

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

AVALIAÇÃO AMBIENTAL  
DA LAGOA NEGRA/RS - INDICES E MODELAGEM MATEMÁTICA

AUTORA: Eng. Civil REGINA TIEMY KISHI

ORIENTADOR: Dr. SÉRGIO JOÃO DE LUCA

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, áreas de concentração Recursos Hídricos e Saneamento, no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, outubro de 1991.

## AGRADECIMENTOS

A autora deseja expressar seus agradecimentos a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para esta pesquisa, em especial a:

Prof. Sérgio João de Luca, pela firme orientação, auxílio e esclarecimentos.

Jorge Antonio Silva Centeno pelo acompanhamento contínuo e dedicado e pelas críticas construtivas no desenvolvimento desta pesquisa.

Professor e amigo Carlos Ide, pela ajuda sempre que necessária.

Amigos José Carlos Nunes e Alfonso Risso pela cooperação em várias tarefas.

Professores do Setor Saneamento Ambiental: Carmen Castro, Liana Milano, David Marques e Francisco Bidone.

Instituto de Pesquisas Hidráulicas, setores de Saneamento Ambiental, Cópia, Hidrometria, Reprodução e Biblioteca, por oferecer a estrutura necessária para o desenvolvimento desta dissertação. Em especial aos amigos D. Nelci, D. Lygia e Geraldo.

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) pela colaboração na utilização dos equipamentos. Agradeço ao Prof. Vitor Haertel e funcionários.

CAPES pelo suporte financeiro.

IPAGRO e DEPRC, pelos dados meteorológicos.

Janine Haase, pela colaboração no material bibliográfico.

Membros da banca examinadora, pelas recomendações e correções oportunas.

Especial reconhecimento à família, que sempre se fez presente.

Finalmente a autora dedica este trabalho a seus pais Mitie e Akio Kishi.

## RESUMO

O presente trabalho estuda a modelagem da qualidade da água em sistemas lacustres, utilizando um modelo bidimensional hidrodinâmico e de transporte de poluentes, desenvolvido pela ASCE. Paralelamente, é realizada uma avaliação da qualidade da água através de índices biológicos e de qualidade para uso geral da água.

Nesta pesquisa é estudada a Lagoa Negra, localizada no Parque Estadual de Itapuã. Foram realizadas cinco campanhas de coleta de água e uma de sedimento de fundo no período de julho/90 a maio/91.

Técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) foram utilizadas para delimitar automaticamente a bacia contribuinte e identificar as sub-bacias com exutórios na margem da lagoa. As mesmas técnicas SIG serviram para obter a discretização do fundo da lagoa, uma das exigências de entrada no modelo.

De posse dos dados obtidos nas campanhas e estimados, disponíveis da região e, alguns de literatura, o modelo foi aplicado, simulando fósforo dissolvido e particulado dentro da lagoa. A análise de sensibilidade do modelo para três parâmetros de entrada, temperatura da água, concentração inicial de fósforo e carga de entrada proveniente do escoamento superficial, indicaram a concentração inicial o de maior influência e, em segundo lugar, a temperatura. A carga de entrada só influenciou a concentração na margem norte, não atingindo o restante da lagoa em 10 horas simuladas.

Os índices aplicados, de qualidade da água e de diversidade de espécies, ajudaram a melhor interpretar a qualidade ambiental. Os índices de qualidade indicam que a qualidade da água da Lagoa Negra varia de média a boa.

## ABSTRACT

Water quality in lake systems is studied using a two-dimensional model developed by ASCE including hydrodynamics and transport of pollutants. At the same time, water quality is assessed using quality and biotic indices.

This study concerns Lagoa Negra in the State Park of Itapuã, Rio Grande do Sul. Five campaigns were carried out to sample water and one for bottom sediments between July 1990 and May 1991, besides using historical data.

Geographic Information Systems (GIS) techniques were used to delimit the contributing basin automatically and identify sub-basins at points of inflow into the lagoon. GIS techniques were also used to discretize the lagoon bathymetry, one of the requirements for model input.

With the data obtained in the campaigns and others which were estimated or available in the region and in literature, the model was applied, simulating soluble and particulate phosphorus in the lagoon. A sensitivity analysis of the model for three input parameters: water temperature, initial concentration and inflow load from surface runoff was performed. It indicated the initial concentration as the most influential on the resulting concentration of the lake. Temperature appeared at the second place. The inflow load only influenced concentration on the northern bank and did not affect the rest of the water body during the 10 hours simulated.

The applied indices of water quality and diversity of species applied helped provide a better interpretation of environmental quality. The quality indices showed that water quality in the Lagoa Negra is average to good.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
LISTA DE FIGURAS E QUADROS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xii
I- INTRODUÇÃO .....	1
I.1- Generalidades .....	1
I.2- Objetivos .....	2
II- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
II.1- Sistemas Lacustres .....	3
II.2- Modelagem de Lagos .....	4
II.2.1- Representação Temporal .....	7
II.2.2- Representação Espacial .....	8
II.2.3- Processos Hidrodinâmicos .....	9
II.2.3.1- Circulação .....	9
II.2.3.2- Transporte de poluente .....	9
II.2.4- Processos Físicos, químicos e biológicos .....	10
II.2.4.1- Sorção .....	11
II.2.4.2- Processos Físicos .....	12
II.2.4.2.1- Diluição .....	12
II.2.4.2.2- Sedimentação e Resuspensão .....	12
II.2.4.2.3- Filtração .....	13
II.2.4.2.4- Transferência de gases - Volatilização ...	13
II.2.4.3- Processos Químicos .....	15
II.2.4.3.1- Oxidação Química .....	15
II.2.4.3.2- Fotólise .....	15
II.2.4.3.3- Hidrólise .....	16
II.2.4.3.4- Ionização, Complexação e Precipitação .....	16

II.2.4.4-	Processos Biológicos .....	17
II.2.4.4.1-	Biodegradação/Crescimento de organismos ..	17
II.2.4.4.2-	Bioacumulação .....	19
II.2.4.5-	Efeitos da Temperatura nas Taxas dos Processos	22
II.2.4.6-	Interação sedimento/coluna d'água .....	23
II.2.4.7-	Estratificação Térmica .....	24
II.2.5-	Substâncias conservativas e não-conservativas .....	24
II.2.6-	Procedimentos de Modelagem .....	25
II.2.6.1-	Verificação .....	25
II.2.6.2-	Análise de Sensitividade .....	27
II.2.6.3-	Calibração .....	27
II.2.6.4-	Validação .....	27
II.2.7-	Alguns Modelos Teóricos .....	27
II.2.8-	Estrutura do Modelo da ASCE .....	33
II.2.8.1-	Grade de Cálculo .....	34
II.2.8.2-	Transporte Hidrodinâmico .....	35
II.2.8.2.1-	Modelo de Superfície Livre .....	35
II.2.8.2.2-	Modelo de Função Corrente .....	37
II.2.8.3-	Modelo de Transporte de Poluentes .....	38
II.2.8.4-	Reações Bioquímicas .....	39
II.2.9-	Parâmetros de Entrada do Modelo .....	40
II.3-	Avaliação da Qualidade da Água através de Índices .....	41
II.3.1-	Índice Biológico .....	42
II.3.2-	Índice de Qualidade da Água .....	45
II.3.2.1-	Índice de Horton .....	46
II.3.2.2-	Índice NSF-WQI .....	47
II.3.2.3-	Índice de Prati .....	48
II.3.2.4-	Índice de Harkins .....	49
III -	METODOLOGIA .....	51
III.1-	Área de Estudo .....	51
III.1.1-	Situação Geográfica .....	51
III.1.2-	Geomorfologia .....	51
III.1.3-	Vegetação e Uso da Terra .....	55
III.1.4-	Topografia e Drenagem .....	57
III.1.5-	Batimetria .....	59
III.1.6-	Síntese Climática .....	63
III.1.7-	Estudos feitos na Lagoa Negra .....	63

III.2- Coleta de Amostras .....	65
III.2.1- Número e Localização dos Pontos de Coleta .....	65
III.2.2- Datas das Coletas .....	66
III.2.3- Amostragens e Parâmetros Analisados .....	68
III.3- Aplicação do Modelo da ASCE .....	69
III.3.1- Parâmetros de Entrada do Modelo .....	69
III.3.2- Cenários simulados .....	75
III.4- Aplicação dos Índices .....	76
II.4.1- Índice de Qualidade de água .....	76
II.4.1- Índice de Didersidade de Espécies .....	79
IV- RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	80
IV.1- Avaliação da Qualidade da Água .....	80
IV.1.1- Índice de Qualidade da Água .....	84
IV.1.2- Índice de Diversidade .....	88
IV.2- Modelo de Qualidade da Água .....	90
IV.2.1- Modelo CIRCUL .....	90
IV.2.2- Modelo TRANSPOL .....	97
IV.2.3- Análise de Sensitividade .....	104
IV.2.4- Considerações Finais sobre o modelo .....	112
IV.3- Comentários Finais .....	114
V- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	117
VI- BIBLIOGRAFIA .....	120
ANEXO A : Índices .....	128
ANEXO B : Modelo .....	150
ANEXO C : Dados Existentes .....	179
ANEXO D : Laudos .....	184

## LISTA DE FIGURAS E QUADROS

Figura II.1	Relações ecológicas num ambiente lacustre .....	4
Figura II.2	Diagrama conceitual somente do nitrogénio .....	5
Figura II.3	Trajectoria do poluente no lago .....	6
Figura II.4	Um esquema simples de bioacumulação .....	21
Figura II.5	Procedimento de modelagem .....	26
Figura II.6	Fluxograma da estrutura do modelo .....	34
Figura II.7	Esquema da célula computacional .....	35
Figura II.8	Esquema do algoritmo de fósforo .....	40
Figura III.1	Sistema lagunar da zona costeira do RS .....	52
Figura III.2	Imagem de satélite classificada espectralmente pelo método paralelepípedo do sistema SITIM-150 ....	53
Figura III.3	Area de estudo: Lagoa Negra-RS .....	54
Figura III.4	Mapa geológico .....	56
Figura III.5	Sistema hidrográfico da Lagoa Negra-RS, utilizando SGI .....	58
Figura III.6	Mapa batimétrico. Traçado manual .....	61
Figura III.7	Mapa batimétrico. Traçado via SGI .....	62
Figura III.8	Localização das estações de coleta na Lagoa Negra - IPH/90-91.....	67
Figura III.9	Oito casos de simulação no modelo CIRCUL .....	75
Figura III.10	Casos de simulação no modelo TRANSPOL .....	76
Figura IV.1	Representação gráfica de 3 índices de qualidade aplicados à Lagoa Negra no período 90-91 .....	86
Figura IV.2	Representação gráfica do índice de Harkins aplicados à Lagoa Negra no período 90-91 .....	87
Figura IV.3	Grade da elevação da superfície acima do nível médio após 4 horas de simulação. CASO 1: precipitação máxima e calmaria .....	92
Figura IV.4	Circulação na lagoa após 4 horas de simulação. CASO 1: precipitação máxima e calmaria .....	93
Figura IV.5	Componente do transporte U (cm <sup>2</sup> /s) após 4 horas de simulação. CASO 1: precipitação máxima e calmaria .....	94
Figura IV.6	Componente do transporte V (cm <sup>2</sup> /s) após 4 horas de simulação. CASO 2: precipitação máxima e calmaria .....	95
Figura IV.7	Grade de concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação - saída do modelo TRANSPOL.	



	Cenário BAA1 - calmaria: $T=14^{\circ}\text{C}$ - $C_{o}=680\mu\text{g}/\text{l}$ - carga máxima .....	98
Figura IV. 8	Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário BAA1 - calmaria: $T=14^{\circ}\text{C}$ - $C_{o}=680\mu\text{g}/\text{l}$ - Carga máxima .....	99
Figura IV. 9	Grade de concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação - saída do modelo TRANSPOL. Cenário BAA1 - calmaria: $T=14^{\circ}\text{C}$ - $C_{o}=490\mu\text{g}/\text{l}$ - carga máxima .....	100
Figura IV.10	Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário BAA1 - calmaria: $T=14^{\circ}\text{C}$ - $C_{o}=490\mu\text{g}/\text{l}$ - Carga máxima .....	101
Figura IV.11	Concentrações de fósforo dissolvido observado e simulado em condições similares nos pontos de amostragem - Período 90/91.....	113
Figura B.1	Grade da elevação da superfície acima do nível médio após 4 horas de simulação. CASO 2: precipitação média e vento médio na direção sul .....	151
Figura B.2	Circulação na lagoa após 4 horas de simulação. CASO 2: precipitação média e vento médio na direção sul .....	152
Figura B.3:	Componente do transporte U ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) após 4 horas de simulação. CASO 2: precipitação média e vento médio na direção sul .....	153
Figura B.4	Componente do transporte V ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) após 4 horas de simulação. CASO 2: precipitação média e vento médio na direção sul .....	154
Figura B.5	Grade da elevação da superfície acima do nível médio após 4 horas de simulação. CASO 3: precipitação média e vento médio na direção leste .....	155
Figura B.6:	Circulação na lagoa após 4 horas de simulação. CASO 3: precipitação média e vento médio na direção leste .....	156
Figura B.7	Componente do transporte U ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) após 4 horas de simulação. CASO 3: precipitação média e vento médio na direção leste .....	157
Figura B.8	Componente do transporte V ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) após 4 horas de simulação. CASO 3: precipitação média e vento médio na direção leste .....	158
Figura B.9	Grade da elevação da superfície acima do nível médio após 4 horas de simulação. CASO 4: precipitação máxima e vento máximo na direção sul .....	159
Figura B.10	Componente do transporte U ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) após 4 horas de simulação. CASO 4: precipitação máxima e vento máximo na direção sul .....	160

Figura B.11	Componente do transporte V (cm <sup>2</sup> /s) após 4 horas de simulação. CASO 4: precipitação máxima e vento máximo na direção sul .....	161
Figura B.12	Grade da elevação da superfície acima do nível médio após 4 horas de simulação. CASO 4: precipitação máxima e vento máximo na direção sul .....	162
Figura B.13	Componente do transporte U (cm <sup>2</sup> /s) após 4 horas de simulação. CASO 5: precipitação máxima e vento máximo na direção leste .....	163
Figura B.14	Componente do transporte V (cm <sup>2</sup> /s) após 4 horas de simulação. CASO 5: precipitação máxima e vento máximo na direção leste .....	164
Figura B.15	Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário BBB1 - calmaria: T=14°C - C <sub>o</sub> =6μg/l - Carga mínima .....	165
Figura B.16	Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário BBB1 - calmaria: T=14°C - C <sub>o</sub> =4μg/l - Carga mínima .....	166
Figura B.17	Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário ABA1 - calmaria: T=30°C - C <sub>o</sub> =6μg/l - Carga máxima .....	167
Figura B.18	Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário ABA1 - calmaria: T=30°C - C <sub>o</sub> =4μg/l - Carga máxima .....	168
Figura B.19	Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário MMM1 - calmaria: T=21,3°C - C <sub>o</sub> =240μg/l - Carga média .....	169
Figura B.20	Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário MMM1 - calmaria: T=21,3°C - C <sub>o</sub> =170μg/l - Carga média .....	170
Figura B.21	Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário AAB1 - calmaria: T=30°C - C <sub>o</sub> =680μg/l - Carga mínima .....	171
Figura B.22	Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário AAB1 - calmaria: T=30°C - C <sub>o</sub> =490μg/l - Carga mínima .....	172
Figura B.23	Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário AAA1 - calmaria: T=30°C - C <sub>o</sub> =680μg/l - Carga máxima .....	173
Figura B.24	Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário AAA1 - calmaria: T=30°C - C <sub>o</sub> =490μg/l - Carga máxima .....	174
Figura B.25	Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário BAA2 - vento médio sul: T=14°C - C <sub>o</sub> =680μg/l - Carga máxima .....	175

Figura B.26	Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário BAA2 - vento médio sul: $T=14^{\circ}\text{C}$ - $C_{\text{p}}=490\mu\text{g}/\text{l}$ - Carga máxima ..... 176
Figura B.27	Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário BAA3 - vento médio leste: $T=14^{\circ}\text{C}$ - $C_{\text{d}}=680\mu\text{g}/\text{l}$ - Carga máxima .... 177
Figura B.28	Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário BAA3 - vento médio leste: $T=14^{\circ}\text{C}$ - $C_{\text{p}}=490\mu\text{g}/\text{l}$ - Carga máxima .... 178
Figura C.1	Curvas para a temperatura, OD e condutividade em superfície e fundo ..... 183
Quadro IV.1	Sensitividade média da variável de estado PD para o caso 1 - calmaria ..... 106
Quadro IV.2	Sensitividade média da variável de estado PP para o caso 1 - calmaria ..... 107
Quadro IV.3	Sensitividade média da variável de estado PD para o caso 2 - vento médio sul ..... 108
Quadro IV.4	Sensitividade média da variável de estado PP para o caso 2 - vento médio sul ..... 109
Quadro IV.5	Sensitividade média da variável de estado PD para o caso 3 - vento médio leste ..... 110
Quadro IV.6	Sensitividade média da variável de estado PP para o caso 3 - vento médio leste ..... 111

## LISTA DE TABELAS

Tabela II.1	Relações entre o índice de Shannon-Wiener e a qualidade da água .....	44
Tabela III.1	Estimativas da área e volume calculadas manualmente e via SGI .....	60
Tabela III.2	Resumo dos dados disponíveis de campo .....	70
Tabela III.3	Valores adotados de literatura .....	70
Tabela III.4	Concentração de fósforo no escoamento superficial.	71
Tabela III.5	Estimativas do Escoamento Superficial da Bacia de Drenagem da Lagoa Negra ( $c = 0,3$ ) .....	73
Tabela III.6	Cargas estimadas de Fósforo no escoamento superficial da Bacia de Drenagem da Lagoa Negra .....	74
Tabela IV.1	Qualidade da água da Lagoa Negra/RS - 90/91 .....	88
Tabela IV.2	Variação percentual espacial da biota aquática (creino protista) na Lagoa Negra/RS - 90/91 .....	89
Tabela IV.3	Sumário dos índices biológicos aplicados ao plâncton e fitoplâncton - Lagoa Negra/RS .....	89
Tabela A.1	Índice de Horton aplicado a dados de qualidade de água da Lagoa Negra - 90/91 .....	129
Tabela A.2	Índice de qualidade de água NSF-WQI aplicado a dados da Lagoa Negra - 90/91 .....	130
Tabela A.3	Índice de poluição da água de Prati aplicado a dados da Lagoa Negra - 90/91 .....	131
Tabela A.4	Parâmetros do índice de Harkins. Lagoa Negra - 90/91 .....	132
Tabela A.5	Valores de $R_1$ para cálculo do índice de Harkins. Lagoa Negra - 90/91 .....	133
Tabela A.6	Distâncias padronizadas de cada parâmetro e o índice de Harkins. Lagoa Negra - 90/91 .....	134
Tabelas: A.7-A.36	Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra em cada ponto de amostragem e para cada campanha .....	135-149
Tabela C.1	Análise da água da Lagoa Negra, realizada pelo CESB-DMAE, reproduzida de GERM-1975 .....	180
Tabela C.2	Valores máximos e mínimos dos parâmetros das análises de água de 10 estações de coleta de abril/79 a abril/80 .....	181
Tabela C.3	Valores sedimentológicos da Lagoa Negra (Volkmer Ribeiro, 1981) .....	181
Tabela C.4	Valores sedimentológicos (Oliveira, 1983) .....	182

Tabelas:

D.1-D.5	Laudos de análises de água - parâmetros físico-químicos .....	185-191
D.6	Resultado da análise de pesticidas .....	192
D.7	Vazões medidas na estação LN-6 .....	192
D.8-D.10	Laudos de análises de sedimento .....	193-195
D.11-D.40	Exames quali-quantitativo do plâncton .....	197-248

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_i$	reagente $i$ , com $i = 1$ a $M$
$ACALC_i^k$	aproximação para $ATOT_i$ , dada pela $k$ -ésima iteração
$ATOT_i$	concentração total do $i$ -ésimo reagente
$C_s$	concentração da substâncias
$C_{pf}$	concentração do poluente no alimento
$C_{pv}$	concentração do composto tóxico na água
$C_{sat}$	concentração de saturação
$D_x$	coeficiente de difusão turbulenta na direção $x$
$e_{pf}$	eficiência do acúmulo de poluente do alimento.
$e_{pv}$	eficiência da transferência de poluente da água
FBP	fator de bioacumulação de poluente
$H$	coeficiente de absorção (coef. de Henry)
$I_a$	taxa de absorção da luz por uma substância química
$I_\lambda$	intensidade da luz incidente
$K_a$	constante relacionada às condições físicas
$K_c$	constante de meia saturação
$k_{lib}$	coeficiente de liberação do composto tóxico
$K_{ov}$	coeficiente de partição octanol/água
$m_{ij}$	coeficientes estequiométricos do $i$ -ésimo reagente no $j$ -ésimo complexo
$M$	concentração de organismo
$[M]_m$	concentração máxima de organismo atingível
$P$	pressão do gás sobre o líquido
$Q$	taxa de fluxo volumétrico
$R_s$	taxa de transferência de massa da substâncias
$R$	constante universal do gás
$[S]$	concentração de substrato
$S_s$	peso do componente adsorvido por grama de adsorvente
$S_E$	$S_s$ em equilíbrio
$T$	temperatura
$t$	tempo
$U, V, W$	velocidades médias nas direções $x, y$ e $z$
$w_s$	velocidade de sedimentação

X	fração molar de equilíbrio do gás dissolvido a 1 atm
$X_m^i$	média dos valores observados da variável de estado i
$X_p^i, X_o^i$	valores da variável de estado i preditos e observados
$\beta_j$	constante de estabilidade cumulativa
$\Delta H$	entalpia de ativação
$\varepsilon$	coeficiente de extinção molecular da luz
$\phi$	produção de quantum
$\mu$	taxa de crescimento de organismo
$\mu_m$	máxima taxa de crescimento.

#### MODELO DA ASCE:

B	coeficiente de tensão de fundo ( $s^{-1}$ )
$C_c$	constante a meia saturação ( $g/cm^3$ )
$c_v$	coeficiente de tensão de vento
DIFF	coeficiente de difusão horizontal turbulenta ( $cm^2/s$ )
DS	tamanho da célula (cm)
f	coeficiente de Coriolis
FL	fator luz
FT	taxa de crescimento máximo específico de fitoplâncton como uma função da temperatura
g	aceleração da gravidade ( $cm/s^2$ )
GP	ganhos e perdas
H	profundidade (cm)
$K_1$	taxa de respiração ( $s^{-1}$ )
P	transporte potencial representando a parte divergente do transporte
[PD]	concentração de fósforo reativo solúvel ( $g/cm^3$ )
[PP]	concentração de fósforo particulado ( $g/cm^3$ )
S	função corrente, da parte não divergente
T	temperatura ( $^{\circ}C$ )
U, V	componentes do transporte por unidade de largura ( $cm^2/s$ )
X, Y	termos representando a advecção-difusão da substância
W	velocidade do vento (em $cm/s$ )
$W_s$	velocidade de sedimentação da substância ( $cm/s$ )
Z	elevação da superfície acima da média (cm)
$\omega$	velocidade angular de rotação da Terra

$\psi$	latitude do local
$\rho$	densidade da água
$\rho_{ar}$	densidade do ar
$\tau_b$	tensão de fundo
$\tau_s$	tensão de vento ( $cm^2/s^2$ )

ÍNDICES:

I	índice de Prati
$I_i$	sub-índice do parâmetro i
IB	índice de Brillouin
IH	índice de Horton
IM	índice de Margalef
IP	índice de Pielou (índice de equitabilidade)
ISW	índice de Shannon-Wiener
$k_i$	número total de ligações encontradas na classificação dos valores medidos do parâmetro i
n	número de observações mais o ponto de controle
$n_i$	número de indivíduos da i-ésima espécie
N	número total de indivíduos ( $N = \sum n_i$ )
NSF-WQI	índice do National Sanitation Foundation
p	número de parâmetros
$R_{in}$	classificação da amostra de água n, de acordo com o valor do parâmetro i quando comparado aos valores daquele parâmetro entre todas as amostras de água q
$R_{ic}$	valor de controle do parâmetro i
S	número de espécies na amostra
$t_{ij}$	número de elementos envolvidos na j-ésima ligação encontrada no ordenamento dos valores do parâmetro i
$w_i$	peso do parâmetro i no índice



## CAPÍTULO I INTRODUÇÃO

### I.1- Generalidades

Os corpos d'água estão expostos a um alto nível de contaminantes, os quais chegam a eles através de fontes pontuais e não pontuais. Neste trabalho são analisadas as fontes não pontuais, em especial, o escoamento superficial. Este carrega para os corpos d'água nutrientes, agrotóxicos, metais pesados e substâncias naturais presentes na bacia.

A ocorrência de poluição implica num efeito danoso de algum tipo e a gestão ambiental está interessada no seu controle. Uma política adequada de manejo requer o conhecimento dos efeitos que a poluição pode ter no meio e a identificação dos principais poluentes que os causam. Esse conhecimento, juntamente com o entendimento dos processos que uma substância pode sofrer dentro de um ecossistema aquático e sua influência na qualidade da água, formam a base para uma apropriada tomada de decisão.

Para ajudar no entendimento dos processos que ocorrem no sistema aquático, tem-se utilizado modelos matemáticos. O controle das medições de dados e boas decisões de manejo, através da simulação, e a previsão dos efeitos por modelos numéricos, otimizam o planejamento, a operação e o gerenciamento dos recursos hídricos.

Modelos teóricos são normalmente utilizados na avaliação das alterações da qualidade da água em reservatórios ou à jusante deles, na estimativa da dispersão de poluentes no meio e na simulação da circulação das águas em lagos, entre outros.

No monitoramento também é necessária uma análise rápida dos dados para fazer uma avaliação preliminar da qualidade da água. Esta análise pode ser feita através de índices que fornece um resumo dos dados

brutos, colocando a qualidade numa escala numérica, facilitando a comparação temporal e espacial.

## I.2. Objetivos

O presente trabalho analisa a modelagem da qualidade da água em sistemas lacustres, complementada com uma avaliação da qualidade ambiental através de índices de qualidade.

O caso estudo desta pesquisa é a Lagoa Negra. Ela está localizada no Parque Estadual de Itapoã, criado com a finalidade de preservação (reserva biológica) e lazer. É um corpo d'água raso, cujas águas são escuras, classificando-a na série clássica de Lagos de Águas Negras, sendo esta característica incomum na zona costeira sul americana. Assim, a Lagoa Negra representa um objeto de muito interesse no campo da limnologia no Brasil.

No caso da Lagoa Negra, um corpo d'água raso, sem estratificação, onde o vento parece ser de suma importância para os processos que ocorrem nela, parece mais adequado utilizar um modelo bidimensional, com fluxo médio na vertical e concentração de substâncias, homogênea na vertical, mas variando na horizontal.

Os objetivos deste trabalho foram:

- a) inventariar a qualidade da água da Lagoa Negra de maneira sistemática;
- b) aplicar índices para espelhar o estado de qualidade da água coletada;
- c) implantar e testar o uso de um modelo matemático bidimensional de previsão;
- d) simular, através do modelo, a distribuição de fósforo dissolvido e particulado naquele corpo d'água;
- e) avaliar as vantagens e desvantagens do modelo da ASCE para gerenciamento de corpo lacustre raso e bem misturado.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### II.1- Sistemas lacustres

Lagos são elementos geologicamente transitórios da paisagem da Terra. Eles nascem, geralmente, de catástrofes e, imperceptivelmente, amadurecem e morrem. Os fenômenos que deram origem aos lagos em períodos da idade glacial e de intensa atividade tectônica e vulcânica nunca ocorreram simultaneamente e com a mesma intensidade em toda a superfície da Terra, por isso há certa tendência de encontrar distribuição localizada de lagos com algumas características comuns, embora diferenciando-se em tamanho, forma, profundidade e, conseqüentemente, na taxa de maturação e senilidade. Porém, isto não impede de se encontrar lagos parecidos em regiões distantes, com climas diferentes, bem como lagos diferentes numa mesma região (Hutchinson, 1957). Esteves (1988) mostra alguns fenômenos que dão origem aos lagos. Quanto aos fenômenos que levam ao desaparecimento dos lagos, são principalmente dois:

- a- o seu próprio metabolismo. Como exemplo: o acúmulo de matéria orgânica no sedimento e
- b- a deposição de sedimentos transportados pelos tributários e bacia de drenagem.

Apesar de pequenas diferenças, como tempo de detenção ou uma determinada característica física, lagos, lagoas e reservatórios (criados natural ou artificialmente) contam com as mesmas características hidráulicas, químicas e biológicas. Assim, na modelagem matemática, são tratados num mesmo grupo, separados dos rios e dos estuários.

Neste capítulo são introduzidos alguns processos que ocorrem num corpo d'água e sua abordagem matemática, com ênfase em sistemas lacustres.

II.2- Modelagem de Lagos

Um ecossistema é definido por uma série de variáveis bióticas e abióticas, as quais podem mudar no espaço e no tempo devido aos processos físicos, químicos e/ou biológicos que ocorrem dentro dele.

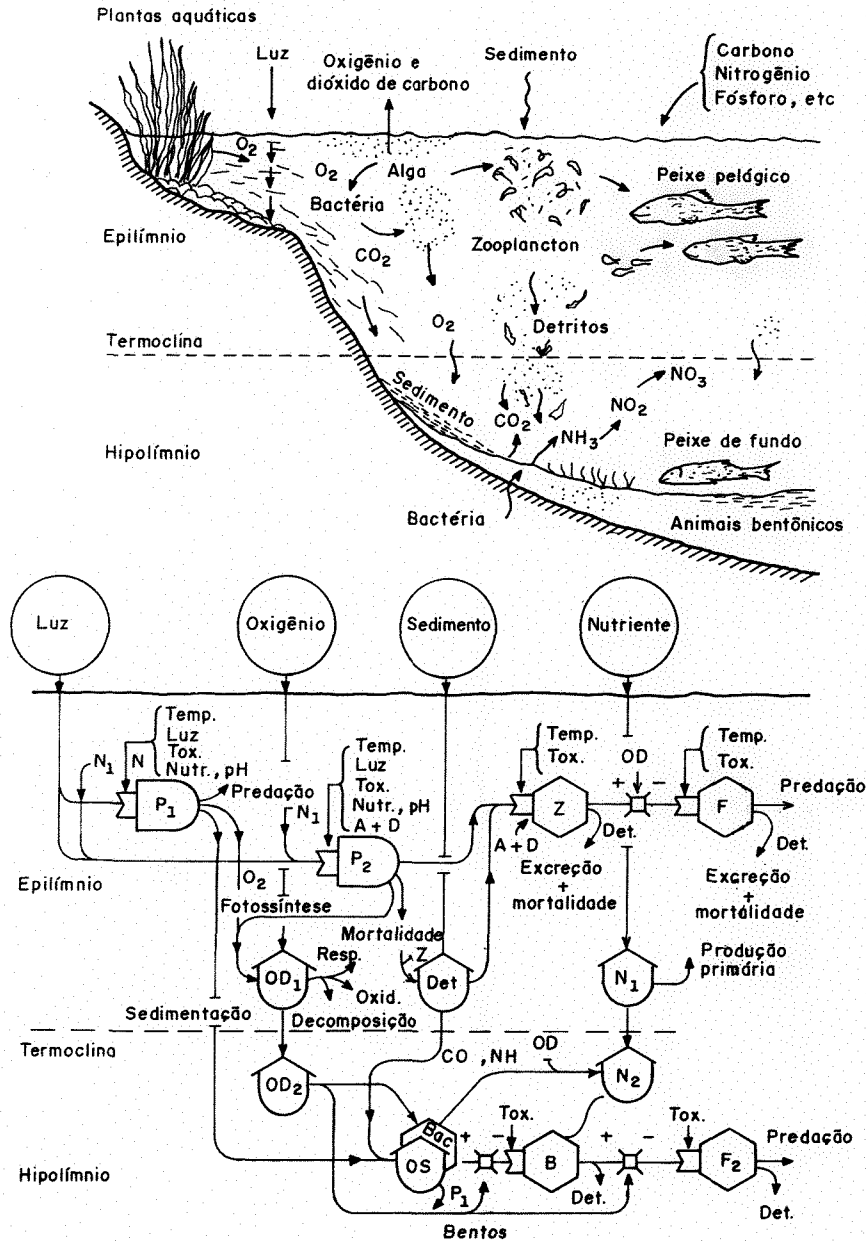


FIGURA II.1: Relações ecológicas num ambiente lacustre (Orlob, 1975; apud Jorgensen, 1983). A: Adveccção; B: Bentos; Bac: bactérias; D: Difusão; Det: Detrito; F<sub>1</sub>: Peixes pelágicos; F<sub>2</sub>: Peixes de fundo; N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>: Nitrogênio solúvel (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>); OD<sub>1</sub>, OD<sub>2</sub>: Oxigênio dissolvido; OS: Carbonato solúvel; P<sub>1</sub>: Plantas aquáticas; P<sub>2</sub>: Algas; Tox: Substâncias tóxicas; Z: Zooplâncton.

Isto pode ser ilustrado na figura II.1 (Jorgensen, 1983), a qual mostra o fluxo de energia em várias formas, através de uma sucessão de níveis tróficos, dentro de um ambiente aquático caracterizado por parâmetros de qualidade, tais como: concentrações de oxigênio dissolvido, dióxido de carbono, fósforo e nitrogênio, quantidades de matéria suspensa, detritos e sedimento de fundo. As transformações de energia e massa são regulamentadas por processos como crescimento, respiração, mortandade e decomposição. Estes por sua vez, são governados pelos parâmetros de qualidade ambiental. Assim, dentro de um corpo d'água, uma ampla variedade de substâncias estão presentes, atuando passiva ou ativamente no ambiente, onde contínuos processos são ativados. Estas interações e relações entre os elementos que compõem o sistema aquático podem ser descritos matematicamente através dos modelos. A comunidade científica tem procurado desenvolver os modelos de tal forma que eles representem, dentro de uma precisão, a realidade do sistema com a simplicidade da descrição matemática.

Um diagrama conceitual de um ecossistema pode ser visto na figura II.1. Esta figura introduz a idéia geral de modelagem de um corpo

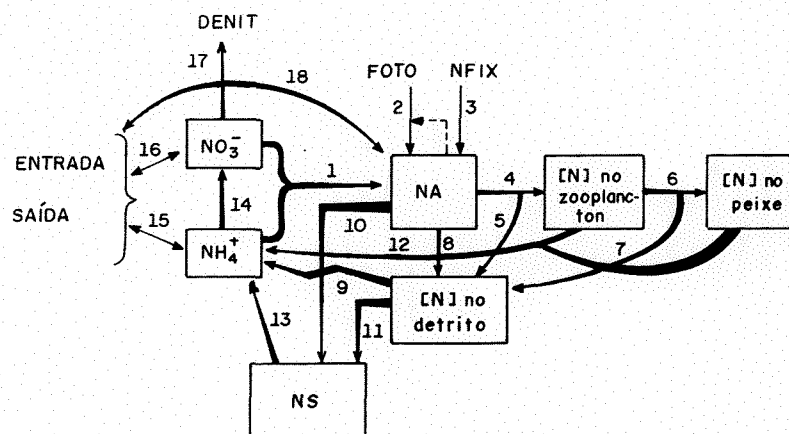


FIGURA II.2: Diagrama conceitual somente do nitrogênio (N). 1: ingestão de N pelo fitoplâncton; 2: crescimento de fitoplâncton (fotossíntese); 3: fixação de N; 4: pastagem; 5: detritos da atividade 4; 6: peixe predando zooplâncton; 7: detritos da atividade 6; 8: mortandade e autólise de fitoplâncton; 9: mineralização de N do detrito; 10: sedimentação de fitoplâncton; 11: sedimentação de detrito; 12: excreção de amônia pelo zooplâncton e peixe; 13: liberação de amônia do sedimento; 14: nitrificação; 15 e 16: entradas e saídas de amônia e nitrato; 17: desnitrificação; 18: entradas e saídas de fitoplâncton; DENIT: desnitrificação; NA: concentração de N no fitoplâncton; NFIX: fixação do N; FOTO: taxa de fotossíntese; NS: N na camada superior do sedimento. Fonte: Jorgensen, 1983.

d'água. Para o entendimento de um dos processos que ocorrem no ecossistema, a figura II.2 ilustra o nitrogênio numa abordagem conceitual (Jorgensen,1983). Diagramas similares podem ser adicionados para ilustrar os constituintes e processos de outros elementos. O diagrama conceitual, Fig. II.2, contém 7 constituintes, os quais são as variáveis de estado no modelo matemático, e 18 processos que descrevem o fluxo de nitrogênio de um constituinte a outro. Por exemplo, a mudança da variável de estado nitrato é assim representado:

$$\frac{\partial(\text{NO}_3^-)}{\partial t} = \text{processo 14} + \text{processo 16} - \text{processo 1} - \text{processo 17}$$

Os modelos dos processos individuais (processos 1, 14, 16 e 17, por exemplo), podem ser chamados de submodelos, e são abordados sucintamente no item II.2.4.

Uma representação da trajetória de poluentes em lagos pode ser vista na figura II.3. Este esquema mostra que o poluente é transportado dentro do lago pelo fluxo (circulação da água). Assim, o desenvolvimento de um modelo de poluição representativo presume também um adequado conhecimento do sistema hidráulico.

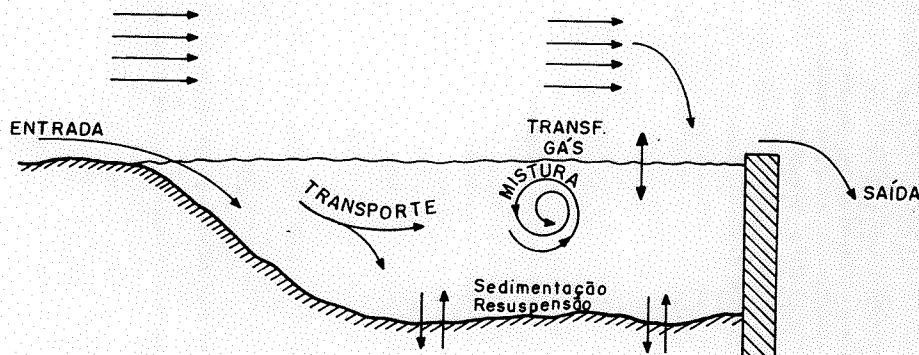


FIGURA II.3: Trajetória do poluente no lago (Ferrara, 1986)

De uma maneira geral, para o estudo e simulação de uma substância num corpo d'água, são considerados os processos hidrodinâmicos, processos físicos, químicos e biológicos, específicos em cada sistema em particular. Os processos são incluídos nos modelos quando presentes ou apenas significativos no corpo d'água em estudo.

Muitos modelos matemáticos de poluentes em sistemas aquáticos empregam o princípio da conservação da massa de poluente, o qual pode

ser simplesmente estabelecido para uma porção do sistema ou subsistema:

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = (E_M - O_M) + R_M + F_M \quad (2.1)$$

Esta equação representa que a troca da massa de poluente no subsistema por unidade de tempo ( $\Delta M/\Delta t$ ) é função do fluxo de entrada de massa de poluente no subsistema, proveniente de regiões adjacentes ao sistema ( $E_M$ ); do fluxo de saída de massa de poluente do subsistema para regiões adjacentes ao sistema ( $O_M$ ); da taxa de produção de massa de poluente dentro do subsistema devido a reações químicas e/ou biológicas ( $R_M$ ) e do suplemento de massa de poluente para o subsistema proveniente de fontes externas ao sistema ( $F_M$ ).

$E_M$  e  $O_M$  são relacionadas às propriedades hidráulicas do fluxo, e representa o transporte advectivo-difusivo. Este é tratado no item II.2.3.

$R_M$  incluem processos tais como ciclo de nutrientes e crescimento de organismos. São os processos químicos e biológicos (item II.2.4).

$F_M$  trata-se de qualquer entrada, pontual ou não, que chega ao corpo d'água trazendo cargas de poluentes. Podem ser tributários, descargas de águas residuárias, escoamento superficial ou chuvas.

Na modelagem de problemas de poluição da água, três considerações devem ser definidas: a representação temporal, a representação espacial e a representação da cinética do modelo que trata do grau de complexidade necessário para descrever os processos de transformação química ou biológica e é tratada com mais detalhes no item II.2.4.

### II.2.1- Representação Temporal

A representação temporal considera 2 fatores (Ferrara, 1986):

- 1- a faixa de tempo sobre a qual a análise é conduzida, e
- 2- a dinâmica (ou não dinâmica) do sistema durante esta faixa de tempo.

A faixa de tempo de análise é crítica de um ponto de vista prático. Todos os modelos requerem um custo computacional que, para cada modelo, é diretamente proporcional ao comprimento do período de simulação, embora não necessariamente linear. Para sistemas lacustres, pode-se considerar problemas a curto-prazo aqueles envolvendo

simulações na ordem de um ano ou menos, e problemas a longo-prazo na ordem de vários anos. Exemplos de problemas a curto-prazo em lagos incluem efeitos letais de uma liberação súbita de um elemento tóxico para a coluna d'água, ou a sincronização e magnitude de florescimento de algas através do ano. Problemas a longo-prazo incluem o estado trófico final de um lago sujeito a algumas conhecidas entradas de fontes pontuais e não pontuais, ou concentração final de elemento tóxico para peixes residindo num lago com uma zona de sedimento contaminada (Ferrara, 1986).

Adicionalmente, deve-se considerar a dinâmica ou variabilidade temporal do sistema durante o período de simulação. Três classes são definidas (Ferrara, 1986):

1- variável no tempo: sistemas nos quais parte ou todas as características mudam com o tempo (não permanente);

2- "steady-state": sistemas nos quais absolutamente nenhuma característica muda com o tempo, isto é, é independente no tempo, e

3- semi "steady-state": sistemas caracterizados por ciclos temporais.

## II.2.2- Representação Espacial

A representação espacial é definida em função do grau de heterogeneidade do sistema. A uniformidade das características hidráulicas ou de qualidade de água pode eliminar a necessidade de uma ou mais dimensões do sistema numa modelagem. Quatro classes podem ser definidas baseadas na dimensionalidade espacial do modelo:

1- Tridimensional: neste caso, o sistema é caracterizado por completa heterogeneidade. As concentrações de poluentes variam em todas as direções. Esta representação é usada em grandes sistemas lacustres, com grandes profundidades, onde existe estratificação.

2- Bidimensional: este caso se aplica a sistemas onde as concentrações de poluentes podem ser assumidas uniformes em uma direção. É o caso de sistemas rasos, onde existe mistura completa na direção vertical, existindo diferença na horizontal, ou, corpos d'água estreitos e profundos, onde existe uniformidade lateral e heterogeneidade vertical e longitudinal.

3- Unidimensional: neste caso, concentrações de poluentes podem



ser assumidas uniformes e iguais em duas direções, existindo ainda uma direção onde a heterogeneidade é mantida. Aplica-se a sistemas horizontalmente homogêneos e com estratificação térmica, logo apresentando diferenças na vertical, ou homogêneos nas direções transversal e vertical e heterogêneos na longitudinal.

4- Zero-dimensional: esta aproximação considera o sistema completamente homogêneo. É assumido uniformidade em todas as três direções. Um balanço global sobre todo o volume do sistema é obtido.

Cada classe de representação espacial pode ser combinada com alguma das classes de representação temporal na formulação de um modelo matemático.

### II.2.3- Processos Hidrodinâmicos

#### II.2.3.1- Circulação

Os modelos hidrodinâmicos para o cálculo de circulação de lagos estão atualmente bem detalhados e realistas, contribuindo amplamente para o entendimento do comportamento dos lagos.

Os modelos matemáticos que simulam a circulação utilizam formulações matemáticas derivadas basicamente da equação da continuidade e da conservação da quantidade de movimento.

Borche Casallas, 1985, desenvolveu um modelo bidimensional de circulação, usando as equações da continuidade e conservação da quantidade de movimento, com método de resolução numérica de diferenças finitas.

Simons e Lam (1986), utilizando também equações derivadas das equações da continuidade e da conservação da quantidade de movimento, desenvolveram um modelo bidimensional, porém mais simplificado que o de Borche Casallas (1985), ver item II.2.8.

#### II.2.3.2- Transporte de poluente

A equação para a conservação da massa de poluentes foi apresentada na equação (2.1). As taxas de transporte de massa para

dentro e para fora de um subsistema têm sido definidas como  $E_M$  e  $O_M$ , respectivamente e são funções das propriedades hidrodinâmicas do sistema. Cada um desses termos é composto da ação de dois processos físicos: advecção e difusão/dispersão. Embora ambos sejam ativos no ambiente, um ou outro pode predominar em uma dada situação.

Advecção é o transporte devido ao movimento do fluido. A taxa de advecção de movimento da massa de poluente é a mesma que a taxa de movimento do fluido. Portanto, a velocidade do fluido descreve a velocidade do poluente.

Difusão é o transporte devido às diferenças de concentração e é expresso pela segunda lei de Fick. Descreve o transporte de um poluente, o qual não necessariamente é na mesma direção ou na mesma velocidade do fluido. O fluxo da massa é tipicamente representado como sendo proporcional ao gradiente local de conservação e ocorre na direção da maior para a menor concentração.

Quando ambos, advecção e difusão ocorrem, seus efeitos são aditivos e conduzem matematicamente a um sistema tridimensional. Considerando regime permanente, temos:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \underbrace{- U \frac{\partial C}{\partial X} - V \frac{\partial C}{\partial Y} - W \frac{\partial C}{\partial Z}}_{(A)} + \underbrace{D_x \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2}}_{(D)} \quad (2.2)$$

onde C é a concentração da substância, t é o tempo, U, V e W são velocidades médias nas direções x, y e z, respectivamente e  $D_x$ ,  $D_y$  e  $D_z$  são coeficientes de difusão turbulenta nas direções x e y, respectivamente. Termos: (A) fenômenos advectivos e (D) fenômenos difusivos.

#### II.2.4- Processos Físicos, Químicos e Biológicos

Os processos físicos, químicos e biológicos, particulares em cada sistema aquático, são descritos quantitativamente por uma variedade de equações que podem ser colocadas em linguagem de computador. Alguns processos têm várias alternativas de formulações que são válidas até uma certa extensão, devido às simplificações que são feitas na sua

concepção. A seleção da formulação correta deve estar de acordo com o problema que está sendo estudado, os dados disponíveis e o ecossistema em si. Jorgensen (1983) apresenta alguns processos com formulações de vários autores. Neste item os processos são tratados de forma geral, resumida, levando ao entendimento dos principais deles.

