillan Publishing Company, 575p.
- DOORENBOS, J. e PRUITT, W. O. 1975. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Rome: FAO, 179p.
- DREW, D. 1986. A água. *In: DREW, D. Processos Interativos homem-meio ambiente*. David Drew: tradução de João Alves dos Santos; revisão de Suely Bastos. São Paulo: Difel, p.87-112.
- DUVIGNEAUD, P. 1974. *A síntese ecológica: populações, comunidades, ecossistemas*. Lisboa: Socicultur. 168p.
- EASTMAN, J. R. 1998. *IDRISI for Windows: Introdução e exercícios tutoriais*. J. Ronald Eastman. Editores da versão em português, Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Recursos Idrisi, 235p.
- ECOPLAN Engenharia Ltda. 1997. *Avaliação da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, englobando todos os corpos hídricos que drenam para o Rio Tramandaí. Relatório técnico final. Vol. III, maio/97, 263p.*
- EHRlich, P. R. 1993. *O mecanismo da natureza – o mundo vivo à nossa volta, e como funciona*. Paul Ehrlich; tradução de Waltensir Dutra. Rio de Janeiro: Campus, 328p.
- FARB, P. 1964. *Terra viva*. Rio de Janeiro: Distribuidora Record, 213p.
- FIGUEIRÓ, A. 1997. *Aplicação do zoneamento ambiental no estudo da paisagem: uma proposta metodológica (Dissertação de Mestrado, Centro de filosofia e Ciências Humanas, UFSC), 246p.*
- FORTES, J. e CUNHA, C. 1994. *Influência das águas continentais sobre as regiões costeiras: enfoque da legislação atual. In: Anais I Seminário de Qualidade de Águas Continentais no Mercosul*. Porto Alegre: ABRH Publicações, p.25-40.
- FUNDAÇÃO de Economia e Estatística. 1975. *Plano integrado para o desenvolvimento do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: Diagnóstico Geral*. Porto Alegre: FEE, Vol. 3, 283p.
- FUNDAÇÃO de Economia e Estatística. 1978. *Plano integrado para o desenvolvimento do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: Adequação do uso do solo*. Porto Alegre: FEE, Vol. 4, 413p.
- FUNDAÇÃO Estadual de Proteção Ambiental e Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1991. *Parque Estadual de Torres: importância da área para preservação e proposta de delimitação do parque*. Porto Alegre: FEPAM/UFRGS, 32p.

- GOMES, A. B. e AB'SABER, A. N. 1969. Uma gruta de abrasão interiorizada nos arredores de Torres, RS. *In: Geomorfologia*. São Paulo: Instituto de Geografia, **10**: 2-4.
- GONÇALVES, C.W. P. 1988. Possibilidades e limites da ciência e da técnica diante da questão ambiental. *In: Geosul*. Florianópolis: UFSC, **3** (5): 7-40
- GREEN, E. P. *et al.* 1996. A review of remote sensing for the assesment and management of tropical coastal resources. *In: Coastal Management*, **24**: 1-40
- GREGORY, K. J. 1992. A natureza da Geografia Física. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil S.A., 367p.
- GUERRA, A. T. G. 1980. Dicionário Geológico-Geomorfológico / Antônio Teixeira Guerra. 6ª ed. / revista e atualizada por Ignez Amélia Leal Teixeira Guerra e Antônio José Teixeira Guerra. Rio de Janeiro: IBGE, 446p.
- HASENACK, H. 1995. O geoprocessamento no processo de tomada de decisão. *In: Boletim Gaúcho de Geografia*. Porto Alegre: **20**: 185-188.
- HASENACK, H. e FERRARO, L. W. 1989. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS *In: Pesquisas*. Porto Alegre: **22**: 53-70
- HOFFER, R. M. 1978. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. *In: SWAIN, P. e DAVIS, S. M. Remote sensing: the quantitative approach*. New York: McGraw-Hill, p. 227-289.
- HORN FILHO, N. O. 1987. Geologia das Folhas de Torres, Três Cachoeiras, Arroio Teixeira e Maquiné. Porto Alegre (Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- JOST, H. 1971. O Quaternário da planície costeira do Rio Grande do Sul – I – A Região Norte. *In: Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia*. São Paulo: 53-62.
- JOST, H., PINTO, J. F. e LOSS, E. L. 1971. Novas informações estratigráficas sobre o quaternário da planície costeira do Rio Grande do Sul. *In: Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia*. São Paulo: 49-52.
- KISHI, R. T. 1991. Avaliação ambiental da Lagoa Negra/RS - índices de modelagem matemática. Porto Alegre (Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- LACOSTE, A. e SALANON, R. 1973. Biogeografía. Barcelona: Oikos-Tau, 272p.
- LEINZ, V. 1949. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. *In: Boletim CIII – Universidade de São Paulo*. São Paulo: 71p.