#### II.2.4.1- Sorção

Adsorção envolve uma ligação física/química de um material a uma superfície sólida. A sorção de substâncias na matéria suspensa e na biota é um processo significativo no contexto ambiental. O processo de adsorção é de importância para modelagem de poluição por fonte não pontual, para a modelagem da distribuição de substâncias tóxicas num ecossistema aquático, descrevendo quantitativamente a troca de nutrientes ou troca de substâncias tóxicas entre sedimento e água, e para a modelagem de processos no solo.

Dados disponíveis poderiam se ajustar ou a uma isoterma de Langmuir ou a uma de Freundlich, dadas por (Jorgensen,1986):

$$S_s = \frac{C_A \cdot C_D}{K_m + C_D} \quad \text{Isoterma de Langmuir} \quad (2.3)$$

$$S_s = K \cdot C_D^{1/n} \quad \text{Isoterma de Freundlich} \quad (2.4)$$

onde:  $S_s$  : peso do componente adsorvido por grama de adsorvente ( $MM^{-1}$ );  
 $C_D$  : concentração na fase dissolvida ( $ML^{-3}$ );  
 $C_A$  : concentração adsorvida máxima possível ( $ML^{-3}$ );  
 $K, K_m$  e  $n$  : constantes.

Em muitos casos, o processo de adsorção é muito rápido e o equilíbrio é atingido em minutos, no máximo horas. Isto implica que, segundo Jorgensen (1986), em modelos usando dias como passo de tempo, o termo de equilíbrio mencionado acima é suficiente para descrever o processo. Se for necessário incluir a taxa de processo de adsorção, isto pode ser realizado usando uma expressão de primeira ordem:

$$\frac{dS_s}{dt} = K \cdot (S_E - S_s) \quad (2.5)$$

onde  $S_E$  é  $S_s$  em equilíbrio.

A sorção não inclui somente processos físicos de adsorção, mas também vários processos químicos denominados quimisorção. Nestes últimos, os mecanismos são mais complicados, porém em muitos casos é possível utilizar a mesma descrição básica do primeiro (Jorgensen, 1986).

#### II.2.4.2- Processos Físicos

##### II.2.4.2.1- Diluição

O sucesso da diluição depende da concentração da substância que está entrando nos corpos d'água. Ela deve ser tal que a concentração final atinja um valor baixo, aceitável. A capacidade de diluição do curso d'água pode ser calculada usando os princípios do balanço de massa (Peavy-1986), dado por:

$$C_s Q_s + C_w Q_w = C_m Q_m \quad (2.6)$$

onde  $C$  é a concentração do material selecionado ( $ML^{-3}$ );  $Q$  é a taxa de fluxo volumétrico ( $L^3T^{-1}$ ) e os sub-índices  $s,w,m$  significam curso d'água, carga e mistura, respectivamente.

##### II.2.4.2.2- Sedimentação e Resuspensão

Sedimentação é um método natural de remover partículas sedimentáveis. Estas se sedimentam e, no fundo, sob condições anaeróbias, os sólidos orgânicos são degradados. A remoção de material particulado da coluna d'água através da sedimentação e sua subsequente incorporação no sedimento do lago, é representada pela velocidade de sedimentação  $w_s$ . Considerando uma seção bem misturada verticalmente de um lago, onde todas as partículas sedimentam numa mesma velocidade, pode-se representar a sedimentação por:

$$R_s = w_s \cdot C_s \quad (2.7)$$

onde  $R_s$  é a taxa de transferência de massa da substância  $s$  e  $C_s$  é a concentração da partícula  $s$ .

Ferrara e Griffin (1986) e Simons e Lam (1986), modelam a sedimentação do fósforo particulado (orgânico e inorgânico) como uma reação de primeira ordem (Eq. 2.7). A equação (2.7) pode ser aplicada

a fitoplâncton, detritos, sólidos suspensos inorgânicos e algum outro material particulado sem capacidade motora. Valores típicos de  $w_s$  para fitoplâncton estão entre 0,05 a 0,5 m/d e para silte e areia, entre 5 e 700 m/d ou mais.

A resuspensão de sólidos ocorre quando há enchentes, forte escoamento superficial, fortes ventos e, em menor escala, pelo movimento dos peixes, aves ou barcos. Tais eventos provocam o aumento da turbulência, resuspendendo os sólidos, colocando-os de novo na coluna d'água.

#### II.2.4.2.3- Filtração

As partículas maiores de entulhos que estão nos leitos dos cursos d'água são levadas pela correnteza até ficarem presas por um obstáculo maior. Uma correnteza mais forte as move e elas continuam se deslocando. As partículas menores de matéria orgânica e outros sedimentos podem ser filtrados quando a água percola até o lençol subterrâneo. Se a camada que separa os dois aquíferos for suficientemente grande, a água que chega no aquífero subterrâneo estará isenta de sólidos. Como muitos aquíferos intercambiam suas águas, a água filtrada pode mais tarde voltar ao curso d'água, então ocorrerá o processo de diluição. Este processo não é considerado nos modelos.

#### II.2.4.2.4- Transferência de gases (volatilização)

A transferência de gases entre o ar e a água é uma parte importante no processo de purificação natural. O processo da transferência pode ser entendido analisando um corpo d'água em contato com um meio gasoso. Se a água for inicialmente pura com respeito ao gás, moléculas do gás migrarão através da interface gás-líquido (absorção) e se dissolverão no líquido. Embora também haja algumas moléculas do gás que abandonam o líquido (desorção) e que retornam à fase gasosa, a reação global será em direção ao líquido até alcançar um estado de equilíbrio dinâmico. Nesse ponto, o número de moléculas deixando o líquido é igual ao número de moléculas entrando nele, e o líquido é dito saturado pelo gás. Esta troca de gases se registra na

reposição do oxigênio utilizado pelas bactérias na degradação da matéria orgânica. Inversamente, gases desenvolvidos na água por processos químicos e biológicos podem ser transferidos da água para a atmosfera.

Na água, duas características deste processo tornam-se significativas: a taxa a qual acontece liberação ou dissolução de moléculas (taxa de transferência) e a concentração do gás na água em equilíbrio (solubilidade).

A solubilidade de um gás em equilíbrio com o líquido é quantificado pela lei de Henry:

$$X = \frac{P}{H} \quad (2.8)$$

onde H é o coeficiente de absorção (coef. de Henry); P é a pressão do gás sobre o líquido e X é a fração molar de equilíbrio do gás dissolvido a 1 atm ou

$$X = \frac{\text{moles do gás}}{\text{moles do gás} + \text{moles do líquido}} \quad (2.9)$$

Outros fatores que afetam X são temperatura (a solubilidade aumenta à medida que a temperatura decresce) e a concentração de outros gases e sólidos dissolvidos (a solubilidade decresce quando outros materiais dissolvidos no líquido aumentam) (Peavy, 1986).

A taxa de transferência é regida por vários fatores e sua expressão matemática é dada por:

$$\frac{dC}{dt} = (C_{\text{Sat}} - C) * K_a \quad (2.10)$$

com:  $dC/dt$  : taxa instantânea da alteração da concentração do gás no líquido

$C_{\text{Sat}}$  : Concentração de saturação

$K_a$  : Constante relacionada às condições físicas. O seu valor depende da temperatura do sistema, da área de interface disponível para a transferência e da resistência ao movimento de uma interface à outra.

Os efeitos da temperatura podem ser preditos pela lei de Van't Hoff-Arrhenius, enquanto que as outras variáveis são específicas de cada sistema.

Quando  $C > C_{Sat}$  acontece o fenômeno de desorção. E o inverso indica absorção.

Para um dado volume de água, quanto maior for a área, maior a oportunidade de transferência de gases.

Esta troca física foi modelada para OD no modelo desenvolvido por Ferrara e Griffin (1986). O coeficiente  $K_a$  foi considerado ser o coeficiente de reaeração ( $L/T$ ) dividido pela profundidade do epilímnio ( $L$ ). O modelo incorpora a variação na concentração de saturação de OD como uma função da temperatura da água.

#### II.2.4.3- Processos Químicos

##### II.2.4.3.1- Oxidação Química

Oxidação química de compostos orgânicos ou mesmo inorgânicos pode ser importante sob algumas condições ambientais. Em muitos casos, uma reação de primeira ordem dá uma aceitável descrição do processo, (Jorgensen,1986,1983), porém, pode também ser descrita por uma reação de segunda ordem:

$$\frac{dC_s}{dt} = k \cdot C_{O_2} \cdot C_s \quad (2.11)$$

quando o oxidante for o oxigênio dissolvido.

##### II.2.4.3.2- Fotólise

Transformação fotoquímica é um processo significativo para muitos compostos tóxicos. A taxa de absorção da luz ( $I_a$ ) por uma substância química é dada por (Jorgensen,1986,1983):

$$I_a = \epsilon \cdot I_\lambda \cdot C = k_a \cdot C \quad (2.12)$$

onde:  $C$  : concentração da substância química ( $\text{mol l}^{-1}$ ),

$\epsilon$  : coeficiente de extinção molecular da luz,

$I_\lambda$  : intensidade da luz incidente,

$$k_a = \epsilon \cdot I_\lambda$$

Multiplicando  $I_a$  pela produção de quantum ( $\phi$ ), a qual é a

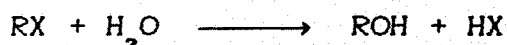
eficiência de conversão da luz absorvida em energia química, encontra-se a taxa de fotólise direta:

$$-\frac{dC}{dt} = k_a \cdot \phi \cdot C = k_p \cdot C \quad (2.13)$$

A transformação fotoquímica é uma reação de primeira ordem, onde  $k_p$  é dependente da intensidade da luz incidente.

#### II.2.4.3.3- Hidrólise

A hidrólise de compostos orgânicos normalmente resulta da introdução do grupo hidroxila (-OH) (Jorgensen,1986,1983):



A cinética da hidrólise pode ser expressa por:

$$R_h = k_h [S] = k_B [OH^-][S] + k_A [H^+][S] + k_N [H_2O][S] \quad (2.14)$$

onde  $k_h, k_B, k_A$  e  $k_N$  são constantes da taxa de reação.

#### II.2.4.3.4- Ionização, Complexação e Precipitação

Estes processos são rápidos e podem somente ser incluídos no modelo pelo uso de expressões de equilíbrio (Jorgensen,1986,1983).

Ginzburg, 1976, utiliza um método iterativo para cálculo da concentração de equilíbrio de todas as espécies num sistema, sendo esta encontrada na K-ésima iteração. O modelo utiliza as equações (2.15) e (2.17), dadas abaixo.

$$ACALC_i^k = [A_i^k] + \sum_{j=1}^N m_{ij} \cdot \beta_j \cdot \prod_{i=1}^M [A_i^k]^{m_{ij}} \quad (2.15)$$

onde:  $ACALC_i^k$  : aproximação para a concentração total do i-ésimo reagente ( $ATOT_i$ ), dada pela k-ésima iteração

$A_i$  : reagente i, com  $i = 1$  a  $M$

$m_{ij}$  : coeficientes estequiométricos do i-ésimo reagente no j-ésimo complexo

$\beta_j$  : constante de estabilidade cumulativa

O autor modificou o método empregado no algoritmo COMICS e obteve a equação (2.17) da generalização da equação (2.16).



$$[A_i^{k+1}] = [A_i^k] \cdot \left[ \frac{A_i^{tot}}{A_i^{calc}} \right]^{1/2} \quad (2.16)$$

A (k+1)-ésima iteração resulta:

$$[A_i^{k+1}] = [A_i^k] \cdot \left[ \frac{ATOT_i}{ACALC_i} \right]^{1/p} \quad (2.17)$$

sendo p o maior coeficiente estequiométrico do reagente i na equação do complexo.

A concentração analítica total de cada reagente foi usada como uma primeira aproximação de sua concentração de equilíbrio.

#### II.2.4.4- Processos Biológicos

##### II.2.4.4.1- Biodegradação / Crescimento de organismos

Muitas das reações químicas envolvidas no processo de auto-depuração devem ser abordados biologicamente. Essas reações químicas não são espontâneas e requerem uma fonte externa de energia para se iniciarem. No caso de compostos orgânicos biodegradáveis e outros nutrientes, a energia de ativação pode ser suprida pelos microorganismos que utilizam esses materiais para alimento e como fonte de energia. A soma total dos processos nos quais os organismos assimilam e usam o alimento para sobrevivência, crescimento e reprodução é chamada metabolismo. Os processos metabólicos e os organismos envolvidos são uma parte vital no processo de auto-purificação das águas.

Para aplicações de qualidade da água, a biodegradação pode ser descrita de duas formas: ou pela cinética de primeira ordem ou pela cinética de Monod. A cinética de primeira ordem é tipicamente usada em aplicações de modelos de qualidade da água para descrever a DBO, o decaimento de bactérias coliformes, o decaimento de substâncias radioativas, reaeração atmosférica (oxigenação) e fenômenos similares. É também usada por alguns autores para modelar o crescimento de organismos vivos.

Em um ambiente não limitado, o crescimento de uma população de

organismos vivos é normalmente modelado usando a cinética de primeira ordem, onde a taxa de mudança de concentração em relação ao tempo é proporcional a concentração de microorganismo no tempo  $t$ , como segue:

$$R_M = \frac{d[M]}{dt} = \mu * [M] \quad (2.18)$$

onde:  $M$  : concentração de organismo ( $ML^{-3}$ )

$\mu$  : taxa de crescimento de organismo ( $T^{-1}$ )

Quando ocorre decréscimo de concentração com o tempo,  $\mu$  é algebricamente negativo, quando há aumento,  $\mu$  é positivo.

Na realidade o ambiente é limitado. A equação geral para o crescimento da população que define uma população máxima ou de saturação que não pode ser excedida é:

$$R_M = \frac{d[M]}{dt} = \mu[M] \frac{[M]_m - [M]}{[M]_m} \quad (2.19)$$

onde  $[M]_m$  é a concentração máxima de organismo atingível.

Um método mais comum de expressar limitações ambientais de crescimento de organismos descreve a taxa de crescimento,  $\mu$ , como uma função da disponibilidade de recursos necessários para o crescimento, bem como uma função de fatores que podem limitar a habilidade de um organismo de utilizar aqueles recursos. Estes incluem suprimento de alimento e nutriente, disponibilidade de luz, temperatura e presença de substâncias tóxicas ou qualquer outra substância inibidora.

A cinética de Monod (Eq.2.20) é frequentemente utilizada para descrever crescimento biológico como resultado da escassez de um único substrato essencial.

$$\mu = \mu_m \cdot \frac{[S]}{K_c + [S]} \quad (\text{cinética de Monod}) \quad (2.20)$$

onde:

$\mu_m$  : máxima taxa de crescimento;

$[S]$  : concentração de substrato;

$K_c$  : constante de meia saturação, igual a concentração de substrato correspondente à metade de  $\mu_m$ .

Para pequenas concentrações de substrato ( $[S] \ll K_c$ ), a taxa de

remoção específica do substrato é de primeira ordem com respeito a concentração de substrato ( $\mu \cong [S]/K_c$ ). Para grandes concentrações ( $[S] \gg K_c$ ), a taxa é de ordem zero com respeito a concentração de substrato e  $\mu$  se aproxima do valor limite de saturação ( $\mu \cong \mu_m$ ).

Para descrever situações nas quais mais de uma substância pode ser limitante ao crescimento, a expressão utilizada é:

$$\mu = \mu_m \cdot \frac{[S]_1}{K_{s1} + [S]_1} \cdot \frac{[S]_2}{K_{s2} + [S]_2} \cdot \dots \cdot \frac{[S]_n}{K_{sn} + [S]_n} \quad (2.21)$$

onde os sub-índices indicam as diferentes substâncias.

Partindo da reação geral:



Pode-se escrever:

$$- \frac{1}{s} \frac{d[S]}{dt} = \frac{1}{m} \frac{d[M]}{dt} \quad (2.23)$$

$$\frac{d[M]}{dt} = - \frac{m}{s} \frac{d[S]}{dt} \quad (2.24)$$

Monod postulou que existe uma relação simples entre crescimento bacteriano e utilização de substrato:

$$\frac{d[M]}{dt} = - Y \frac{d[S]}{dt} \quad (2.25)$$

$Y$  é conhecido como um coeficiente de produção igual à massa de célula formada por massa de substrato consumido. Finalmente, das equações (2.18), (2.20) e (2.25), pode-se escrever:

$$\frac{d[M]}{dt} = \mu_m \frac{[S]}{K_c + [S]} [M] \quad (2.26)$$

$$\frac{d[S]}{dt} = - \frac{1}{Y} \mu_m \frac{[S]}{K_c + [S]} [M] \quad (2.27)$$

Estas expressões são amplamente utilizadas nos modelos de qualidade da água de lagos para descrever o crescimento de fitoplâncton e ingestão de nutrientes, bem como de outras relações crescimento/substrato através da cadeia alimentar (Ferrara, 1986).

#### II.2.4.4.2- Bioacumulação

O organismo pode acumular a substância através de dois caminhos:

da água e do alimento. Este processo pode resultar em alterações na qualidade da água.

O modelo de bioconcentração desenvolvido por Schnoor e McAvoy (1981), considera a bioconcentração proporcional ao produto da biomassa de peixes com a concentração de pesticida dissolvido. O pesticida é removido pelo peixe enquanto a água passa pela membrana branquial.

Jorgensen (1983), relaciona o acúmulo de poluente ao fluxo de energia no organismo na forma de alimento e oxigênio. A equação do balanço da energia mostra que a energia do alimento ingerido, corrigido para perdas fecal e não fecal,  $e_f R$ , é igual a taxa metabólica RESP mais a taxa de crescimento  $dW/dt$ :

$$e_f R = \text{RESP} + \frac{dW}{dt} \quad (2.28)$$

É geralmente aceito que  $\text{RESP} = a \cdot W^b$ , onde  $a$  e  $b$  são constantes e  $W$  é o peso do organismo.

Bioacumulação de compostos tóxicos,  $d(\text{CT})/dt$ , é proporcional à respiração total (acúmulos através da água e do alimento) (Jorgensen, 1983):

$$\frac{d(\text{CT})}{dt} = e_{pf} \cdot C_{pf} \cdot R + e_{pv} \cdot C_{pv} \cdot \text{Vol} \quad (2.29)$$

onde  $C_{pf}$  é a concentração do poluente no alimento e  $e_{pf}$  é a eficiência do acúmulo de poluente do alimento.  $C_{pv}$  é a concentração do composto tóxico na água e  $e_{pv}$  é a eficiência da transferência de poluente da água.  $R$  é a taxa de ingestão e  $\text{Vol}$  é o volume ingerido de água, inversamente proporcional à concentração de oxigênio e proporcional a RESP.

A taxa de liberação do composto tóxico pode ser escrito como (Jorgensen, 1983):

$$\frac{d(\text{CT})}{dt} = k_{lib} \cdot \text{CT} \cdot W^n \quad (2.30)$$

onde o coeficiente de liberação  $k_{lib}$  depende principalmente do tipo da substância tóxica e  $n$  é uma constante entre  $-0,2$  e  $-0,8$ . Todos os

parâmetros acima são dependentes da temperatura e do oxigênio.

Walker (1987) descreve a estimativa de bioacumulação baseada no coeficiente de partição numa situação mais simples, onde acúmulo e perdas podem ser descritos por um sistema de um compartimento e ocorrendo somente por difusão passiva (figura II.4). Assumindo cinética de primeira ordem, em equilíbrio:

$$\frac{dC_i}{dt} = 0 \quad (2.31)$$

$$\text{Assim: } K_{oi} \cdot C_o = K_{io} \cdot C_i \quad \longrightarrow \quad \frac{C_i}{C_o} = \frac{K_{oi}}{K_{io}} \quad (2.32)$$

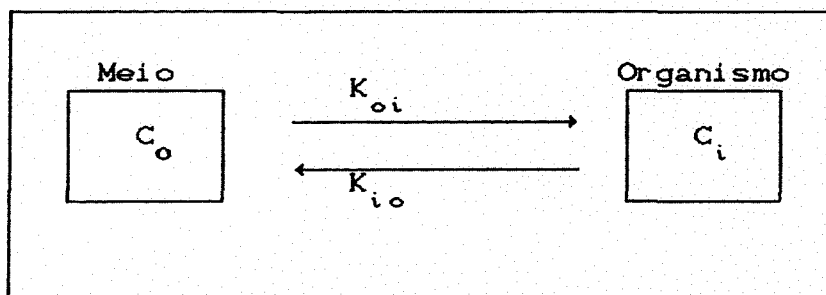


FIGURA II.4: Um esquema simples de bioacumulação.  $K_{oi}$  e  $K_{io}$  são constantes da taxa para acúmulo e perdas do composto tóxico, respectivamente.

$K_{oi}/K_{io}$  é, efetivamente, um coeficiente de partição que define a distribuição do poluente entre água e organismo. Vários estudos experimentais com faixas de compostos lipofílicos têm mostrado, segundo Walker (1987), ou boa correlação entre fatores de bioacumulação de poluente (FBP) e  $K_{ov}$  (s) (coeficientes de partição octanol/água) ou boa correlação inversa entre  $FBP_{(s)}$  e valores para solubilidade da água.

O sistema simples de um compartimento apresenta limitações e tem muitas vezes falhado para algumas predições como, por exemplo, em certas combinações peixes/poluentes (Connor, 1983, apud Walker, 1987), pois este não leva em consideração acúmulo ou perdas por metabolismo.

Walker (1987) ainda descreve uma equação que pode ser usada para estimativa da bioacumulação a partir de concentrações conhecidas de um poluente na água e alimento, para um período de tempo suficiente para

alcançar o steady-state. Este modelo considera os termos de acúmulo do poluente na água e no alimento e um termo correspondente às perdas por liberação e diluição.

#### II.2.4.5- Efeitos da temperatura nas taxas dos processos

Muitas taxas de processos químicos e biológicos são dependentes da temperatura. A equação de Van't Hoff Arrhenius tem sido usada para a determinação das taxas de reação em função da temperatura (Ferrara, 1986; Jorgensen, 1983).

$$\frac{d(\ln K)}{dT} = \frac{\Delta\hat{H}}{RT^2} \quad (2.33)$$

onde K é a constante da taxa de reação,  $\Delta\hat{H}$  é a entalpia de ativação, R é a constante universal do gás e T a temperatura absoluta. Integrando a equação (2.33), resulta:

$$\frac{K_2}{K_1} = \exp \left[ \frac{\Delta\hat{H}}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right] \quad (2.34)$$

Para a faixa de temperatura de interesse (0 a 30°C), o parâmetro  $\exp[\Delta\hat{H}/(RT_2 T_1)]$  é aproximadamente uma constante. Assim, a equação (2.34) pode ser escrita:

$$K_2 = K_1 \theta^{(T_2 - T_1)} \quad (2.35)$$

onde  $\theta = \exp[\Delta\hat{H}/(RT_2 T_1)]$  e T está agora em graus Celsius. Esta forma é comumente aplicada para corrigir os coeficientes da taxa de reação de processos biológicos dependentes da temperatura.

Segundo Ferrara (1986), o uso da equação (2.35) se torna inadequado quando se trata em termos de organismos específicos, uma vez que todos os organismos são governados por uma dependência da temperatura mínima, ótima e máxima. O mesmo autor apresenta duas equações fornecidas por Lehman et alii (1975) descrevendo a taxa de crescimento algal dependente da temperatura, para  $T > T_{\text{ótima}}$  e  $T \leq T_{\text{ótima}}$ . No entanto, para modelos nos quais agregam todas as espécies dentro dos níveis tróficos (em geral, fitoplâncton e zooplâncton), a equação (2.35) é uma boa aproximação devido que na faixa da temperatura de interesse, taxa de crescimento da agregação

constantemente aumentará com a temperatura (DiToro e Matystik, 1980, apud Ferrara, 1986).

Em Jorgensen (1983) são apresentadas várias formulações da relação entre taxa de processo e temperatura.

#### II.2.4.6- Interação sedimento/coluna d'água

O fluxo de massa através da interface coluna d'água/sedimento pode ser importante em lagos. As partículas sedimentadas podem sofrer transformações químicas e biológicas que podem resultar na liberação de elementos na forma dissolvida para a coluna d'água. Partículas sedimentadas de nitrogênio (orgânico) e fósforo (orgânico e inorgânico) decompõem para liberar amônia e fósforo dissolvido, respectivamente, para a água. A taxa de liberação de fósforo é fortemente relacionada ao grau de oxigenação na interface, sendo maior sob condições anaeróbias. Substâncias tóxicas que têm sido transportadas para a zona sedimentar, tendo sido adsorvidas pelo material particulado, podem se decompor ou podem ser desorvidas e tornarem-se disponíveis nas águas intersticiais.

Uma aproximação do fenômeno tem sido a modelagem da taxa de transferência como de primeira ordem. Uma aproximação mais sofisticada tem sido usada para modelar os 3 estágios do processo: sedimentação da partícula, reação no sedimento convertendo a substância particulada em dissolvida e difusão da forma dissolvida através das camadas do sedimento até a coluna d'água (Lung et alii, 1976, apud Ferrara, 1986). A sedimentação já foi abordada no item II.2.4.2.2, e a transformação da forma particulada para a dissolvida é modelada como uma reação de primeira ordem com respeito a concentração da forma particulada na camada do sedimento. Já a difusão, através de cada camada e na água logo acima do sedimento, é aproximada pela equação:

$$\frac{\partial [P_d]_i}{\partial t} = \frac{D}{e_i} \frac{\partial [P_d]_i}{\partial z} \quad (2.36)$$

onde D é o coeficiente de difusão,  $[P_d]_i$ , a concentração de P dissolvido na camada i, z, a direção vertical e  $e_i$ , a espessura da camada i.

A equação geral para a concentração de uma substância, [S], através de toda a zona de sedimento é dada por:

$$\frac{\partial[S]}{\partial t} = D \frac{\partial^2[S]}{\partial z^2} - w_s \frac{\partial[S]}{\partial z} + \frac{d[S]}{dt} \quad (2.37)$$

onde todos os termos são definidos como anteriormente.

#### II.2.4.7- Estratificação Térmica

Em lagos e reservatórios há a possibilidade de variação vertical da qualidade devido à estratificação térmica. Isto raramente ocorre em lagos rasos (profundidade menor que 10m), mas está usualmente presente em lagos com profundidades maiores que 30m. Em profundidades intermediárias, a tendência a estratificar depende de condições meteorológicas e topográficas. Em lagos temperados, a estratificação é sazonal; em lagos tropicais é permanente. Na maioria dos casos, a estratificação térmica condiciona a estratificação química, ou seja, gases e compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água podem apresentar distribuições heterogêneas na coluna d'água.

Como o estudo se trata de um lago raso, com profundidade menor que 3m, não será detalhado este processo. Cabe aqui somente citar como um processo que pode influenciar em muito o destino do poluente num ecossistema aquático.

#### II.2.5- Substâncias conservativas e não-conservativas

As substâncias podem ser classificadas em duas categorias: não conservativas e conservativas. Substâncias não conservativas são aquelas para as quais a massa muda em função do tempo, devido à alguma reação que possa acontecer, enquanto as conservativas são aquelas para as quais a massa é independente do tempo. Um determinado constituinte pode ser conservativo em certos sistemas e não conservativos em outros. Por exemplo, em um sistema caracterizado por condições aeróbias, e ausência de crescimento significativo de plancton, o nitrato pode ser uma substância conservativa; em um sistema caracterizado por condições aeróbias e significativo crescimento de algas ou outras plantas aquáticas, o nitrato poderia ser uma substância não conservativa, sua concentração sendo sujeita a mudar



pela síntese da planta. É um sistema caracterizado por condições anaeróbias, poderia estar como uma substância não conservativa e sua concentração sendo sujeita a mudar pela bactéria denitrificadora (Pavoni-1977).

A modelagem de uma substância não conservativa requer o conhecimento das reações que podem ocorrer com ela ao longo do tempo. Algumas destas formulações foram abordadas no item II.2.4 e elas representam o termo  $R_M$  da equação (2.1).

Simulações do comportamento das substâncias conservativas são geralmente menos complexas que das não conservativas. As substâncias conservativas não reagem, ou seja, sua massa não muda com o tempo, assim o termo  $R_M$  na equação (2.1) é nulo.

## II.2.6- Procedimentos de Modelagem

Um procedimento tentativo de modelagem proposto por Jorgensen (1986) é ilustrado na figura II.5. O ponto de partida, então, é definir o problema e integrá-lo dentro de suas limitações para representar o ecossistema. A falta de dados é um dos fatores que influenciam significativamente todos os passos da modelagem, levando, frequentemente, à aceitação de níveis mais baixos de precisão que o desejado no início do trabalho.

Após a elaboração dos processos significativos relativos ao problema e das respectivas formulações matemáticas, o modelo deve passar pelos procedimentos conhecidos como verificação, análise de sensibilidade, calibração e validação. Esta sequência não deve ser considerada rígida, mas sim uma operação iterativa. Abaixo são explanados brevemente cada um destes quatro passos.

### II.2.6.1- Verificação

É um teste de lógica interna do modelo, verificando se o modelo reage como o esperado. A verificação é uma avaliação subjetiva do comportamento do modelo.

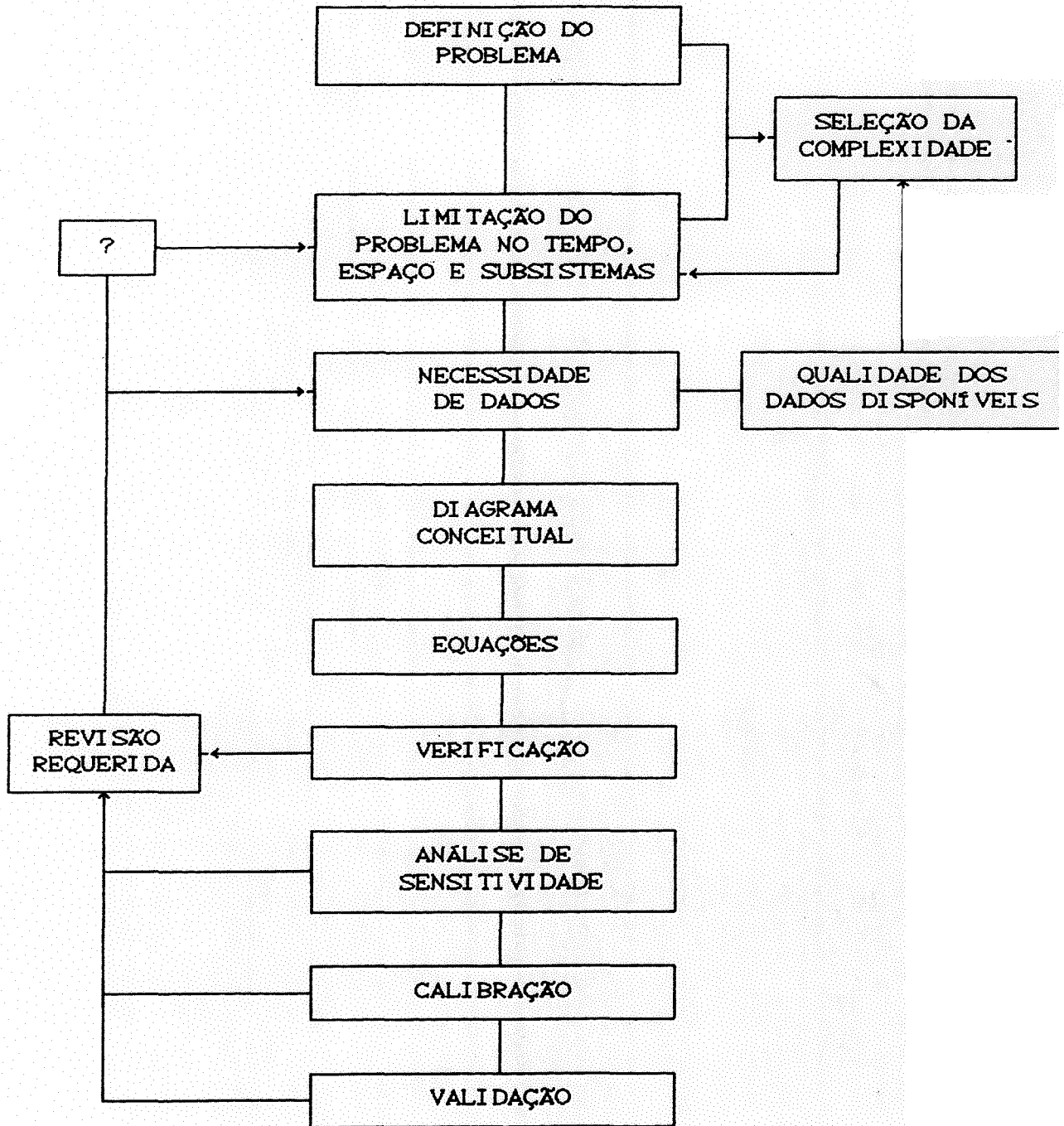


FIGURA II.5: Procedimento de modelagem (Jorgensen, 1986)

### II.2.6.2- Análise de sensibilidade

O que se quer estabelecer com a análise de sensibilidade é a relativa sensibilidade das predições do modelo face às mudanças nos valores dos parâmetros do modelo  $\beta$ . Um coeficiente de sensibilidade  $S_{ij}$  para a mudança  $\Delta C_i$  na  $i$ -ésima variável de estado do modelo em resposta a uma mudança  $\Delta \beta_j$  no valor do  $j$ -ésimo parâmetro, pode simplesmente ser definido como:

$$S_{ij} = \frac{\Delta C_i / \bar{C}_i}{\Delta \beta_j / \bar{\beta}_j} \quad (2.38)$$

### II.2.6.3- Calibração

Através da calibração se busca encontrar a melhor harmonia entre as variáveis de estado preditas e observadas, pela variação dos parâmetros. É realizada por tentativas até se obter o melhor ajuste.

A função objetivo que pode ser utilizada na calibração é dada por:

$$Y = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_o^i - X_p^i)^2}{X_m^i} \right]^{1/2} \quad (2.39)$$

onde  $X_p^i, X_o^i$  são os valores predito e observado, respectivamente, da  $i$ -ésima variável de estado e  $X_m^i$  é a média dos valores observados da  $i$ -ésima variável de estado.

### II.2.6.4- Validação

A validação é um teste objetivo sobre quão bem a resposta do modelo se ajusta aos dados medidos. Após a calibração, os valores preditos são comparados com outra série de dados observados, não utilizada na calibração.

### II.2.7- Alguns Modelos Teóricos

Os diversos modelos desenvolvidos diferenciam-se pelo grau de aproximação com que eles predizem os resultados. Isto é função, principalmente, da qualidade dos parâmetros de entrada e das equações

utilizadas para simular os fenômenos de interesse.

Existem uma variedade de modelos desenvolvidos, cada qual abrangendo determinados problemas em ecossistemas característicos. Como exemplo, a eutrofização, que pode ser considerada um dos problemas mais graves na gestão da qualidade da água de lagos rasos, envolve transporte de nutriente em rios e transporte de nutrientes para e do fundo do lago em adição aos processos químicos e biológicos no lago. Assim, modelos matemáticos oferecem uma possibilidade para uma aproximação integrada.

O'Connor (1989) fez uma análise da variação sazonal e a longo prazo de sólidos dissolvidos em lagos e reservatórios. O modelo utiliza soluções analíticas das equações hidrológicas e do balanço de massa. A aproximação geral constitui primeiramente no desenvolvimento de um balanço hidrológico do corpo d'água, estabelecendo a variação temporal do volume. Posteriormente, a construção de um balanço de massa de sólidos dissolvidos incorpora os elementos relevantes do balanço da água. As equações foram aplicadas às condições hidrológicas em estado estacionário (steady-state) e não estacionário, em conjunto com várias fontes de sólidos dissolvidos. Foram estudados: os efeitos a longo prazo e sazonal de sais nas concentrações de cloreto na baía de Irondequoit, Nova York; a mudança na salinidade, devido ao escoamento superficial e à drenagem de áreas de irrigação na bacia fechada do mar Salton, Califórnia; os efeitos do armazenamento na qualidade da água no reservatório Cheney, Kansas e o aumento na salinidade no Lago Mono, uma bacia fechada na Califórnia. Chegando a um razoável acordo com os dados de nível da água, volume e concentração observados, O'Connor (1989) fornece uma ferramenta adicional em análises de problemas de qualidade da água, similares ao apresentado.

Los e Brinkman (1988) publicaram o desempenho do modelo BLOOM II, modelo utilizando uma técnica de otimização, a programação linear, para calcular a concentração total máxima da biomassa de diversas espécies do fitoplâncton em equilíbrio, num certo período de tempo, consistente com as concentrações ambientais. O modelo tem sido aprimorado, chegando a completo acordo com o propósito do modelo. Para

predizer os impactos de medidas de saneamento, foi integrado um modelo químico sofisticado chamado CHARON (Los et alii,1984) que usa duas leis básicas: a lei da conservação da massa e a lei da ação das massas. Este modelo calcula a composição química da água superficial como um resultado de cargas externas, a troca com o fundo e com a atmosfera, processos bioquímicos e de efluentes. Unindo a esses dois modelos o modelo de qualidade geral DELWAQ, torna-se possível aplicar o modelo combinado a algum tipo de sistema hidráulico (mesmo tridimensional) uma vez que movimentos da água são conhecidos. São ilustrados os resultados da simulação para os lagos Veluwe e Wolderwijd (Los e Brinkman,1988), concluindo que os níveis de clorofila calculados e medidos estão de acordo para ambos os lagos.

No lago Marken, no centro da Holanda, com profundidade média de 3.6m e sedimento constituído de muito material siltooso, os processos de resuspensão e sedimentação controlam a qualidade da água. Estes processos variam a turbidez e, conseqüentemente, a flutuação da energia da luz disponível causando à população de algas condições sub-ótimas por períodos prolongados. Para simular a influência da mudança na geometria do lago (novos diques) no crescimento do fitoplâncton, iniciou-se o desenvolvimento de um modelo horizontal bidimensional. Houve um interesse especial nas algas verde-azuis que podem se desenvolver sob certas condições e causar prejuízos como vêm causando a outros lagos na área. Para este trabalho (Duin e Lijklema,1989), foi desenvolvido um modelo determinístico, o qual combina 4 submodelos, sendo dois deles desenvolvidos para o projeto: modelo unidimensional da luz e o de crescimento de algas. Os modelos abordam:

- WAQUA: para fluxo não estacionário de profundidade média. Considera a difusão e a advecção.

- STRESS-2D: modelo bidimensional de transporte de sedimento para lagos rasos. Expande a equação da difusão-advecção com o termo fontes e sumidouros, representando resuspensão e sedimentação, respectivamente. A sedimentação é modelada como um processo de primeira ordem em concentrações de sólidos suspensos e proporcional à velocidade baixa. A resuspensão é dada por vários modelos que estão disponíveis dentro do STRESS-2D, que devem ser calibrados para a área em estudo.

- Modelo Unidimensional da Luz: calcula disponibilidade da luz na coluna d'água proveniente da radiação solar.

- Modelo Dinâmico de Crescimento Global: o crescimento de Oscillatoria agardhii é descrito como dependente de circunstâncias físicas, especialmente de condições de flutuações da luz. A competição interna entre espécies de algas é negligenciada, uma vez que é assumido que condições de estado estacionário nunca são alcançadas. Considerando o sedimento como um reservatório de nutrientes do lago e considerando também uma taxa de circulação de nutrientes, estes não são considerados fatores limitantes para o crescimento do fitoplâncton.

No Japão, também foi utilizado um modelo matemático para prever as mudanças de qualidade da água no lago Biwa, um lago eutrofizado (Okugawa & Somita 1983). O modelo considera as reações de perdas, as quais são esperadas que ocorram, tais como o crescimento e a decomposição algal, a sedimentação de material suspenso, as reações de auto-purificação em materiais orgânicos e a liberação do sedimentos entre outras. A carga de poluentes orgânicos e nutrientes é considerada em função da vazão do rio e da água subterrânea. O modelo de balanço de DQO é desenvolvido considerando as cargas de produção primária da biomassa no lago, em adição às cargas de entrada da bacia de drenagem. Então, o modelo simula as mudanças do fitoplâncton, zooplâncton e nutrientes e prediz a mudança diária da vazão do rio baseado na intensidade de precipitação. O modelo assume que o lago possui mistura completa. A simulação no lago Biwa teve sucesso, dentro da média e desvio padrão desejados. A variação sazonal típica do nitrogênio inorgânico foi bem identificada. Como foi assumida mistura completa, as simulações são melhor expressas em mudanças suaves, assim, as florações acidentais do fitoplâncton não puderam ser sempre simuladas satisfatoriamente.

Martin (1988) aplicou o modelo CE-QUAL-W2 (Corps of Engineers) no Lago DeGray em Arkansas, um reservatório conhecido por apresentar alto gradiente longitudinal e vertical na qualidade da água, com pequena variação lateral. CE-QUAL-W2 é um modelo bidimensional, utilizando a equação geral do transporte com solução por diferenças finitas. É apropriado quando o interesse primário é a variação da qualidade ao

longo dos eixos longitudinal e vertical, e onde as variações laterais são pequenas. Utiliza-se nos cálculos as equações da onda em superfície livre, pressão hidrostática, momento horizontal, continuidade, transporte do constituinte e equação de estado relacionando densidade, temperatura da água e concentração de sólidos. Outras considerações do modelo são:

- as reações de decaimento, decomposição e sedimentação seguem uma cinética de primeira ordem;
- não ocorre decomposição da MO dissolvida, detrito e no sedimento com OD menor que 0,1 mg/l;
- o sedimento libera amônia, fósforo e ferro total sob condições anóxicas (menor que 0,5 mg/l O<sub>2</sub>), processo de ordem zero.
- a fotossíntese é função da luz disponível, dos nutrientes e da concentração de algas;
- a respiração de algas;
- atenuação da luz por concentração de sólidos e
- adsorção de partículas de fósforo.

O modelo simula até 20 constituintes de qualidade de água somando a temperatura, densidade e padrão de circulação.

Simulando os parâmetros temperatura, OD, amônia, ortofosfato e ferro total no lago DeGray, resultaram valores consistentes com os dados de campo.

Schnoor e McAvoy (1981) para avaliar o transporte e bioacumulação de pesticidas, desenvolveram um modelo para conhecer o destino e efeitos do dieldrin no ecossistema de um reservatório. O modelo é uma modificação do SRI, Stanford Research Institute Kinetic Model, que contém formulações cinéticas, descrevendo as reações químicas, físicas e biológicas que um pesticida pode sofrer em um trecho do corpo d'água, porém não associa a modelação de transporte e seu destino com os efeitos biológicos (bioconcentração). Este não foi verificado extensivamente com os dados de campo. O modelo de Schnoor et alii considera além das reações químicas, a acumulação em peixes e a depuração (excreção e metabolismo). Nele também pode ser incluída a bioacumulação no sedimento e/ou no alimento.

Yoshida et alii (1987) aplicaram o modelo SAFECAS (Simplified Approach for Fate Evaluation of Chemicals in Aquatic Systems) para

avaliar o destino de 2,4,6-T em um rio, um lago oligotrófico e em um lago eutrófico. SAFECAS é um modelo baseado no conceito de equilíbrio multifase num estado não constante, no qual é assumido que um sistema aquático consiste de duas fases:

- ÁGUA: compreende água e sólidos suspensos.

- SEDIMENTO: compreende água nos poros intersticiais e fração de matéria particulada.

Sob consideração de balanço químico de massa em sistemas aquáticos, os processos de transferência de massa intrafase são quantificados como processos de sorção e processos de transferência de massa interfase são quantificados como processos de difusão molecular.

Simons e Lam (1986), elaboraram um modelo bidimensional de transporte de poluente, onde os cálculos hidrodinâmicos são completados antes do início dos cálculos de qualidade de água. Assim, o pacote consiste de duas partes. A primeira parte considera um corpo d'água relativamente bem misturado na vertical, calculando a corrente média vertical. Fornece nesta etapa, as flutuações do nível d'água e os componentes da velocidade, U e V. Na segunda fase, a parte não divergente do transporte é determinada para, segundo os autores, assegurar a conservação da massa com um modelo de função corrente. Com os valores de U e V não divergentes, seguem as subrotinas de advecção e difusão da concentração da substância em estudo, bem como uma subrotina de reações bioquímicas. Esta subrotina pode ser substituída por outra que simule um fenômeno de interesse. É um modelo para lagos e reservatórios, de fácil aplicação e que requer pouco tempo de execução.

O modelo multicomponente de fósforo para o reservatório Round Valley foi projetado para analisar respostas sazonais de qualidade de água no reservatório. O modelo representa o reservatório como duas camadas completamente misturadas, um epilímnio e um hipolímnio, durante o período de estratificação. Como o fósforo é o nutriente limitante no local, este foi escolhido nas formas: orgânico, inorgânico dissolvido e inorgânico particulado. Assim, estas três variáveis mais OD foram modelados. Na estrutura do modelo estão incluídos processos de transformação e transporte, agrupados nas seguintes categorias: sedimentação, mistura vertical, interação



água-ar, mineralização, fotossíntese e interação água-sedimento. O programa fornece respostas mensais das variáveis simuladas (Ferrara e Griffin, 1986). Assim, a qualidade da água em lagos resulta da combinação de três fatores:

- do que está entrando e padrão de mistura no lago;
- processos físicos e químicos durante o tempo de detenção; e
- crescimento biológico e seu papel na remoção e liberação de substâncias.

Estes fatores devem ser levados em consideração, seja na escolha de um modelo, seja na sua elaboração, de tal forma que as simplificações estejam dentro das características do corpo d'água em estudo e, conseqüentemente, forneça um resultado o mais real possível, dentro da precisão desejada.

A elaboração de um modelo completo, que leve em consideração todos os processos que participam do sistema aquático tal qual a realidade, é praticamente impossível, dado que as formulações matemáticas que simulam os fenômenos são válidas até uma certa extensão. De uma maneira geral, a modelação exige algumas suposições e simplificações que permitam o tratamento matemático com precisão, tempo e custo razoáveis.

#### II.2.8- Estrutura do Modelo da ASCE

O modelo da ASCE (American Society Civil Engineering) é um modelo bidimensional verticalmente integrado, onde não é detalhada a variação vertical do fluxo e somente o transporte total de massa na célula é considerado. Foi projetado para lagos e reservatórios de pouca profundidade, por Simons e Lam (1986).

O sistema computacional consta de uma sequência de subrotinas em linguagem FORTRAN, com método de resolução por diferenças finitas. Resume-se na simulação da circulação e transporte de poluentes, com possibilidade de acréscimo de uma subrotina que simule os processos bioquímicos. A figura II.6 apresenta um fluxograma geral da estrutura do modelo.

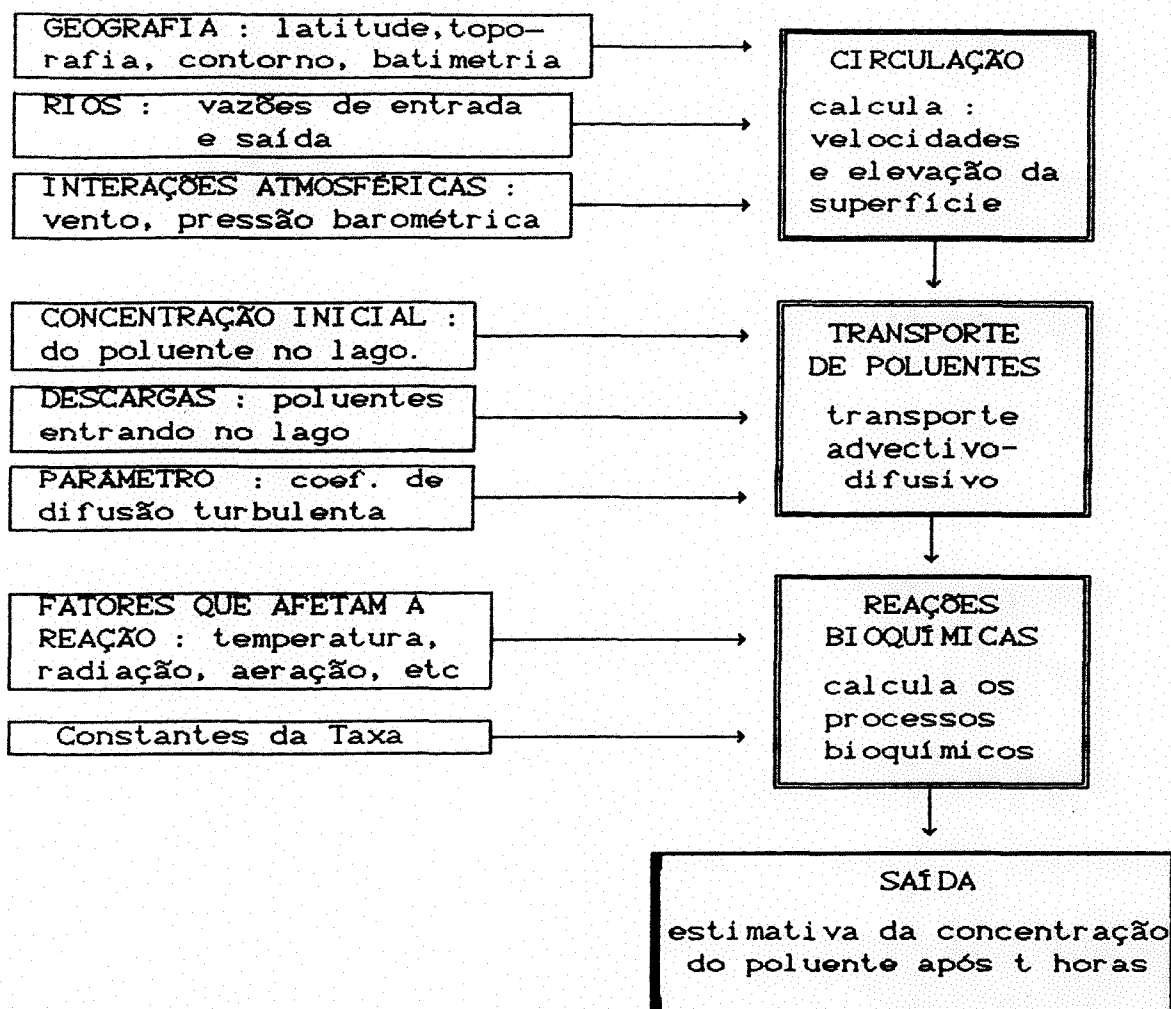


FIGURA II.6: Fluxograma da estrutura do modelo.

#### II.2.8.1- Grade de Cálculo

O modelo requer a discretização espacial da lagoa. Para isto, utiliza-se uma grade regular de elementos quadrados. Os elementos da malha que ficam fora da lagoa, bem como os que formam as ilhas e rios, assumem valores nulos para fins de cálculo.

O elemento computacional adotado no modelo (fig. II.7) considera uma combinação particular de subscritos I e J. O mesmo subscrito se refere a diferentes posições no elemento, dependendo da variável de interesse. A convenção adotada é mostrada na figura II.7.

Não há restrições quanto à forma do corpo d'água ou ilhas dentro

dele. Canais podem constituir de apenas uma célula, no entanto, o modelo considera que não existe conexão dinâmica entre células adjacentes a não ser que elas tenham pelo menos um lado em comum. Assim, células que se tocam em somente um canto são consideradas desconectadas.

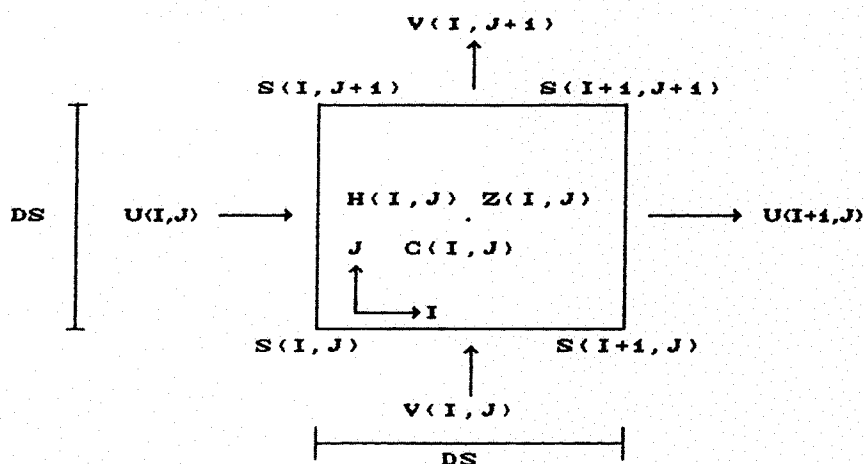


FIGURA II.7: Esquema da célula computacional. H: profundidade, Z: elevação da superfície acima da média, C: concentração, U e V: componentes do transporte, S: função corrente, (I, J): posição da variável na grade.

Neste pacote, é assumido que os cálculos hidrodinâmicos são completados antes do início dos cálculos referentes à qualidade de água, assim, de modo geral, o modelo está dividido em duas partes: modelo hidrodinâmico (CIRCUL) e modelo de transporte de poluentes (TRANSPOL). Isto permite utilizar um campo de velocidades obtido por um outro modelo para o cálculo de transporte advectivo-difusivo da substância em estudo.

#### II.2.8.2- Transporte Hidrodinâmico (CIRCUL)

Este modelo de circulação calcula as correntes médias verticais num lago, o qual é relativamente bem misturado. Pode ser formulado de duas maneiras: modelo de superfície livre e modelo de função corrente.

##### II.2.8.2.1- Modelo de Superfície Livre

Originalmente projetado para predição de ondas de cheias produzidas por tormentas, este modelo calcula a elevação da superfície livre (Z) e as correntes verticalmente integradas (U, V) para uma dada

tensão de vento e componentes do transportes de rios prescritos.

As equações (2.40) a (2.42) utilizadas neste modelo são oriundas das equações da conservação da quantidade de movimento e a da continuidade. As acelerações não lineares são negligenciadas, a rotação da Terra é incluída, o atrito de fundo pode ser linear ou não linear e a difusão horizontal não é necessária para a estabilidade (Simons e Lam, 1986). São dadas por:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = f.V - g.H. \frac{\partial Z}{\partial x} - B.U + \tau_{sx} \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -f.U - g.H. \frac{\partial Z}{\partial y} - B.V + \tau_{sy} \quad (2.41)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = - \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial V}{\partial y} \quad (2.42)$$

U, V : componentes do transporte por unidade de largura (cm<sup>2</sup>/s)

Z : elevação da superfície acima da média (cm)

f : coeficiente de Coriolis

g : aceleração da gravidade (cm/s<sup>2</sup>)

H : profundidade (cm)

B : coeficiente de tensão de fundo (s<sup>-1</sup>)

sendo  $\tau_b$  a tensão de fundo, dada por:

$$\tau_{bx} = B.U \quad \text{e} \quad \tau_{by} = B.V \quad (2.43)$$

$\tau_s$  : tensão de vento (cm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)

As formulações do coeficiente de tensão de fundo são dadas por:

$$\text{Não linear} : B = C_d.(U^2 + V^2)^{1/2}/H^2 \quad C_d \cong 0,002 \quad (2.44)$$

$$\text{Linear} : B = a/H \quad a \cong 0.01 - 0.05 \text{ cm/s} \quad (2.45)$$

$$\text{Semi-linear} : B = b/H^2 \quad b \cong 10 - 100 \text{ cm}^2/\text{s} \quad (2.46)$$

O modelo utiliza uma tensão média de cisalhamento superficial em todo o lago, sendo  $\tau_s$  dada por (similar àquela adotada para a tensão de fundo para atrito não linear):

$$\vec{\tau}_s = c_v \cdot \frac{\rho_{ar}}{\rho} \cdot |W| \cdot \vec{W} \quad (2.47)$$

W é a velocidade do vento (em cm/s) medido a uma altura definida,  $\rho$  é a densidade da água,  $\rho_{ar}$  é a densidade do ar e  $c_v$  é um coeficiente de tensão de vento.

O coeficiente de Coriolis é dado por:

$$f = 2 \cdot \omega \cdot \text{sen } \psi \quad (2.48)$$

onde  $\omega$  é a velocidade angular de rotação da Terra e  $\psi$  é a latitude do local.

As derivadas no tempo e espaço são aproximadas por diferenças centrais, em varreduras verticais da esquerda para a direita e de baixo para cima. A extrapolação procede predizendo primeiro a elevação da superfície Z, em seguida as componentes do transporte divergente U e V, em todos os tempos, utilizando os últimos valores disponíveis de todas as variáveis.

Nos cálculos numéricos, é desejável usar passos de tempo e espaço tão grandes quanto a precisão desejada permitir. O método limita esses passos para valores que não comprometam sua estabilidade e precisão. Assim, os seguintes limites devem ser satisfeitos:

$$\Delta t < \frac{DS}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_{\max}}} \quad \text{e} \quad \Delta t < \frac{1}{B_{\max}} \quad (2.49)$$

A variável Z é calculada somente se o valor de H for diferente de zero, enquanto que U e V são calculados somente para aqueles lados da célula onde ambas células adjacentes têm profundidades diferentes de zero.

#### II.2.8.2.2- Modelo de Função Corrente

Este modelo elimina ondas provocadas pela gravidade. Para isto, as correntes médias verticais devem ser não divergentes. Assim, elas podem ser representadas por uma função corrente. Enquanto a parte divergente do transporte determina as variações do nível da superfície, ela não é importante para o transporte de poluentes. Portanto, o programa de advecção usa somente a parte não divergente. Isto pode ser escrito por:

$$U = \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial S}{\partial y} \quad \text{e} \quad V = \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial S}{\partial x} \quad (2.50)$$

onde:

P : transporte potencial representando a parte divergente do transporte;

S : função corrente, da parte não divergente.

Uma diferenciação cruzada das equações anteriores dá a vorticidade F:

$$F = \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial y} = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \quad (2.51)$$

Então, com os valores do transporte U e V, a vorticidade F é calculada em cada ponto da grade dentro do lago. Conhecida a vorticidade, a função corrente S pode ser calculada. Isto é feito por relaxação para células dentro do lago. No caso do contorno, a função corrente S é calculada por :

$$S(I+1, J) = S(I, J) + DS \cdot V(I, J) \quad (2.52)$$

$$S(I, J+1) = S(I, J) - DS \cdot U(I, J) \quad (2.53)$$

O programa considera células dentro do lago, aquelas que possuem  $H > 0$  e células adjacentes também com  $H > 0$ . Células do contorno são aquelas em que uma das duas profundidades das células adjacentes é zero e a outra não.

### II.2.8.3- Modelo de Transporte de Poluentes

O modelo de transporte de poluentes é centrado nos processos advectivos. Quando há este interesse, é suficiente utilizar a parte não divergente do transporte verticalmente integrado. Isto se torna conveniente, visto que é importante assegurar a conservação da massa de água em um modelo de transporte. Enquanto esta condição apenas pode ser encontrada em um modelo de superfície livre, ela sempre é satisfeita por um modelo de função corrente (Simons & Lam, 1986).

O modelo é baseado no princípio da conservação da massa. Os cálculos são feitos assumindo o corpo d'água como uma única camada, onde os autores consideram os seguintes processos:

$$\frac{\partial (HC)}{\partial t} \Big|_{ij} = \underbrace{X_{ij} - X_{i+1,j} + Y_{ij} - Y_{i,j+1}}_{AD} - \underbrace{W_{ij} \cdot C_{ij}}_{Sed} + \underbrace{\frac{GP}{DS^2} \Big|_{ij}}_{ES} \quad (2.54)$$

onde:

$$X_{ij} = \frac{U_{ij}}{DS} \cdot C^* + \frac{DIFF}{DS^2} \cdot \frac{H_{i-1,j} + H_{i,j}}{2} (C_{i-1,j} - C_{ij}) \quad (2.55)$$

$$Y_{ij} = \frac{V_{ij} \cdot C^{**}}{DS} + \frac{DIFF}{DS^2} \cdot \frac{H_{i,j-1} + H_{ij}}{2} (C_{i,j-1} - C_{ij}) \quad (2.56)$$

onde: DS : tamanho da célula (cm)

X, Y : termos representando a advecção-difusão da substância.

DIFF : coeficiente de difusão horizontal turbulenta (cm<sup>2</sup>/s)

W<sub>s</sub> : velocidade de sedimentação da substância (cm/s)

GP : Ganhos e perdas.

C\* : concentração da substância, se esquema de cálculo for:

diferenciação à montante e U<sub>ij</sub> >= 0 : C\* = C<sub>i-1,j</sub>

diferenciação à montante e U<sub>ij</sub> < 0 : C\* = C<sub>ij</sub>

diferenciação central : C\* = (C<sub>i-1,j</sub> + C<sub>ij</sub>)/2

C\*\* : concentração da substância, se esquema de cálculo for:

diferenciação à montante e V<sub>ij</sub> >= 0 : C\*\* = C<sub>i,j-1</sub>

diferenciação à montante e V<sub>ij</sub> < 0 : C\*\* = C<sub>ij</sub>

diferenciação central : C\*\* = (C<sub>i,j-1</sub> + C<sub>ij</sub>)/2

AD : Advecção-Difusão

Sed : Sedimentação

ES : Ganhos e perdas através de rios afluentes e efluentes, e descargas poluidoras.

O esquema de diferenciação temporal explícito é utilizado como método de cálculo neste modelo. O seguinte critério de estabilidade temporal deve ser satisfeito:

$$\frac{U_{ij} \Delta t}{H_{ij} DS} < 1 \quad \text{e} \quad \frac{DIFF \cdot \Delta t}{DS^2} < \frac{1}{2} \quad (2.57)$$

#### II.2.8.4- Reações bioquímicas

As reações bioquímicas devem ser incluídas no modelo quando estas estiverem presentes, bem como outros processos que no modelo não estão sendo considerados.

Simons e Lam (1986) apresentam uma subrotina de reações bioquímicas para fósforo particulado (PP) e dissolvido (PD). O

algoritmo inclui conversão de PP à forma solúvel, descrevendo o decaimento do fitoplâncton e a conversão de PD à forma particulada, descrevendo a relação crescimento de fitoplâncton/ingestão de PD. O algoritmo pode ser resumido na figura II.8.

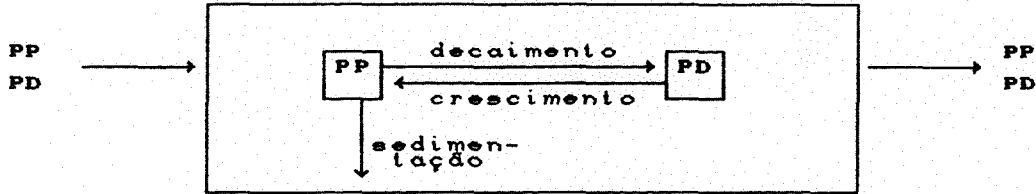


Figura II.8: Esquema do algoritmo de fósforo.

As equações básicas deste modelo são:

$$\frac{\partial [PD]}{\partial t} = \left[ - FT \cdot FL \cdot \frac{[PD]}{[PD] + C_c} + K_1 \cdot 1,07^T \right] \cdot [PP] \quad (2.58)$$

$$\frac{\partial [PP]}{\partial t} = \left[ FT \cdot FL \cdot \frac{[PD]}{[PD] + C_c} - K_1 \cdot 1,07^T \right] \cdot [PP] \quad (2.59)$$

onde:

[PD] : concentração de fósforo reativo solúvel ( $g/cm^3$ )

[PP] : concentração de fósforo particulado ( $g/cm^3$ )

FT : representa uma taxa de crescimento máximo específico de fitoplâncton como uma função da temperatura, dada por:

$$FT = 5E-6 \times 1,07^T \quad (2.60)$$

FL : fator luz (0 a 1)

$C_c$  : constante a meia saturação ( $g/cm^3$ )

$K_1$  : taxa de respiração ( $s^{-1}$ )

T : temperatura ( $^{\circ}C$ )

#### II.2.8.5- Parâmetros de entrada do modelo

##### II.2.8.5.1- Modelo CIRCUL:

Tempo de simulação (horas)

Intervalo de tempo de impressão (horas)

Passo de tempo de cálculo (s)

Grade de profundidades (cm)

Identificação das células onde há entradas ou saídas de rios



Componentes do transporte referentes às entradas/saídas de rios  
( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

Componentes da tensão de vento ( $\text{cm}^2/\text{s}^2$ )

Coeficiente de Coriolis

Aceleração da gravidade ( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

#### II.2.8.5.2- Modelo TRANSPOL:

Número total de passos de simulação

Intervalo de passos para impressão

Passo de tempo de cálculo (s)

Método de cálculo

Número de variáveis de qualidade a simular

Concentração inicial das variáveis a simular ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

Grade de profundidades (cm)

Grades dos componentes do transporte divergente U,V

Identificação das células onde há entradas/saídas de rios e/ou  
descargas das variáveis a simular

Concentrações das variáveis nos rios de entrada ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

Carga das variáveis não provenientes dos rios (g/s)

Velocidade de sedimentação das variáveis (cm/s)

Coeficiente de difusão turbulenta horizontal ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

Fator luz

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

Taxa de respiração ( $\text{s}^{-1}$ )

Constante à meia saturação ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

#### II.3- Avaliação da qualidade da água através de índices

O índice de qualidade de água tem o objetivo de resumir o grande número de dados existentes, numa forma que possibilite pronta interpretação e reconhecimento das tendências da qualidade de água, ao longo do tempo e do espaço. Com o grande número de dados brutos, esse tipo de análise se torna demorada e confusa em função da grande quantidade de informações e conseqüente sobreposição dos dados. Como o índice é designado a sumarizar, no processo de simplificação, algumas informações são perdidas, comprometendo a informação da tendência da qualidade da água. Todavia, se o índice é projetado corretamente, a

informação perdida não deixa séria distorção na resposta das questões. O cuidado que se deve tomar ao utilizar um índice, é aplicá-lo para fins para o qual ele foi criado e analisar detalhadamente seu resultado, para dar a devida interpretação ao corpo d'água em estudo.

Tem sido identificados na literatura alguns papéis básicos dos índices ambientais:

- instrumento acessório na interpretação de dados, auxiliando na avaliação preliminar dos resultados;

- representação da qualidade da água numa escala numérica, fornecendo um meio de julgar a efetividade de programas de controle ambiental;

- um meio de comparar condições da água ao longo do tempo e em várias localizações geográficas; e

- comunicação explícita entre profissionais e o público, mantendo o público informado em termos simples e compreensível da quantidade e localização da poluição.

O índice não é apropriado para decisões que requeiram um conhecimento mais detalhado e preciso do corpo d'água. O mais significativo problema na utilização e até mesmo na criação de um índice é que o uso da água é diversificado e a qualidade da água desejável para cada propósito varia tremendamente.

Ambos os métodos de análise, biológico e físico-químico, apesar de reproduzirem resultados de uma mesma água, seus conteúdos são de naturezas diferentes. Com raras exceções (James e Evison, 1979) são encontradas correlações entre carga poluente e o estado biológico de uma água. Assim, na maioria das vezes, os dois métodos são complementares, devendo ser utilizados de uma forma integrada.

No item II.3.1 é apresentado o índice de diversidade de espécies, aplicados no monitoramento biológico. No item II.3.2 são apresentados alguns índices de qualidade da água.

### II.3.1- Índice Biológico

Os índices biológicos geralmente avaliam a qualidade da água em termos de seu impacto na vida aquática. Existem três maneiras básicas

de avaliação. A primeira enfoca o tipo e a quantidade de certos organismos indicadores. A segunda concentra em propriedades matemáticas de populações de organismos, como por exemplo, algumas técnicas que descrevem a diversidade de espécies dentro de comunidades biológicas. A terceira examina as respostas fisiológicas ou de comportamento de certos organismos à poluição.

Este estudo aborda os índices de diversidade. Os índices de diversidade têm sido aplicados no monitoramento biológico baseado nas teorias que, uma comunidade biótica aquática habitando um ecossistema equilibrado, é caracterizada pela ocorrência de uma ampla variedade de espécies, mas somente por um moderado número de indivíduos de cada espécie, e que comunidades sob stresse têm uma redução na sua diversidade, podendo a poluição ser uma forma de stresse ecológico. James e Evison (1979), lembram que uma baixa diversidade pode ser ocasionada por outros stresses, que não a poluição. Assim sendo, embora uma alta diversidade indique boa qualidade da água, uma baixa diversidade não necessariamente indica qualidade pobre, como é o caso de cabeceiras de rios.

Uma forma mais simples de um índice de diversidade, como por exemplo o de Margalef, expressa a riqueza da espécie de uma comunidade e relaciona o número de espécies ao número total de indivíduos. Um índice mais complexo, como o de Shannon-Wiener, leva em consideração também o número de indivíduos por espécie (Jhingran et alii, 1989. James e Evison, 1979).

Alguns índices biológicos disponíveis na literatura têm suas formulações matemáticas apresentadas a seguir:

$$\text{SHANNON-WIENER} \quad ISW = - \sum_{i=1}^S \left[ \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \right] \quad (2.61)$$

$$\text{MARGALEF} \quad IM = \frac{S - 1}{\log N} \quad (2.62)$$

$$\text{BRILLOUIN} \quad IB = \frac{1}{N} \ln \left[ \frac{N!}{n_1! n_2! \dots n_s!} \right] \quad (2.63)$$

$$\text{PIELOU} \quad IP = \frac{ISW}{\log_2 S} \quad (2.64)$$

onde:

ISW : índice de Shannon-Wiener

IM : índice de Margalef

IB : índice de Brillouin

IP : índice de Pielou (índice de equitabilidade)

$n_i$  : número de indivíduos da  $i$ -ésima espécie

$N$  : número total de indivíduos ( $N = \sum n_i$ )

$S$  : número de espécies na amostra

Jhingran et alii (1989) informam a relação entre o índice de Shannon-Wiener e o nível de poluição, obedecendo uma escala negativa, conforme tabela II.1.

Tabela II.1: Relação entre o índice de Shannon-Wiener (ISW) e Qualidade da Água (Jhingran et alii, 1989).

ISW	CONDIÇÃO DA ÁGUA
> 3	limpa
1 - 3	moderadamente poluída
< 1	completamente poluída

### II.3.1.1- Bio-indicadores

Para uma análise biológica de um corpo d'água com finalidade de caracterizar a qualidade ambiental, tem sido preferível utilizar um organismo que apresente uma distribuição mais ampla dentro do ecossistema, evitando os de distribuição restrita. Considerando, também, a sua habilidade em responder a um poluente, o qual é encontrado em uma dada fase (solução, particulada adsorvida).

Segundo Hynes, apud Pineda e Schäfer (1987), uma comunidade de macroinvertebrados bentônicos se mostra muito sensível a alterações do meio, tornando-a um importante instrumento para detectar poluição.

Em ambientes léticos, os organismos que melhor refletem a qualidade da água são aqueles com capacidade de locomoção limitada ou nula.

Phillips (1980) indica um produtor primário quando se tratar de

poluentes ocorrendo principalmente em solução, evitando, assim, efeitos de cadeia, tais como diferenças nas dietas preferidas de populações diferentes de consumidores maiores.

Metais traços e organoclorados (Phillips, 1980) são excessivamente tóxicos ao fitoplâncton. Os metais mais tóxicos indicados por vários autores, citados por Phillips (1980), são Cu, Zn e Hg. Entre os organoclorados, ambos DDT e PCB são conhecidos serem altamente tóxicos com concentrações inferiores a  $1\mu\text{g}/\text{l}$  em exposição. A sensibilidade varia com a espécie e área geográfica. Embora o fitoplâncton tenha atraído considerável interesse com respeito a sua resposta à ação tóxica das substâncias comentadas, ele tem sido raramente usado como verdadeiro indicador para a comparação de abundância de poluente. A principal razão parece ser, segundo Phillips (1980), devido a dificuldade em obter quantidades razoáveis de amostras livres de outros materiais ou organismos e à reconhecida acumulação de poluentes pelo fitoplâncton. É possível que um ou outro, ou ambos desses poluentes possam inibir significativamente a produtividade primária ou alterar a composição das espécies das comunidades fitoplanctônica em alguns casos, pelo menos em águas costeiras poluídas, de baixa circulação, onde poluentes podem acumular a altos níveis em fitoplâncton.

### II.3.2- Índices de qualidade da água

Os índices elaborados seguem principalmente três linhas: análise de estrutura de covariância (componentes principais e análise fatorial), opinião de especialistas e classificação não paramétrica.

Haase et alii (1989) utilizaram a técnica de análise fatorial determinando um índice de qualidade da água (IQA) na bacia hidrográfica do Guaíba, resultando um índice com uma composição final em função de oito variáveis relacionadas à qualidade da água. Este foi um índice criado como instrumento acessório na interpretação dos resultados e na otimização dos recursos aplicados na rede de monitoramento. A análise da componente principal foi utilizada por Shannon & Brezonik (1972), citado por EPA (1981), para elaborar um índice de estado trófico (IET) para lagos da Flórida. O IET é a primeira componente principal.

O índice NSF-WQI (item II.3.2.2) é estruturado com base em julgamento de especialistas e o de Harkins (item II.3.2.4) segue uma classificação não paramétrica.

Outra classificação dada aos índices é em relação às categorias de uso: índices de qualidade para uso geral da água e índices para uso específico da água. Os índices de qualidade geral da água são baseados na suposição que a qualidade da água é um atributo geral das águas superficiais, independente do uso para o qual a água é colocada, contrário ao de uso específico, onde padrões de determinados parâmetros devem ser obedecidos.

Em Ott (1978) cinco índices para usos específicos são abordados: índice de O'Connor, PWS de Deininger e Landwehr, de Walski e Parker, de Stoner e de Nemerow e Sumitomo. O'Connor desenvolveu dois índices para uso específico (para abastecimento público e piscicultura) e comparou sua performance com o índice de qualidade geral NSF-WQI. Deininger e Landwehr desenvolveram um índice para abastecimento de águas públicas, mas concluíram que sua estrutura e performance não são suficientemente diferentes daqueles índices para uso geral para sustentar seu uso. Stoner propôs um índice onde mudanças apropriadas nos coeficientes podem ser usadas para utilizá-lo para abastecimento público ou para irrigação. Nemerow e Sumitomo propuseram índices para três usos separados (contato humano, contato indireto e contato remoto) que quando combinados resulta num índice para uso geral.

Abaixo são apresentados quatro índices formulados para um uso geral da água.

#### II.3.2.1- Índice de Horton (1965)

Horton baseado inteiramente em medidas físicas e químicas, segundo Ott (1978), selecionou 8 parâmetros atribuindo a cada um deles uma escala de classificação e um peso de acordo com sua relativa significância numa qualidade geral do corpo d'água. A escala de classificação dos parâmetros tem uma estrutura linear escalonada de 0 (pior) a 100 (melhor qualidade).

O índice é dado pela expressão:

$$IH = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot I_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \cdot M_1 \cdot M_2 \quad (2.65)$$

onde

- $w_i$  : peso do parâmetro  $i$
- $I_i$  : sub-índice do parâmetro  $i$
- $M_1$  : = 1.0 se temperatura abaixo de  $34^{\circ}\text{C}$   
= 0.5 caso contrário
- $M_2$  : = 1.0 se ausência de poluição óbvia  
= 0.5 caso contrário.

### II.3.2.2- Índice NSF-WQI (1976)

WQI foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF), com base no método DELPHI (da Rand Corporation), uma técnica de pesquisa de opinião que pode ser utilizada para extrair informações de um grupo de profissionais, buscando uma maior convergência nos dados dos parâmetros.

Inicialmente a NSF propôs uma formulação aritmética do WQI (Brown et alii, 1970), porém amostras com somente alguns poucos parâmetros desfavoráveis apresentaram pouca sensibilidade na avaliação da qualidade. Este fato levou a estudos de seis formulações que restringiram às formulações aditiva e multiplicativa. Questionando vários profissionais e comparando com as formulações, a formulação multiplicativa concordou melhor (Development, 1976). Chegou-se a conclusão que, esta última formulação é significativamente mais sensível em refletir situações globais de baixa qualidade, bem como os efeitos de um ou dois parâmetros mais pobres, e que se mostrava igualmente adequado para refletir as variações de qualidade de água. É a formulação multiplicativa dada por:

$$NSF-WQI = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i} \quad (2.66)$$

Os parâmetros selecionados, totalizando dez, foram considerados pelos especialistas os mais relevantes na avaliação da qualidade geral. Se algum parâmetro for omitido, seu peso deve ser distribuído

em proporção ao peso de outros parâmetros. Os valores de  $I_i$  são tirados das curvas na referência (Development, 1976), funções não lineares implícitas.

A escala é decrescente, ou seja, quanto maior o índice, menor a poluição, variando de 0 a 100. São sugeridas 5 classes de classificação por McClelland, Brown e Deininger (Ott, 1978):

0 - 25	péssima qualidade
26 - 50	má qualidade
51 - 70	média qualidade
71 - 90	boa qualidade
91 - 100	excelente qualidade

Segundo alguns autores, a desvantagem do método está no fato de que frequentemente há discordância quanto à relativa importância dos parâmetros. Sendo assim, painéis de especialistas podem dar diferentes pesos para o mesmo parâmetro, tornando possível um posterior questionamento dos resultados por outro painel de profissionais.

### II.3.2.3- Índice de Prati (1971)

Prati et alii, segundo Ott (1978), com base nos sistemas de classificação da qualidade da água adotados na Inglaterra, Alemanha, União Soviética, Tchecoslováquia, Nova Zelândia, Polônia e em alguns estados dos EUA, desenvolveram seu próprio sistema de classificação envolvendo 13 poluentes com faixas de variações em 5 classes. Os limites superiores das 4 primeiras classes são 1 (qualidade excelente), 2 (aceitável), 4 (levemente poluída) e 8 (poluída), os quais correspondem a uma progressão geométrica. Funções matemáticas explícitas foram desenvolvidas para cada poluente, formando os sub-índices, consistentes com a faixa de classificação. As funções foram baseadas no julgamento dos autores quanto a severidade dos efeitos da poluição dentro de cada faixa.

O índice de Prati é a média aritmética dos 13 sub-índices:

$$I = \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} I_i \quad (2.67)$$

A faixa do índice varia de 0 a 14 (e acima). É uma escala



crecente: quanto maior, maior é a poluição.

#### II.3.2.4- Índice de Harkins (1974)

Harkins usa uma técnica desenvolvida por Kendall, um procedimento de classificação não paramétrica. Consiste do cálculo de distâncias padronizadas para cada observação referente a uma observação de controle escolhida. Os valores de controle devem representar uma condição ótima, que vai depender do corpo d'água em estudo.

O valor do índice (Sn) é calculado por:

$$S_n = \sum_{i=1}^p \frac{(R_{in} - R_{ic})^2}{\text{Var}(R_{in})} \quad (2.68)$$

onde:

$$\text{Var}(R_{in}) = \frac{1}{12n} \left[ (n^3 - n) - \sum_{i=1}^{k_i} (t_{ij}^3 - t_{ij}) \right] \quad (2.69)$$

p : número de parâmetros;

n : número de observações mais o ponto de controle;

$t_{ij}$  : número de elementos envolvidos na j-ésima ligação encontrada no ordenamento dos valores do parâmetro i;

$k_i$  : número total de ligações encontradas na classificação dos valores medidos do parâmetro i;

$R_{in}$  : classificação da n-ésima amostra de água, de acordo com o valor do parâmetro i quando comparado aos valores daquele parâmetro entre todas as amostras de água q;

$R_{ic}$  : valor de controle do parâmetro i;

Um valor baixo de Sn denota um desvio pequeno do valor de controle e, portanto, alta qualidade. Um valor alto denota desvios grandes e baixa qualidade.

O índice de Harkins promove a comparação espacial ou temporal da qualidade da água. O único obstáculo ao utilizar este método está na impossibilidade de uma comparação direta entre séries de dados calculados separadamente. Neste caso, as duas séries devem ser combinadas e uma nova classificação deve ser feita.

Em caso de pesticidas ou qualquer outro elemento tóxico, se um destes exceder o limite permissível, os índices automaticamente se anulam, indo para o valor que indica a pior qualidade.

É conveniente enfatizar que os diversos índices não refletem exatamente as mesmas condições do ambiente e, portanto, cada qual possui um significado próprio em função das variáveis que lhes dão suporte e do ambiente específico (rio, lago, sedimento) (CETESB, 1991). Por outro lado, não se deve querer mais do que o índice possa fornecer.

## CAPÍTULO III METODOLOGIA

### III.1- Área de estudo

A Lagoa Negra faz parte de um complexo sistema lagunar na planície costeira do Rio Grande do Sul (Fig.III.1). Ela sobressai pela cor negra de suas águas. Através da imagem de satélite dessa área (LANDSAT-TM5, órbita 221-80, quadrante B) do dia 26/06/87, pode-se constatar a grande diferença na cor deste corpo d'água com a da Laguna dos Patos. Na imagem mostrada na figura III.2 a água está classificada espectralmente pelo método do paralelepípedo do sistema SITIM-150. Pode-se ver que na Laguna dos Patos existe uma pluma da mesma classe da Lagoa Negra próxima ao canal de ligação destes dois corpos d'água.

#### III.1.1- Situação Geográfica

A Lagoa Negra está situada geograficamente entre as coordenadas 30°20' e 30°24' latitudes sul e 51°02' e 50°56' longitudes oeste. Está localizada dentro do Parque Estadual de Itapoã, parque este criado com a finalidade de preservação ecológica e para o lazer. Fica no município de Viamão, a sudeste do Lago do Guaíba e em torno de suas margens sul e leste está a Laguna dos Patos num nível de 2,80m abaixo da Lagoa Negra. A oeste se encontra o Morro da Grota de 265m de altitude (Fig.III.3).

A comunicação da Lagoa Negra com a Laguna dos Patos é impedida por uma taipa construída há alguns anos (Wolkmer-Ribeiro, 1981). Uma das extremidades dessa barragem, no entanto, permite a passagem da água da Lagoa Negra até a Laguna dos Patos (Grosser e Hahn, 1981).

#### III.1.2- Geomorfologia

Esta região caracteriza-se como uma extensa faixa de depósitos

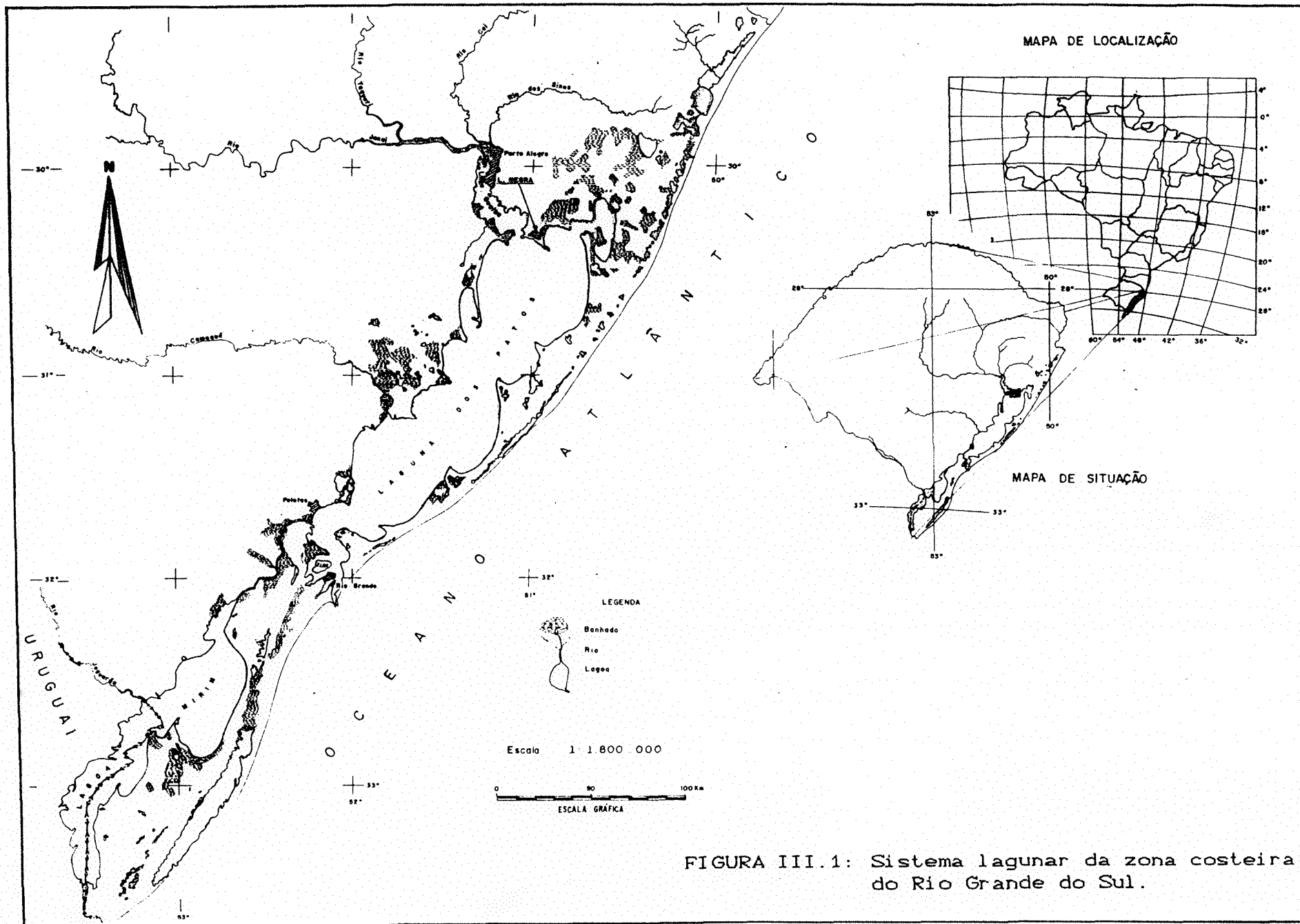


FIGURA III.1: Sistema lagunar da zona costeira do Rio Grande do Sul.

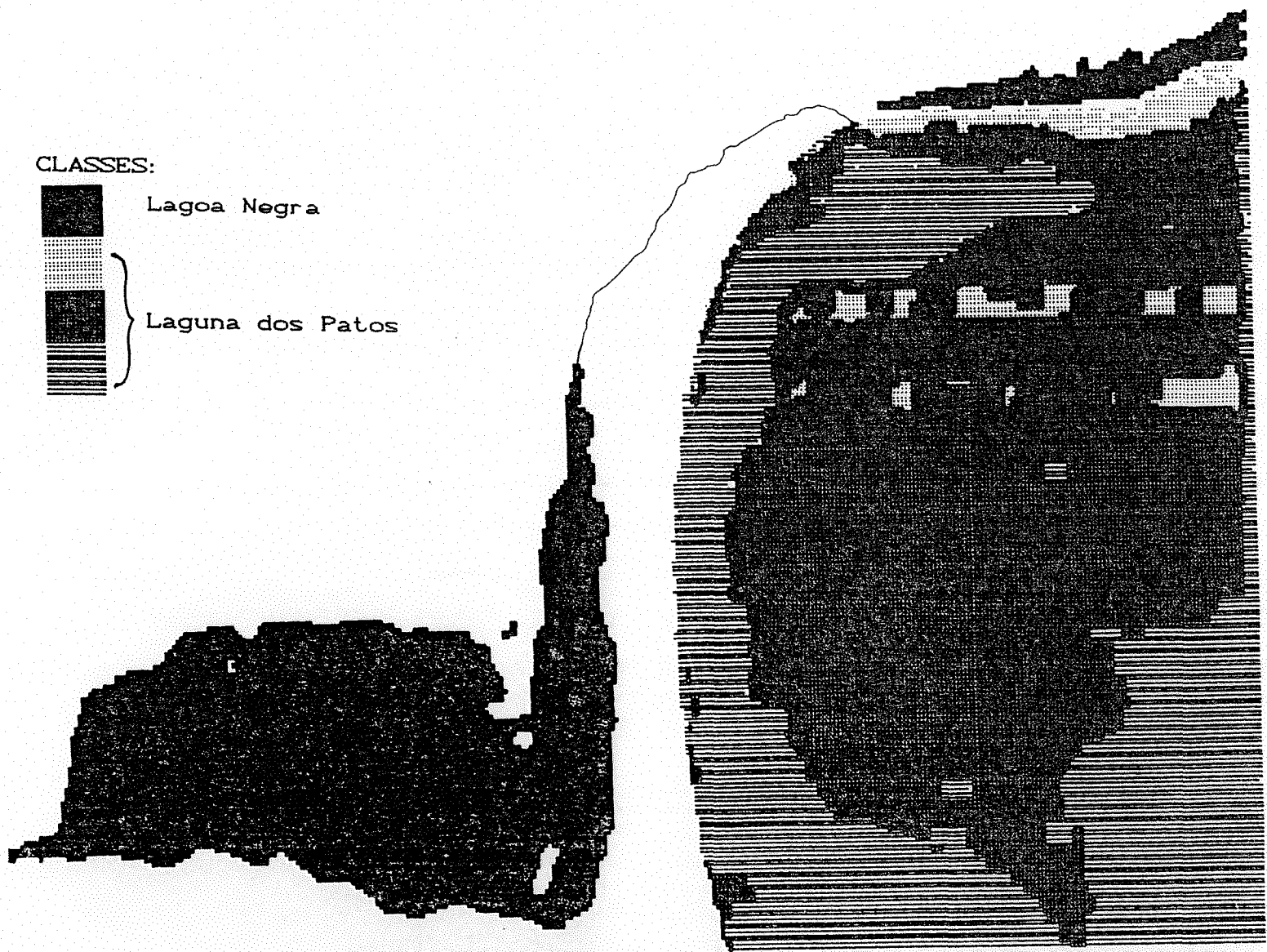


FIGURA III.2: Imagem de satélite classificada espectralmente pelo método paralelepípedo do sistema SITIM-150.

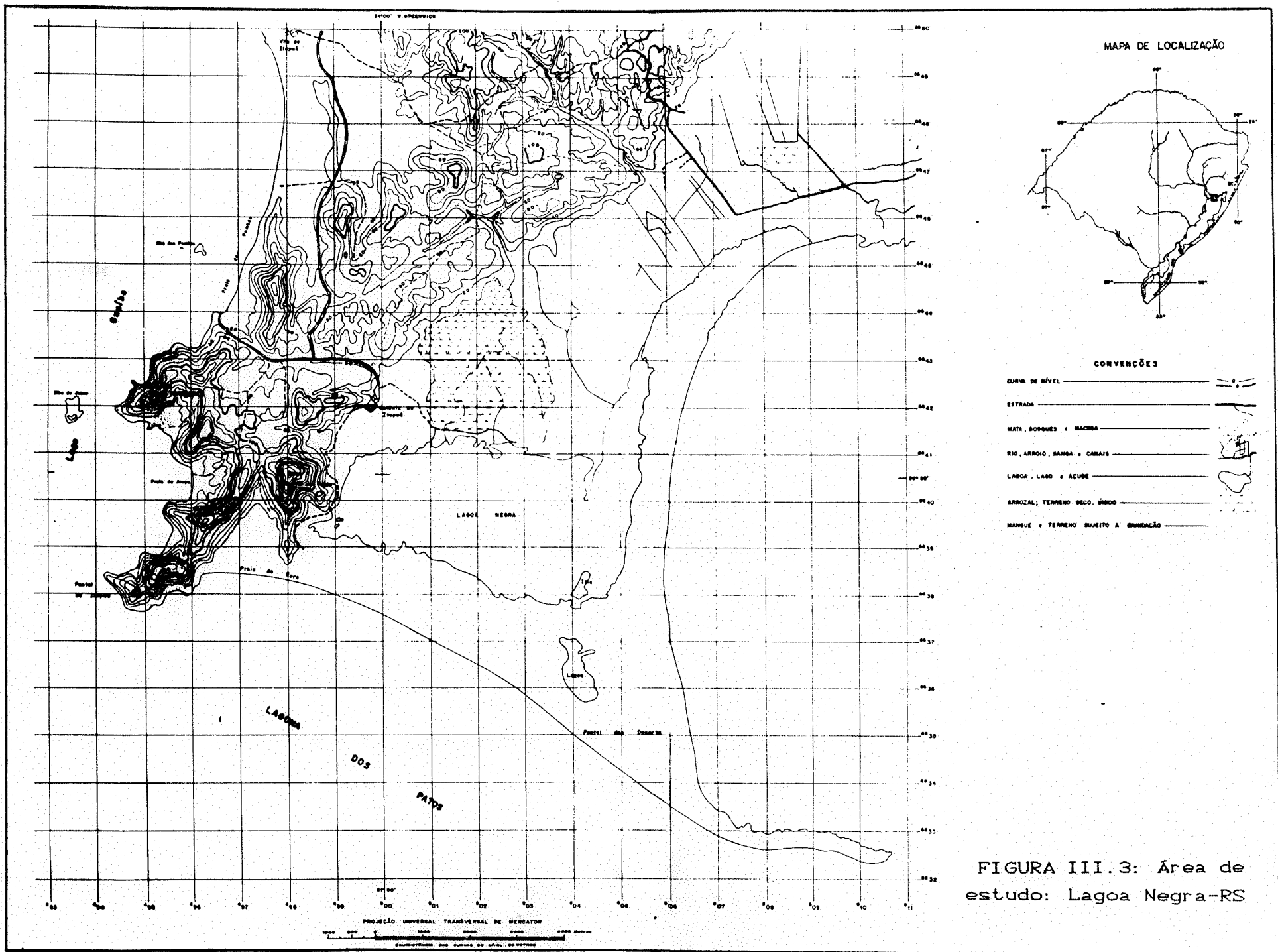


FIGURA III.3: Área de estudo: Lagoa Negra-RS

quaternários. Nas margens sul e leste da Lagoa Negra os terrenos são arenosos do Recente. No extremo oeste da lagoa se encontra o Morro da Grotta, integrado à linha de morros graníticos da Coxilha das Lombas. Já a margem norte é uma planície que pertence, na sua maioria, à formação Chuí. O mapa geológico da região encontra-se na Fig.III.4.