- KISHI, R. T. 1991. Avaliação ambiental da Lagoa Negra/RS - índices de modelagem matemática. Porto Alegre (Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- LACOSTE, A. e SALANON, R. 1973. Biogeografia. Barcelona: Oikos-Tau, 272p.
- LEINZ, V. 1949. Contribuição á geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. *In: Boletim CIII – Universidade de São Paulo*. São Paulo: 71p.
- LEITE, F. e FONSECA, O. 1995. Aplicação de índices de qualidade das águas na Lagoa Caconde, Osório, RS. *In: Anais I Seminário de Qualidade de Águas Continentais no Mercosul*. Porto Alegre: ABRH Publicações, p.249-260.
- LOPES, S. I. G., VOLKWEISS, S. J. e TEDESCO, M. J. 1994. Desenvolvimento do sistema radicular do arroz irrigado. *In: Revista Brasileira das Ciências do Solo*. Campinas: 18: 273-278.
- MAGALHÃES JUNIOR, A. P. 1996. A Geografia e os recursos hídricos. *In: A água em revista*. 7: 22-27.
- MARTINS, C. 1976. Biogeografia e Ecologia. São Paulo: Nobel, 115p.
- MAYOR, F. 1997. A água e a civilização. *In: O Correio da Unesco*. Rio de Janeiro, 12: 36-39.
- MEDIONDO, E. M.; COLLISCHONN, W; e MENDES, C. A. B. 1998. Modelos numéricos do terreno e suas aplicações a bacias hidrográficas 2: obtenção de atributos. *In: Anais do XVII Congresso Nacional del Agua e II Simposio de Recursos Hidricos del CONSUR*. Santa Fe – Argentina: volume 2, p. 91-99.
- MENDES, C. A. B. 1994. Modelling of pollutant distribution in surface runoff in ungauged catchments using Geographical Information Systems. (Tese de Doutorado, Departamento de Geografia, Universidade de Bristol, Inglaterra)
- MENDES, C. A. B. 1996. Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas. *In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 1(1): 47-66.
- MENDES, C. A. B.; GREHS, S. A.; e JOHNSON, J. 1999. Uso eficiente de recursos hídricos com apoio de técnicas de geoprocessamento. *In: Anais do GISBRASIL'99 Congresso e Feira para usuários de Geoprocessamento da América Latina*. Salvador: p. 1-30.
- MIALL, E. D. 1992. Fluvial sedimentology. Canadian Soc. Petrol. Geol. Calgary, 2 ed., 870p.
- MINISTÉRIO da Agricultura. 1973. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Boletim n° 30, Recife: Divisão de Pesquisa Pedológica, 431p.

- MINISTÉRIO do Interior. 1982. Estudo de viabilidade técnico-econômica de drenagem e irrigação do baixo vale do Rio Mampituba. Sudesul-Magna Engenharia Ltda., vol.2 – plantas, p.148p.
- MINISTÉRIO do Interior. 1982.1a. Estudo de viabilidade técnico-econômica de drenagem e irrigação do baixo vale do Rio Mampituba. Sudesul-Magna Engenharia Ltda., vol.1-A, p.1-131
- MINISTÉRIO do Interior. 1982.1b. Estudo de viabilidade técnico-econômica de drenagem e irrigação baixo vale do Rio Mampituba. Sudesul-Magna Engenharia Ltda., vol.1-B, 132-261.
- MINISTÉRIO do Interior. 1983. Plano Diretor de Desenvolvimento da Bacia do Rio Mampituba. Sudesul-Magna Engenharia Ltda. 278p.
- MINISTÉRIO do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 1997. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria dos Recursos Hídricos, 35p.
- NAVAS-PEREIRA, D. 1995. Ecossistemas aquáticos: diagnóstico por biomonitoramento. In: *Anais I Seminário de Qualidade de Águas Continentais no Mercosul*. Porto Alegre: ABRH Publicações, p.343-354.
- NIMER, E. 1979. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE. 422p.
- O'REGAN, P. R. 1996. The use of contemporary information technologies for coastal reserarch and management – a review. *Journal of Coastal Research*. 12(1), 192-204.
- ODUM, E.P. 1988. Ecologia. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 434p.
- PASKOFF, R. 1985. Les lagunes littorales. In: *Les littoraux: impact des aménagements sur les évolution*. Paris: Masson, p.83-115.
- PORTO, M. F. A, BRANCO, S. M. e DE LUCA, S.J. 1991. Caracterização da qualidade da água. In.: *Hidrologia ambiental*. Rubem La Lajna Porto (org.). São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p.27-65.
- PORTO, M. F. A. 1991. Estabelecimento de parâmetros de controle da poluição. In.: *Hidrologia ambiental*. Rubem La Lajna Porto (org.). São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p.376-389.
- RAWLS, W. J., BRAKENSIEK, D. L. e SAXTON, K. E. 1982. Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE*. Vol. 25: 1316-1320.
- RICHARDS, J. A. 1995. Remote sensing digital image analysis, an introduction. 3ª ed. London: Springer-Verlag, 340p.