A fonte de algumas águas negras da Amazônia é a drenagem de solos do tipo pod-solos. Acredita-se que na Lagoa Negra este fato também ocorra pois, segundo Delaney,1965, a formação Chuí originaria solos pod-solos húmico-férrico.

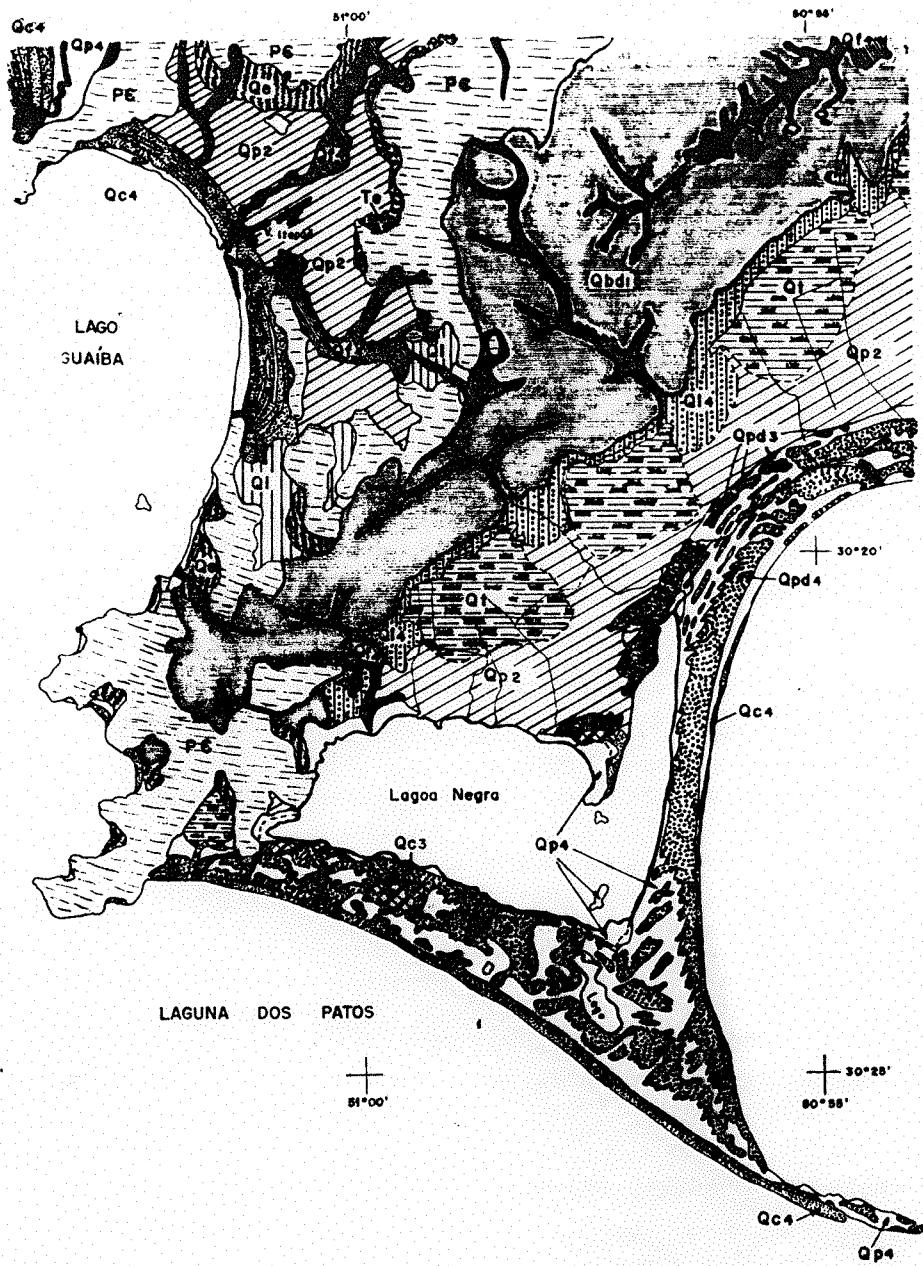
### III.1.3- Vegetação e uso do solo

Nas dunas da área entre a Lagoa Negra e a Laguna dos Patos são encontradas vegetação herbácea e, em parte, arbustiva e arbórea formando capões. Esta margem, do lado da Laguna dos Patos, é a chamada praia de Fora, muito frequentada atualmente por veranistas.




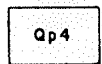

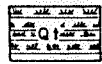




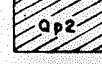



Ao norte, o terreno é plano. Esta área sofreu um processo de Reforma Agrária por volta de 1962-1964. Sua feição natural foi alterada, basicamente, pelo cultivo de arroz irrigado e criação de gado (Volkmer Ribeiro-1981). Houve cultivo com bosques de eucalipto em certos locais nessa margem. Observou-se também um pequeno capão de mata nativa (Grosser-1981).

O morro da Grotta é coberto por vegetação natural, predominantemente herbácea. A noroeste da lagoa se encontra a Colônia de Itapuã e o Hospital de Leprosos. Nas margens do canal de comunicação com a Laguna dos Patos, em terra firme, a vegetação é tipicamente herbácea, existindo alguns pontos com arbustos e árvores.

Quanto à vegetação aquática, há predomínio das macrófitas fixas Scirpus californicus (juncos), preferentemente junto às margens, onde em alguns pontos se encontra grande quantidade das macrófitas aquáticas flutuantes Eichhornia e salvínia.



LEGENDA:

-  Depósitos de planície e canal fluvial
-  Leques aluviais
-  Depósitos eólicos ativos de dunas lagunares
-  Depósitos Lagunares (Barreira IV - Holoceno)
-  Depósitos de cristais e praias lagunares
-  Depósitos lagunares e paludais. Turfeiras
-  Depósitos eólicos de dunas lagunares
-  Depósitos lagunares (Barreira III - Pleistoceno III)
-  Depósitos de cristais e praias lagunares
-  Depósitos de encosta e meia encosta
-  Depósitos lagunares (Barreira II - Pleistoceno II)
-  Depósitos eólicos de dunas litorâneas
-  Depósitos gravitacionais (eluvões e coluviões)
-  Pré-Cambriano indiferenciado


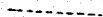



- CONVENÇÕES:
- Contatos : Definidos 
  - Inferidos 
  - Gradacionais 
  - Lineamentos 
  - Diques 

FIGURA III.4: Mapa Geológico.



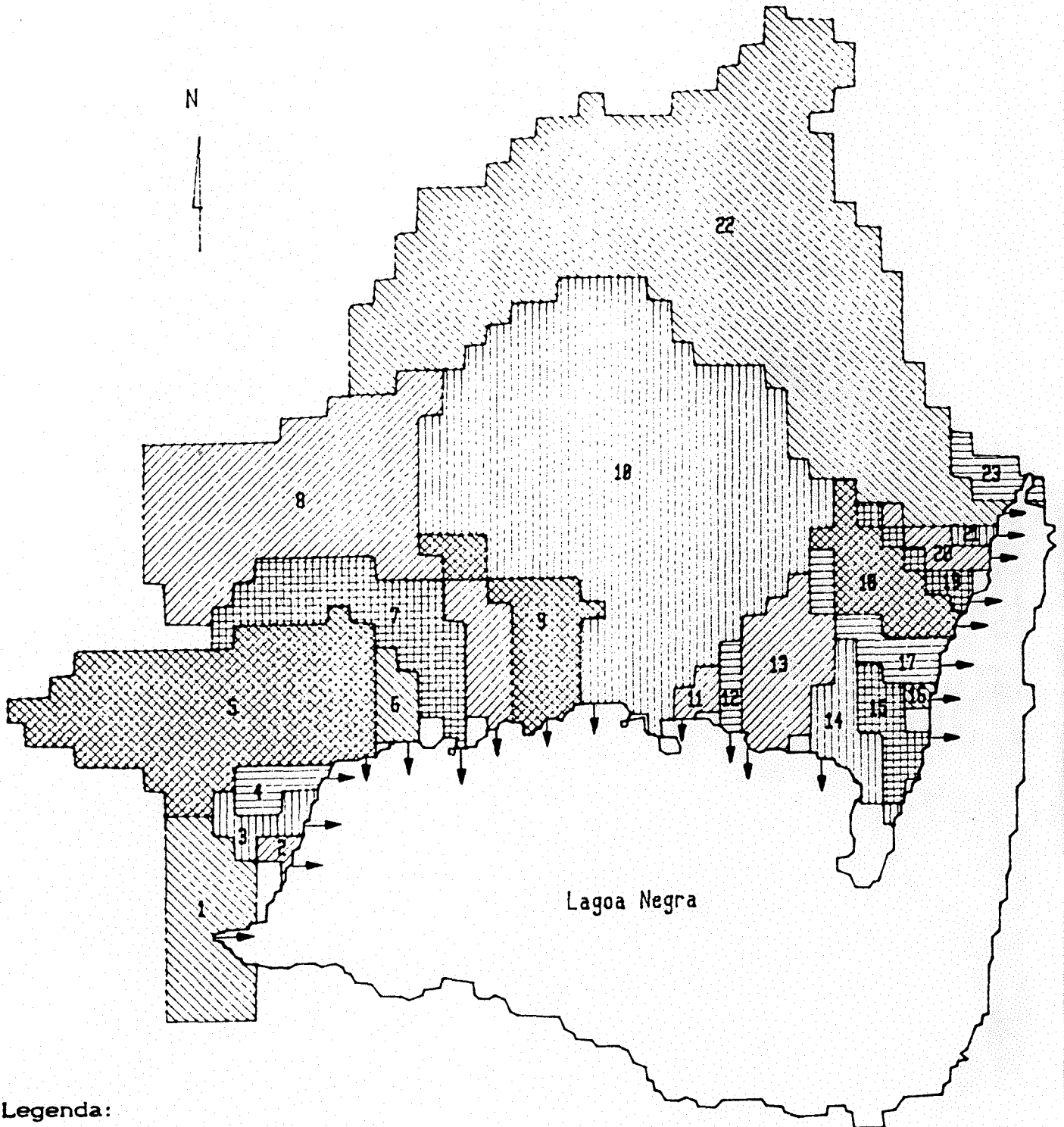
### III.1.4- Topografia e drenagem

A Lagoa Negra encontra-se localizada em uma área de topografia preponderantemente plana (planície soerguida de Viamão) e onde não existem cursos d'água significativos. A contribuição de vazão na lagoa, portanto, se deve ao escoamento superficial e subterrâneo. A área de maior captação da lagoa está constituída pelos terrenos ao norte: vertente do morro da Grotta, vertente de sudeste da Coxilha das Lombas e pela planície cultivada com arroz irrigado.


Para localizar automaticamente as bacias com exutórios na margem da lagoa, foi utilizado uma série de programas (Risso, 1991) implementada no sistema de informações geográficas SGI (Kishi et alii, 1991). Este algoritmo determina os divisores de bacias utilizando uma matriz regular de altitudes, conhecido por MNT (Modelo Numérico do Terreno), como base de dados. O algoritmo parte do princípio que, através da discretização da superfície do terreno na forma de um MNT, é possível estimar os caminhos percorridos pela água. Isto pode ser feito a partir do cálculo do gradiente local e da orientação de cada célula do MNT. Conhecendo-se estes caminhos, torna-se viável a determinação da superfície contribuinte a um determinado ponto na região (Risso, Silva Centeno, Bordas, 1991).

O MNT foi gerado a partir da interpolação das curvas altimétricas do mapa topográfico do exército, na escala 1:50000. A interpolação foi feita no Sistema Geográfico de Informação (SGI-CEPSRM), com o interpolador identificado pelo No.6, um interpolador local de média móvel. Nele, para se determinar a cota (desconhecida) de um ponto na área de estudo, são consideradas as cotas de seus vizinhos mais próximos, por cota e por quadrante. A importância, ou peso, dado a cada um deles é proporcional ao inverso da distância entre eles e o ponto de cota desconhecida. Este interpolador é o mais adequado quando os dados de entrada estão sob a forma de curvas de nível.

As técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem ser definidas como o conjunto de métodos e técnicas, aliados à computação, que permitem a manipulação e análise de informação gráfica e descritiva de dados espacialmente localizados, isto é, que podem ser mapeados em uma base cartográfica da região.



Legenda:

 sub-bacia No.13

Área de cada sub-bacia se encontra na Tabela III.5

FIGURA III.5 : Sistema hidrográfico da Lagoa Negra - RS utilizando SGI.

A figura III.5 ilustra as sub-bacias contribuintes à Lagoa Negra estimadas automaticamente e na tabela III.5 são apresentadas as áreas correspondentes.

### III.1.5- Batimetria

As sondagens para obtenção dos dados para o traçado do mapa batimétrico foram feitas na forma de seções transversais levantadas pela equipe de hidrometria do IPH. Os equipamentos utilizados foram:

- um ecobatímetro, modelo DE-719 da RAYTHEON, que consiste basicamente de um transdutor e um registrador; e
- um sistema de posicionamento eletrônico de precisão MICRORANGER (telémetros e radar) da GEOTRON.

Enquanto é feito o registro da batimetria, o posicionador informa a posição do ponto através de medidas de distância entre as antenas e barco. Tais medidas foram registradas manualmente, em caderneta, e simultaneamente ao acionamento da chave de congelamento da medida do posicionador e a chave do "fixmark" do registrador do ecobatímetro. A chave que aciona o "fixmark" traça uma linha vertical no gráfico desenhado, indicando a posição da medida ao longo do percurso.

Totalizaram-se 33 seções transversais de sondagem, desconsiderando duas por problemas de recepção de sinal. O intervalo entre seções foi de aproximadamente 400m.

A campanha foi realizada em seis dias, de 14 a 19 de maio de 1990. Nesse período foi instalada uma régua na lagoa, na margem norte. Partindo do hospital em direção ao leste, aproximadamente 100m antes do último capão. Sua localização se encontra no mapa batimétrico (Fig.III.6). Nos dias de levantamento de dados, a leitura foi 0,40m.

Para a interpretação das distâncias e perfis, transformando as informações em coordenadas UTM e profundidades, foram desenvolvidos dois algoritmos LEMESA e BTM (Kishi et alii, 1991). Inicialmente, o mapa batimétrico foi traçado manualmente na escala 1:10000, utilizando

as listagens de saída de BTM. Na figura III.6 encontra-se o mapa na escala 1:50000. Paralelamente, o arquivo dos dados de campo gerados pelo BTM foi introduzido no SGI. A grade de profundidades (MNT) foi gerada com resolução espacial de 120m utilizando o interpolador No.6. A partir deste MNT foram traçadas automaticamente as isolinhas a cada 0,5m (figura III.7).

O processamento digital do SGI fornece o volume e a área do corpo de água. Manualmente, o volume foi estimado multiplicando a área entre curvas de cotas consecutivas pela cota média entre elas. Tanto a área entre curvas como a área do corpo de água foram estimadas por dois métodos: digitalizando cada área via mesa digitalizadora (programa CAREA) e por pesagem. A tabela III.1 apresenta as estimativas de área e volume.

TABELA III.1: Estimativas da área e volume calculadas manualmente e via SGI.

Cota	ÁREA ( $10^3 \text{ m}^2$ )		VOLUME ( $\text{m}^3$ )	
	Manual	SGI	Manual	SGI
0,0	18 243	18 110	27 165 525	24 538 870
-0,5	17 021	16 350	18 349 500	15 596 700
-1,0	14 093	13 220	10 570 975	8 112 714
-1,5	8 839	7 690	4 837 775	3 177 780
-2,0	5 256	3 410	1 313 975	247 208

Ambos métodos aqui utilizados produziram resultados um tanto diferentes. Os cálculos efetuados pelo SGI se baseiam na discretização do fundo em células retangulares; já o traçado manual do mapa batimétrico foi feito unindo os pontos de mesma cota nos perfis batimétricos previamente caracterizados no papel. Outro fator que deve ser ressaltado é que os arquivos de saída de BTM (entrada no SGI) foram gerados originalmente para o trabalho manual, ou seja, foram escolhidos unicamente pontos onde havia mudança acentuada de declividade. O ideal quando se usa um interpolador matemático é ter uma distribuição espacial mais uniforme dos pontos.

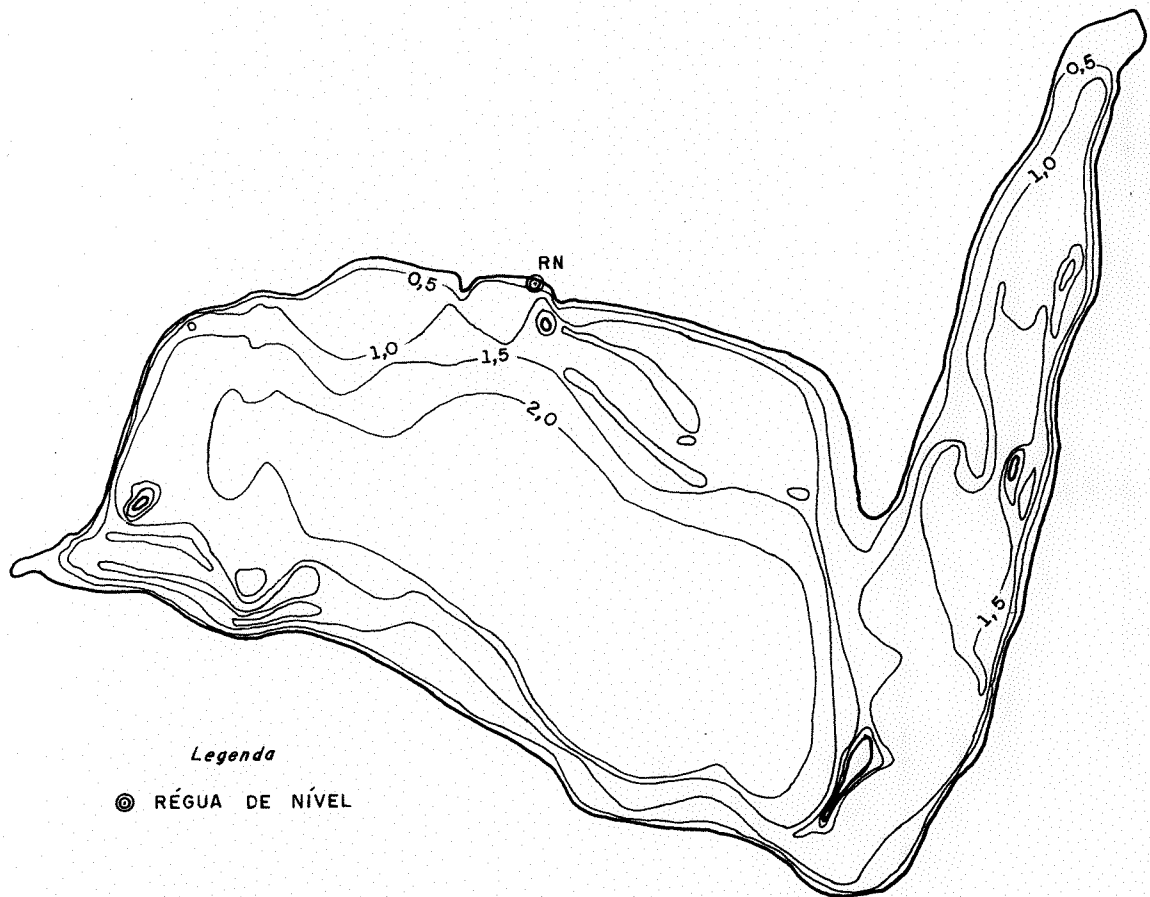


FIGURA III.6 : Mapa batimétrico da Lagoa Negra.  
Traçado manual - esc.1:50000  
Isolinhas em metros.

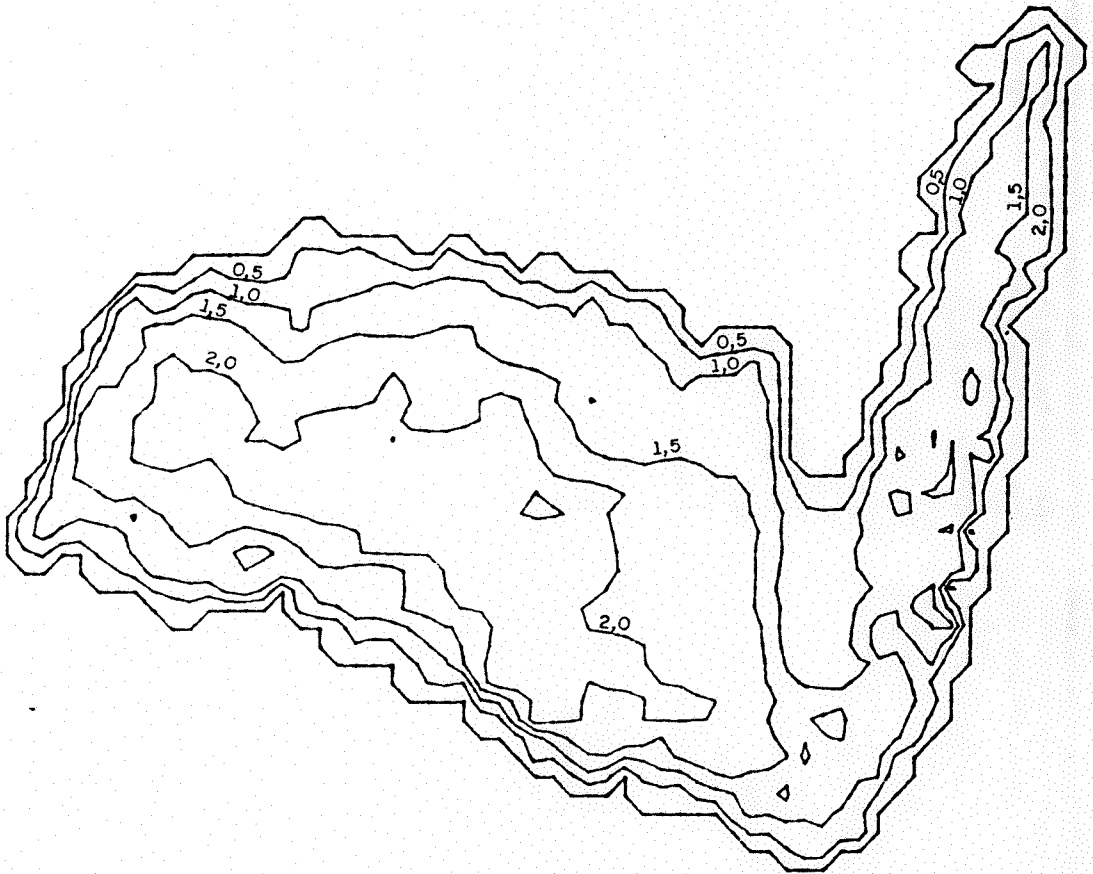


FIGURA III.7 : Mapa batimétrico da Lagoa Negra.  
Traçado via SGI - esc.1:50000  
Isolinhas em metros.

### III.1.6- Síntese climática

O DEPRC ativou em 1961 uma estação meteorológica no Farol de Itapoã, com uma medição diária da precipitação. A partir de 1973, iniciaram as medições da velocidade e direção de vento. No início de 1980, a estação foi desativada. No período monitorado, a precipitação média anual foi de 1022mm, com desvio padrão de 285mm (os anos incompletos foram desconsiderados). A intensidade média do vento foi de aproximadamente 4,4 m/s. As direções predominantes foram Leste e Sul, direções também dadas pelo GERM (Grupo Executivo da Região Metropolitana), 1975.

### III.1.7- Estudos feitos na Lagoa Negra

Em GERM (1975) estão citados os resultados de duas coletas de água da Lagoa Negra nas datas: 25/02/75 e 04/03/75. As análises foram realizadas pelo Centro de Estudos e Saneamento Básico (CESB) do Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE) da Prefeitura de Porto Alegre. Estes resultados estão reproduzidos na tabela C.1, no Anexo C. O local de coleta das amostras foi na extremidade do braço leste-oeste a 100m da ilha.

No período de março/79 a julho/80 foram realizadas pesquisas de levantamentos de dados de carácter abiótico, do fitoplâncton, da ictiofauna, da fauna espongiológica e malacológica benthica, bem como dos copépodes planctônicos da Lagoa Negra. Estes estudos foram resumidos a seguir.

Volkmer-Ribeiro (1981) apresentou um trabalho de carácter limnológico, atribuindo à vegetação de macrófitas aliada ao regime de ventos local, papéis marcantes na qualidade da água da Lagoa Negra. A água, nesse período, apresentou pequena concentração de carbonatos e bicarbonatos, pH ácido entre 5,2 e 6,8, baixa condutividade, grande quantidade de matéria orgânica no sedimento do fundo e em suspensão. O teor de oxigênio dissolvido estava relativamente alto, numa faixa de 4,56 a 10,22 mg/l (tab.C.2), o que é explicado pela autora ser devido aos fortes ventos na região. Medidas de superfície e fundo dos parâmetros: temperatura, OD e condutividade (Fig.C.1), apresenta a

água da lagoa com um comportamento uniforme em termos de deslocamento vertical. Saliêta a autora que, a discrepância ocorrida nos dados de condutividade se dá por erro operacional. Nesse período, a lagoa comportou-se, como um todo, em relação à temperatura. As curvas de OD e matéria orgânica se comportaram de modo inverso a da temperatura e as estações 6 e 7 tiveram um certo comportamento homogêneo. As porções centrais da lagoa constituem-se em reservatório de matéria orgânica, como foi verificado no estudo sedimentológico resumido na tabela C.3. Concluiu-se que as macrófitas aquáticas têm desenvolvimento exuberante e seu produto final fica acumulado no fundo num ritmo que supera o da degradação bioquímica. É esta também uma das fontes de águas negras.

Callegaro (1981) estudou o fitoplâncton e tentou estabelecer uma relação entre os dados físico-químicos da água e o número de células por ml. Ocorreram como grupos dominantes: as diatomáceas, clorococcales, euglenofícias, cianofícias e desmídeas. Foi registrado a predominância das diatomáceas sobre os demais grupos numa percentagem de ocorrência entre 68,44% a 91,89%, com determinação de 73 taxas específicos e infra-específicos da classe Bacillariophyceae, sendo 19 citações novas para o estado do Rio Grande do Sul. Não houve correlação do número de células com nenhum dos parâmetros físico-químicos analisados, com exceção da temperatura que apresentou uma correlação significativa para 95% de confiabilidade. Comparando a composição fitoplanctônica da Lagoa Negra com outros biótopos localizados na mesma região, a da Lagoa Negra é pobre. Atribui-se essa escassez à pequena penetração da luz na água, logo limitando a fotossíntese.

Grosser e Hahn (1981) relatam resultados de uma avaliação preliminar da ictiofauna apresentando uma relação das espécies de peixes capturados na lagoa e nos canais de irrigação. Os autores correlacionam as espécies de peixes e seus hábitos com a vegetação, o substrato e o tipo de ambiente. Resultou um registro de 46 espécies, das quais 50% são da ordem Cypriniformes e 3 espécies são novas para o RS. A Lagoa Negra em si abriga somente 16 espécies e os canais de irrigação 35.

Volkmer-Ribeiro et alii (1981) fizeram um levantamento de



esponjas e da malacofauna béntica. Do levantamento de esponjas foram encontradas gêmulas de Heteromeyeniastepanowii, Ephydatia facunda, Radiospongilla crateriformis (primeiro registro para o estado do RS) e Corvospongilla bohmi e resíduos espiculares que indicam ainda a ocorrência de Uruguay corallioides e Metania sp. O elevado teor de matéria orgânica particulada em suspensão, a acidez da água, a baixa transparência e a agitação constante do meio líquido (causada pelos ventos), juntos formam um ambiente drástico para esponjas e são os responsáveis pela redução do desenvolvimento dos espécimes. No levantamento da malacofauna béntica ocorreu Diplodon charruanus, Castalia undosa martensi e Pisidium sp. A primeira apresentou-se como dominante e as duas últimas como muito raras.

Fallavena (1985) abordou aspectos relativos à composição, variação sazonal, distribuição horizontal e vertical do zooplâncton. Foram quantificados todos os grupos que tiveram ocorrência no zooplâncton: Copepoda (88,7%), Cladocera (10,7%), Rotifera (0,43%) e Arachnida (0,15%). Somente os Copépodes foram determinados a nível específico. Determinou-se treze espécies, das quais cinco são registros novos para o Estado do RS.

Oliveira (1983), fez um estudo de seis lagoas de águas escuras, dentre elas a Lagoa Negra, a partir de seus valores sedimentológicos. Para tipificar as lagoas, a autora utilizou os valores de carbono e nitrogênio para determinar o tipo de sedimento de acordo com a classificação de Hansen (Oliveira, 1983), e a percentagem de carbono na matéria orgânica para estabelecer o humus encontrado. Na tabela C.4 são apresentados os valores sedimentológicos das lagoas. Através de cinco amostras do sedimento, a Lagoa Negra foi classificada como distrófica turva.

### III.2- Coleta de amostras

#### III.2.1- Número e Localização dos Pontos de Coleta

Os recursos financeiros limitaram o número total de pontos de coleta em seis. A localização dos pontos foi definida somente visando a qualidade geral da água como um todo, decidindo-se local 5 pontos

dentro da lagoa e um ponto na saída, no canal que liga a lagoa à Laguna dos Patos (fig.III.8). Não havendo nenhum interesse direto na região próxima à margem, evitou-se essa área para pontos de amostragem devido à possibilidade da qualidade da água ser afetada por materiais que se formam ou depositam nesses locais. Posicionou-se as estações na região profunda da lagoa, onde ocorre o processo de mistura. Outro cuidado tomado foi para com a estação 4, que foi posicionada a uma distância tal da margem interna da curva, de forma que não fosse amostrada água ou material ali estagnados.

### III.2.2- Datas das Coletas

As datas marcadas para a coleta foram em função da passagem do satélite LANDSAT-TM5, exceto a primeira campanha que foi numa data aleatória. Foi feita esta amarração nas datas para um possível estudo com o uso de imagens de satélite. Embora seja difícil determinar a qualidade da água da Lagoa Negra através de atributos espectrais, as imagens de satélites podem, indiretamente, ajudar no estudo dela. Como por exemplo, no estudo da bacia de drenagem, na determinação de fontes de poluição ou cobertura de solo. A impossibilidade atual de fazer um estudo direto, com imagens de satélite, da qualidade da água de lagoas como esta (de águas negras) se deve ao fato desta apresentar alto conteúdo de substâncias dissolvidas que absorvem toda radiação incidente fornecendo uma resposta espectral homogênea. Este fato não ocorre com lagoas de águas claras onde se registram diferenças espectrais causadas por fatores como sólidos suspensos e clorofila-a, possibilitando ao sensoriamento remoto uma investigação da transparência e do estado trófico da lagoa. O Lago Biwa (Japão) teve um monitoramento computacional de dados coletados através de imagens de satélites LANDSAT-4 e NOAA junto com dados coletados de avião e/ou amostras de água, estimando transparência, sólidos suspensos, clorofila-a e temperatura da água (Shiga Prefectural Government, 1985)

As campanhas de coletas de 1990 realizaram-se em 11/12 de julho, 18 de outubro e 5 de dezembro. As de 1991, em 27 de março e 14 de maio.

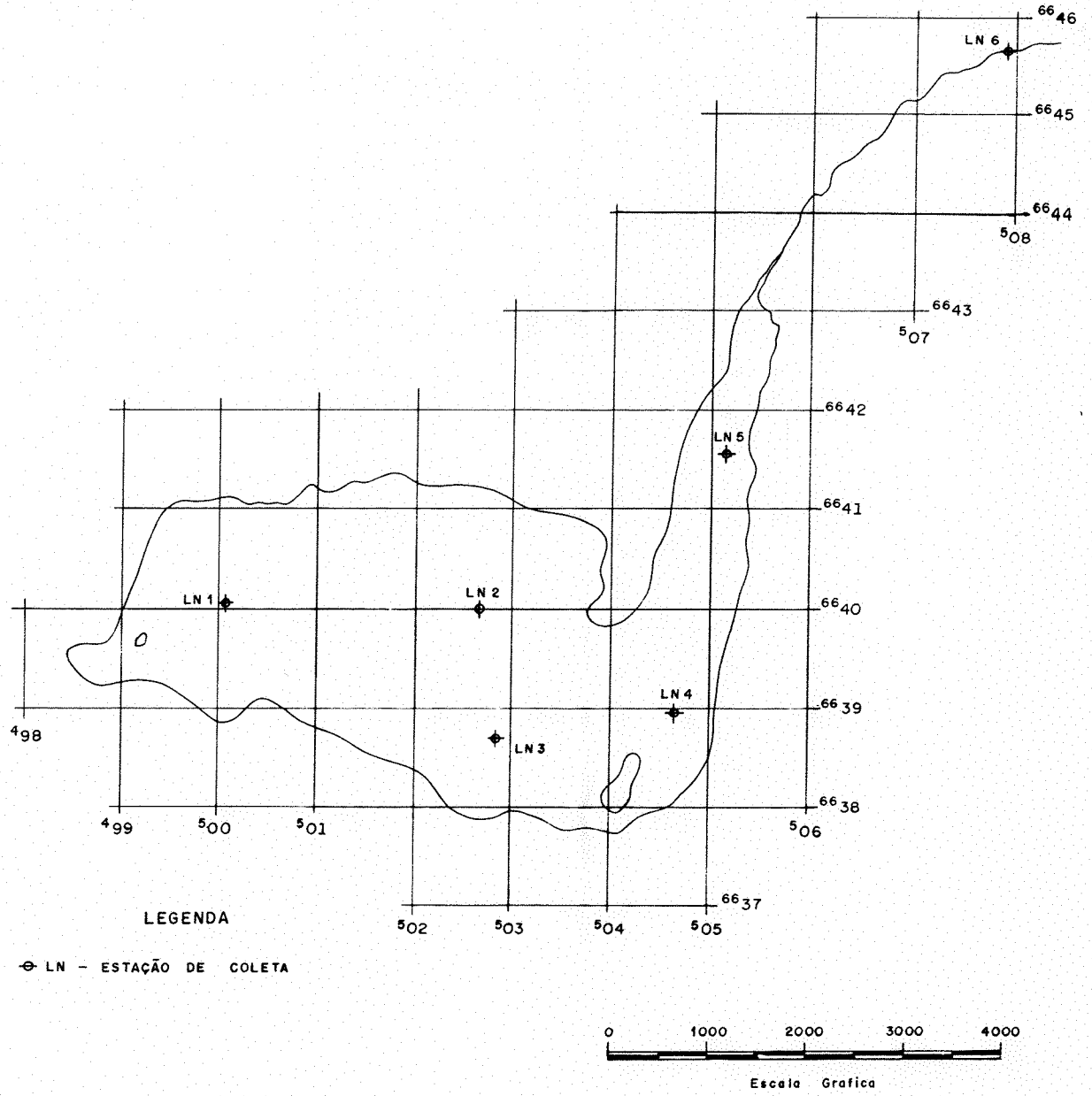


FIGURA III.8 : Localização das estações de coleta na Lagoa Negra - IPH/90-91

### III.2.3- Amostragens e parâmetros analisados

Foram feitas coletas de amostras para análises físico-químicas e biológicas nos seis pontos amostrados. Os parâmetros analisados com seus respectivos resultados se encontram nas tabelas de registro de dados no Anexo B. Constam no total 9 parâmetros físicos, 6 orgânicos, 13 inorgânicos não metálicos e 13 metais, mais a análise quali-quantitativa do plâncton e dos grupos coliformes. Somente no ponto LN-6 fez-se medição de vazão, com molinete.

Tiveram frequência de amostragens diferente somente o sedimento e as amostras para análise de pesticida. Os pesticidas foram analisados no mês de julho/90. O sedimento só foi coletado no mês de dezembro/90.

No procedimento de coleta de amostra utilizou-se garrafa do tipo Van Dorn de 5 litros à meia profundidade. As amostras para exame microbiológico foram coletadas antes das amostras para as análises físico-químicas, a fim de evitar o risco de contaminação do local com amostradores não estéreis.

As coletas de sedimento de fundo foram realizadas com raspador. Foram coletadas somente amostras da camada recente do sedimento limnítico. O perfil do sedimento forneceria um bom material para a avaliação da evolução da poluição através das análises dos elementos-traços em cada camada, todavia, não foi possível fazê-lo devido à restrição de verbas.

Não foram realizadas as análises de:

- pesticidas organofosforados nem herbicidas devido aos laboratórios de Porto Alegre não terem metodologias para tal;
- alcalinidade fenolftaleína em virtude da elevada cor das amostras, impossibilitando a técnica;
- carbono orgânico dissolvido, por falta de equipamentos.

Foram medidos no campo: temperaturas da água e do ar e transparência (disco de Secchi). A amostra de oxigênio dissolvido (OD) foi precipitada no campo e medida no laboratório no mesmo dia da coleta, bem como o pH e a condutividade.

As técnicas de preservação, armazenamento e análise das amostras de água seguiram o preconizado no "Standard Methods"- 17<sup>a</sup> edição.

### III.3- Aplicação do modelo da ASCE

O modelo aplicado na Lagoa Negra foi o modelo da ASCE, desenvolvido por Simons e Lam (1986). A estrutura do modelo está descrito no item II.2.8.

#### III.3.1- Parâmetros de entrada do modelo

Para simular a qualidade da água na Lagoa Negra, utilizando o modelo da ASCE, é necessária uma malha discretizando o fundo em uma matriz compatível com a resolução espacial do modelo. Manualmente, esta malha é obtida dividindo o mapa de isolinhas em células quadradas. Para cada uma das células, a cota média é estimada a partir das curvas que passam por dentro da célula e nas regiões próximas. Esta tarefa é um tanto árdua e implica o uso de critérios subjetivos por parte do operador. Por ser o MNT da batimetria (item III.1.5) uma discretização do fundo da lagoa, a malha de entrada no modelo pode ser obtida diretamente a partir dele. Assim, a malha discretizando o fundo da lagoa foi obtida diretamente do MNT da batimetria gerado pelo SGI, evitando com isso possíveis erros ou tendenciosidade no processo de discretização. Esta malha foi verificada com o mapa manual e não foram encontrados valores em contradição, a não ser nas margens do braço da lagoa, onde o interpolador puxou a margem para fora. Nessa margem foi feita uma pequena correção de acordo com o mapa manual. As ilhas também foram colocadas manualmente. O MNT utilizado constituiu-se de uma malha de 26 linhas por 31 colunas, com resolução espacial de 240x240m.

Os dados de entrada adotados foram os valores médios da região e, na falta de dados locais, valores de literatura. Na tabela III.2 são apresentados os valores médios, mínimos e máximos ( $\text{máx} = \text{médios} + 2 \times \text{desvio padrão}$ ) das 30 análises feitas na lagoa durante este período. Os dados de chuva e vento são os obtidos na estação Farol de Itapoã (item III.1.7)

O coeficiente de Coriolis foi calculado para as latitudes

envolventes da Lagoa Negra. Adotou-se o valor médio de  $73,2E-6$ . E a aceleração da gravidade foi considerada ser de  $983,2 \text{ cm/s}^2$ .

Simons e Lam (1980) apresentam uma formulação para o fator luz (FL) na fotossíntese. Por motivo da ausência de dados para calculá-lo, foi considerado  $FL=0,3$ , devido à existência de pequena penetração da luz na água da Lagoa Negra.

TABELA III.2: Resumo dos dados disponíveis de campo.

PARÂMETRO	Mínimo do Período	Médio do Período	Máximo = médio+2 $\sigma$
Concentração [PD] (mg/l) *	0,006	0,24	0,68
[PP] (mg/l) *	0,004	0,17	0,49
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) *	14,0	21,3	30,0
Precipitação Anual (mm) **	728	1022	1592
Vento Intensidade (m/s) **	0	4,4	13,4
Direção predominante **		S, L	

(\*): Dados do período 90/91-IPH/UFRGS (laudos do Anexo D)

(\*\*): Dados do DEPRC - precipitação do período 61-80 e vento de 78-80

$\sigma$  : desvio padrão

A tabela III.3 resume os parâmetros de entrada no modelo tirados de literatura. O coeficiente de tensão de vento  $0,0026$  é um valor encontrado por Munk et alii (citado por Dronkers, 1964) para uma velocidade do vento cerca de 6 a 20 m/s no "Zuiderzee" na Holanda. Este valor foi adotado em virtude da velocidade do vento ter a mesma ordem de grandeza na Lagoa Negra e também por situar na metade da faixa dada por Almeida et alii (1989).

TABELA III.3: Valores adotados de literatura

PARÂMETRO	FAIXA	ADOTADO
Coeficiente de tensão de vento para $\rho_a / \rho = 1,25E-3$ (1)	$1,6E-3$ a $3,6E-3$	$0,0026$
Coeficiente de difusão horizontal turbulenta (2)	$1E+2$ a $1E+6 \text{ cm}^2/\text{s}$ (águas superficiais)	$1E+4$
Constante à meia saturação (3)	$3E-8$ a $5E-8 \text{ g/cm}^3$	$5E-8$
Constante de respiração (3)	$0,23E-6$ a $1,85E-6 \text{ s}^{-1}$	$0,5E-6$
Velocidade de sedimentação (3)	$0,06E-3$ a $0,23E-3 \text{ cm/s}$	$0,23E-3$
(4)	$0,12E-3$ a $11,57E-3 \text{ cm/s}$	

(1) Almeida et al., 1989. (2) Ferrara, 1986. (3) Jorgensen, 1989. (4) Stumm, 1985.

Conhecendo a área contribuinte a cada ponto de entrada do escoamento superficial na lagoa (item III.1.4) e o uso e cobertura do solo predominante na região (campos de atividade rural), as cargas de fósforo foram estimadas utilizando a metodologia proposta por Haith e Tubbs (1981). Eles estimaram a perda de nutrientes de uma área unitária  $k$  devido ao escoamento superficial  $Q_{k,t}$  no tempo  $t$  com a seguinte formulação:

$$L_{k,t} = 0,1 \cdot C_{k,t} \cdot Q_{k,t} \cdot TD_k \quad (3.1)$$

onde  $L_{k,t}$  é perda de poluente (Kg/ha) na área  $k$  no tempo  $t$ ;  $C_{k,t}$  é concentração do poluente medido em mg/l;  $Q_{k,t}$  representa o escoamento superficial dado em cm e  $TD_k$  é o fator de transporte indicando a fração de poluente que se move desde a extremidade da área  $k$  até o seu limite.

Cada bacia contribui, segundo seu uso predominante do solo, com uma carga de nutrientes que chega à margem da lagoa e se mistura no corpo d'água. Essa poluição difusa é complexa e variável, sendo difícil quantificar e verificar. As estimativas dos autores variam, como se é de esperar, em virtude de todas as condições locais, técnicas de análise e metodologia. Porém, não existindo dados locais nem dados de literatura com características hidrológicas similares em conjunto com uso de solo e outras variáveis dependentes, é considerado que cada bacia contribui com cargas de fósforo mínima, média e máxima, baseadas em alguns usos e coberturas do solo. A tabela III.4 resume dados de literatura de concentrações de fósforo dissolvido (PD) e total (PT) e os valores assumidos neste trabalho.

TABELA III.4 : Concentração de fósforo no escoamento superficial (mg/l)

USO DO SOLO	FAIXA		ADOTADO	
	PD	PT	PD	PT
Vegetação (boa cobertura)	0,008 <sup>(1)</sup>	0,039 <sup>(2)</sup>	0,01	0,04
Pastagens	0,30 <sup>(3)</sup>	0,49 <sup>(4)</sup>	0,30	0,50
Cultura de milho	0,4-1,4 <sup>(5)</sup>	2,9-7,5 <sup>(5)</sup>	1,50	3,00

(1)Loehr, 1974. (2)Characklis et al., 1979. (3)Haith e Tubbs, 1981.  
 (4)Harm et al., 1974. (5)Haith e Dougherty, 1976.

Os poluentes dissolvidos são considerados conservativos no percurso, ou seja, sem perdas, conseqüentemente  $TD=1$ . Segundo Haith e Tubbs (1981), durante o evento existem relativamente poucas oportunidades para a concentração mudar por atividade biológica. Porém, pode ocorrer a adsorção no sedimento de substâncias como fosfatos e pesticidas. Neste caso, a suposição de  $TD=1$  pode não ser válida para um simples evento isolado; no caso de muitos eventos, essas substâncias químicas podem ser desorvidas e eventualmente resolubilizadas.

O escoamento superficial foi estimado a partir da área de contribuição e da precipitação pelo método racional. O método estima uma taxa de pico de projeto de um escoamento superficial através da equação (Schwab, 1981):

$$Q = \frac{c \cdot I \cdot A}{3,6} \quad (3.2)$$

onde  $Q$  é a taxa de pico de projeto ( $m^3/s$ );  $I$  é a intensidade de chuva ( $mm/h$ );  $A$  é a área da bacia ( $Km^2$ ) e  $c$  é o coeficiente de deflúvio.

A intensidade da chuva foi considerada constante durante o ano todo para o cálculo do escoamento. As estimativas de  $Q$  para as três precipitações dadas na tabela III.2 apresentam-se na tabela III.5. As simplificações e suposições consideradas nesta estimativa foram uma opção de procedimento para melhor análise da condição média da lagoa durante o ano, face à dificuldade de se obter dados da área de estudo para eventos isolados.

As estimativas das cargas de fósforo do escoamento superficial, calculadas a partir da equação 3.1, são apresentadas na tabela III.6.

A modelação de períodos muito grandes de tempo implica em algumas simplificações quanto à variação temporal dos parâmetros de entrada do modelo, como por exemplo, efeitos de vento, temperatura e fator luz. O tempo de simulação para o modelo hidrodinâmico (CIRCUL) foi de 4 horas, com passos de tempo de 30 segundos. Para o TRANSPOL foi de 10 horas com passos de 120 segundos. Os passos de tempo de cálculo obedecem os limites impostos pelos métodos (equações 2.49 e 2.57).



TABELA III.5: Estimativas do Escoamento Superficial da Bacia de drenagem da Lagoa Negra (Método Racional com  $c = 0,3$ )

Bacia		I, J	AREA (Km <sup>2</sup> )	Q <sub>min</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1	U	2,12	1,28	0,009	0,012	0,019
2	U	3,14	0,11	0,001	0,001	0,002
3	U	3,15	0,31	0,002	0,003	0,005
4	U	4,17	0,27	0,002	0,003	0,004
5	-V	5,18	3,37	0,023	0,033	0,051
6	-V	7,19	0,27	0,002	0,003	0,004
7	-V	9,20	1,44	0,010	0,014	0,022
8	-V	11,19	4,00	0,028	0,039	0,061
9	-V	12,19	1,03	0,007	0,010	0,016
10	-V	14,19	8,43	0,058	0,082	0,128
11	-V	17,18	0,14	0,001	0,001	0,002
12	-V	19,18	0,16	0,001	0,002	0,002
13	-V	20,17	0,89	0,006	0,009	0,013
14	-V	22,17	0,48	0,003	0,005	0,007
15	U	26,17	0,43	0,003	0,004	0,007
16		*	0,06	-	-	-
17	U	27,19	0,48	0,003	0,005	0,007
18	U	27,20	0,80	0,006	0,008	0,012
19	U	27,21	0,25	0,002	0,002	0,004
20	U	28,22	0,25	0,002	0,002	0,004
21		*	0,08	-	-	-
22	U	29,24	10,17	0,070	0,099	0,154
23	U	30,25	0,26	0,002	0,003	0,004

\* bacias desconsideradas

TABELA III.6: Cargas Estimadas de Fósforo do Escoamento Superficial da Bacia de Drenagem da Lagoa Negra para precipitação anual média.

Bacia	I, J	Carga mínima: Vegetação-boua cobertura		Carga média: Pastagem		Carga máxima: Cultura de Milho	
		PD (g/s)	PP (g/s)	PD (g/s)	PP (g/s)	PD (g/s)	PP (g/s)
1	2,12	1,28E-4	3,84E-4	0,00373	0,00249	0,01920	0,01920
2	3,14	1,10E-5	3,30E-5	0,00032	0,00021	0,00165	0,00165
3	3,15	3,10E-5	9,3E-5	0,00090	0,00060	0,00465	0,00465
4	4,17	2,70E-5	8,10E-5	0,00079	0,00053	0,00405	0,00405
5	5,17	3,37E-4	0,00101	0,00983	0,00655	0,05055	0,05055
6	7,18	2,70E-5	8,10E-5	0,00079	0,00053	0,00405	0,00405
7	9,19	1,44E-4	4,32E-4	0,00420	0,00280	0,02160	0,02160
8	11,18	4,00E-4	0,0012	0,01167	0,00778	0,06000	0,06000
9	12,18	1,03E-4	3,09E-4	0,00300	0,00200	0,01545	0,01545
10	14,18	8,43E-4	0,00253	0,02459	0,01639	0,12645	0,12645
11	17,17	1,40E-5	4,20E-5	0,00041	0,00027	0,00210	0,00210
12	19,17	1,60E-5	4,80E-5	0,00047	0,00031	0,00240	0,00240
13	20,16	8,90E-5	2,67E-4	0,00260	0,00173	0,01335	0,01335
14	22,16	4,80E-5	1,44E-4	0,00140	0,00093	0,00720	0,00720
15	26,17	4,30E-5	1,29E-4	0,00125	0,00084	0,00645	0,00645
16	*	-	-	-	-	-	-
17	27,19	4,80E-5	1,44E-4	0,00140	0,00093	0,00720	0,00720
18	27,20	8,00E-5	2,40E-4	0,00233	0,00156	0,01200	0,01200
19	27,21	2,50E-5	7,50E-5	0,00073	0,00049	0,00375	0,00375
20	28,22	2,50E-5	7,50E-5	0,00073	0,00049	0,00375	0,00375
21	*	-	-	-	-	-	-
22	29,24	0,00102	0,00305	0,02966	0,01978	0,15255	0,15255
23	*	-	-	-	-	-	-

\* bacias desconsideradas

### III.3.2- Cenários simulados

Para avaliar melhor o efeito da variação dos parâmetros de entrada no modelo, diferentes situações foram simuladas. Foram pesquisados os valores médios de cada parâmetro, bem como os valores mínimos e máximos (tabela III.2).

O modelo de simulação hidráulica (CIRCUL) necessita de parâmetros locais, dos quais uns podem ser considerados constantes, como é o caso da aceleração da gravidade e do coeficiente de Coriolis, e outros variam, como é o caso do vento ( $W$ ) e vazão do escoamento superficial da bacia contribuinte. Para analisar o comportamento do modelo face à variação destes parâmetros, estes foram combinados, resultando em oito casos, identificados como C1...C8, ilustrados na figura III.9.

VENTO SUL			VENTO LESTE				
	$Q_{min}$	$\bar{Q}$	$Q_{max}$		$Q_{min}$	$\bar{Q}$	$Q_{max}$
$W=0$	C1		C2	$W=0$	C1		C2
$\bar{W}$		C3		$\bar{W}$		C6	
$W_{max}$	C4		C5	$W_{max}$	C7		C8

FIGURA III.9: Oito casos de simulação no modelo CIRCUL.

No modelo TRANSPOL foram simulados 15 casos para cada situação do modelo CIRCUL. Os parâmetros variáveis adotados neste modelo foram a concentração inicial de fósforo na lagoa ( $C_0$ ), a temperatura da água ( $T$ ) e a carga de poluente (Carga). Unicamente valores mínimos, médios e máximos (tabela III.2) dos parâmetros foram considerados. Estes casos podem ser ilustrados na forma de um cubo, como mostrado na figura III.10. Nele, os casos simulados correspondem às esquinas, o centro de cada face e o centro de gravidade do cubo. Os valores mínimos e máximos permitem a análise do modelo em situações extremas. Como nem sempre a transição de mínimo para máximo é linear, a introdução de valores médios tem a finalidade de analisar a situação intermediária.

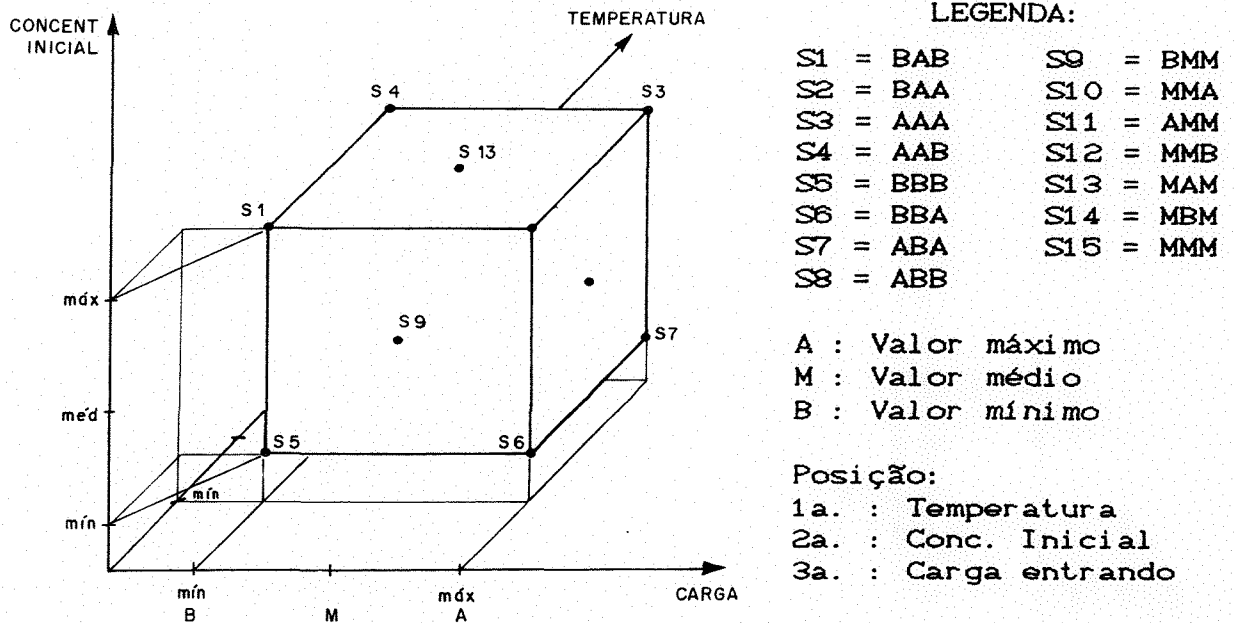


FIGURA III.10: Casos de simulação no modelo TRANSPOL.

Esta metodologia de combinação de cenários foi adotada para facilitar a interpretação da análise de sensibilidade das simulações (De Luca, 1981).

### III.4- Aplicação dos índices

Neste estudo duas categorias de índices foram aplicados com dados da Lagoa Negra: índice de diversidade de espécies utilizando o plâncton e índice de qualidade para uso geral da água.

#### III.4.1- Índice de qualidade da água

Quatro índices diferentes de qualidade da água foram considerados no estudo, todos formulados para um uso geral da água e cada um deles com uma estrutura diferente, apresentados no item II.3.2. O índice de Horton tem uma estrutura linear escalonada, NSF-WQI segue uma função implícita baseada em opinião de especialistas; o de Prati também segue uma função implícita porém baseada em padrões de vários países; e o de Harkins, é um índice não paramétrico. A análise de estrutura de covariância não é tratada neste estudo devido a disponibilidade dos

dados ser insuficiente para um tratamento estatístico desta natureza.

Os elementos tóxicos, quando presentes no ambiente aquático, levam o índice ao valor que indique a pior qualidade. Com a concentração de substâncias tóxicas apresentada pela lagoa (tabelas do Anexo B), os índices aqui utilizados seriam automaticamente levados a esse valor mínimo, porém, o índice foi apenas utilizado para interpretações dos outros parâmetros. As substâncias tóxicas podem ser analisadas em separado com a utilização do índice de toxidez (IT), onde o IT confirma o índice de qualidade da água quando seu valor é 1, ou seja, quando todos os parâmetros tóxicos analisados estiverem abaixo do seu limite; e anula-o quando seu valor é zero, isto é, quando um dos parâmetros tóxicos analisados ultrapassar o seu limite permitido. Neste caso, em todas as campanhas estiverem presentes alguns metais pesados, logo  $IT=0$ .

O índice de Horton foi calculado conforme a equação 2.65. A tabela C.1 apresenta os pesos de cada parâmetro adotados no cálculo.

O índice NSF-WQI foi calculado com a formulação multiplicativa (eq.2.66). Esta formulação, além dos motivos expostos no item II.3.2.2, mostrou melhor correlação com a classificação média de especialistas utilizando dados de rios dos EUA (Landwehr e Deininger, 1976).

Os subíndices de NSF-WQI foram tirados das curvas dadas em Development (1976). Por somente apresentar as curvas de fosfato inorgânico e ortofosfato, a curva de fosfato total utilizada foi obtida de Ott, 1978.

O índice de Prati foi calculado conforme descrito no item II.3.2.3, desconsiderando dois parâmetros que não foram analisados. Portanto, a equação 2.67 sofre a alteração no denominador, passando de 13 para 11.

A tabela A.4, no Anexo A, fornece os dados de nove parâmetros da Lagoa Negra considerados no índice de Harkins. Oxigênio dissolvido, pH e condutividade sofreram uma transformação nos valores de entrada. O

efeito do pH na qualidade da água não é linear, fornecendo uma condição ótima para o ambiente quando se apresenta com valor 7. À medida que se afasta de 7 para baixo ou para cima, a qualidade decai. Biólogos geralmente concordam que uma condição ácida é mais deletéria que uma alcalina. Assim sendo, uma transformação dos valores do pH é necessária. A classe 2 do CONAMA (ver item IV.1) limita este parâmetro de 6 a 9, portanto, a mudança de 1 na direção ácida foi julgada ser tão detrimental quanto uma mudança de 2 na direção alcalina. Isso significa que para fazer estas duas diferenças terem importâncias iguais, as diferenças negativas devem ser multiplicadas por 2. Com base nisso, a transformação consistiu-se no valor absoluto da diferença entre o valor medido e 7 (valor de pH neutro). Se a diferença era negativa, ela foi multiplicada por dois e se a diferença era positiva nenhuma mudança foi feita. Por exemplo, o ponto LN-6/julho apresenta  $\text{pH} = 5,5$  e tornou-se  $|5,5 - 7| \times 2 = 3,0$ . Já o ponto LN-4/maio com  $\text{pH} = 7,04$  tornou-se  $|7,04 - 7| = 0,04$ .

O OD e a condutividade foram transformados com base nos gráficos do índice NSF-WQI. A condutividade ótima é dada em  $130 \mu\text{MHO}/\text{cm}$ , os valores transformados resultam da diferença dos valores medidos com 130 (valor absoluto). O OD foi considerado ótimo de 95 a 105% de saturação. Valores nessa faixa tornam-se nulos. Os valores maiores que 105% são transformados na diferença deles com 105. Os menores que 95% são subtraídos de 95 e multiplicados por 1,5 (raciocínio semelhante ao pH), ou seja:

OD:	valor transformado:
95% - 105%	0
>105%	$ OD - 105 $
<95%	$ OD - 95  \times 1,5$

A primeira linha da tabela A.4 representa o vetor controle, ou seja, valores padrões de cada parâmetro. As demais linhas são os vetores observações. A tabela A.5 apresenta os valores de  $R_i$ .  $R_i$  posiciona os dados de entrada em ordem crescente. Os valores repetidos têm a mesma posição dada pela posição média. Feito este ordenamento, a variância foi calculada com a equação 2.69 e, para cada vetor observação, a distância padronizada foi calculada através da equação 2.68.

### III.4.2- Índice de diversidade de espécies

Foram caracterizados a nível de género, o fitoplâncton e o zooplâncton. No total foram coletadas 30 amostras neste período. Os laudos se encontram no Anexo D.

Os índices de Shannon-Wiener (ISW), Margalef (IMD), Brillouin (IB) e Pielou (IP) foram aplicados com estes dados da Lagoa Negra para cada divisão identificada do plâncton. As formulações destes índices são dadas no item II.5.1.

Os organismos não identificados a nível genérico foram tratados como um género no cálculo dos índices. E a legenda (x) dos laudos, que são organismos identificados, mas não computados no campo de contagem, foi considerada com valor de 2 organismos.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

### IV.1- Avaliação da qualidade da água

A Lagoa Negra é um corpo d'água raso, com profundidade menor que 2,50m e com área superficial em torno de 18Km<sup>2</sup>. A região é muito assolada pelos ventos, tornando as águas sempre misturadas e oxigenadas. Suas águas apresentam elevada cor, turbidez média e transparência baixa, conferindo-lhe uma tonalidade escura, típica de águas de turfeira. Lagoa semelhante só é encontrada na planície costeira uruguaia com o nome de Laguna de los Defuntos (Volkmer-Ribeiro, 1981).

No período de julho/90 a maio/91, o Laboratório de Saneamento do IPH realizou coletas de amostras de água e de sedimento de fundo em seis estações de amostragens. Os resultados das análises das amostras de água coletadas são apresentados nas tabelas D.1 a D.6. Pelos altos teores de fósforo e também de sílica, esta lagoa poderia ser classificada como hipereutrófica. No entanto, a pobreza em nitrogênio e o alto teor de ácidos húmicos e fúlvicos classificam-na como distrófica, como é comum acontecer em regiões de turfeiras.

A qualidade desejada a manter na água depende dos usos a que ela é submetida, como abastecimento público, industrial, agrícola, recreativo, para preservação da vida piscícola e aquática, entre outros. Os usos da água da Lagoa Negra são irrigação de arroz, pesca e dessedentação de animais, apreciação estética e conservação do ecossistema natural. A qualidade requerida para estes usos são diferentes, levando a considerar o critério mais rígido. Assim, a condição da Lagoa Negra neste trabalho, foi comparada com a classe 2 do sistema de classificação das águas do Território Nacional estabelecido pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), na resolução número 20 de 18/06/1986.



Os parâmetros analisados estiveram dentro dos limites da classe 2, exceto a cor, o fosfato total, a amônia, DDT e sete metais: Al, Pb, Cu, Cr, Fe, Hg e Se. Os metais Cr, Hg e Se são considerados tóxicos, particularmente perigosos pelo seu efeito cumulativo.

Fontes de metais em águas naturais incluem intemperismo de rochas e erosão de solos ricos nestes materiais, podendo também ser devido a descargas de efluentes doméstico, industrial, atividade de mineração e águas superficiais provenientes de áreas cultivadas com adubos químicos e principalmente defensivos agrícolas, que contêm os mais variados metais traços.

O mercúrio, apesar de em 1975 (tabela C.1) não ter sido detectado (que pode ser devido à sensibilidade do método utilizado), se apresentou com alta concentração em todas as cinco campanhas deste período. Na campanha de 1975 (GERMD, a água já apresentava com altos teores de fosfato, sílica e cor. O oxigênio não era problema e nitrato se apresentava com baixos teores. Somente a dureza da água que outrora foi medida em 18 e 24 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , em nenhuma análise destas campanhas foi detectada.

O fosfato não representa problemas de toxidez, nem à saúde humana e nem a de outros organismos, porém é um nutriente que quando limitante nos cursos d'água, o seu aumento pode provocar sérias consequências ao ambiente.

A sílica sempre esteve presente na lagoa com altas concentrações, conforme os registros de 1975. Tessenov (1964), segundo Esteves (1988), mostrou em um minucioso estudo sobre a dinâmica de sílica em lagos alemães, que durante a primavera (período de desenvolvimento das diatomáceas), 90% do estoque de sílica dos lagos são incorporados ao sedimento sob a forma de carapaça. A liberação da sílica dessas carapaças depende principalmente da temperatura, numa relação diretamente proporcional. Já a liberação da sílica da água intersticial para a coluna d'água depende de fatores como: gradiente de concentração, pH e atividade de organismos. Obedecendo um gradiente de concentração, há liberação até que a concentração desta entre em equilíbrio com a concentração da água. Quanto ao pH, há maiores taxas

de liberação de sílica quando o pH é menor que 7 (caso da Lagoa Negra) ou maior que 9, com redução entre 7 e 9.

O cloreto, no período deste estudo, se manteve em torno de 20 mg/l, com exceção do mês de dezembro que apresentou com 7 mg/l. Cloretos são um dos componentes mais constantes da água. Sua concentração muda quando processos físico-químicos e bioquímicos ocorrem na água. Consideráveis aumentos de cloretos nas águas podem ser detectados com a poluição de esgotos domésticos e industrial. Aumento na concentração de cloretos pode servir como um sinal de poluição fecal (Pavoni, 1977).

A Lagoa Negra apresentou baixos valores de alcalinidade, possuindo assim baixa capacidade de neutralizar ácidos fortes a ela adicionados, conseqüentemente o corpo d'água fica susceptível aos fenômenos de acidificação. A acidificação, além das alterações físicas e químicas, causa sérias mudanças na estrutura das comunidades aquáticas. Assim, todos os níveis tróficos sofrem reestruturação, tanto no número de espécies, quanto na biomassa. Dentre as comunidades mais alteradas destacam-se as macrófitas aquáticas e peixes; dentre os menos afetados: as bactérias, fungos e algas (Lenhart & Steinberg, apud Esteves, 1988).

O pH se manteve na faixa de 5,5 a 7,0. Ecossistemas aquáticos, que apresentam mais frequentemente valores baixos de pH, têm elevadas concentrações de ácidos orgânicos dissolvidos de origem alóctone e autóctone. No Brasil, segundo Esteves (1988), estes ecossistemas são encontrados em grande número na região de terra firme da Amazônia central, no litoral (especialmente na faixa de restingas) e em regiões de turfeiras, apresentando uma característica comum: a cor escura da água (cor de café ou chá). Estes valores baixos de pH fornecem indício da ausência de substâncias tamponadoras (bicarbonato e carbonato) em solução, o que confirma a baixa alcalinidade encontrada.

Os pesticidas organo-clorados foram analisados na primeira campanha deste período. Dos 11 pesticidas analisados, somente o DDT foi detectado no ponto LN-6 com 0,2µg/l e em LN-5 foi detectado traços desta substância. O restante apresentou concentração menor que

0,05 $\mu$ g/l (tab.D.6). A concentração apresentada em LN-6 é um valor acima do limite imposto pela classe 2.

A coleta de sedimento foi realizada na campanha de dezembro/90. As amostras de sedimento se apresentavam com a cor negra, característica de sedimento com alto teor de matéria orgânica, e com cheiro desagradável, exceto a da estação LN-6.

Os sedimentos desempenham um importante papel no sistema aquático, seja por sua participação no equilíbrio químico dos poluentes solúveis/insolúveis, seja por sua maior permanência no corpo d'água, sendo, em geral, integradores das cargas poluentes recebidas pelas águas. O sedimento, sendo o compartimento do ecossistema lacustre onde se depositam todos os compostos e estruturas de animais e vegetais que não foram totalmente decompostos, desempenha um importante papel na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos.

Os valores sedimentológicos deste estudo encontram-se nas tabelas D.8 a D.10. Comparando os valores deste período com os de 1980 (Volkmer-Ribeiro, 1981) e os de 1983 (Oliveira, 1983), poderia se dizer que existe diferenças expressivas nos resultados de matéria orgânica e de argila. Porém, analisando os locais de coleta, Volkmer-Ribeiro (1981) encontrou, de maneira geral, diferenças nas margens com relação ao centro da lagoa (tab.C.3). Na região próxima às margens, há predominância de areia e no centro, existe alta percentagem de silte e argila sobre a areia. A matéria orgânica também se apresentou com alta percentagem ( $\cong$  35%) no centro da lagoa e com cerca de 15% nas margens, com exceção do ponto C, que se localiza em local onde provavelmente há estagnação de materiais. As estações de coleta deste estudo se localizam em locais diferentes dos estudos anteriores e apresentam valores também diferentes, o que não quer dizer que o sedimento tenha se modificado.

Na tabela D.8 constam os valores de concentração dos elementos traços cromo e mercúrio. Altas concentrações foram detectadas principalmente nos pontos LN-1 a LN-3. Estes dois elementos também foram encontrados na água com elevados valores.

#### IV.1.1- Índice de qualidade da água

Com os dados da tabela D.1 a D.5, os índices de Horton, NSF-WQI, Prati e Harkins foram aplicados. Os resultados destes índices são apresentados nas tabelas A.1 a A.4. Nas figuras IV.1 e IV.2 são realizadas as representações gráficas dos índices, permitindo a visualização espacial e temporal da qualidade da água na Lagoa Negra.

Os índices testados mostram que, de maneira geral, a qualidade da água da Lagoa Negra para diversos usos se manteve dentro da faixa considerada média a boa. Altos coeficientes de correlações lineares já foram encontrados em amostras de rios entre os índices Prati-NSF-Harkins (Dunnette, 1979; Landwehr e Deininger, 1976). Na Lagoa Negra, apesar dos índices se apresentarem na média numa mesma faixa de qualidade, não existe tal correlação. Talvez porque a faixa do índice neste período foi estreita, carecendo de valores extremos.

Dentre os seis parâmetros considerados por Horton, somente o pH e a alcalinidade se apresentaram em faixas diferentes de qualidade (tab.A.1). Como a estrutura do índice segue uma função linear escalonada e os dados deste estudo mostram pouca variação, este tipo de índice se torna pouco apropriado para os dados obtidos.

A Lagoa Negra não apresenta problemas de OD, DBO e coliformes fecais e, sendo estes os que possuem os maiores pesos no índice NSF-WQI, são os que elevam o índice (tab.A.2). Já os sólidos suspensos são os responsáveis pela diminuição do índice em todas as amostras. Os níveis de sólidos suspensos da Lagoa Negra, segundo NSF, apresentaram subíndices abaixo de 50, numa escala de 0 a 100. A temperatura de verão é que provoca a queda de qualidade da água no mês de dezembro em relação aos outros meses. Para este índice, temperatura acima de 30°C leva o subíndice a zero. Neste caso, como ocorreu no ponto LN-6/dezembro (T=33°C), o subíndice foi considerado igual a 0,001 para que não zerasse o índice com formulação multiplicativa.

O índice de Prati também indicou, como em NSF, o ponto LN-6/dezembro o de mais baixa qualidade (fig.IV.1), principalmente pelo aumento significativo de concentração de DQO. Para este índice,

além da DQO, sólidos suspensos e ferro total elevam o índice, ou seja, levam a valores mais baixos de qualidade (tab. A.3).

Aplicando a metodologia de Harkins para nove parâmetros de qualidade, três deles foram transformados (item III.4.1). Na tabela A.4 são apresentados os valores transformados ou o próprio valor medido e na tabela A.6, as distâncias padronizadas do parâmetro  $i$  ( $S_{n,i}$ ) e as distâncias padronizadas dos vetores observação ( $S_n$  = soma de  $S_{n,i}$ ), que é o índice de Harkins.

A classificação não-paramétrica é um método eficiente para indicar a qualidade relativa temporal e/ou espacial. No gráfico IV.2 mostra as diferenças espacial e temporal da Lagoa Negra neste período estudado. Valores altos de julho/90 chamou a atenção em virtude de outros índices apresentarem este mês dentro da faixa de qualidade de outros meses. Um exame das colunas  $S_{n,i}$  da tabela A.4 mostrou que esse aumento se deve aos coliformes fecais.

Quando o parâmetro apresenta baixa variância, mesmo uma pequena variação no parâmetro, provoca altos valores da distância padronizada. Como é o caso de coliformes fecais que somente no mês de julho/90 foi detectado pelo método de análise, provocando uma variância baixa e conseqüentemente altos valores da distância padronizada

O NMP de coliformes encontrado em julho/90 é baixo, isso leva a afirmar que o alto valor de  $S_{n,i}$  apresentado não é de baixa qualidade, mas um sinal de alerta para um parâmetro que nunca esteve presente e foi detectado nessa campanha. Calculando o índice de Harkins sem o parâmetro coliformes fecais (cabe aqui ressaltar que, este parâmetro não necessariamente precisa ser excluído e sim transformado), os valores de  $S_n$  diminuiu entrando na faixa de outros meses (ver fig. IV.2). Isso leva a concluir que a classificação não paramétrica leva o usuário a uma avaliação cuidadosa com a entrada de dados (a necessidade de alguns parâmetros serem transformados e da qualidade do vetor controle) e com a análise dos resultados. Por ser o índice de Harkins um índice relativo e não absoluto, valores gerados com uma série de dados não podem ser comparados diretamente com outra série. E também, embora se conclui que LN-1 (IHa=22) mostrou melhor qualidade

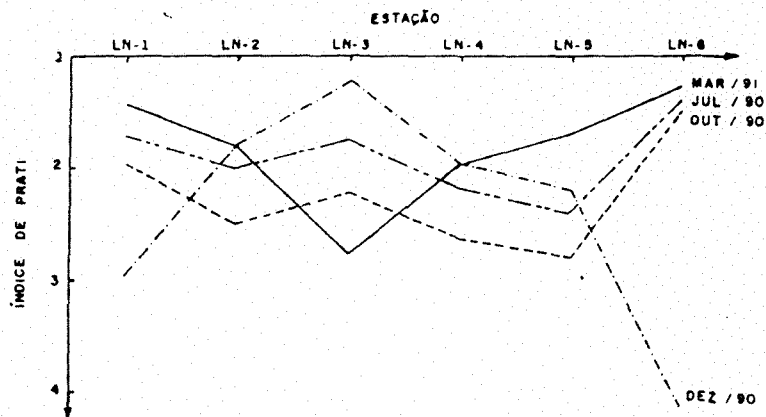
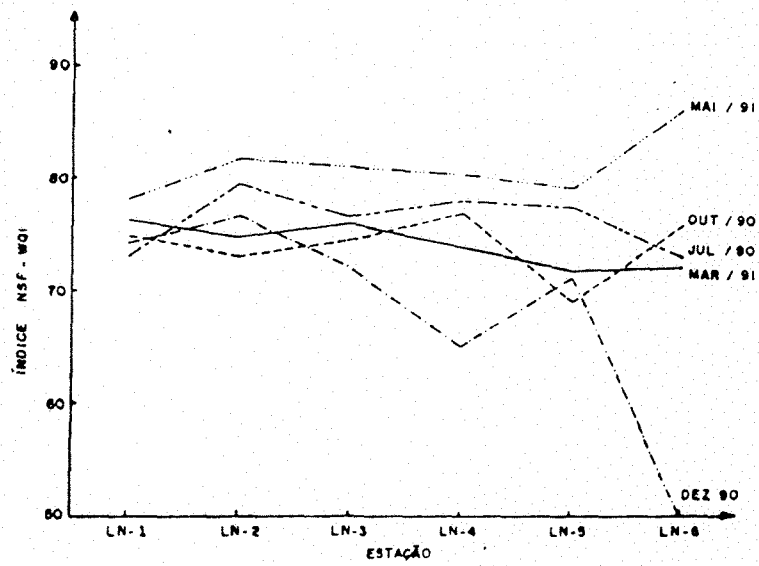
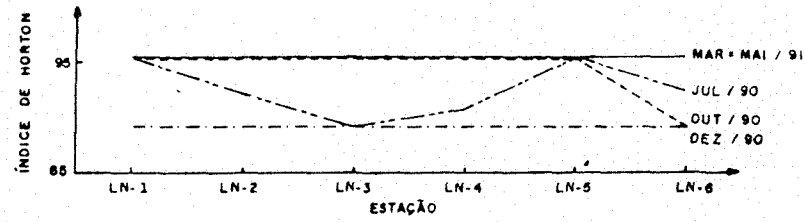


FIGURA IV.1: Representação gráfica de três índices de qualidade aplicados à Lagoa Negra no período 90-91.

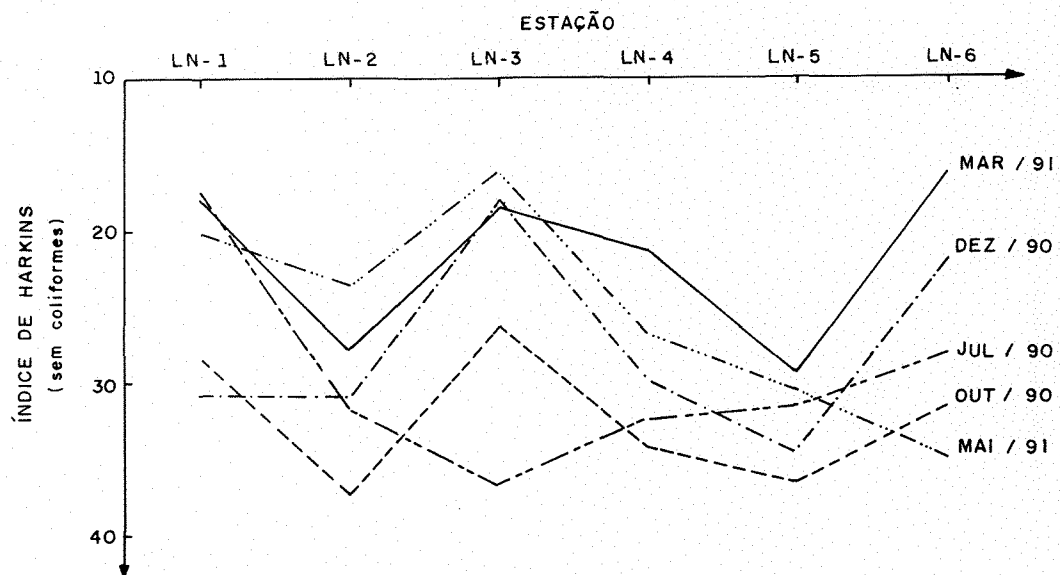
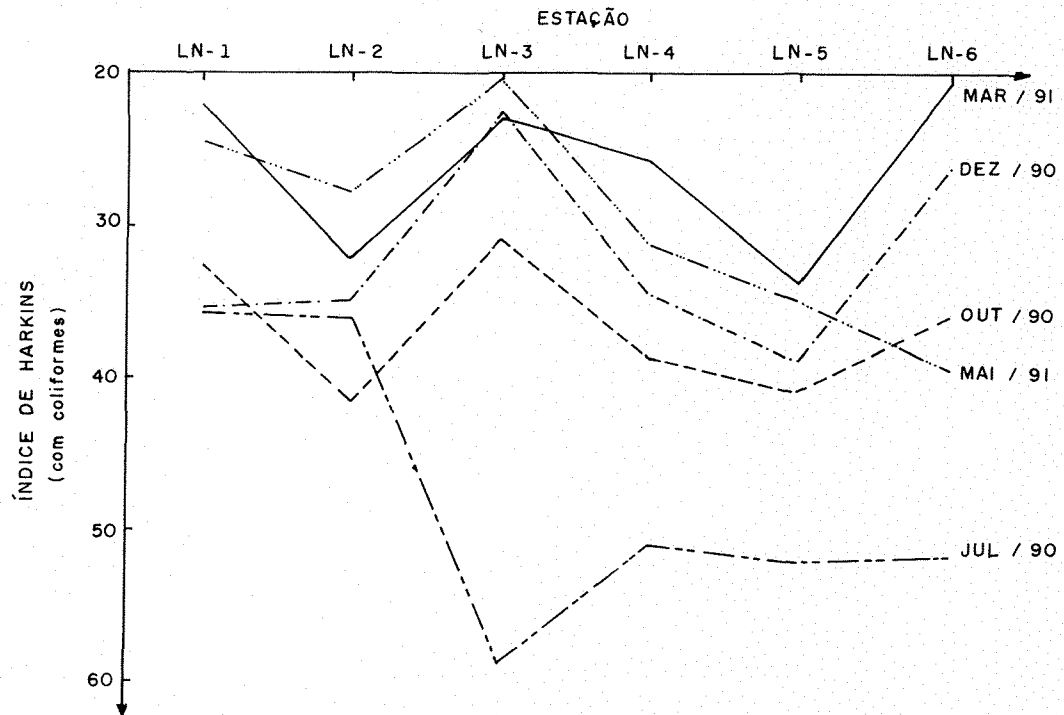


FIGURA IV.2: Representação gráfica do índice de Harkins aplicado à Lagoa Negra no período 90-91.

que LN-2 (IHa=32) no mês de março-91, estes valores não podem ser universalmente interpretados como pobre ou boa qualidade.

Enfim, os índices representam as variáveis que lhes dão suporte, isso faz com que a escolha do índice seja em função dos parâmetros que são importantes no corpo d'água para monitoramento.

#### IV.1.2- Índice de diversidade

A caracterização da comunidade planctônica desta lagoa se encontra nos laudos do anexo D. Em seis estações de amostragem, utilizadas para modelagem matemática, foram caracterizados a nível de gênero, o fitoplâncton (cianofíceas, diatomáceas, clorofíceas e flagelados pigmentados) e o zooplâncton (crustáceos, rotíferos e protozoários). O bentos também é avaliado, mas é praticamente inexistente na Lagoa Negra. No total, foram coletadas 30 amostras, representativas das diversas estações do ano, em datas da passagem do satélite LANDSAT-TM5.

Na tabela IV.1 são reunidos dados de concentração de sais dissolvidos, matéria orgânica e de nutrientes. A matéria orgânica (DQO) existente está sob a forma de ácidos orgânicos, principalmente ácidos húmicos e fúlvicos. O teor de sais dissolvidos é baixo, mas suficiente para a sustentação da vida aquática.

Tabela IV.1: Qualidade da Água da Lagoa Negra/RS - Período 90/91

Valores	Condut. ( $\mu$ MHO/cm)	DQO (mg/l)	NO <sup>-</sup> (mg/l)	PO <sup>3-</sup> (mg/l)	Si (mg/l)
Máximos	90	336,5	2,23	1,58	60
Médios	72	66,0	0,28	0,41	41
Mínimos	30	2,6	0,01	0,01	20

Há uma predominância total de fitoplâncton sobre o zooplâncton nestas águas colorizadas. E em 30 amostras, apenas uma apresentou organismos bentônicos, com densidade de 88 org/m<sup>2</sup>.

Entre os organismos fitoplanctônicos, predominam as algas diatomáceas, cuja principal característica é a incorporação da sílica



no seu material celular. Estas algas são sinônimo de águas de boa qualidade, sendo utilizadas como alimento por protozoários e peixes. 75% dos organismos planctônicos são crisofíceas, conforme tabela IV.2. No estudo feito em 1981 por Callegaro, encontrou-se também essa predominância das algas diatomáceas sobre os demais grupos.

Tabela IV.2: Variação percentual espacial da biota aquática (reino protista) na Lagoa Negra/RS - Período 90/91

Classificação	LN-1	LN-2	LN-3	LN-4	LN-5	LN-6
Cyanophyta	6,1	8,9	7,9	9,7	10,0	2,6
Chlorophyta	12,3	15,1	7,9	12,4	12,5	4,9
Chrysophyta	76,9	71,8	79,2	72,6	70,6	75,9
Flagelados	3,3	3,0	3,2	4,1	5,2	8,8
Fitoplâncton	98,6	98,8	98,2	98,8	98,3	92,2
Zooplâncton	1,4	1,2	1,8	1,2	1,7	7,8

Os índices de Margalef, Shannon-Wiener, Brillouin e Pielou aplicados à Lagoa Negra para as divisões do plâncton são apresentados nas tabelas A.7 a A.36. Estes resultados são resumidos na tabela IV.3.

O índice de Margalef, também conhecido como índice de riqueza de espécies, tem limites variando entre 0 e 10, sendo comum no sul do Brasil lagoas e represas com IMs fitoplanctônicos máximos de 7. O índice de Shannon-Wiener, um melhoramento de Margalef, varia entre 0 e 5.

Tabela IV.3: Sumário dos Índices Biológicos aplicados ao Plâncton (P) e Fitoplâncton (FP) - Lagoa Negra/RS. (CV = coeficiente de variação)

Índice	IM		ISW		IB		IP	
	FP	P	FP	P	FP	P	FP	P
Máximo	6,15	7,31	3,89	4,00	2,69	2,77	0,83	0,83
Médio	3,96	4,63	3,22	3,20	2,22	2,21	0,72	0,70
Mínimo	1,51	1,70	2,35	1,58	1,63	1,10	0,57	0,56
CV (%)	39	38	15	18	15	18	10	10

Há muita variabilidade espacial e temporal de IM e ISW, sendo o ISW mais estável para descrever a situação planctônica com respeito ao carbono existente e utilizável pela biota aquática.

O índice de Brillouin varia de 0 a 4. A diversidade média

encontrada foi cerca de 50% do valor máximo esperado.

Apesar das águas da Lagoa Negra serem distróficas, principalmente com relação ao carbono e nitrogênio, o índice de Pielou (IP) mostra que na média as frequências relativas são mais homogêneas tanto espacial quanto sazonalmente, tendo um valor médio de 0,70 numa escala de 0 a 1. Este valor sugere e espelha a utilização de sílica pelas algas diatomáceas, as quais também podem fixar o nitrogênio a partir do ar.

Como o carbono é fixado também a partir do ar, explica-se a alta diversidade de espécies fitoplactônicas em relação ao zooplâncton.

Foi tentada a regressão linear múltipla entre os índices biológicos, o teor de matéria orgânica (DQO), o teor de sais dissolvidos e de nutrientes, para o fitoplâncton. A título de ilustração, são significantes a níveis menores que 0,3% as seguintes relações, para IM e IP:

$$IM = 2,793 + 0,0037 \text{ DQO} - 0,004 \text{ NO}_3 - 1,54 \text{ PO}_4 - \\ 0,0351 \text{ Si} + 0,0415 \text{ COND.}$$

$$IP = 0,738 + 0,000098 \text{ DQO} - 0,0399 \text{ NO}_3 + 0,0936 \text{ PO}_4 - \\ 0,000628 \text{ Si} + 0,000064 \text{ COND.}$$

Nota-se que a concentração de fósforo é muito importante para IP e que os sais e a matéria orgânica podem ser importantes para IM.

#### IV.2- Modelo de qualidade da água

Inicialmente, são apresentados resultados do modelo de circulação. Posteriormente, cenários do transporte de fósforo são abordados.

##### IV.2.1- Modelo CIRCUL

Todas as combinações dos dados de entrada descrito no item III.3.2 foram simuladas. O modelo fornece duas grades de velocidade referentes às duas componentes de transporte (U e V) e uma grade da elevação da superfície acima da média (Z) para cada um dos cenários

simulados. Para melhor análise, foi desenvolvido o programa VISVEL, cujas entradas são as duas grades das componentes do transporte, permitindo a visualização da direção do fluxo no corpo d'água.

### CASO 1

Os resultados da simulação da parte hidráulica das situações de calmaria com precipitação mínima (C1) e calmaria com precipitação máxima (C2), descritas no item III.3.2, apresentaram diferenças insignificantes. Por esta razão, estes dois casos são tratados a partir daqui como caso 1. Com a ausência de vento, a circulação na lagoa segue um fluxo ordenado que parte do corpo da lagoa rumo à saída no braço menor (fig. IV.3). A intensidade da velocidade em toda a lagoa se apresentou baixa. No corpo da lagoa, a velocidade se manteve praticamente homogênea, aumentando no braço (figs. IV.5 e IV.6). Nesta situação, a superfície não mostrou mudanças de elevação (fig. IV.3). Pode-se considerar que unicamente as vazões de entrada e saída originam o fluxo da água, o que confirma no padrão visto na figura IV.4.

### CASO 2

Com precipitação média e vento de intensidade média atuando na direção sul (C3), a intensidade do fluxo em cada célula aumenta e segue outra direção diferente do caso 1. Notou-se um padrão de circulação no sentido anti-horário do centro do braço em direção ao corpo da lagoa e retornando para o braço pela margem (fig. B.2). As maiores intensidades foram encontradas especialmente na região do braço (figs. B.3 e B.4). O vento atuando nesta direção provoca elevação Z de 1cm na margem norte e -1cm na margem sul. A máxima elevação se deu no braço da lagoa com +3cm, como pode ser visto na fig.D.1.

### CASO 3

Nesta simulação, com precipitação média e vento médio na direção leste (C6), o fluxo na lagoa apresenta um terceiro padrão (fig.B.6). O fluxo nas margens do braço segue em direção ao corpo da lagoa. No

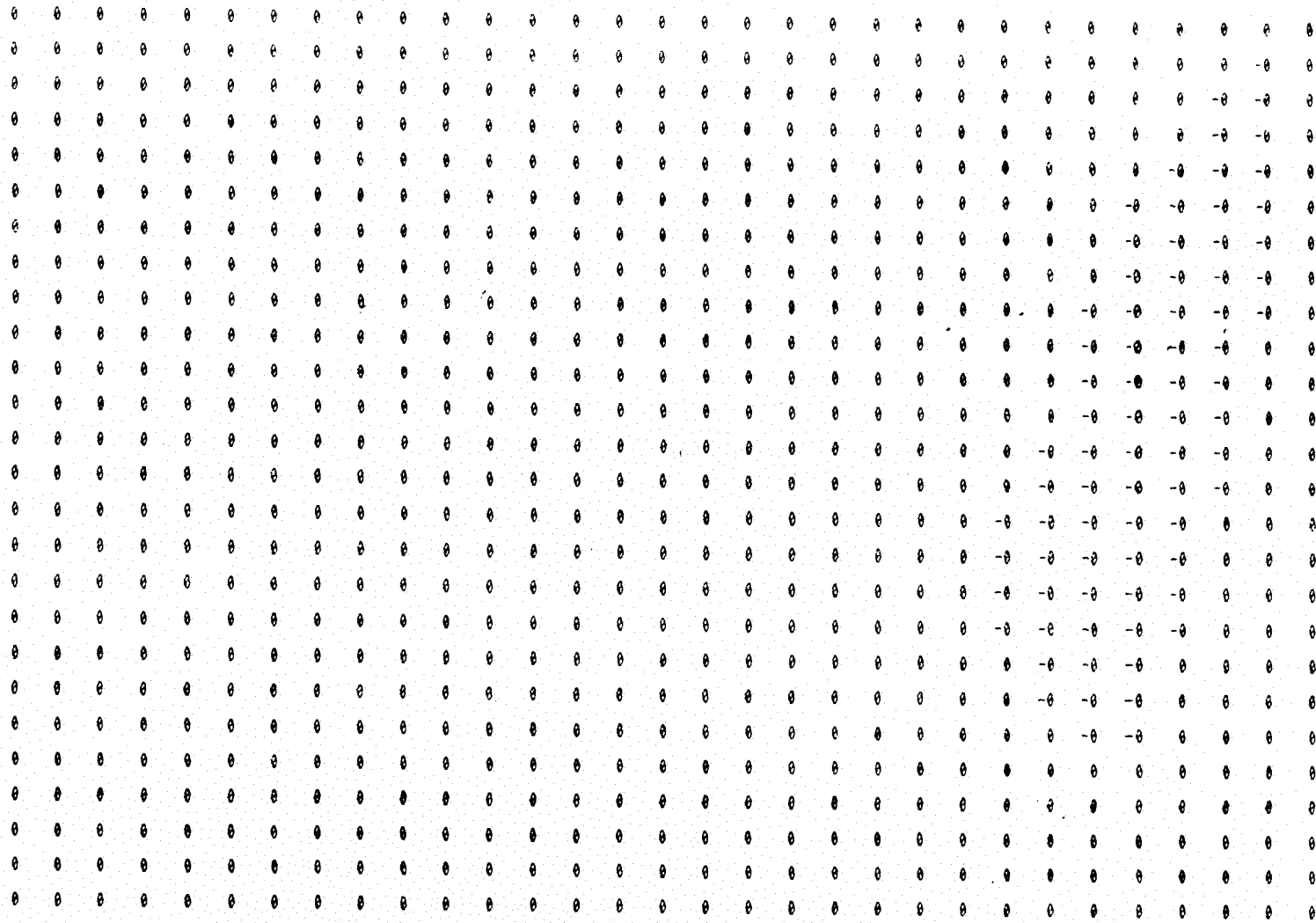


FIGURA IV.3: Grade da elevação da superfície acima do nível médio após 4 horas de simulação. CASO 1: precipitação máxima e calmaria.