- RODRIGUES, M. 1990. Introdução ao Geoprocessamento. In: Geoprocessamento. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1-26p.
- ROSA, R. 1989. A utilização de satélites em estudos ambientais. In: *Sociedade & Natureza*. Uberlândia: 1 (1): 53-59.
- RUSCHELL, R. R. 1961. As "torres" do Litoral Gaúcho. In: *Boletim Geográfico do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: 11(VI): 26-39.
- SAMEK, J. L. e ROORDA, M. S. 1994. Compensação financeira para mananciais de abastecimento público – ICMs Ecológico. In: *Anais I Seminário de Qualidade de Águas Continentais no Mercosul*. Porto Alegre: ABRH Publicações, p.131-166.
- SCHÄFER, A. 1984. Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais. Porto Alegre: Ed. Da Universidade, UFRGS, 532p.
- SECRETARIA da Agricultura e Abastecimento. 1994. Macrozoneamento agroecológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional da Pesquisa do Trigo, vol. I, 307p.
- SILVA, V. N. M. 1996. Pesquisa de campo da situação realizado em três propriedades rurais do município de Morrinhos do Sul. Programa de Aperfeiçoamento de Recursos Humanos para Área de Bem-Estar Social/Extensão Rural - UFRGS-EMATER/RS. Morrinhos do Sul: 43p.
- TEIXEIRA, E. C. *et al.* 1996. Avaliação da qualidade das águas superficiais e dos sedimentos na região do Baixo Jacuí, RS. In: *Avaliação da poluição hídrica e atmosférica em áreas de mineração e processamento de carvão do Baixo Jacuí, RS*. Relatório Parcial. Porto Alegre: FEPAM, p.317-324.
- TOMAZELLI, L. J. e VILLWOCK, J. A. 1991. Geologia do sistema lagunar holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. In: *Pesquisas*. Porto Alegre: 18(1): 13-24.
- TRICART, J. 1977. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 97p.
- TUFFERY, G. 1979. Incidencias ecologicas de la polucion de las aguas corrientes - reveladores biologicos de la polucion. In: Pesson, P. *La contaminación de las aguas continentales*. Madrid: Ed. Mundi-Prensa, p. 215-255.
- VERNEAUX, J. 1979. Fundamentos biologicos y ecologicos del estudio de la calidad de las aguas continentales - principales metodos biologicos. In: Pesson, P. *La contaminación de las aguas continentales*. Madrid: Ed. Mundi-Prensa, p.327.

- VIEIRA, E.F. e RANGEL, S.R. 1988. Ambiente lagunar-lacustre. *In: VIEIRA, E.F. e RANGEL, S.R. Planície costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica.* Porto Alegre: Sagra, p.100-125.
- VILLWOCK, J. A. 1994. A costa brasileira: geologia e evolução. *In: Notas Técnicas.* Porto Alegre: 7: 38-49.
- VILLWOCK, J. A. e TOMAZELLI, L. J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *In: Notas Técnicas.* Porto Alegre: 8: 1-45.
- WOOD, I. R. 1971. The transport of salt in rivers and estuaries. *In: Salinity and water use, a National Symposium on Hydrology.* New York: T.Talsma and J.R. Philip, p. 141-157.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. 1987. Lagunas costeras y estuarios: cronologia, criterios y conceptos para una clasificación ecológica de sistemas costeros *In: Simpósio sobre ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira. Síntese dos conhecimentos.* São Paulo: Publicação ACIESP, 54-III, Vol. 3. 1-38.
- YUDELMAN, M. 1992. Desenvolvimento sustentável e equitativo em meios ambientes irrigados. *In: Meio ambiente e pobreza: estratégias de desenvolvimento para uma agenda comum.* H. Jeffrey Leonard, organizador. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., p.75-101.