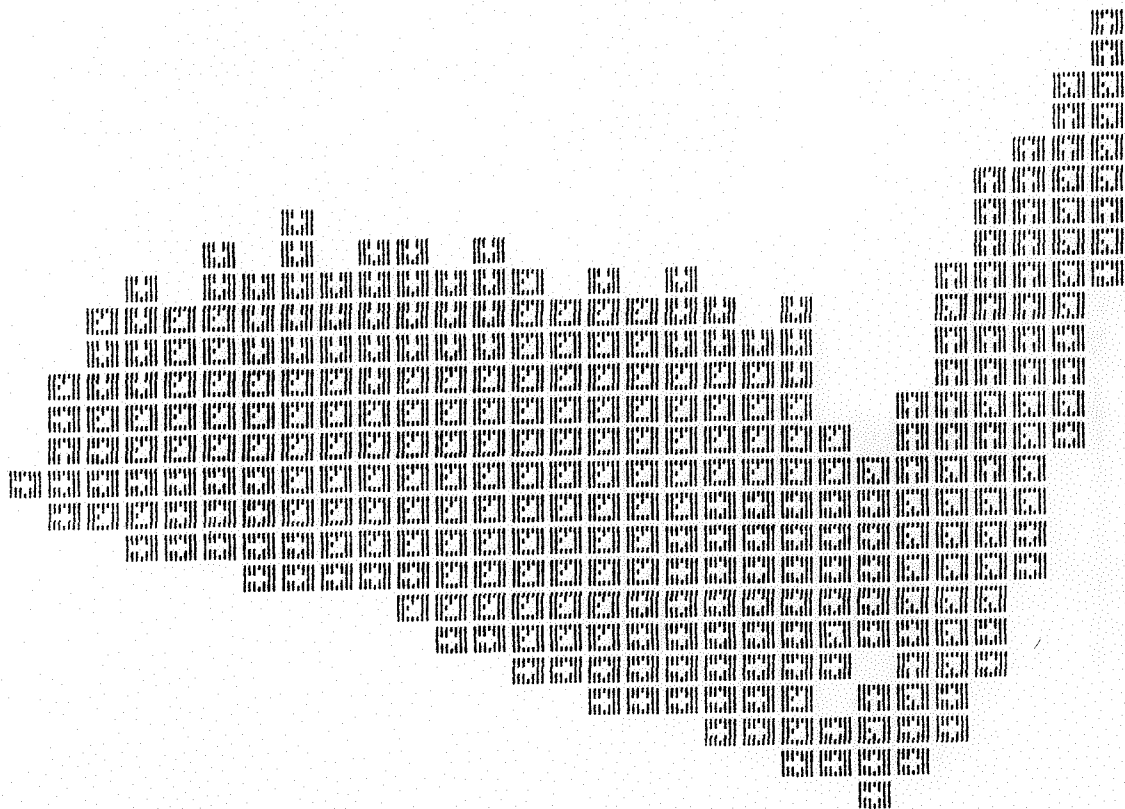


FIGURA IV. 4: Circulação na lagoa após 4 horas de simulação. CASO 1: precipitação máxima e calmaria.





corpo, ainda nas margens, o fluxo é levado para o oeste. No centro da lagoa, o fluxo segue em direção à saída. A intensidade do fluxo é da mesma ordem de grandeza do caso 2, onde a intensidade do vento também é a mesma. As maiores intensidades foram encontradas especialmente nas margens do corpo da lagoa (figs. B.7 e B.8). Quanto à superfície, ela se elevou à oeste até 2cm e na margem leste abaixou também até 2cm (fig. B.5).

#### CASO 4

Existe pequena diferença entre os resultados das simulações C4 (precipitação mínima e vento máximo sul) e C5 (precipitação máxima e vento máximo sul). O fluxo do caso 2 (fig. B.2) se repetiu. Porém, a intensidade aumentou significativamente, apresentando as maiores intensidades na região do braço (figs. B.10 e B.11). A elevação da superfície foi bem maior que nos outros casos, as elevações extremas foram encontradas na saída da lagoa, com 24 cm, e na margem sul com -11cm (fig. B.9).

#### CASO 5

O caso 5 representa as simulações C7 e C8, ou seja, precipitações mínima e máxima, respectivamente, com vento máximo leste. Estas também apresentaram resultados semelhantes, com diferenças desprezíveis. O padrão do fluxo resultou idêntico ao do caso 3 (fig. B.6) e de mesma ordem de grandeza do caso 4 (ver figs. B.13 e B.14). Intensidades maiores foram encontradas, como no caso 3, no corpo da lagoa. A elevação da superfície atingiu 15cm na extremidade oeste e -16cm no braço da lagoa (fig. B.12).

Com base nos resultados da simulação da parte hidráulica, acima descritos, constatou-se que, a circulação não sofreu grandes alterações dentro da faixa de variação da vazão de entrada fixada (para uma chuva de 728 a 1590mm). Notou-se que a intensidade e a direção do vento afetam a circulação na lagoa. O aumento nas componentes do transporte e a direção do vento modificam a circulação dos componentes da lagoa.



#### IV.2.2- Modelo TRANSPOL

Conforme comentado acima, os oito casos simulados no modelo CIRCUL podem ser agrupados em cinco casos com componentes do transporte distintos. Cada um destes 5 casos foram utilizados para simular 15 situações com diferentes valores de concentração inicial de fósforo no lago, temperatura da água e cargas do escoamento superficial da bacia de drenagem (descritos no item III.3.2). Fósforo dissolvido (PD) e particulado (PP) foram modelados na fase de transporte de poluentes e de reação bioquímica. A saída do modelo são grades com concentrações de fósforo, uma de PD e outra de PP, na mesma discretização da grade de profundidades. Um exemplo das grades de saída do modelo TRANSPOL é mostrado na figura IV.7 para PD e figura IV.9 para PP. As isolinhas de concentração para estas grades foram traçadas usando o programa SURFER e podem ser encontradas nas figuras IV.8 e IV.9, respectivamente. As demais saídas do modelo apresentadas neste estudo se encontram no anexo B em isoconcentrações para melhor visualização espacial e interpretação dos resultados.

De modo geral, as concentrações de fósforo nas margens são diferentes das encontradas na região central da lagoa. Assim como existe diferença entre a concentração no corpo da lagoa com relação à região do braço. Por esta razão, muitas das observações feitas abaixo são com base nestas quatro regiões.

Para não criar confusão em virtude da grande quantidade de cenários simulados, estes foram identificados (item III.2) em código B de baixo, M de médio e A de alto, referindo-se aos parâmetros temperatura, concentração inicial e carga proveniente do escoamento superficial, sempre nesta ordem. Por exemplo, o cenário BAM1, significa que a situação simulada é com temperatura baixa, a concentração inicial do lago alta, a carga entrando é média e o vento do caso 1 (calmaria). Com as considerações feitas, a seguir são explanadas algumas características encontradas nas simulações.

##### Caso 1 - calmaria:

Com o lago inicialmente apresentando uma concentração inicial de PD (PD<sub>0</sub>) baixa de 6 µg/l, atuando uma temperatura (T) baixa de 14°C e



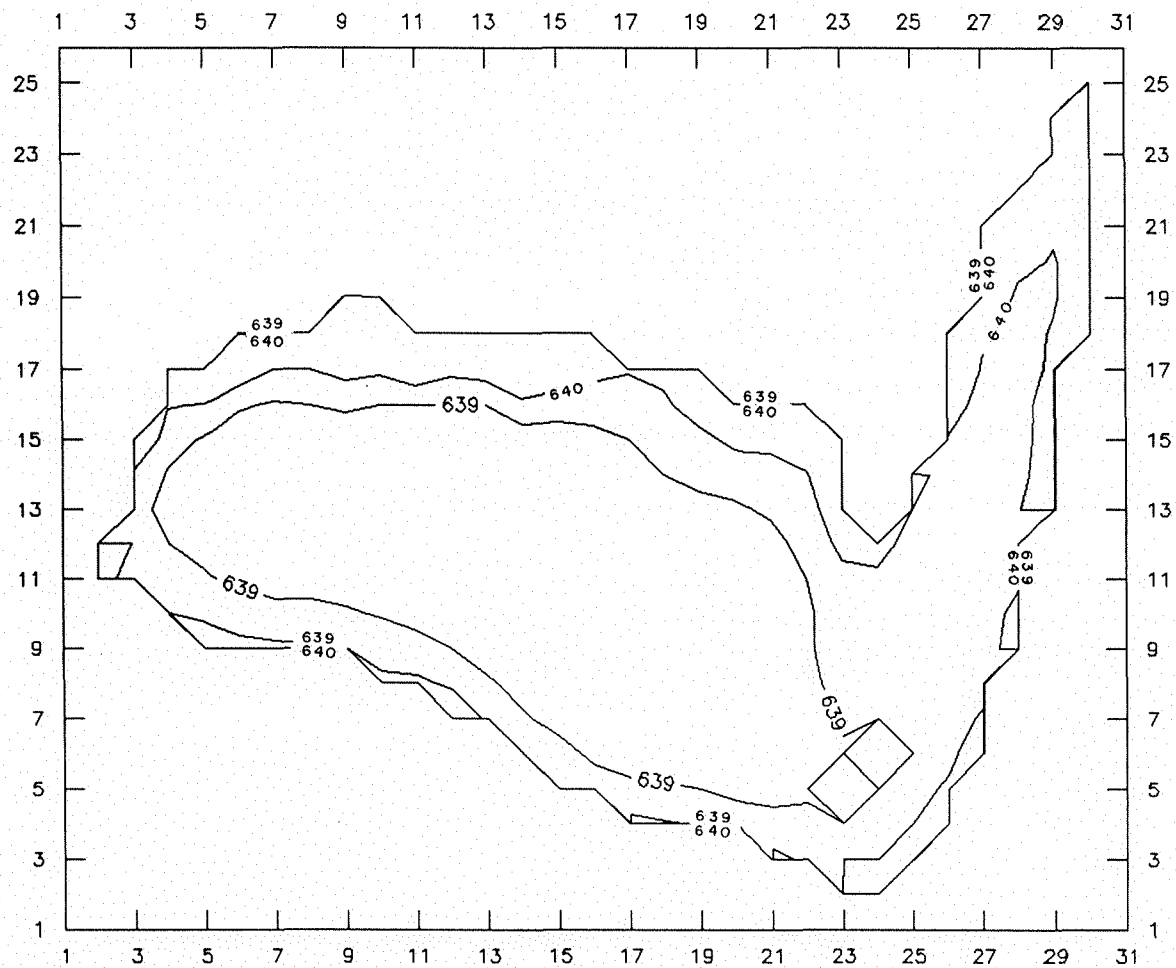


FIGURA IV.8: Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário BAA1 - calmaria:  
 $T=14^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=680\mu\text{g/l}$  - Carga máxima



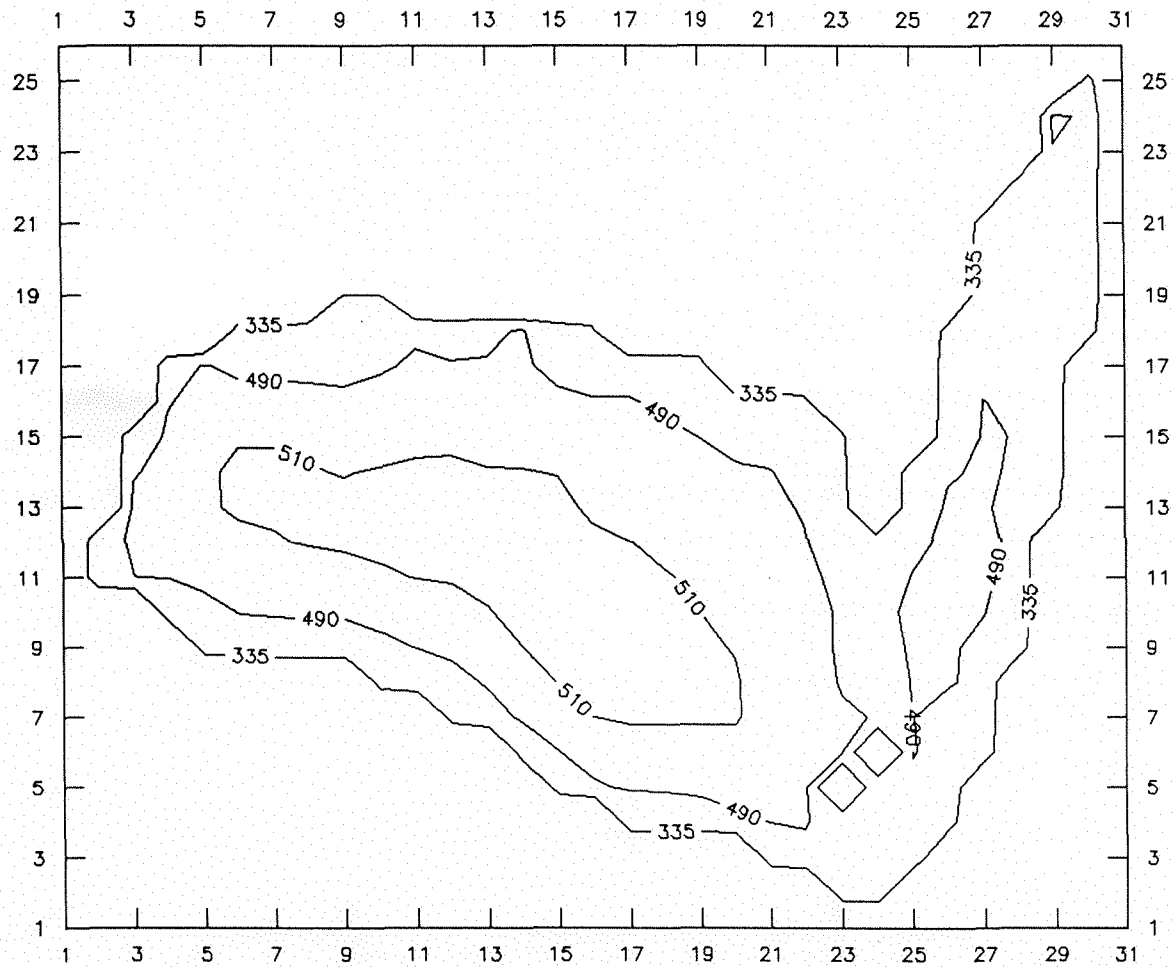


FIGURA IV.10: Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário BAA1 - calmaria:  
 $T=14^{\circ}\text{C}$  -  $C_o=490\mu\text{g/l}$  - Carga máxima

entrando uma carga mínima de fósforo (cenário BBB1 - fig.B.15), a lagoa passa a ter depois de 10 horas uma concentração homogênea de  $6,1\mu\text{g}/\text{l}$ . Ao aumentar a temperatura para  $30^{\circ}\text{C}$  e mantendo as outras entradas constantes (cenário ABB1), PD sobe para  $6,3\mu\text{g}/\text{l}$  em todo o lago.

Quando a carga proveniente do escoamento superficial é máxima e T é baixa (BBA1) ou T é alta (ABA1 - fig.B.17), a margem norte (onde está localizada a maior parte da entrada de carga) atinge valores altos (chegando a  $100\mu\text{g}/\text{l}$ ), porém, em 10h esta alta concentração não chega a ocupar toda a lagoa. O restante da lagoa permanece homogênea e com concentração determinada pela temperatura, ou seja, se a temperatura for baixa (BBA1), a concentração é de  $6,1\mu\text{g}/\text{l}$  (mesma concentração do caso BBB1), se for alta, a concentração é de  $6,3\mu\text{g}/\text{l}$  (mesma concentração do caso ABB1).

Com a T e a carga apresentando valores médios (MBM1), a concentração de PD se localiza dentro da faixa apresentada pelos cenários BBB1 e ABA1, com  $6,2\mu\text{g}/\text{l}$ . Devido à carga média estar entrando na margem norte, esta margem apresenta concentrações mais elevadas.

Quanto a PP, inicialmente com concentração de  $4\mu\text{g}/\text{l}$  (cenário BBB1-fig.B.16), a concentração no corpo foi de 3,7 e no braço de  $3,6\mu\text{g}/\text{l}$ , o que se pode considerar homogênea. A margem, de um modo geral, apresentou menores concentrações que no centro. Com o aumento da T (cenário ABB1), a concentração diminuiu para  $3,5\mu\text{g}/\text{l}$ . Quando a carga proveniente do escoamento é média ou máxima (MBM, BAB ou ABA-fig.B.18), a concentração na margem norte apresenta valores maiores, porém, como nos resultados de PD, a carga não chega a atingir o restante da lagoa e ela se comporta como nos casos anteriores: com concentração maior na região do corpo que no braço e no centro que nas margens.

Nos casos onde a concentração inicial é máxima (\*A\*, ou seja, BAB1, MAM1, BAA1 - fig.IV.8 a IV.10, AAB1 - fig.B.21/22, AAA1 - fig.B.23/24), a concentração de PD foi maior no braço que no corpo e nas margens que no centro. E PP apresentou-se exatamente ao contrário. Com a concentração inicial maior, as diferenças espaciais atingiram

valores maiores que quando mínima, atingindo diferenças de até  $30\mu\text{g}/\text{l}$ . Quando a T aumentou (AAB1-fig.B.21/22 e AAA1-fig.B.23/24), [PD] diminuiu e [PP] aumentou com relação aos cenários BAB1 e BAA1. O cenário MAM apresentou com concentração entre os casos extremos de temperatura comentados anteriormente.

Com o aumento da carga de entrada e mantendo T baixa e concentração inicial alta (BAA1-fig.IV.7 ou IV.8), a concentração de PD na margem apresenta valores mais altos, porém não atingindo o restante da lagoa.

Iniciando a simulação com todas as entradas com valores médios (MMM1), a lagoa após 10 h apresenta-se com concentração de fósforo distribuída espacialmente conforme as figuras B.19 para PD e B.20 para PP. Nota-se que a concentração de PD apresenta pequenas diferenças espaciais e PP, no entanto, apresenta-se com diferenças maiores. Ao diminuir a temperatura (BMM1), essa diferença espacial diminui e ao aumentar (AMM1), a diferença aumenta. Já com o aumento da carga entrando (MMA), só muda a concentração na margem norte, comportando o restante da lagoa sob o comando da concentração inicial e da temperatura.

#### Casos 2 e 3 - vento médio sul e leste:

Com a atuação do vento, a ordem de grandeza da concentração de fósforo é a mesma do caso 1 para todos os 15 cenários simulados, ou seja, o caso ABA1, ABA2 e ABA3, por exemplo, são similares. As diferenças ocorridas foram pequenas, como podem ser constatadas com as figuras IV.8 a IV.10 do caso 1, B.25/26 do caso 2 e B.27/28 do caso 3.

#### Casos 4 e 5 - vento máximo sul e leste:

Todas as 30 situações destes dois casos superaram o valor máximo permitido no modelo (overflow) na concentração de fósforo. No caso 4, em 5 horas apresentaram células com concentrações negativas. Fisicamente não existem valores negativos de concentração e estes valores se propagam, tornando um problema na simulação. No processo de advecção, por exemplo, o gradiente de concentração das equações 2.55 e 2.56 é superestimado quando uma das concentrações ou ambas são negativas. No processo de sedimentação, a concentração negativa causa

aumento de concentração na célula, ou seja, o sinal negativo da concentração levará o termo que deveria ser subtraído, ser somado. Na subrotina BIOQUI, que trata das reações bioquímicas, também ocorrerá confusão nos conceitos com a formulação quando uma das ou ambas concentrações de PD e PP apresentarem valores menores que zero. Isto pode ser visto nas equações 2.58 e 2.59 que descrevem a conversão de fósforo dissolvido à forma particulada e vice-versa.

Com base nos resultados acima, pode-se afirmar que, espacialmente, as concentrações simuladas são aproximadamente constantes quando a concentração inicial é baixa, bem como as outras entradas do modelo, temperatura e carga. À medida que estes parâmetros aumentam, as mudanças espaciais começam a surgir. Quanto maior é a concentração no lago, maior é a diferença. Notou-se também que o aumento da temperatura faz com que a concentração de PD abaixe mais rápido que quando a T é baixa e PP, o inverso. Em virtude deste fato, PD se aproxima de PP.

As diferenças de concentração ocorridas de um caso para outro nos três primeiros casos: calma e vento médio sul e leste, sugerem que a alteração da direção do vento tem pequeno efeito na concentração, dentro da lagoa. No entanto, com o overflow ocorrido nos casos 4 e 5 pode ser que o vento tenha uma atuação sobre a concentração a partir de um certo valor ou o overflow se deve ao erro propagado das concentrações negativas.

De modo geral, nota-se maiores diferenças de concentração nas margens, ficando a parte central da lagoa com pequenas variações espaciais de concentração. Nos casos onde a carga é média e máxima ocorreram diferenças somente na margem N, onde se encontram as entradas da carga do escoamento superficial.

#### IV.2.3- Análise de Sensitividade

A análise de sensibilidade (item II.2.6.2) fornece a variação relativa da concentração simulada com a variação de um parâmetro de entrada. Esta análise foi feita com a carga proveniente do escoamento superficial, com a concentração inicial da lagoa e com a temperatura

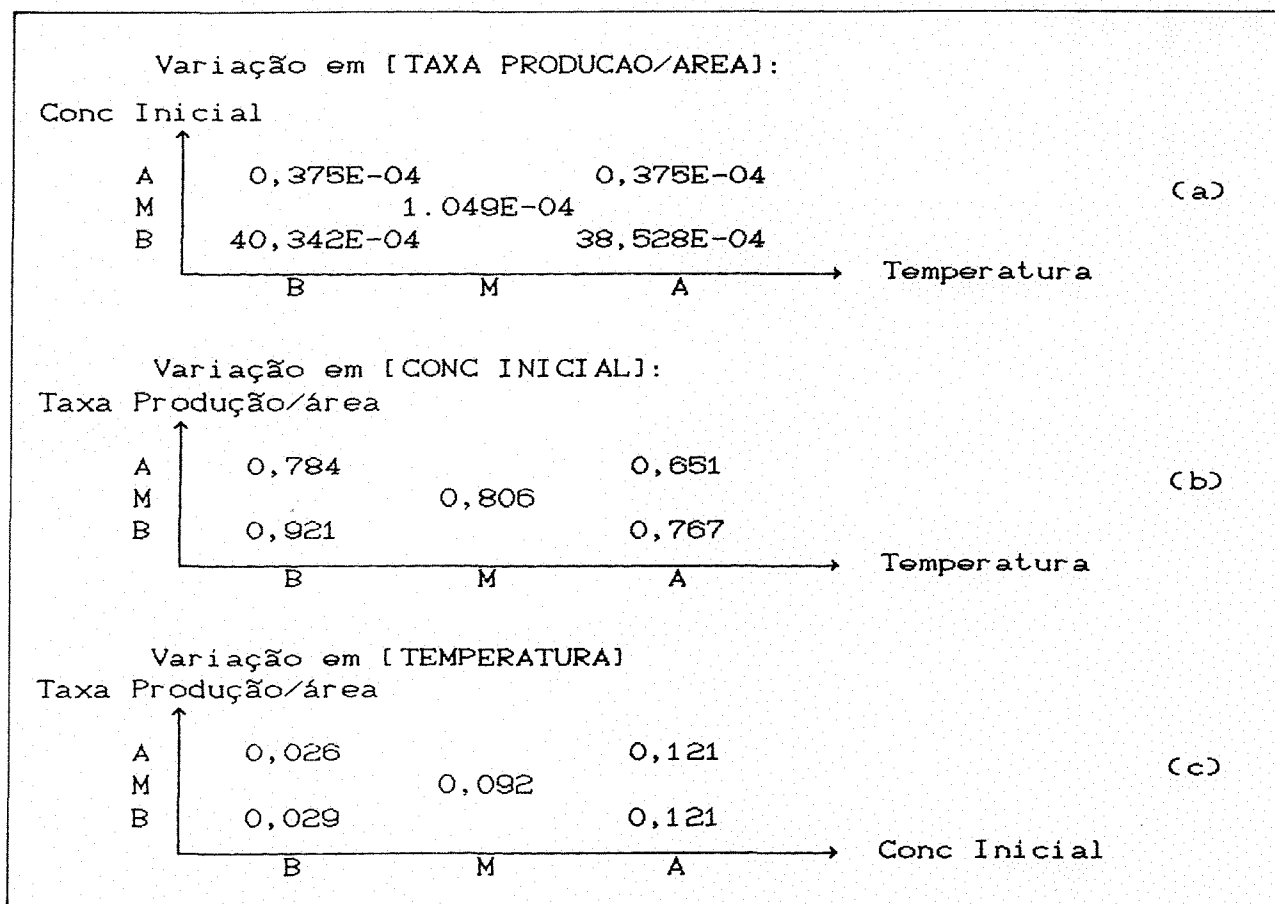


da água para os seis pontos de coleta. A sensibilidade foi calculada utilizando a equação 2.28 com os valores simulados nos 6 pontos de amostragem. Como a estação LN-6 se encontra fora da lagoa, o valor considerado para este ponto foi a última célula do braço da lagoa. Em todas as três situações de vento simuladas, o modelo se apresentou altamente sensível à concentração inicial na lagoa e posteriormente à temperatura. Quanto à carga de fósforo, somente alguns pontos foram influenciados por ela e assim mesmo, com valores baixíssimos. No caso de calmaria somente os pontos LN-5 e LN-6 apresentaram uma variação e com a atuação do vento os pontos LN-1 e LN-2 também foram influenciados em alguns casos.

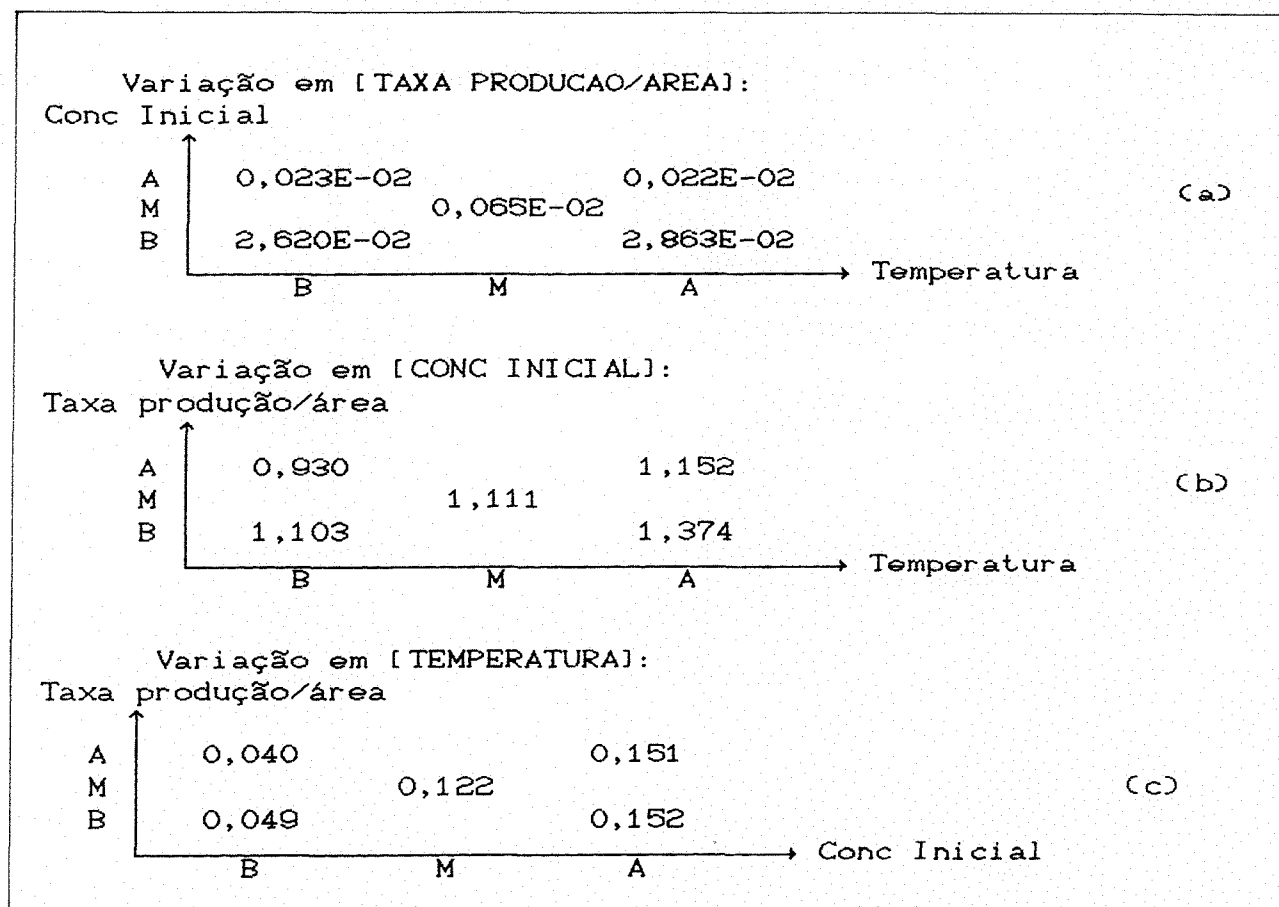
Nos quadros IV.1 a IV.6 são apresentados a sensibilidade média dos seis pontos. Representam a sensibilidade das variáveis de estado PD e PP em relação aos parâmetros carga (gráficos do item a), concentração inicial (gráficos do item b) e temperatura (gráficos do item c). No quadro IV.1.b, nota-se o aumento da influência da concentração inicial na concentração de PD à medida que a temperatura e a carga de nutrientes diminuem. Com a atuação do vento, essa mesma característica se repetiria se desconsiderasse o valor de LN-6 em alguns casos (ver quadros IV.3.b e IV.5.b). O ponto LN-6, por situar próximo da margem e também por ser a célula identificada como saída da lagoa, apresenta um comportamento bastante variável, enquanto os outros pontos têm comportamentos similares. A concentração de PP após 10 horas é também altamente influenciada pela concentração inicial do lago. No gráfico IV.2.b verifica-se maior influência de  $C_0$  quanto maior é a temperatura e menor é a carga. Os gráficos IV.4.b e IV.6.b têm o mesmo comportamento de IV.2.b.

Os gráficos do item c dos quadros IV.1 a IV.6 mostram a influência da T sobre as variáveis de estado PD e PP. A influência da T aumenta à medida que a concentração inicial aumenta, mostrando mais uma vez a atuação da  $C_0$  sobre o comportamento das variáveis de estado.

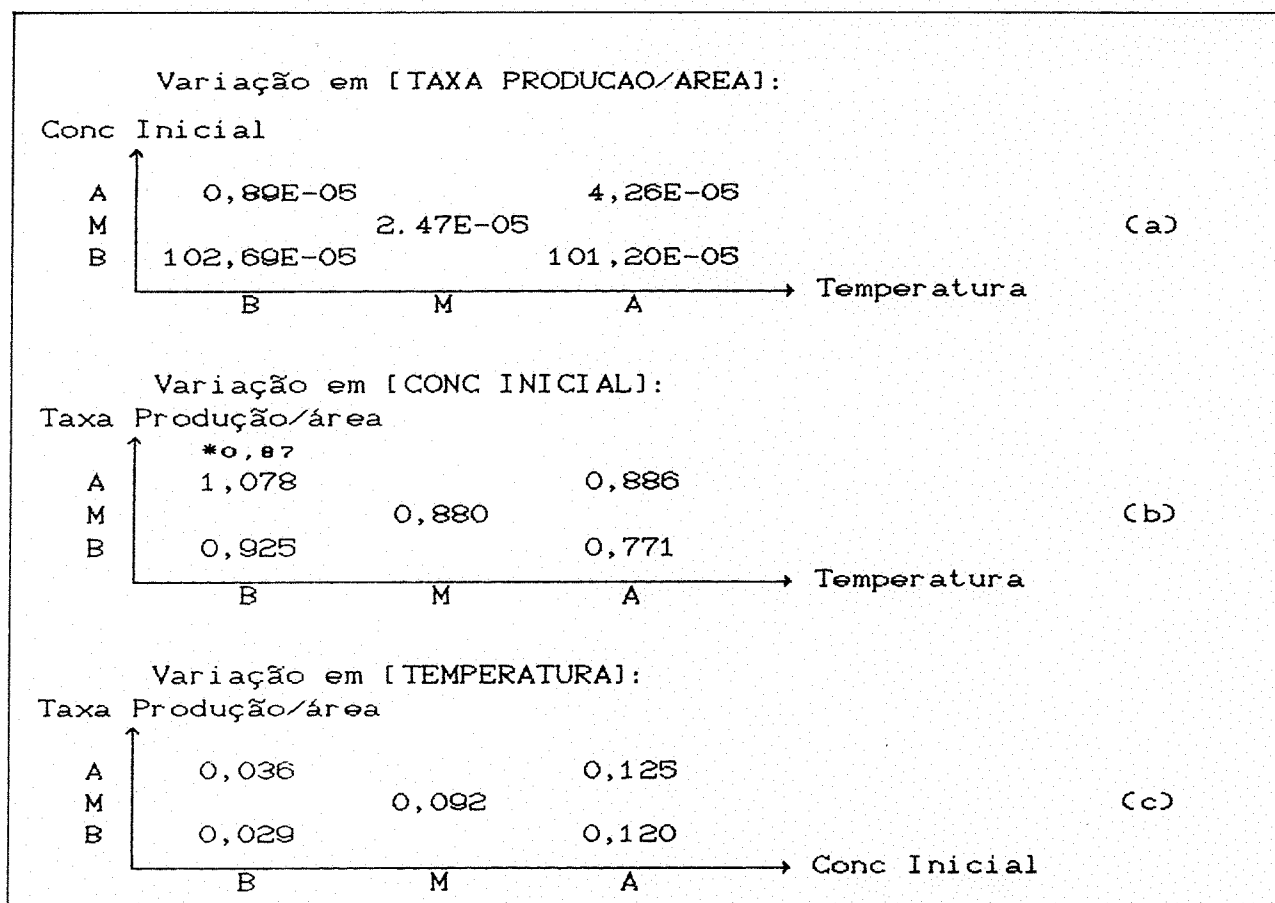
A pequena influência da carga sobre as variáveis simuladas é mostrada nas mesmas figuras, porém no item c. Os valores da sensibilidade são pequenos, no entanto, a pouca variação apresentada aumenta à medida que  $C_0$  diminui.



QUADRO IV.1: Sensitividade média da variável de estado PD para o caso 1 - calmaria  
A=máx M=méd B=mín



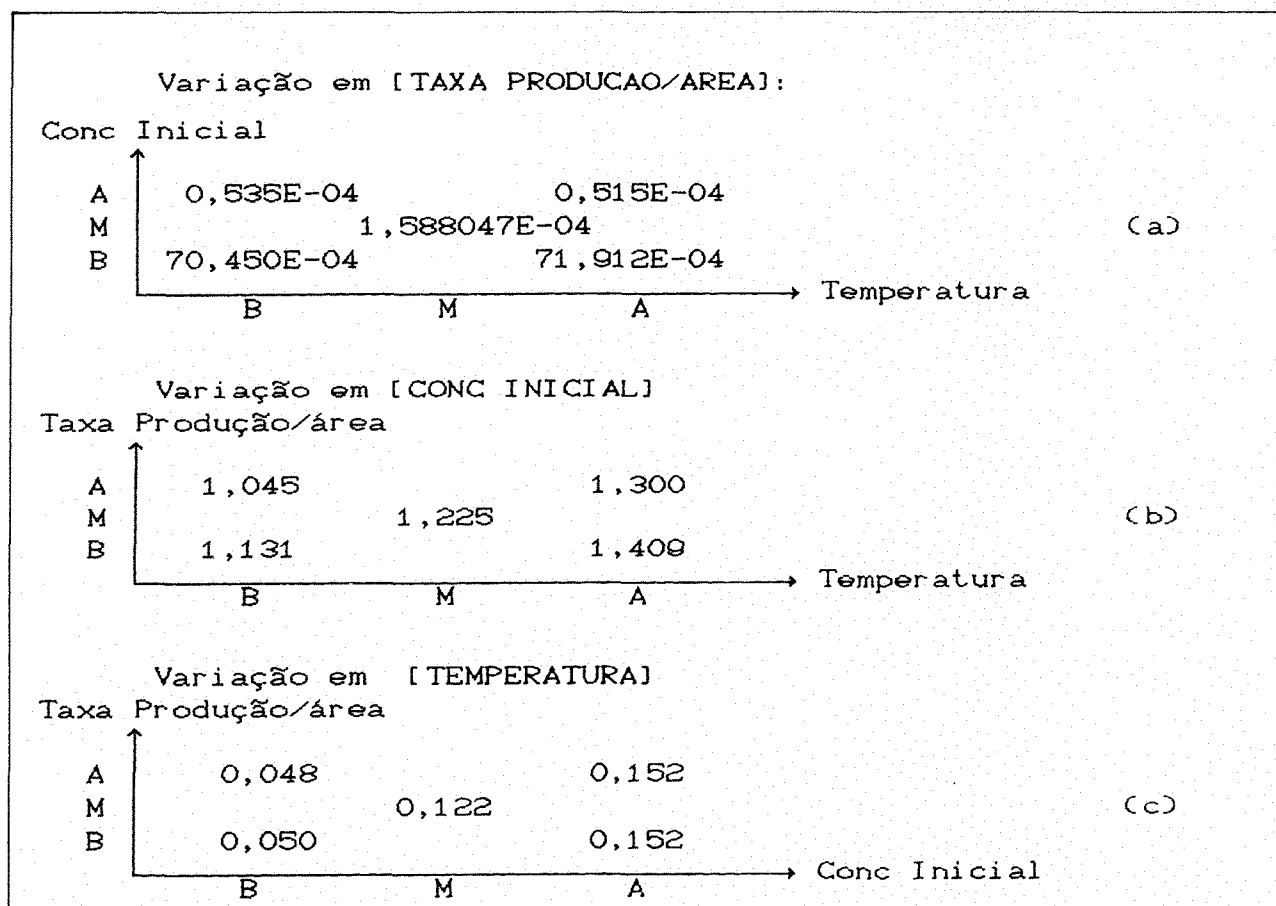
QUADRO IV.2: Sensitividade média da variável de estado PP para o caso 1 - calma  
 A=máx M=méd B=mín



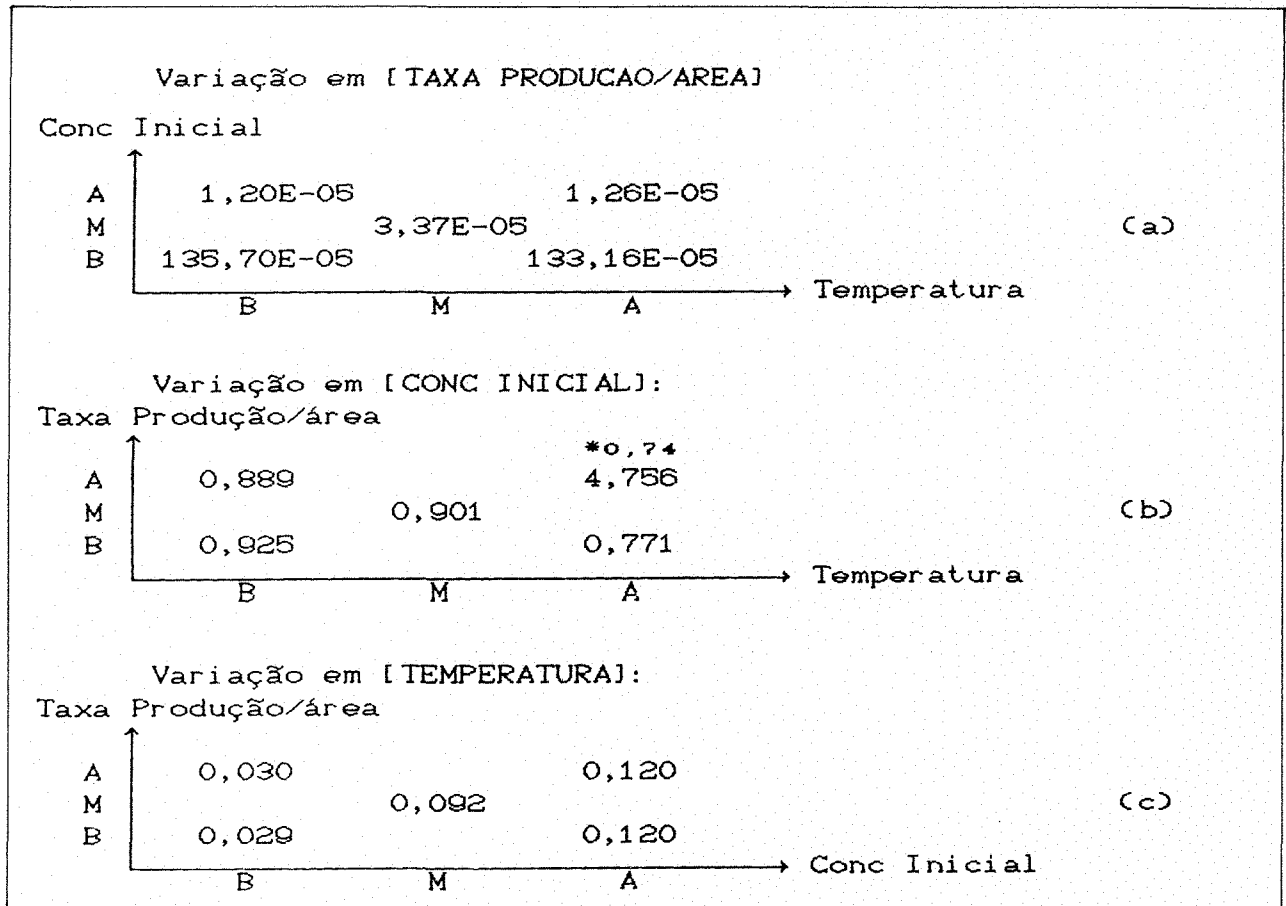
QUADRO IV. 3: Sensitividade média da variável de estado PD para o caso 2 - vento médio sul

A=máx M=méd B=mín

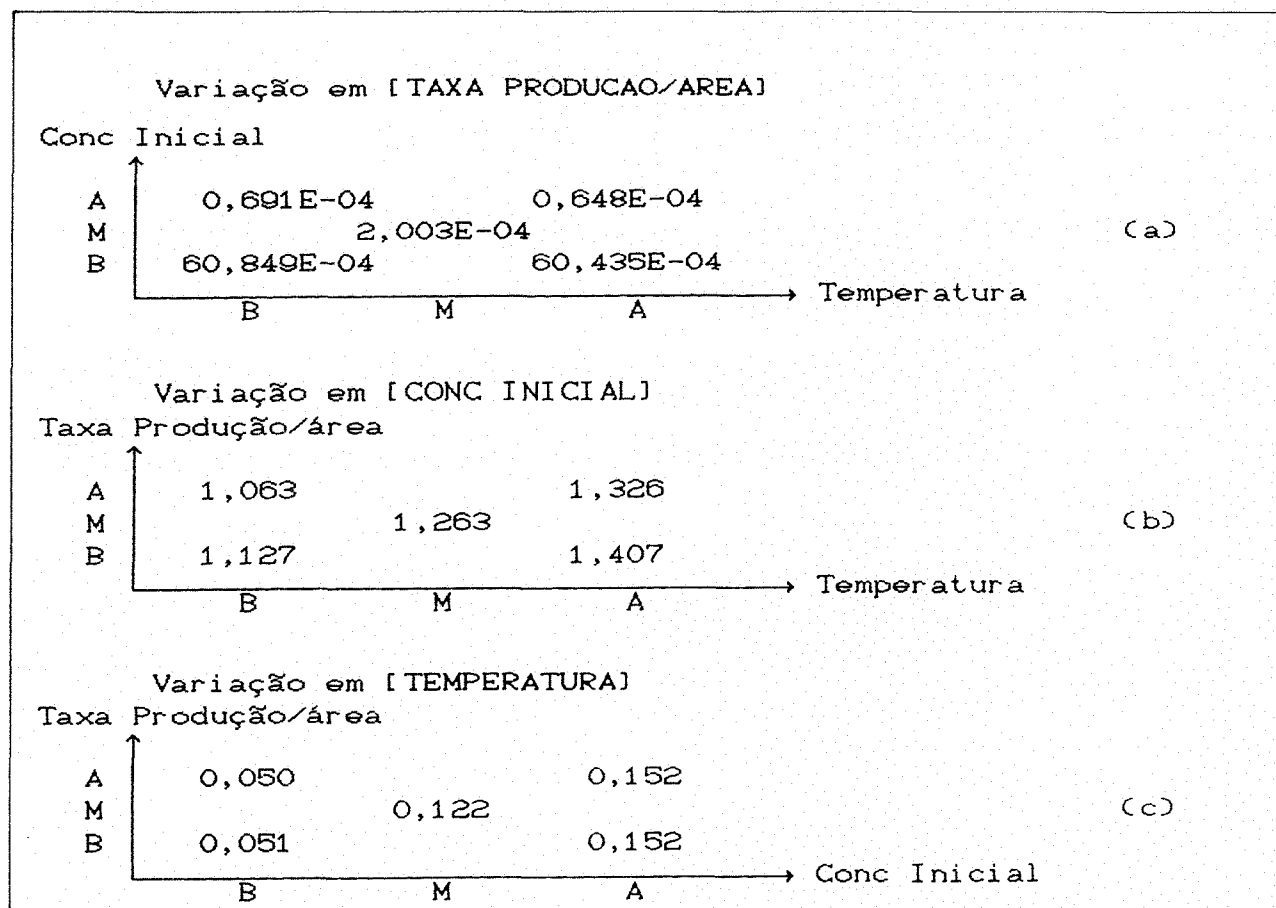
\* desconsiderando LN-6



QUADRO IV.4: Sensitividade média da variavel de estado PP para o caso 2 - vento médio sul  
A=máx M=méd B=mín



QUADRO IV.5: Sensitividade média da variavel de estado PD para o caso 3 - vento médio leste  
 A=máx M=méd B=mín  
 \* desconsiderando LN-6



QUADRO IV.6: Sensitividade média da variável de estado PP para o caso 3 - vento médio leste  
A=máx M=méd B=mín

A dinâmica da Lagoa Negra é baixa, não é de se esperar mudanças significativas em toda a lagoa em 10 horas. No ponto LN-1, a carga não chega a influenciar sua qualidade em 10 horas, porém, no ponto LN-6 que é mais próximo da margem e no braço estreito da lagoa, a carga de fósforo chega a provocar alterações.

#### IV.2.4- Considerações finais sobre o modelo

O intervalo de tempo entre os dados observados disponíveis (em torno de 3 meses) não permitiu simular uma situação na qual o estado inicial correspondesse a uma data de coleta e o final à seguinte. Assim, não foi possível fazer a calibração, nem validação do modelo. Porém, com as condições normais médias da lagoa, somadas às combinações destes dados para a entrada do modelo, é possível fazer certas considerações apresentadas abaixo.

A maior vantagem do modelo (ASCE) é a possibilidade que ele oferece em simular a variação espacial de poluentes dentro de um intervalo de tempo. Nesse sentido, é possível se fazer uma comparação entre os valores observados em campo e os simulados em condições parecidas (similares) àquelas reinantes durante as datas de coleta. Os valores simulados seguem a tendência dos observados. Verificou-se que a concentração em LN-6 tende a abaixar, mesmo partindo da concentração inicial constante em todos os pontos, o que também foi observado em campo.

A figura IV.11 mostra os valores de fósforo dissolvido simulados sob condições aproximadas das observadas em campo nas datas de coleta. Na mesma figura estão plotados os valores medidos em campo. Nota-se que os valores simulados não se afastam dos valores observados de forma desorganizada e sim seguem um padrão similar. Vale ressaltar aqui que, este gráfico não significa uma simulação temporal, mas serve como indício de que o modelo produz valores de concentração na lagoa que respeitam as condições reais observadas, tanto de temperatura como de concentração inicial. O melhor ajuste se verifica nos pontos LN-1, LN-2 e LN-3.

Com os mesmos valores foi feita uma regressão linear dos valores



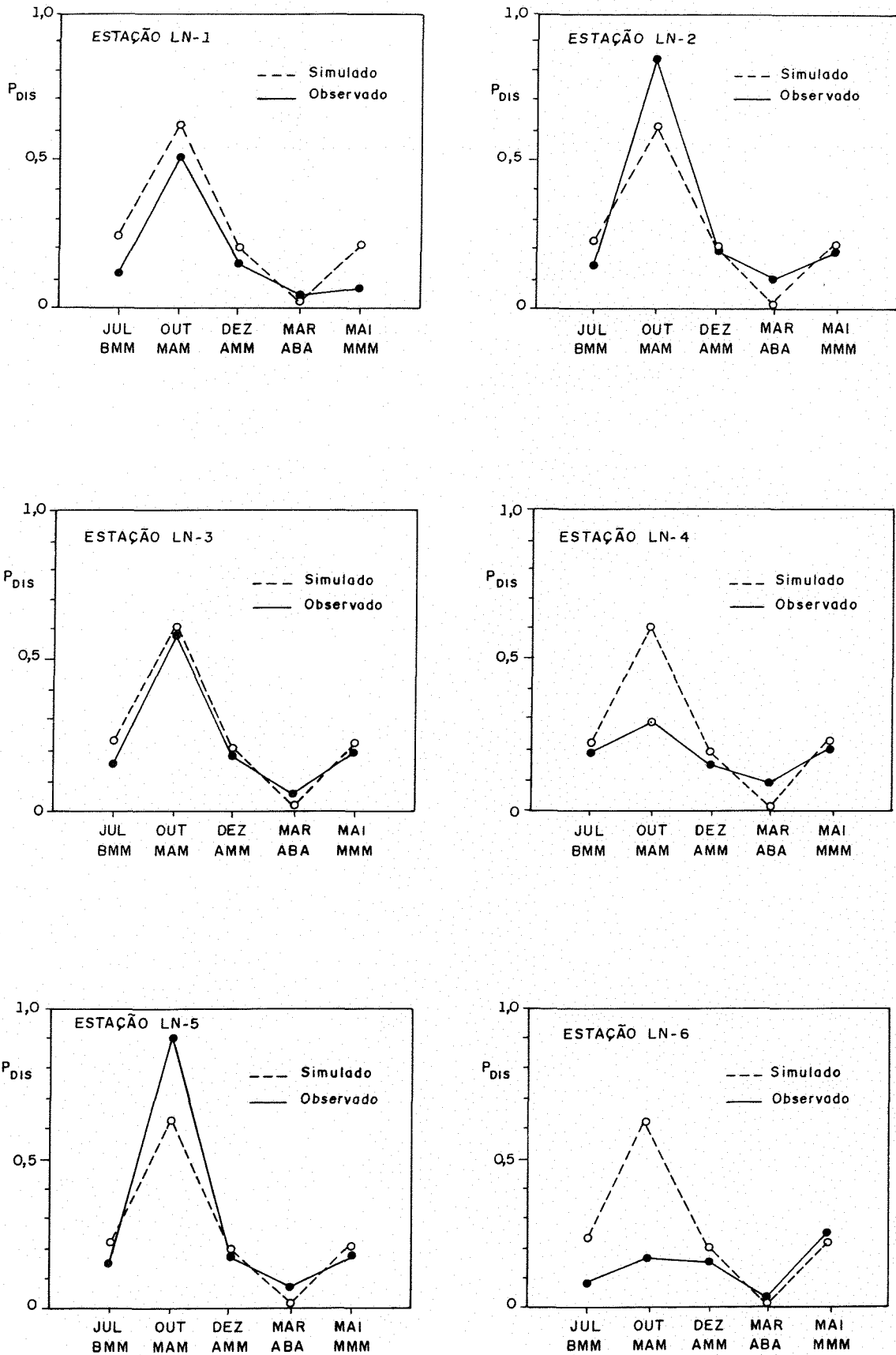


FIGURA IV.11: Concentrações de fósforo dissolvido observado e simulado em condições similares nos pontos de amostragem - Período 90/91.

preditos vs observados. Com somente 30 dados foram obtidos:

para PD:

$$PD\text{-sim} = 87,1 + 0,730 \cdot PD\text{-obs} \quad R^2 = 61,0\%$$

para PP:

$$PP\text{-sim} = 65,5 + 0,861 \cdot PP\text{-obs} \quad R^2 = 66,4\%$$

#### IV.3- Comentários Finais

A aplicação do modelo da ASCE na Lagoa Negra contou com coletas de amostras da água em cinco datas distintas no período 90/91.

Devido a inexistência de contribuintes perenes à Lagoa Negra, foi considerada somente a contribuição do escoamento superficial de sua área de drenagem. A identificação das bacias com exutórios na margem da lagoa foi estimada mediante o uso de técnicas SIG.

A estimativa da contribuição a cada célula do contorno da lagoa é um ganho significativo no uso de modelos. Através dela pode-se estimar não somente a vazão de entrada como também a descarga de poluentes. Neste sentido sugere-se o uso de outras fontes de informação a respeito do uso e a cobertura superficial do solo, como imagens de satélite, para estimar a descarga de poluentes a partir de estimativas de produção não pontual dos mesmos, em cada sub-bacia assim delimitada.

Neste estudo foi utilizado o método racional na estimativa do escoamento superficial das bacias contribuintes à Lagoa Negra. Um método também utilizado para pequenas bacias que poderia ser testado é o método da Soil Conservation Service (SCS). O modelo hidrológico do SCS é atrativo por que a maioria dos parâmetros de entrada são definidos em termos de uso e tipo de solo. A vantagem deste modelo, tendo parâmetros dessa natureza, é grande para exploração de formas alternativas de desenvolvimento da terra para avaliar o impacto que estas mudanças possam causar ao corpo d'água.

A malha discretizando o fundo, necessária para aplicação do modelo, foi feita via SGI. Embora os mapas batimétricos produzidos manualmente e via SGI não sejam rigorosamente iguais, a diferença se minimiza no processo de discretização para seu uso em modelos. O ganho

principal está no tempo de processamento dos dados. O cálculo manual demandou aproximadamente 39 horas. Para completar a mesma tarefa usando técnicas SIG foram gastas somente em torno de 6 horas e 30 minutos.

A simulação da especiação de fósforo dissolvido e particulado na Lagoa Negra/RS foi executada para valores médios, mínimos e máximos medidos na lagoa, sendo que os máximos foram representados como a média mais duas vezes o desvio padrão das amostras.

A distribuição espacial das concentrações de fósforo mostra que o modelo simula bem corpos d'água bem misturados. A distribuição, no entanto, precisa ainda ser refinada, o que só poderá ser feita com a calibração e validação do modelo. Estes dois passos não foram feitos neste estudo em virtude da ausência de dados disponíveis para tal e à falta de recursos para adquiri-los. Frequentemente em modelagem, é necessário aceitar um nível mais baixo do que o pretendido ao se iniciar o trabalho, devido à falta de dados.

A sensibilidade do modelo foi feita para três parâmetros de entrada do modelo: concentração inicial de PD e PP, temperatura e carga proveniente do escoamento superficial, nos seis pontos de coleta. A maior influência foi da concentração inicial, apresentando altos valores de sensibilidade. O modelo também foi sensível às mudanças de temperatura. A influência da temperatura aumenta à medida que a concentração inicial aumenta, mostrando mais uma vez a atuação da concentração inicial sobre o comportamento das variáveis de estado PD e PP. A carga começa a influenciar a concentração na margem onde está entrando, porém não atingindo o restante da lagoa em 10 horas simuladas. A sensibilidade deste parâmetro foi insignificante para os pontos de coleta.

O modelo apresentou problemas nas simulações com vento máximo, onde foram encontradas concentrações negativas e elevadas. Este problema poderia ser contornado considerando a concentração nula quando seu valor for menor que zero. No entanto, deve-se considerar que ele se origina no cálculo do fluxo de saída de massa do poluente da célula. Este passo do modelo, então, deve ser melhorado.

O modelo de fósforo da ASCE considera o transporte advectivo-difusivo, ganhos de entradas de tributários e de descargas, perdas por sedimentação e os processos biológicos de crescimento e decaimento de organismos. Para a Lagoa Negra, situada numa região muito assolada pelos ventos e pelas características do sedimento, acredita-se que a resuspensão seja também um processo físico de importância a ser considerada no modelo.

A principal limitação de modelos médios na vertical é que eles não consideram os efeitos de variação de velocidade e densidade na direção vertical. Esses detalhes são muitas vezes necessários para o completo entendimento das características do fluxo e para uma descrição precisa de problemas que dependem desses fatores nas aplicações ecológicas. Um exemplo deste caso é quando existem correntes de retorno no fundo em circulação de lagos induzidos pelo vento. Porém, quando não é significativo este efeito no corpo d'água em estudo, este tipo de modelo é suficiente.

Os modelos são dominados por propriedades individuais dos respectivos lagos para os quais o modelo foi desenvolvido, assim afastando dos princípios gerais. É atrativo um modelo considerando vários processos, onde o usuário possa definir quais processos são importantes para o corpo d'água em estudo.

Além da vantagem deste modelo em apresentar as concentrações da substância espacialmente, com resolução espacial desejada, ele pode ser executado em um microcomputador com pouco tempo de computação. A possibilidade de acrescentar sub-rotinas simulando outros processos, bem como outras substâncias faz deste modelo um boa base para as simulações de outros parâmetros de qualidade essenciais no monitoramento para controle e avaliação da poluição em sistemas lacustres.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A qualidade da água da Lagoa Negra foi estudada. Inicialmente foi feito um inventário de 41 parâmetros físico-químicos, mais o plâncton. Para isto, foram estabelecidos 6 pontos de coleta, nos quais amostras de água foram coletadas em 5 campanhas no período de julho de 1990 a maio de 1991.

Para resumir o elevado volume de informações obtidas nas amostras, diversos índices foram testados. Todos eles mostraram que a qualidade da água da Lagoa Negra varia de média a boa. Os índices, de forma geral, permitiram resumir e informar as tendências da qualidade da água, possibilitando fazer comparações sazonais, de grande ajuda num monitoramento.

Para complementar o estudo da qualidade da água também foram aplicados índices de diversidade, índices com abordagem concentrada nas propriedades matemáticas de populações de organismos. Estes apresentaram a Lagoa Negra com diversidade média em torno de 40 a 60%.

Uma outra maneira de avaliar a qualidade da água é através de modelos matemáticos. Nesse sentido, o modelo da ASCE foi implantado e implementado à Lagoa Negra. Devido à carência de dados hidrológicos na bacia de contribuição da Lagoa, foram efetuadas estimativas da vazão de entrada no corpo d'água utilizando técnicas de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esta técnica demonstrou ser eficiente e possibilitou identificar as sub-bacias de contribuição de maneira sistemática e rápida. A respeito da batimetria, dado de entrada no modelo, o SIG demonstrou ser uma ferramenta útil para obter a malha de profundidades necessária.

O modelo da ASCE foi utilizado para simular a concentração de PD e PP sob condições similares às predominantes na região de Itapuã. Uma

vantagem significativa do uso deste modelo é a possibilidade de mapear a distribuição espacial da concentração das variáveis de estado simuladas. Foi realizado um estudo das vantagens e limitações do modelo para auxiliar no gerenciamento do corpo d'água e sua bacia de drenagem. Neste sentido, a sensibilidade do modelo foi pesquisada variando alguns parâmetros de entrada dentro de uma faixa em torno dos valores considerados predominantes. Notou-se a maior influência da concentração inicial da lagoa sobre a concentração final.

Apesar de algumas limitações encontradas, o modelo é considerado apropriado para a análise das variações de qualidade da água. Ele permite ainda identificar zonas críticas, onde os efeitos das condições climáticas, topográficas e hidrológicas podem elevar o valor da concentração a níveis danosos ao ecossistema. A limitação do modelo foi encontrada para ventos com intensidade máxima.

Esta aplicação demonstrou que um modelo hidrodinâmico e de qualidade da água podem ser utilizados para simular variações a curto prazo na qualidade da água em duas dimensões num microcomputador em curto período de computação. O modelo permite predições baseadas em combinados efeitos de processos hidrodinâmicos, biológico e químico que ocorrem no meio aquático, oferecendo com isso vários benefícios à gestão ambiental, uma vez que o uso dele produz estimativas da qualidade que uma determinada mudança na bacia ou nas condições ambientais da região irá causar ao meio aquático.

#### Recomendações:

- A versão do algoritmo de Simons e Lam utilizada no modelo da ASCE, assume que a concentração inicial é igual em todo o lago, a partir dessa condição se inicia a simulação no passo de tempo desejado. O modelo pode ser otimizado, fazendo modificações que permitam a entrada da concentração inicial sob a forma de uma grade de concentração com uma condição espacial diferenciada.

- A suposição de condições climáticas constantes durante o período de simulação poderia ser modificada por períodos, por exemplo, 2 horas com vento e 2 horas sem vento, 5 horas com temperatura de 30 e 5 horas com 20°C, e variantes.

- Várias sub-rotinas poderiam ser projetadas para os processos bioquímicos e físicos e acopladas ao corpo do modelo da ASCE.

- Uma sub-rotina do cálculo de um índice também poderia ser colocada, resultando num índice simulado utilizando dados das substâncias simuladas e compará-lo com um índice a partir de dados observados.

CAPÍTULO VI  
BIBLIOGRAFIA

1. ALMEIDA, L. E. 1989. Relatório do Projeto Lagoa dos Patos: parte 1. Área Física. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 62f.
2. BORCHE CASALAS, A., CYBIS, L.F. 1985. Modelo Matemático de Circulação e de Qualidade das Águas do Estuário do Rio Guaíba. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. 6., 1985, São Paulo: ABRH. V.1, p.419-443.
3. BORGES, M.N. et alii. 1990. Determinação de Coeficientes de Contribuição de Nutrientes por Distintas Ocupações do Solo em Bacias Hidrográficas no Distrito Federal. BIO. Rio de Janeiro, V.2 n.4, p66,86
4. BROWN, L.C. BARWELL, T.O. Jr. 1985. Computer Program Documentation for the Enhanced Stream Water Quality Model QUAL2E. Athens: EPA 235p.
5. BROWN, R.M. et alii. 1970. A Water Quality Index-Do We Dare? Water and Sewage Works, Chicago, V.117, n.10, p339-343, oct.
6. CALLEGARO, V.L.M. 1981a. Diatomáceas da Lagoa Negra, Parque Estadual de Itapuã, Rio Grande do Sul, Brasil. Iheringia: Botânica, Porto Alegre n.27, p 69-99.
7. CALLEGARO, V.L.M. 1981b. . Estudo de Comunidades Fitoplantônicas da Lagoa Negra, Parque Estadual de Itapuã, Rio Grande do Sul, Brasil. Iheringia: Botânica, Porto Alegre n.28, p 157-167.
8. CETESB. 1988. Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água. São Paulo. 150p.
9. CHARACKLLS, W.R.G. et alii. 1979. Rainfall Quality, Land Use and Runoff Quality. Journal of the Environmental Engineering Division, Nova York, v.105, p416-419.
10. CONNELL, D., MILLER, G. 1974. Pollution Monitoring. In : Chemistry and Ecotoxicology of Pollution. Nova York: John Wiley. Chapt.15, p. 409-417.



11. CREAMS: A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems. Tucson: U.S. Department of Agriculture. 643p.
12. DELANEY, P.J.V. 1965. Fisiografia e Geologia de Superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Universidade do Rio Grande do Sul. 105p.
13. DE LUCA, S.J. 1981. Removal of organic compounds by oxidation-coagulation with potassium ferrate. Raleigh, North Carolina State University. 182f. Tese (Dout. Filosofia)
14. DE LUCA S.J., FRANTZ, A., KISHI, R.T. 1991. Índices de Diversidade Biológica da Lagoa Negra RS: Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. In: 9o Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, 1991, v.2, p.133-138.
15. DE LUCA S.J., KISHI, R.T., MAZZINI G. 1991. Modelagem Hidrodinâmica de Compostos de Fósforo na Lagoa Negra RS: Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. In: 9o Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, 1991, v.2, p.261-269.
16. DEVELOPMENT of a Water Quality Index. 1976. Edinburgh: Scottish Development Department. 62f.
17. DRONKERS, J. 1964. Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters. Amsterdam: North-Holland. p.177-191.
18. EDWARDS, G.A. AMIRTHARAJAH, A. 1985. Removing Color Caused by Humic Acids. Journal American Water Works Association, Denver, v.77, n.5, p.50-57, Mai
19. EPA. 1981. Lake Data Analysis and Nutrient Budget Modeling. Corvallis. 62p.
20. ESTADOS UNIDOS. Bureau of Reclamation. 1967. Disenho de presa pequenas. México, Continental. 639 p. Apêndice A.
21. ESTEVES, F.A. 1988. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Iterciência-FINEP 575p.
22. FALLAVENA, M.A.B. 1985. Composição e Variação Sazonal e Espacial dos Copépodes Planctônicos (Crustacea, Copepoda) na Lagoa Negra, Município de Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. Iheringia: Zoologia, Porto Alegre n.65, p.3-30.

23. FERRARA, R.A. 1986. Modelling Pollutant Transformation Processes. In: Physics-Based Model of Lakes, Reservoirs and Impoundment. New York: ASCE. chapt.5, p.105-145.
24. FERRARA, R.A., GRIFFIN, T.T. 1986. Round Valley Reservoir Multi-component Phosphorus Model of Lakes In: Physics-Based Model of Lakes, Reservoirs and Impoundment. New York: ASCE. p.105-145.
25. GINZBURG, G. 1976. Calculation of all Equilibrium Concentrations in a System of Competing Complexation. Pergamon Press - Grã Bretanha, v. 23, p.149-152.
26. GROSSER, K.M. e HAHN, S.D. 1981. Ictiofauna da Lagoa Negra, Parque Estadual de Itapuã, Município de Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. Iheringia: Zoologia, Porto Alegre n.59, p.45-64.
27. HAASE, J., KRIEGER, J.A.H. POSSOLI, S. 1989. Estudo da Viabilidade do Uso da Técnica de Análise Fatorial como um Instrumento na Interpretação da Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Guaíba. RS., Brasil. Ciência e Cultura, São Paulo, v.41. n.6, p.576-582, jun.
28. HAITH, D.A., DOUGHERTY, J.V. 1976. Nonpoint Source Pollution from Agricultural Runoff. Journal of the Environmental Engineering Division, New York, v.107, p.121-137.
29. HAITH, D.A., TUBBS, L.J.. 1981. Watershed Loading Functions for Nonpoint Sources. Journal of the Environmental Engineering Division, New York, p.121-137.
30. HARKINS, R.D.. 1974. An objective water quality index. Journal Water Pollution Control Federation Washington, v.46, p.588-591.
31. HARM, L.L., DORNBUSH, J.N. ANDERSON, J.R. 1974. Physical and Chemical Quality of Agricultural Land Runoff. Journal Water Pollution Control Federation Washington, v.46, p.2460-2470.
32. HUTCHINSON, G. E. 1957. A Treatise on Limnology-vol 1.
33. JAMES, A., 1984. An Introduction to Water Quality Modelling. New York, John Willey. v.1.
34. JAMES, A. 1984. An Introduction to Water Quality Modelling. New York: Willey-Interscience, 150 p.
35. JAMES, A. EVISON, L. 1979. Biological Indicators of Water Quality. New York: John Willey. chapt.2,3,4.

36. JHINGRAN, V.G. AHMAD, S.H., SINGH, A.K. 1989. Application of Shannon-Wiener Index as a Measure of Pollution of River Ganga at Patna, Bihar, India. Current Science, v.58, n.13, p.717-720, July.
37. JORGENSEN, S. E., 1986. Fundamental of Ecological Modelling. Amsterdam: Elsevier. 389p.
38. JORGENSEN, S. E., 1983. In: ORLOB, G., ed. 1983. Mathematical Modelling of Water Quality: Streams, Lakes and Reservoirs. Chichester: John Willey. Chapt.4, 10.
39. KISHI, R.T., De Luca, S.J. 1991. Índices de Qualidade de Água Aplicados à Lagoa Negra/RS: Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS. Trabalho apresentado no 16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia, 22-27 set. 1991.
40. KISHI, R.T., et alii. 1991. Aplicação de Técnicas SIG na Extração de Informação Geomorfológica para o estudo de Modelação de Qualidade de Água. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. In: 9o Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, 1991, v.2, p.139-148.
41. KITRELL, F.W. 1969. A Practical Guide to Water Quality Studies of Streams. s.l., U.S. Department of the Interior. 135p.
42. LANDWHR, J.M., DEININGER, R.A. 1978. Uma Comparação de Diversos Índices de Qualidade da Água. Documento Interno - METROPLAN, Porto Alegre. 017/78. 20p.
43. LENDERTSE, J.J. 1970. A Water-Quality Model for Well-Mixed Estuaries and Coastal Seas: volume 1, Principles of computation. Santa Monica: Rand institute, 71f.
44. LENDERTSE, J.J., GRITTON, E.C. 1971. A Water-Quality Model for Well-Mixed Estuaries and Coastal Seas: volume 2, Computation procedures. New York: Rand institute, 57f.
45. LEVANTAMENTO de reconhecimento dos solos do estado do RS. 1973. Recife: Divisão de Pesquisa Pedológica do Ministério da Agricultura, 431 p.
46. LOGAN, T.J. 1980. The role of soil and sediment chemistry in modeling nonpoint sources of phosphorus. In: OVERCASH, M.R., DAVIDSON, J.M. Environmental Impact of Nonpoint Source Pollution. Ann Arbor: Ann Arbor Science. sect.4, p.189-208.

47. LOS, F.J., BRINKHAM. 1988. Phytoplankton Modelling by Means of Optimization: A 10-Year Experience with Bloom II. Verh. Internat. Verein. Limnol. v.23, p.790-795.
48. LOS, F.J. et alii. 1984. Modelling Eutrophication in Shallow Dutch Lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol., v.22. p.917-923.
49. MARTIN, J. L. 1988. Application of Two-dimensional Water Quality Model. Journal of Environmental Engineering, New York, v.114. No.2. p.317-336.
50. METCALF L. EDDY. 1985. Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Barcelona: Labor. p.453-455.
51. MORETTI, L.B.M. 1980. Análise da Autodepuração em cursos de água: Aplicação ao Rio dos Sinos. Porto Alegre: UFGRS-Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, 131f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
52. O'CONNOR, D. N., 1989. Seasonal and Long-Term Variations of Dissolved Solids in Lakes and Reservoirs. Journal of Environmental Engineering, New York, v.115. n.6. p.1213-1234.
53. OKUGAWA, K., SOMINA, I. 1986. Simulation Analysis of Eutrophication by a Mathematical Model. Transactions Of JSCE, v.15. p.302-303.
54. OLIVEIRA, M.E.A.. 1983. Lagoa dos Barros: Aspectos da sua Poluição e Tipologia Limnológica. Porto Alegre: UFGRS-Curso de Pós-graduação em Ecologia, 87f. Diss. Mestr. Ecologia.
55. ORLOB, G., ed. 1983. Mathematical Modelling of Water Quality: Streams, Lakes and Reservoirs. Chichester: John Willey. 517p.
56. OTT, W.R. 1978. Environmental Indices. Theory and Practice. Michigan: Ann Arbor. Chapt.1,2,4.
57. PAVONI, J.L. 1977. Handbook of Water Quality Management Planning: New York: Van Nostrand Reinhold. Chapt.4.
58. PEAVY, H.S. et alii. 1986. Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill. p.11-80.
59. PHILLIPS, D. 1980. Quantitative Aquatic Biological Indicators. London: Applied Science. 488p.
60. PINEDA, M.D.S., SCHAFER, A. 1987. Adequação de Critérios e Métodos de Avaliação de Águas Superficiais Baseada no Estudo Ecológico do Rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil. Ciência e

- Cultura, São Paulo, v.39, n.2, p.198-206, fev.
61. REDDY, K.R.. 1980. Land areas receiving organic wastes : transformations and transport in relation to nonpoint source pollution. In: OVERCASH, M.R., DAVIDSON J.M. Environmental Impact of Nonpoint Source Pollution. Ann Arbor: Ann Arbor. sect.6, p.243-274
  62. RIO GRANDE DO SUL. Grupo Executivo da Região Metropolitana. 1975. Plano Piloto- Parque Estadual de Itapoã. Porto Alegre. 2v.
  63. RISSO, A., SILVA CENTENO, J.A., BORDAS, M.P.. 1991. Uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e de Sensoriamento Remoto no Projeto de Pequenas Obras Hidráulicas. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. In: O Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, 1991, v. 3. p.22-31.
  64. ROBERTTO, S., ABREU, R.M. 1991. Utilidade dos Indicadores de Qualidade das Águas. Ambiente., São paulo, v.5, n.1, p.47-51.
  65. ROSAURO, N.M.L. e CAMANO SCHETTINI, E. 1989. Aplicação de um modelo bidimensional à Laguna dos Patos-Rs-Brasil. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 15f. Trabalho apresentado no 6o. Encuentro Nacional de Investigadores y usuarios del Método de Elementos Finitos, San Carlos de Bariloche, 1989.
  66. RUTTNER, F. 1963. Fundamentals of Limnology - 3. edição. Toronto: University of Toronto 307p.
  67. SCHAEFFER, D.J., JANARDAN, K.G. Communicating Environmental Information to the Public: A New Water quality Index. The Journal of Environmental Education.
  68. SCHNOOR, J.L., Mc AVOY, D.C.. 1981. Pesticide Transport and Bioconcentration Modell. Journal of the Environmental Engineering Division, New York, v.107, n.6, p.1229-1246.
  69. SCHWAB, G.O. et alii. 1981. Soil and Water Conservation Engineering. 3a.edição. New York: John Willey. chapt. 4.
  70. SEMMENS, M.J., AYERS, K.. 1985. Removal by Coagulation of Trace Organics from Mississippi River Water. Journal America Water Works Association, Denver, v.77, n.5, p.7d9-84., May.
  71. SHIGA PREFECTURAL GOVERNMENT. 1985. Lake Biwa Conservation of Aquatic Environments. Japão.

72. SHOJI, H. YAMAMOTO, T., NAKAMURA, T. 1966. Factor Analysis on Stream Pollution of the Yodo River System. Air and Water Pollution International Journal, v.10., p.291-299.
73. SIMONS, T.J., LAM, D.C.L. 1980. Some Limitations of Water Quality Models for large Lakes: A Case Study of Lake Ontario. Water Resources Research, Washington, v.16, n.1, p.105-116, feb.
74. SIMONS, T.J., LAM, D.C.L. 1986. Documentation of a Two-Dimensional X-Y Model Package for Computing Lake Circulations and Pollutant Transports. In: Physics-based Model of Lakes, Reservoirs and Impoundment. New York: ASCE., p.258-308.
75. SNOEYINK, V.L., JENKINS, D. 1980. Water Chemistry. New York: John Wiley p.156-191.
76. STANDARD Methods for Examination of Water and Wastewater. 1985. 17.ed. Washington: American Public Health Association. 1268p.
77. STOJDA, A., DOJLIDO, J. 1983. A Study on the Water Quality Index in Poland. Water Quality Bulletin. v.8, n.1, p.30-32.
78. STUMM, W., ed. 1985. Chemical Process in Lakes. New York: John Willey. 435p.
79. UNESCO-WHO. 1978. Water Quality Surveys. Reino Unido. Caps.2 e 8.
80. VAN BELLE, G. HUGHES, J.P. 1984. Non Parametric Tests for Trend in Water Quality. Water Resources Research. Washington, v.20. n.1, p.127-136, jan.
81. VAN DUIN, E. H. S. et alii. 1989. The Development of an Operational Two-dimensional Water Quality Model for Lake Marken, The Netherlands. Water Science Technology, v.21, p.1817-1820.
82. VELZ, C.J. 1970. Applied Stream Sanitation. New York: John Willey, 619p.
83. VIK, E.A. et alii. 1985. Removing Aquatic Humus from Norwegian Lakes. Journal American Water Works Association, Denver, v.77, n.3, p.58-66, Mar.
84. VOLKMER-RIBEIRO, C. 1981. Limnologia e a Vegetação de Macrófitas na Lagoa Negra, Parque Estadual de Itapuã, Rio Grande do Sul. Iheringia: Botânica, Porto Alegre n.27, p.41-68.
85. VOLKMER-RIBEIRO, C., ROSA-BARBOSA, R., MANSUR, M.C.D. 1981 Fauna Espongológica e Malacológica Béntica da Lagoa Negra, Parque

- Estadual de Itapuã, R.S. Iheringia: Zoologia, Porto Alegre n.59, p.13-24.
86. WALKER, C. H. 1977. Kinetic Models for Predicting Bioaccumulation of Pollutants in Ecosystems. Environmental Pollution, v.44, p.227-240
87. WALKER, J.F., PICKARD, S.A., SONZOGNI, W.C. 1989. Spreadsheet Watershed Modelling for Nonpoint-Source Pollution management in a Wisconsin Basin. Water Resources Bulletin. Urbana, v.25, n.1, p.139-147, feb.
88. WETZEL, R.G. 1981. Limnologia. Barcelona: Omega. 649p.
89. YOSHIDA, K. et alii. 1987. Evaluation of Aquatic Environmental Fate of 2,4,6-Trichlorophenol with a Mathematical Model. Chemosphere, v.16, n.10/12, p.2531-2544.
90. YOUNG, R.A. et alii. 1989. AGNPS: a Nonpoint-Source Pollution Model for Evaluating Agricultural Watersheds. Journal of the Soil and Water Conservation, Ankeny, v.44, n.2, p.168-173.

---

**ANEXO A**  
**ÍNDICES**

---



TABELA A.1: Índice de Horton aplicado a dados de qualidade de água da Lagoa Negra - 90/91

PESO	SUB-ÍNDICE						ÍNDICE de HORTON
	OD	pH	COLI	COND	ALC	Cl	
	4	4	2	1	1	1	
LN-1	100	100	100	100	40	100	95,38
LN-2	100	90	100	100	40	100	92,31
J LN-3	100	80	100	100	40	100	89,23
U LN-4	100	80	100	100	60	100	90,77
L LN-5	100	90	100	100	80	100	95,38
LN-6	100	80	100	100	80	100	92,31
LN-1	100	100	100	100	40	100	95,38
LN-2	100	100	100	100	40	100	95,38
O LN-3	100	100	100	100	40	100	95,38
U LN-4	100	100	100	100	40	100	95,38
T LN-5	100	100	100	100	40	100	95,38
LN-6	100	80	100	100	40	100	89,23
LN-1	100	80	100	100	40	100	89,23
LN-2	100	80	100	100	40	100	89,23
D LN-3	100	80	100	100	40	100	89,23
E LN-4	100	80	100	100	40	100	89,23
Z LN-5	100	80	100	100	40	100	89,23
LN-6	100	80	100	100	40	100	89,23
LN-1	100	100	100	100	40	100	95,38
LN-2	100	100	100	100	40	100	95,38
M LN-3	100	100	100	100	40	100	95,38
A LN-4	100	100	100	100	40	100	95,38
R LN-5	100	100	100	100	40	100	95,38
LN-6	100	100	100	100	40	100	95,38
LN-1	100	100	100	100	40	100	95,38
LN-2	100	100	100	100	40	100	95,38
K LN-3	100	100	100	100	40	100	95,38
A LN-4	100	100	100	100	40	100	95,38
I LN-5	100	100	100	100	40	100	95,38
LN-6	100	100	100	100	40	100	95,38

TABELA A.2: Índice de qualidade de água NSF-WQI aplicado a dados da Lagoa Negra - 90/91.

	SUB-ÍNDICES										ÍNDICE NSF-WQI
	OD	DBO	NH3	pH	NO3	PO4	SS	T	COND	COLI	
PESO	0,18	0,15	0,12	0,09	0,08	0,08	0,07	0,05	0,06	0,12	
LN-1	97,3	97,0	40,0	92,0	100,0	80,0	8,9	99,5	96,5	100,0	73
LN-2	98,4	98,0	100,0	81,0	100,0	76,0	7,4	99,5	96,5	100,0	79
J LN-3	94,0	99,0	100,0	65,0	100,0	73,5	6,7	99,5	96,5	99,5	76,5
U LN-4	97,3	100,0	100,0	61,0	100,0	66,0	9,4	99,5	95,5	100,0	78
L LN-5	100,0	97,0	100,0	81,0	99,0	75,0	5,1	99,0	96,5	100,0	77
LN-6	95,2	95,6	70,0	51,0	99,0	81,0	9,4	99,5	87,0	96,0	73
LN-1	100,0	97,4	100,0	86,0	96,0	44,0	8,6	54,0	96,5	100,0	75
LN-2	100,0	97,4	100,0	86,0	95,0	31,0	8,1	54,0	93,5	100,0	72
O LN-3	100,0	97,4	100,0	90,0	98,0	40,5	8,4	54,0	96,5	100,0	74,5
U LN-4	100,0	97,0	100,0	92,0	94,0	59,0	8,5	54,0	93,5	100,0	77
T LN-5	100,0	95,6	100,0	90,0	74,0	28,0	5,8	54,0	96,5	100,0	69
LN-6	94,8	96,0	100,0	71,0	69,0	72,0	28,0	19,0	92,0	100,0	76
LN-1	95,0	94,0	100,0	65,0	98,0	76,0	28,0	7,6	96,5	100,0	74
LN-2	96,0	94,0	100,0	65,0	95,0	66,0	66,0	5,6	97,0	100,0	76,5
D LN-3	100,0	98,0	100,0	65,0	96,0	69,0	28,0	3,7	99,0	100,0	72
E LN-4	94,0	93,0	100,0	65,0	95,5	75,0	9,8	2,7	96,5	100,0	65
Z LN-5	97,0	94,0	89,0	65,0	94,5	73,5	56,5	1,7	96,5	100,0	71
LN-6	100,0	78,0	100,0	65,0	96,0	76,0	44,0	*	99,0	100,0	48
LN-1	82,2	90,0	100,0	96,6	99,6	93,0	9,4	41,0	97,0	100,0	76
LN-2	82,6	93,0	100,0	85,8	100,0	91,0	8,2	30,0	99,0	100,0	75
M LN-3	83,9	93,5	100,0	97,4	99,0	86,0	8,4	41,0	99,0	100,0	76
A LN-4	80,0	83,0	100,0	98,2	100,0	87,0	8,7	34,0	99,0	100,0	74
R LN-5	73,0	79,0	100,0	98,2	100,0	94,0	6,5	41,0	99,0	100,0	71,5
LN-6	91,0	73,0	100,0	97,4	100,0	100,0	19,0	5,6	96,5	100,0	72
LN-1	100,0	83,5	100,0	98,0	98,0	68,0	9,2	75,0	96,8	100,0	78
LN-2	100,0	96,0	100,0	98,0	98,0	81,0	9,9	75,0	97,6	100,0	81,5
M LN-3	100,0	96,0	100,0	98,3	99,0	67,0	11,0	75,0	97,6	100,0	81
A LN-4	100,0	93,5	100,0	99,5	98,0	72,0	9,4	75,0	97,6	100,0	80
I LN-5	100,0	95,6	100,0	99,5	98,0	69,0	7,5	75,0	97,0	100,0	79
LN-6	94,3	95,0	100,0	92,6	95,0	68,0	44,0	54,0	90,8	100,0	86

\* : para não anular o índice, considerou-se I = 0,001

TABELA A.3: Índice de poluição da água de Prati aplicado a dados da Lagoa Negra - 90/91.

		SUB-ÍNDICES										ÍNDICE de PRATI	
		OD	pH	DBO	DQO	SS	NH3	NO3	Cl	Fe	Mn		ABS
J U L	LN-1	0,60	1,40	0,60	0,93	5,21	3,29	0,01	0,69	4,33	0,75	1,22	1,73
	LN-2	0,52	2,00	0,33	1,34	6,50	1,08	0,04	0,75	8,94	0,60	0	2,01
	LN-3	0,83	2,40	0,20	0,26	7,12	0,69	0,01	1,20	5,40	0,75	0,44	1,75
	LN-4	0,60	2,60	0,07	1,21	4,68	0,69	0,04	0,77	11,73	0,75	0,80	2,18
	LN-5	0,28	2,00	0,60	1,75	8,37	1,08	0,06	1,16	9,96	0,60	0,64	2,41
	LN-6	0,75	3,00	0,80	0,65	4,66	1,67	0,07	0,57	0,99	0,60	1,38	1,38
O U T	LN-1	0,10	1,60	0,53	6,50	5,42	0	0,20	0,71	5,19	0,42	0,93	1,96
	LN-2	0,10	1,80	0,53	9,11	5,88	0	0,21	0,67	7,20	0,42	1,50	2,49
	LN-3	0,27	1,60	0,53	6,64	5,68	0	0,10	0,67	7,16	0,42	1,50	2,23
	LN-4	0,27	1,40	0,60	8,12	5,52	1,07	0,25	0,69	9,07	0,42	1,50	2,63
	LN-5	0,01	1,60	0,80	5,92	7,82	0,69	0,62	0,67	10,69	0,42	1,50	2,79
	LN-6	0,78	2,20	0,67	4,68	2,62	0	0,69	0,53	1,61	0,42	1,78	1,45
D E Z	LN-1	1,16	2,40	0,93	20,34	2,55	0,94	0,11	0,23	3,27	0	0,66	2,96
	LN-2	1,05	2,40	0,93	8,95	0,94	1,06	0,22	0,21	2,94	0	0,94	1,79
	LN-3	0,06	2,40	0,40	3,23	2,55	0,72	0,20	0,24	3,27	0	0,44	1,23
	LN-4	1,26	2,40	1,13	7,75	4,23	1,06	0,20	0,23	2,70	0	0,74	1,97
	LN-5	0,62	2,40	0,93	12,74	1,29	1,40	0,23	0,23	2,70	0	1,61	2,20
	LN-6	0,22	2,80	1,93	33,65	1,74	1,06	0,19	0,26	2,48	0	0,88	4,11
M A R	LN-1	1,48	0,60	1,27	2,62	4,66	0,65	0,05	0,78	2,00	0	1,71	1,44
	LN-2	1,46	0,80	1,07	4,73	5,84	1,06	0,02	0,97	2,51	0	1,59	1,82
	LN-3	1,38	0,40	1,00	16,25	5,63	0,65	0,06	0,91	2,59	0	1,55	2,77
	LN-4	1,60	0,20	1,67	8,94	5,35	0	0,02	0,78	2,21	0	0,83	1,96
	LN-5	2,02	0,20	1,80	2,20	7,28	0,65	0	0,94	2,40	0	1,23	1,70
	LN-6	0,99	0,40	2,00	2,84	3,10	0,65	0,02	0,76	1,78	0	1,30	1,26

TABELA A.4: Parâmetros do índice de Harkins.  
Lagoa Negra - 90/91.

Pto.	O.D.	COND.	ALC.	PO4	pH	NO3	Cl	COLI.	SST
Padrao	0,000	0,000	20,000	0,003	0,000	0,010	0,000	0,000	50,000
LN-1	3,750	60,000	2,100	0,201	1,400	0,010	19,300	4,000	146,000
LN-2	2,250	60,000	1,100	0,263	2,000	0,020	20,800	0,100	203,000
J LN-3	8,100	60,000	3,100	0,284	2,400	0,010	31,200	15,000	233,000
U LN-4	3,750	65,000	5,000	0,358	2,600	0,020	21,300	4,000	125,000
L LN-5	0,000	60,000	8,000	0,269	2,000	0,050	30,200	9,000	298,000
LN-6	6,600	100,000	7,100	0,166	3,000	0,060	16,300	430,000	124,000
LN-1	0,000	60,000	3,000	0,878	1,600	0,310	19,800	0,100	155,000
LN-2	0,000	70,000	3,000	1,448	1,800	0,330	18,800	0,100	175,000
O LN-3	0,000	60,000	3,000	1,013	1,600	0,110	18,800	0,100	166,000
U LN-4	0,000	70,000	3,000	0,515	1,400	0,440	19,300	0,100	159,000
T LN-5	0,000	60,000	4,000	1,576	1,600	1,870	18,800	0,100	269,000
LN-6	7,050	80,000	4,000	0,298	2,200	2,230	15,300	0,100	56,000
LN-1	9,500	60,000	1,000	0,254	2,400	0,130	6,900	0,100	54,000
LN-2	8,100	55,000	2,000	0,357	2,400	0,370	6,400	0,100	19,000
D LN-3	0,000	40,000	3,000	0,324	2,400	0,310	7,400	0,100	54,000
E LN-4	10,100	60,000	2,000	0,266	2,400	0,320	6,900	0,100	108,000
Z LN-5	2,800	60,000	1,000	0,284	2,400	0,400	6,900	0,100	25,000
LN-6	0,000	40,000	2,000	0,251	2,800	0,290	7,900	0,100	34,000
LN-1	20,250	55,000	3,000	0,080	0,600	0,030	21,400	0,100	124,000
LN-2	19,800	40,000	2,000	0,110	0,800	0,010	25,900	0,100	173,000
M LN-3	18,450	40,000	4,000	0,170	0,400	0,050	24,500	0,100	164,000
A LN-4	22,500	40,000	2,000	0,160	0,200	0,010	21,400	0,100	152,000
R LN-5	30,450	40,000	2,000	0,070	0,200	0,000	25,400	0,100	241,000
LN-6	11,100	60,000	3,000	0,010	0,400	0,010	20,900	0,100	70,000
LN-1	0,000	58,000	2,900	0,340	0,240	0,110	21,400	0,100	134,000
LN-2	0,000	51,000	1,900	0,230	0,240	0,150	25,800	0,100	106,000
K LN-3	0,000	51,000	3,900	0,350	0,180	0,080	24,500	0,100	89,000
A LN-4	0,000	51,000	1,900	0,420	0,040	0,150	21,400	0,100	125,000
I LN-5	0,000	55,000	1,900	0,330	0,060	0,130	25,400	0,100	202,000
LN-6	9,000	85,000	2,900	0,340	1,600	0,370	20,100	0,100	35,000
VAR	72,629	75,741	78,370	79,967	79,193	79,322	79,661	38,048	79,951

TABELA A.5: Valores de R<sub>L</sub> para cálculo do índice de Harkins. Lagoa Negra - 90/91.

Pto.	O.D.	COND.	ALC.	PO4	pH	NO3	Cl	COLI.	SST
Padrao	7,50	1,00	31,00	1,00	1,00	4,50	1,00	1,00	5,00
LN-1	17,50	20,00	13,00	9,00	13,50	4,50	13,50	27,50	18,00
LN-2	15,00	20,00	3,00	13,00	20,50	8,50	17,00	14,00	27,00
J LN-3	21,50	20,00	23,00	16,50	25,50	4,50	31,00	30,00	28,00
U LN-4	17,50	26,00	28,00	25,00	29,00	8,50	19,00	27,50	15,50
L LN-5	7,50	20,00	30,00	15,00	20,50	11,50	30,00	29,00	31,00
LN-6	19,00	31,00	29,00	7,00	31,00	13,00	9,00	31,00	13,50
LN-1	7,50	20,00	19,00	28,00	16,50	22,50	15,00	14,00	20,00
LN-2	7,50	27,50	19,00	30,00	19,00	25,00	11,00	14,00	25,00
Q LN-3	7,50	20,00	19,00	29,00	16,50	15,50	11,00	14,00	23,00
U LN-4	7,50	27,50	19,00	27,00	13,50	29,00	13,50	14,00	21,00
T LN-5	7,50	20,00	26,00	31,00	16,50	30,00	11,00	14,00	30,00
LN-6	20,00	29,00	26,00	18,00	22,00	31,00	8,00	14,00	8,00
LN-1	24,00	20,00	1,50	12,00	25,50	17,50	4,00	14,00	6,50
LN-2	21,50	12,00	9,50	24,00	25,50	26,50	2,00	14,00	1,00
D LN-3	7,50	4,50	19,00	19,00	25,50	22,50	6,00	14,00	6,50
E LN-4	25,00	20,00	9,50	14,00	25,50	24,00	4,00	14,00	12,00
Z LN-5	16,00	20,00	1,50	16,50	25,50	28,00	4,00	14,00	2,00
LN-6	7,50	4,50	9,50	11,00	30,00	21,00	7,00	14,00	3,00
LN-1	29,00	12,00	19,00	4,00	11,00	10,00	21,50	14,00	13,50
LN-2	28,00	4,50	9,50	5,00	12,00	4,50	29,00	14,00	24,00
M LN-3	27,00	4,50	26,00	8,00	9,50	11,50	24,50	14,00	22,00
A LN-4	30,00	4,50	9,50	6,00	5,50	4,50	21,50	14,00	19,00
R LN-5	31,00	4,50	9,50	3,00	5,50	1,00	26,50	14,00	29,00
LN-6	26,00	20,00	19,00	2,00	9,50	4,50	18,00	14,00	9,00
LN-1	7,50	14,00	14,50	21,50	7,50	15,50	21,50	14,00	17,00
LN-2	7,50	9,00	5,00	10,00	7,50	19,50	28,00	14,00	11,00
M LN-3	7,50	9,00	24,00	23,00	4,00	14,00	24,50	14,00	10,00
A LN-4	7,50	9,00	5,00	26,00	2,00	19,50	21,50	14,00	15,50
I LN-5	7,50	12,00	5,00	20,00	3,00	17,50	26,50	14,00	26,00
LN-6	23,00	30,00	14,50	21,50	16,50	26,50	16,00	14,00	4,00

TABELA A.6: Distâncias padronizadas de cada parâmetro e o índice de Harkins. Lagoa Negra - 90/91.

Pto.	SUB-ÍNDICES									ÍNDICE de HARKINS
	O.D.	COND.	ALC.	PO4	pH	NO3	Cl	COLI.	SST	
Padrao	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,000
LN-1	1,377	4,766	4,134	0,800	1,973	0,000	1,961	18,457	2,114	35,583
LN-2	0,774	4,766	10,004	1,801	4,802	0,202	3,214	4,442	6,054	36,057
J LN-3	2,699	4,766	0,817	3,004	7,580	0,000	11,298	22,103	6,617	58,883
U LN-4	1,377	8,252	0,115	7,203	9,900	0,202	4,067	18,457	1,379	50,951
L LN-5	0,000	4,766	0,013	2,451	4,802	0,618	10,557	20,605	8,455	52,267
LN-6	1,821	11,882	0,051	0,450	11,365	0,911	0,803	23,654	0,904	51,841
LN-1	0,000	4,766	1,837	9,116	3,034	4,085	2,460	4,442	2,814	32,554
LN-2	0,000	9,272	1,837	10,517	4,091	5,298	1,255	4,442	5,003	41,715
O LN-3	0,000	4,766	1,837	9,804	3,034	1,525	1,255	4,442	4,052	30,716
U LN-4	0,000	9,272	1,837	8,453	1,973	7,567	1,961	4,442	3,202	38,708
T LN-5	0,000	4,766	0,319	11,255	3,034	8,198	1,255	4,442	7,817	41,085
LN-6	2,151	10,351	0,319	3,614	5,569	8,853	0,615	4,442	0,113	36,026
LN-1	3,749	4,766	11,104	1,513	7,580	2,131	0,113	4,442	0,028	35,425
LN-2	2,699	1,598	5,898	6,615	7,580	6,102	0,013	4,442	0,200	35,145
D LN-3	0,000	0,162	1,837	4,052	7,580	4,085	0,314	4,442	0,028	22,499
E LN-4	4,217	4,766	5,898	2,113	7,580	4,794	0,113	4,442	0,613	34,535
Z LN-5	0,995	4,766	11,104	3,004	7,580	6,962	0,113	4,442	0,113	39,078
LN-6	0,000	0,162	5,898	1,251	10,620	3,432	0,452	4,442	0,050	26,306
LN-1	6,365	1,598	1,837	0,113	1,263	0,381	5,275	4,442	0,904	22,177
LN-2	5,786	0,162	5,898	0,200	1,528	0,000	9,842	4,442	4,515	32,373
K LN-3	5,236	0,162	0,319	0,613	0,912	0,618	6,932	4,442	3,615	22,848
A LN-4	6,970	0,162	5,898	0,313	0,256	0,000	5,275	4,442	2,451	25,767
R LN-5	7,604	0,162	5,898	0,050	0,256	0,154	8,163	4,442	7,204	33,933
LN-6	4,712	4,766	1,837	0,013	0,912	0,000	3,628	4,442	0,200	20,510
LN-1	0,000	2,231	3,474	5,255	0,534	1,525	5,275	4,442	1,801	24,538
LN-2	0,000	0,845	8,626	1,013	0,534	2,837	9,151	4,442	0,450	27,897
M LN-3	0,000	0,845	0,625	6,052	0,114	1,138	6,932	4,442	0,313	20,461
A LN-4	0,000	0,845	8,626	7,816	0,013	2,837	5,275	4,442	1,379	31,232
I LN-5	0,000	1,598	8,626	4,514	0,051	2,131	8,163	4,442	5,516	35,039
LN-6	3,308	11,103	3,474	5,255	3,034	6,102	2,824	4,442	0,013	39,555

TABELA A.7: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-1 / julho-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	0	0	0	0	0	0
2 -CHLOROPHYTA	2	18268	1.00	0.23	0.69	1.00
3 -CHRYSOPHYTA	6	176286	2.04	0.95	1.42	0.79
4 -FLAGELADOS	1	2	0	0	0	0
5 -ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	1	2	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	0	0	0	0	0	0
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	9	194556	2.39	1.51	1.66	0.76
10 -ZOOPLANCTON	1	2	0	0	0	0
11 -PLANCTON	10	194558	2.40	1.70	1.66	0.72

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.8: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-2 / julho-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	1	4567	0	0	0	0
2 -CHLOROPHYTA	6	114175	2.46	0.99	1.70	0.95
3 -CHRYSOPHYTA	11	315586	2.58	1.82	1.79	0.75
4 -FLAGELADOS	1	13701	0	0	0	0
5 -ROTIFERA	1	2	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	0	0	0	0	0	0
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	19	448029	3.52	3.19	2.44	0.83
10 -ZOOPLANCTON	1	2	0	0	0	0
11 -PLANCTON	20	448031	3.52	3.36	2.44	0.82

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.9: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-3 / julho-90

PARAMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	1	2	0	0	0	0
2 -CHLOROPHYTA	5	63938	2.18	0.83	1.51	0.94
3 -CHRYSOPHYTA	10	568594	2.53	1.56	1.75	0.76
4 -FLAGELADOS	1	2	0	0	0	0
5 -ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	1	2	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	1	2	0	0	0	0
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	17	632536	2.97	2.76	2.06	0.73
10 -ZOOPLANCTON	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
11 -PLANCTON	19	632540	2.97	3.10	2.06	0.70

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.10: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-4 / julho-90

PARAMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	0	0	0	0	0	0
2 -CHLOROPHYTA	4	22837	1.52	0.69	1.06	0.76
3 -CHRYSOPHYTA	10	544388	2.16	1.57	1.50	0.65
4 -FLAGELADOS	0	0	0	0	0	0
5 -ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	0	0	0	0	0	0
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	14	567225	2.38	2.26	1.65	0.62
10 -ZOOPLANCTON	0	0	0	0	0	0
11 -PLANCTON	14	567225	2.38	2.26	1.65	0.62

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos



TABELA A.11: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-5 / julho-90

PARÂMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	0	0	0	0	0	0
2 -CHLOROPHYTA	4	13703	1.59	0.73	1.10	0.79
3 -CHRYSOPHYTA	9	277253	2.67	1.47	1.85	0.84
4 -FLAGELADOS	0	0	0	0	0	0
5 -ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	1	2	0	0	0	0
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	13	290956	2.90	2.20	2.01	0.78
10 -ZOOPLANCTON	1	2	0	0	0	0
11 -PLANCTON	14	290958	2.90	2.38	2.01	0.76

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.12: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-6 / julho-90

PARÂMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	0	0	0	0	0	0
2 -CHLOROPHYTA	2	4569	0.01	0.27	0.00	0.01
3 -CHRYSOPHYTA	8	160303	2.50	1.34	1.73	0.83
4 -FLAGELADOS	0	0	0	0	0	0
5 -ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	1	2	0	0	0	0
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	10	164872	2.61	1.73	1.81	0.79
10 -ZOOPLANCTON	1	2	0	0	0	0
11 -PLANCTON	11	164874	2.61	1.92	1.81	0.76

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.13: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-1 / outubro-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1- CYANOPHYTA	0	0	0	0	0	0
2- CHLOROPHYTA	2	8668	1.00	0.25	0.69	1.00
3- CHRYSOPHYTA	8	158191	2.58	1.35	1.79	0.86
4- FLAGELADOS	2	2169	0.01	0.30	0.01	0.01
5- ROTIFERA	1	2	0	0	0	0
6- CRUSTACEA	1	2	0	0	0	0
7- PROTOZOA	3	6505	0.01	0.52	0.01	0.01
8- BENTOS	-	-				
9- FITOPLANCTON	12	169028	2.86	2.10	1.98	0.80
10- ZOOPLANCTON	5	6509	0.02	1.05	0.01	0.01
11- PLANCTON	17	175537	2.98	3.05	2.07	0.73

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.14: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-2 / outubro-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1- CYANOPHYTA	0	0	0	0	0	0
2- CHLOROPHYTA	2	28171	0.62	0.22	0.43	0.62
3- CHRYSOPHYTA	10	257875	2.56	1.66	1.78	0.77
4- FLAGELADOS	0	0	0	0	0	0
5- ROTIFERA	1	2167	0	0	0	0
6- CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7- PROTOZOA	1	2167	0	0	0	0
8- BENTOS	-	-				
9- FITOPLANCTON	12	286046	2.84	2.02	1.97	0.79
10- ZOOPLANCTON	2	4334	1.00	0.27	0.69	1.00
11- PLANCTON	14	290380	2.92	2.38	2.02	0.77

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.15: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-3 / outubro-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1- CYANOPHYTA	0	0	0	0	0	0
2- CHLOROPHYTA	1	8668	0	0	0	0
3- CHRYSOPHYTA	11	268710	2.88	1.84	2.00	0.83
4- FLAGELADOS	4	2173	0.03	0.90	0.02	0.02
5- ROTIFERA	2	2169	0.01	0.30	0.01	0.01
6- CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7- PROTOZOA	3	6	1.58	2.57	0.77	1.00
8- BENTOS	-	-				
9- FITOPLANCTON	16	279551	3.03	2.75	2.10	0.76
10- ZOOPLANCTON	5	2175	0.04	1.20	0.03	0.02
11- PLANCTON	21	281726	3.08	3.67	2.13	0.70

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.16: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-4 / outubro-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1- CYANOPHYTA	0	0	0	0	0	0
2- CHLOROPHYTA	4	72839	1.54	0.62	1.06	0.77
3- CHRYSOPHYTA	11	693196	2.82	1.71	1.95	0.81
4- FLAGELADOS	2	18268	1.00	0.23	0.69	1.00
5- ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6- CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7- PROTOZOA	5	4575	0.02	1.09	0.01	0.01
8- BENTOS	-	-				
9- FITOPLANCTON	17	784303	3.26	2.71	2.26	0.80
10- ZOOPLANCTON	5	4575	0.02	1.09	0.01	0.01
11- PLANCTON	22	788878	3.29	3.56	2.28	0.74

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.17: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-5 / outubro-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1- CYANOPHYTA	0	0	0	0	0	0
2- CHLOROPHYTA	4	63940	1.20	0.62	0.83	0.60
3- CHRYSOPHYTA	9	704231	2.76	1.37	1.91	0.87
4- FLAGELADOS	0	0	0	0	0	0
5- ROTIFERA	2	4569	0.01	0.27	0.00	0.01
6- CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7- PROTOZOA	0	0	0	0	0	0
8- BENTOS	-	-				
9- FITOPLANCTON	13	768171	3.04	2.04	2.11	0.82
10- ZOOPLANCTON	2	4569	0.01	0.27	0.00	0.01
11- PLANCTON	15	772740	3.08	2.38	2.13	0.79

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.18: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-6 / outubro-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1- CYANOPHYTA	1	2	0	0	0	0
2- CHLOROPHYTA	3	2171	0.02	0.60	0.01	0.01
3- CHRYSOPHYTA	9	49845	1.91	1.70	1.33	0.60
4- FLAGELADOS	3	21674	0.00	0.46	0.00	0.00
5- ROTIFERA	1	2	0	0	0	0
6- CRUSTACEA	1	2	0	0	0	0
7- PROTOZOA	4	40875	0.78	0.65	0.54	0.39
8- BENTOS	-	-				
9- FITOPLANCTON	16	73692	2.35	3.08	1.63	0.59
10- ZOOPLANCTON	6	40879	0.78	1.08	0.54	0.30
11- PLANCTON	22	114571	2.73	4.15	1.89	0.61

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.19: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-1 /dezembro-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	0	0	0	0	0	0
2 -CHLOROPHYTA	3	34252	0.97	0.44	0.67	0.61
3 -CHRYSOPHYTA	14	876802	2.49	2.19	1.73	0.65
4 -FLAGELADOS	4	41102	1.56	0.65	1.08	0.78
5 -ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	4	6854	1.01	0.78	0.70	0.50
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	21	952156	2.87	3.35	1.99	0.65
10 -ZOOPLANCTON	4	6854	1.01	0.78	0.70	0.50
11 -PLANCTON	25	959010	2.92	4.01	2.03	0.63

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.20: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-2 /dezembro-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	1	3425	0	0	0	0
2 -CHLOROPHYTA	4	23977	1.15	0.68	0.80	0.57
3 -CHRYSOPHYTA	14	763783	2.17	2.21	1.51	0.57
4 -FLAGELADOS	4	41100	1.42	0.65	0.98	0.71
5 -ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	23	832285	2.60	3.72	1.81	0.58
10 -ZOOPLANCTON	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
11 -PLANCTON	25	832289	2.60	4.05	1.81	0.56

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.21: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-3 /dezembro-90

PARAMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
2 -CHLOROPHYTA	3	6854	0.01	0.52	0.00	0.00
3 -CHRYSOPHYTA	11	736415	2.37	1.70	1.64	0.68
4 -FLAGELADOS	5	23977	1.84	0.91	1.28	0.79
5 -ROTIFERA	1	2	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	4	13704	1.00	0.73	0.70	0.50
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	21	767250	2.60	3.40	1.80	0.59
10 -ZOOPLANCTON	5	13706	1.01	0.97	0.70	0.43
11 -PLANCTON	26	780956	2.70	4.24	1.87	0.58

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies      N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.22: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-4 /dezembro-90

PARAMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
2 -CHLOROPHYTA	6	75354	1.69	1.03	1.17	0.65
3 -CHRYSOPHYTA	13	835706	2.47	2.03	1.71	0.67
4 -FLAGELADOS	7	89058	1.32	1.21	0.91	0.47
5 -ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	3	6854	0.01	0.52	0.00	0.00
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	28	1000122	3.11	4.50	2.16	0.65
10 -ZOOPLANCTON	3	6854	0.01	0.52	0.00	0.00
11 -PLANCTON	31	1006976	3.15	5.00	2.18	0.64

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies      N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.23: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-5 /dezembro-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
2 -CHLOROPHYTA	7	130150	2.23	1.17	1.55	0.79
3 -CHRYSOPHYTA	13	565133	2.20	2.09	1.53	0.60
4 -FLAGELADOS	6	99329	1.15	1.00	0.80	0.44
5 -ROTIFERA	1	2	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	3	6852	1.00	0.52	0.69	0.63
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	28	794616	3.23	4.58	2.24	0.67
10 -ZOOPLANCTON	4	6854	1.01	0.78	0.70	0.50
11 -PLANCTON	32	801470	3.28	5.25	2.27	0.66

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies      N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.24: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-6 /dezembro-90

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	4	61654	0.50	0.63	0.35	0.25
2 -CHLOROPHYTA	8	47958	1.69	1.50	1.17	0.56
3 -CHRYSOPHYTA	16	928179	3.12	2.51	2.16	0.78
4 -FLAGELADOS	6	54802	1.88	1.06	1.30	0.73
5 -ROTIFERA	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	4	8	2.00	3.32	1.00	1.00
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	34	1092593	3.70	5.46	2.56	0.73
10 -ZOOPLANCTON	6	12	2.58	4.63	1.34	1.00
11 -PLANCTON	40	1092605	3.70	6.46	2.56	0.69

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies      N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.25: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-1 /março-91

PARAMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	6	171256	0.96	0.96	0.67	0.37
2 -CHLOROPHYTA	9	208929	2.03	1.50	1.41	0.64
3 -CHRYSOPHYTA	15	549433	1.91	2.44	1.32	0.49
4 -FLAGELADOS	8	95902	2.29	1.41	1.59	0.76
5 -ROTIFERA	3	6	1.58	2.57	0.77	1.00
6 -CRUSTACEA	1	2	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	3	3429	0.01	0.57	0.01	0.01
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	38	1025520	3.51	6.16	2.43	0.67
10 -ZOOPLANCTON	7	3437	0.04	1.70	0.03	0.02
11 -PLANCTON	45	1028957	3.53	7.32	2.45	0.64

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.26: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-2 /março-91

PARÂMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	4	123304	0.50	0.59	0.35	0.25
2 -CHLOROPHYTA	10	174679	2.20	1.72	1.52	0.66
3 -CHRYSOPHYTA	16	705550	2.88	2.56	1.99	0.72
4 -FLAGELADOS	8	68504	2.29	1.45	1.58	0.76
5 -ROTIFERA	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	4	8	2.00	3.32	1.00	1.00
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	38	1072037	3.89	6.14	2.70	0.74
10 -ZOOPLANCTON	6	12	2.58	4.63	1.34	1.00
11 -PLANCTON	44	1072049	3.89	7.13	2.70	0.71

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos



TABELA A.27: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-3 /março-91

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	6	123306	0.76	0.98	0.53	0.29
2 -CHLOROPHYTA	9	123306	2.23	1.57	1.55	0.70
3 -CHRYSOPHYTA	15	703129	2.56	2.39	1.77	0.66
4 -FLAGELADOS	6	99325	2.39	1.00	1.66	0.93
5 -ROTIFERA	1	3425	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	4	6854	1.01	0.78	0.70	0.50
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	36	1049066	3.73	5.81	2.59	0.72
10 -ZOOPLANCTON	5	10279	1.59	1.00	1.10	0.68
11 -PLANCTON	41	1059345	3.79	6.64	2.63	0.71

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.28: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-4 /março-91

PARAMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	4	157552	0.50	0.58	0.34	0.25
2 -CHLOROPHYTA	8	205502	1.98	1.32	1.37	0.66
3 -CHRYSOPHYTA	16	750127	2.82	2.55	1.96	0.71
4 -FLAGELADOS	7	99327	2.15	1.20	1.49	0.77
5 -ROTIFERA	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	2	3427	0.01	0.28	0.00	0.01
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	35	1212508	3.86	5.59	2.68	0.75
10 -ZOOPLANCTON	4	3431	0.02	0.85	0.01	0.01
11 -PLANCTON	39	1215939	3.88	6.24	2.69	0.73

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.29: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-5 /março-91

PARAMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	6	181525	0.67	0.95	0.46	0.26
2 -CHLOROPHYTA	10	92479	1.96	1.81	1.36	0.59
3 -CHRYSOPHYTA	13	647329	2.38	2.07	1.65	0.64
4 -FLAGELADOS	8	75350	2.65	1.44	1.83	0.88
5 -ROTI FERA	3	6	1.58	2.57	0.77	1.00
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	2	6852	0.00	0.26	0.00	0.00
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	37	996683	3.50	6.00	2.43	0.67
10 -ZOOPLANCTON	5	6858	0.02	1.04	0.01	0.01
11 -PLANCTON	42	1003541	3.54	6.83	2.45	0.66

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

TABELA A.30: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-6 /março-91

PARÂMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	4	10279	0.92	0.75	0.64	0.46
2 -CHLOROPHYTA	8	13712	0.82	1.69	0.57	0.27
3 -CHRYSOPHYTA	12	78785	2.55	2.25	1.76	0.71
4 -FLAGELADOS	4	6854	1.01	0.78	0.70	0.50
5 -ROTI FERA	1	2	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	1	2	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	28	109630	3.37	5.36	2.34	0.70
10 -ZOOPLANCTON	4	8	2.00	3.32	1.00	1.00
11 -PLANCTON	32	109638	3.37	6.15	2.34	0.67

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

TABELA A. 31: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-1 / maio-91

PARÂMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	5	114175	1.92	0.79	1.33	0.83
2 -CHLOROPHYTA	12	191822	2.25	2.08	1.56	0.63
3 -CHRYSOPHYTA	16	488678	2.44	2.64	1.60	0.61
4 -FLAGELADOS	2	13701	0.92	0.24	0.64	0.92
5 -ROTIFERA	1	2	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	3	18268	1.50	0.47	1.04	0.95
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	35	808376	3.73	5.76	2.58	0.73
10 -ZOOPLANCTON	4	18270	1.50	0.70	1.04	0.75
11 -PLÂNCTON	39	826646	3.83	6.42	2.65	0.72

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A. 32: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-2 / maio-91

PARÂMETRO	S(I)	N(I)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	6	187249	1.91	0.95	1.32	0.74
2 -CHLOROPHYTA	9	123315	2.02	1.57	1.40	0.64
3 -CHRYSOPHYTA	9	251185	2.43	1.48	1.69	0.77
4 -FLAGELADOS	2	4569	0.01	0.27	0.00	0.01
5 -ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	3	27402	1.25	0.45	0.87	0.79
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	26	566318	3.73	4.35	2.59	0.79
10 -ZOOPLANCTON	3	27402	1.25	0.45	0.87	0.79
11 -PLÂNCTON	29	593720	3.89	4.85	2.70	0.80

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A. 33: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-3 / maio-91

PARÂMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	7	187247	2.12	1.14	1.47	0.76
2 -CHLOROPHYTA	13	91350	2.57	2.42	1.78	0.69
3 -CHRYSOPHYTA	12	333397	2.42	1.99	1.68	0.68
4 -FLAGELADOS	3	18268	1.50	0.47	1.04	0.95
5 -ROTIFERA	2	4	1.00	1.66	0.46	1.00
6 -CRUSTACEA	1	2	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	4	36540	0.55	0.66	0.38	0.27
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	35	630262	3.88	5.86	2.69	0.76
10 -ZOOPLANCTON	7	36546	0.55	1.31	0.38	0.20
11 -PLÂNCTON	42	666808	4.01	7.04	2.78	0.74

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A. 34: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-4 / maio-91

PARÂMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	6	159845	1.92	0.96	1.33	0.74
2 -CHLOROPHYTA	9	109614	2.10	1.59	1.45	0.66
3 -CHRYSOPHYTA	11	155288	2.00	1.93	1.39	0.58
4 -FLAGELADOS	3	4571	0.01	0.55	0.01	0.01
5 -ROTIFERA	1	2	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	1	2	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	5	22841	0.97	0.92	0.68	0.42
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	29	429318	3.61	4.97	2.50	0.74
10 -ZOOPLANCTON	7	22845	0.98	1.38	0.68	0.35
11 -PLÂNCTON	36	452163	3.76	6.19	2.61	0.73

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies    N(I): No. total de indivíduos

TABELA A. 35: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-5 / maio-91

PARÂMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	6	95907	2.07	1.00	1.43	0.80
2 -CHLOROPHYTA	8	73078	2.06	1.44	1.42	0.69
3 -CHRYSOPHYTA	6	95909	1.78	1.00	1.23	0.69
4 -FLAGELADOS	3	18268	1.50	0.47	1.04	0.95
5 -ROTIFERA	0	0	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	5	18274	0.82	0.94	0.56	0.35
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	23	283162	3.75	4.04	2.60	0.83
10 -ZOOPLANCTON	5	18274	0.82	0.94	0.56	0.35
11 -PLANCTON	28	301436	3.90	4.93	2.70	0.81

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

TABELA A. 36: Índices de diversidade aplicados ao plâncton da Lagoa Negra - Ponto LN-6 / maio-91

PARÂMETRO	SCI)	NCI)	S-W	MARG	BRILL	PIEL
1 -CYANOPHYTA	3	4571	0.01	0.55	0.01	0.01
2 -CHLOROPHYTA	8	13711	1.59	1.69	1.10	0.53
3 -CHRYSOPHYTA	14	379065	2.86	2.33	1.98	0.75
4 -FLAGELADOS	8	63942	2.12	1.46	1.47	0.71
5 -ROTIFERA	1	2	0	0	0	0
6 -CRUSTACEA	0	0	0	0	0	0
7 -PROTOZOA	3	6	1.58	2.57	0.77	1.00
8 -BENTOS	-	-				
9 -FITOPLANCTON	33	461289	3.53	5.65	2.45	0.70
10 -ZOOPLANCTON	4	8	2.00	3.32	1.00	1.00
11 -PLANCTON	37	461297	3.53	6.36	2.45	0.68

OBS.: Cálculo feito para No. de indivíduos  $\geq 2$

S(I): No. de espécies N(I): No. total de indivíduos

---

**ANEXO B**

**MODELO**

---

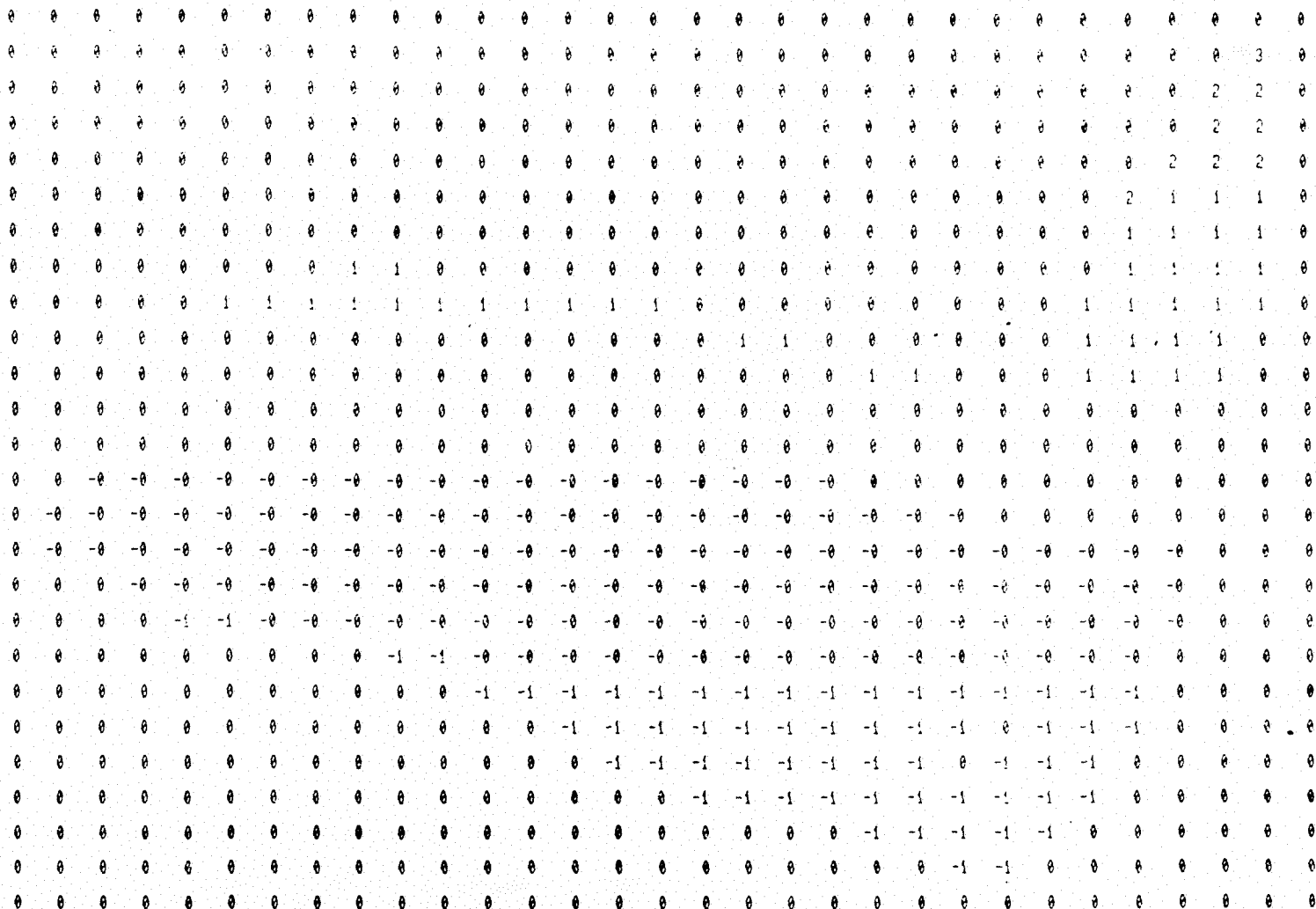


FIGURA B.1: Grade da elevação da superfície acima do nível médio após 4 horas de simulação. CASO 2: precipitação média e vento médio na direção sul.

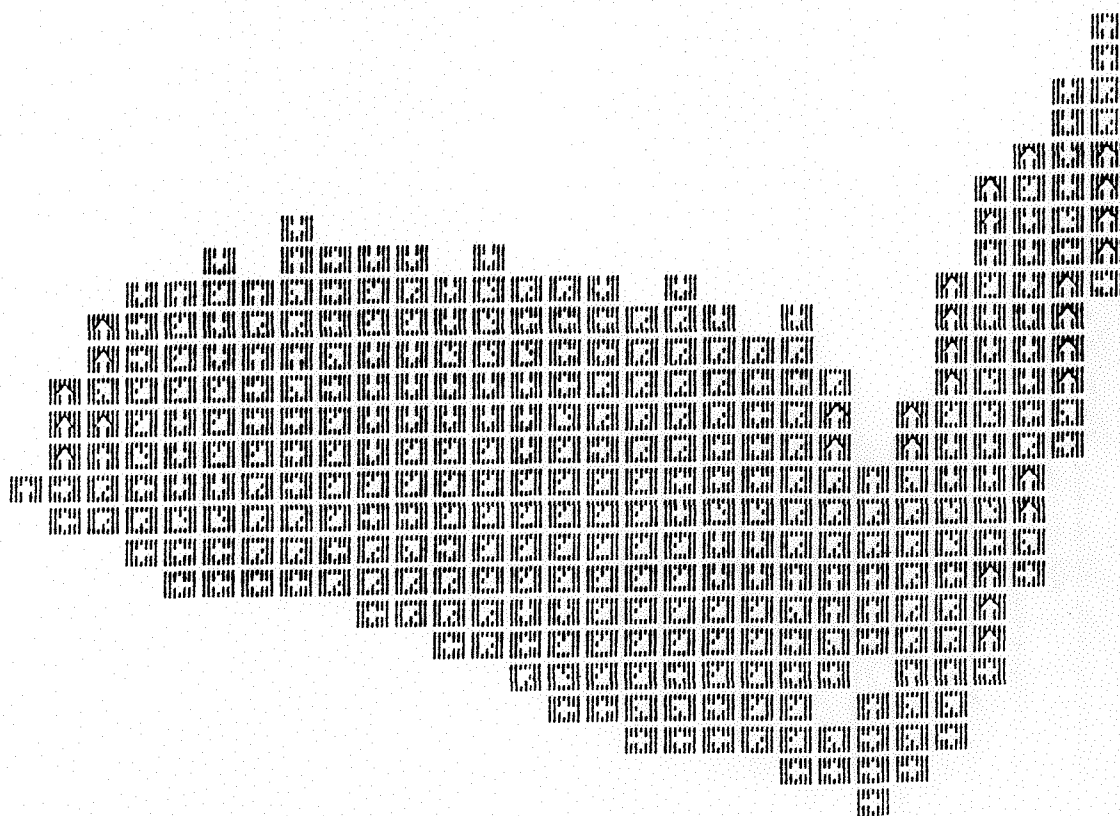


FIGURA B.2: Circulação na lagoa após 4 horas de simulação. CASO 2: precipitação média e vento médio na direção sul.







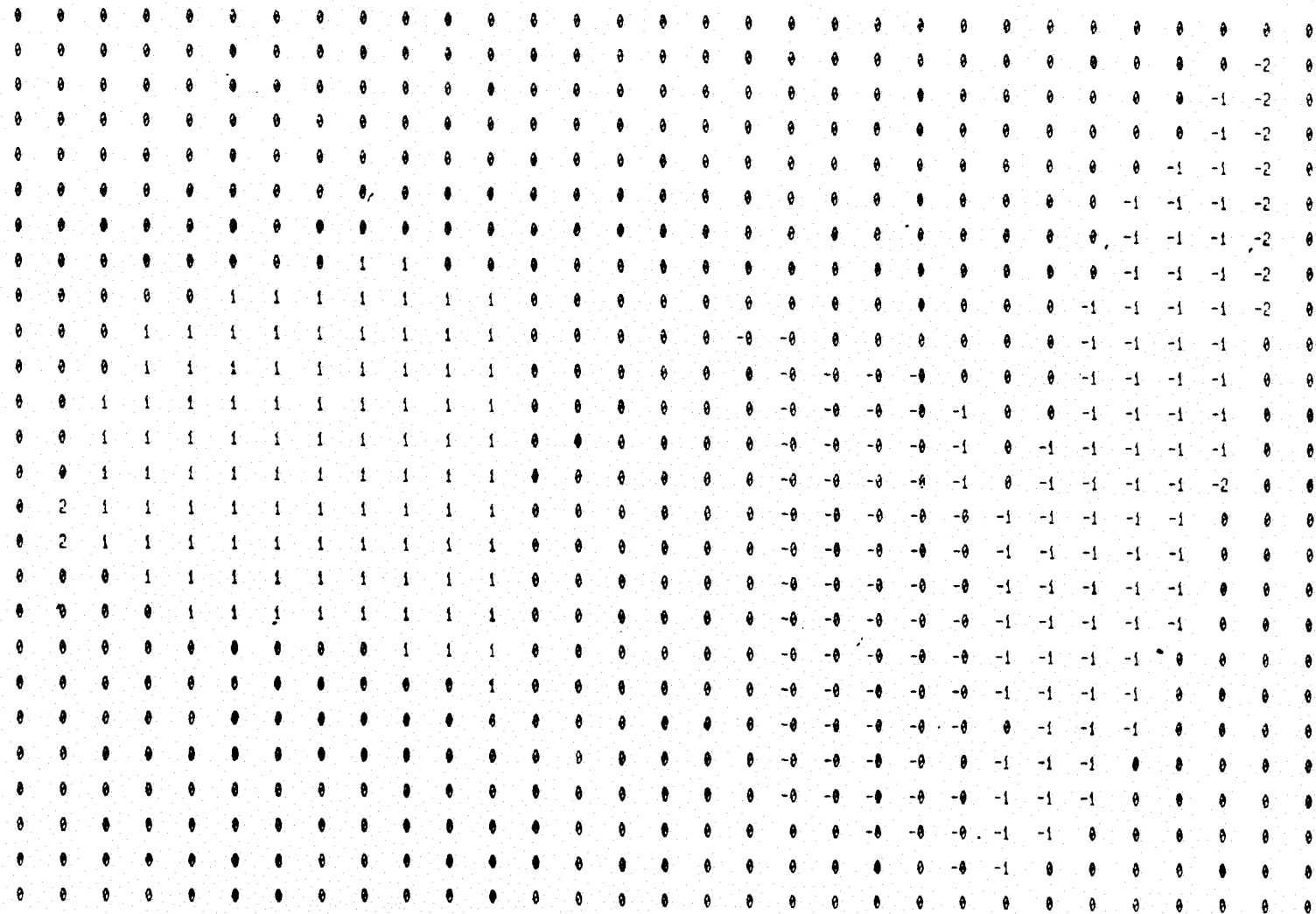


FIGURA B.5: Grade da elevação da superfície acima do nível médio após 4 horas de simulação. CASO 3: precipitação média e vento médio na direção leste.

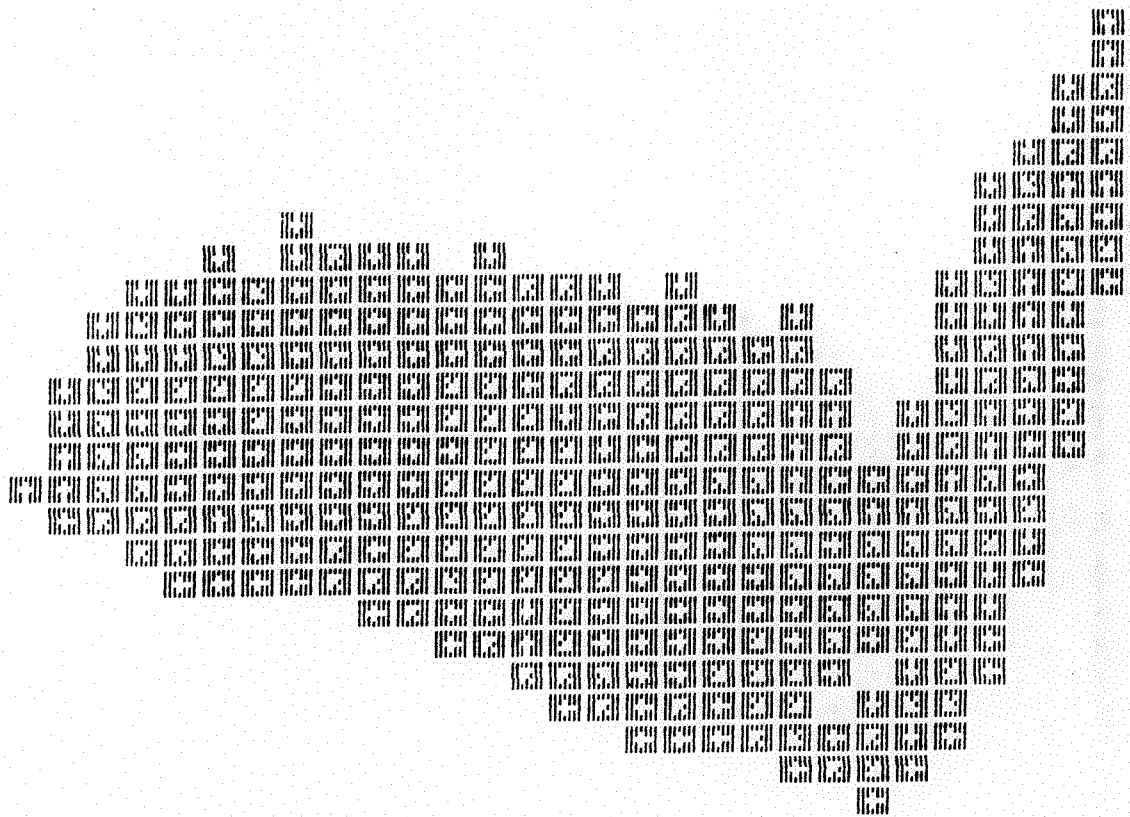


FIGURA B.6: Circulação na lagoa após 4 horas de simulação. CASO 3: precipitação média e vento médio na direção leste.



















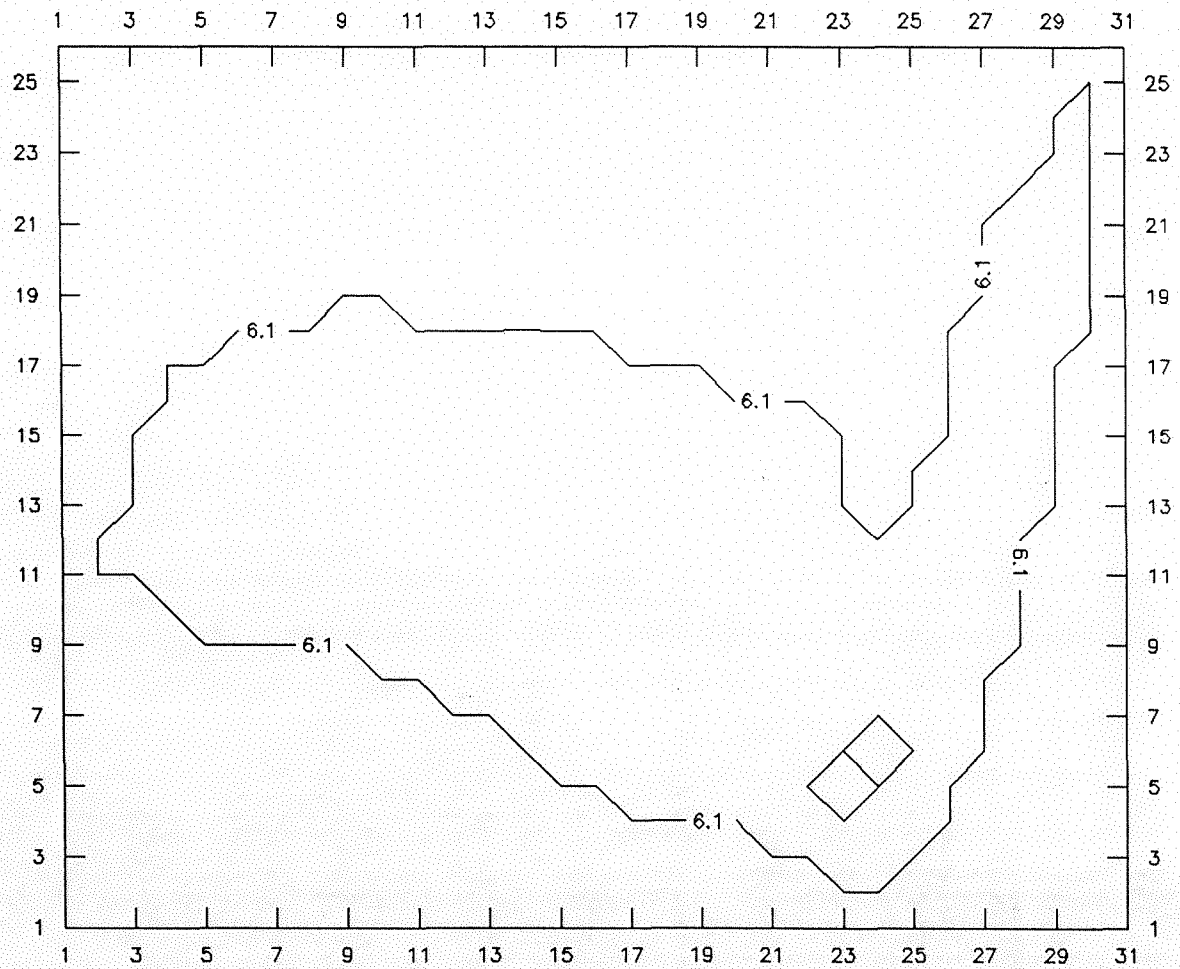


FIGURA B.15: Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário BBB1 - calmaria: T=14°C - C<sub>o</sub>=6µg/l - Carga mínima

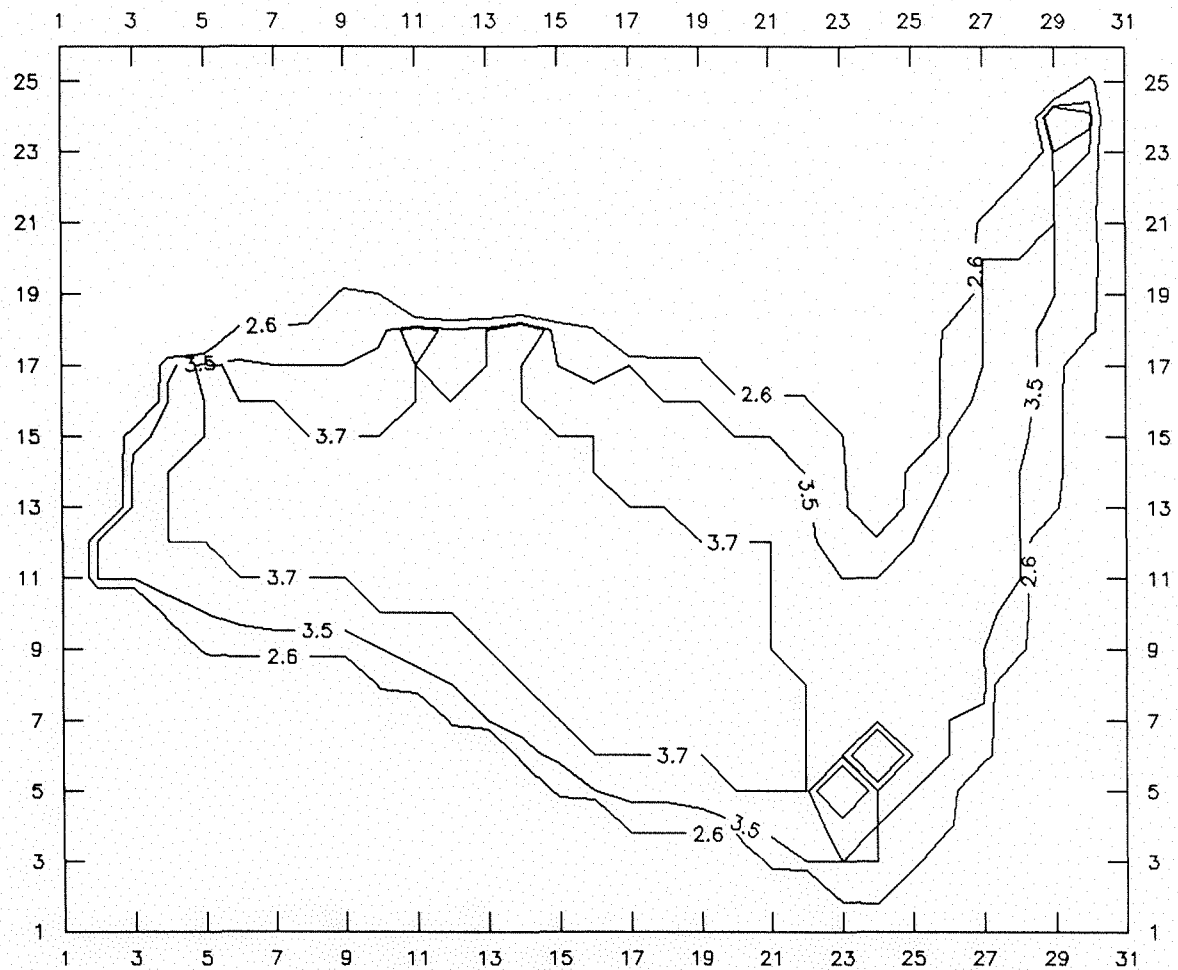


FIGURA B.16: Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário BBB1 - calmaria:  
 $T=14^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=4\mu\text{g/l}$  - Carga mínima

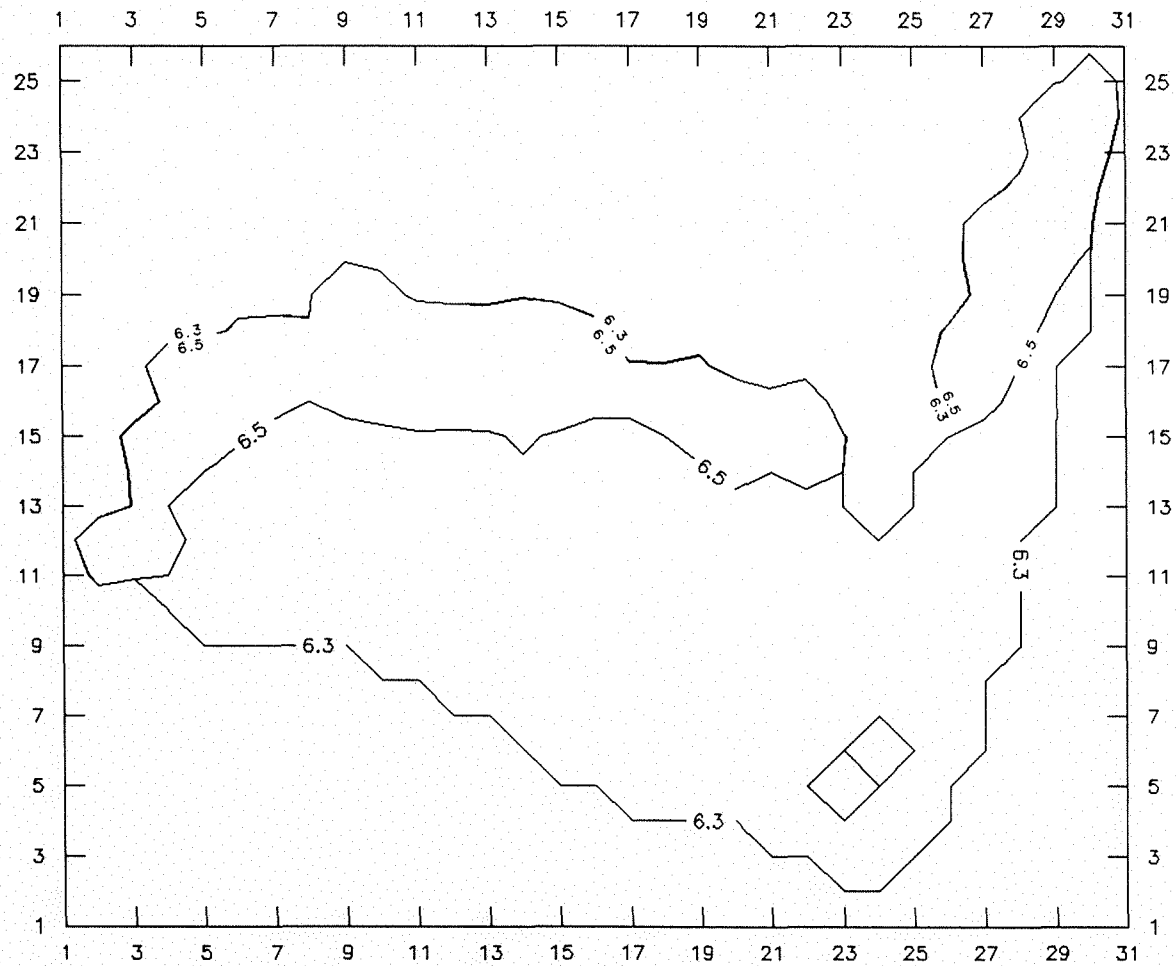


FIGURA B.17: Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário ABA1 - calmaria:  
 $T=30^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=6\mu\text{g/l}$  - Carga máxima

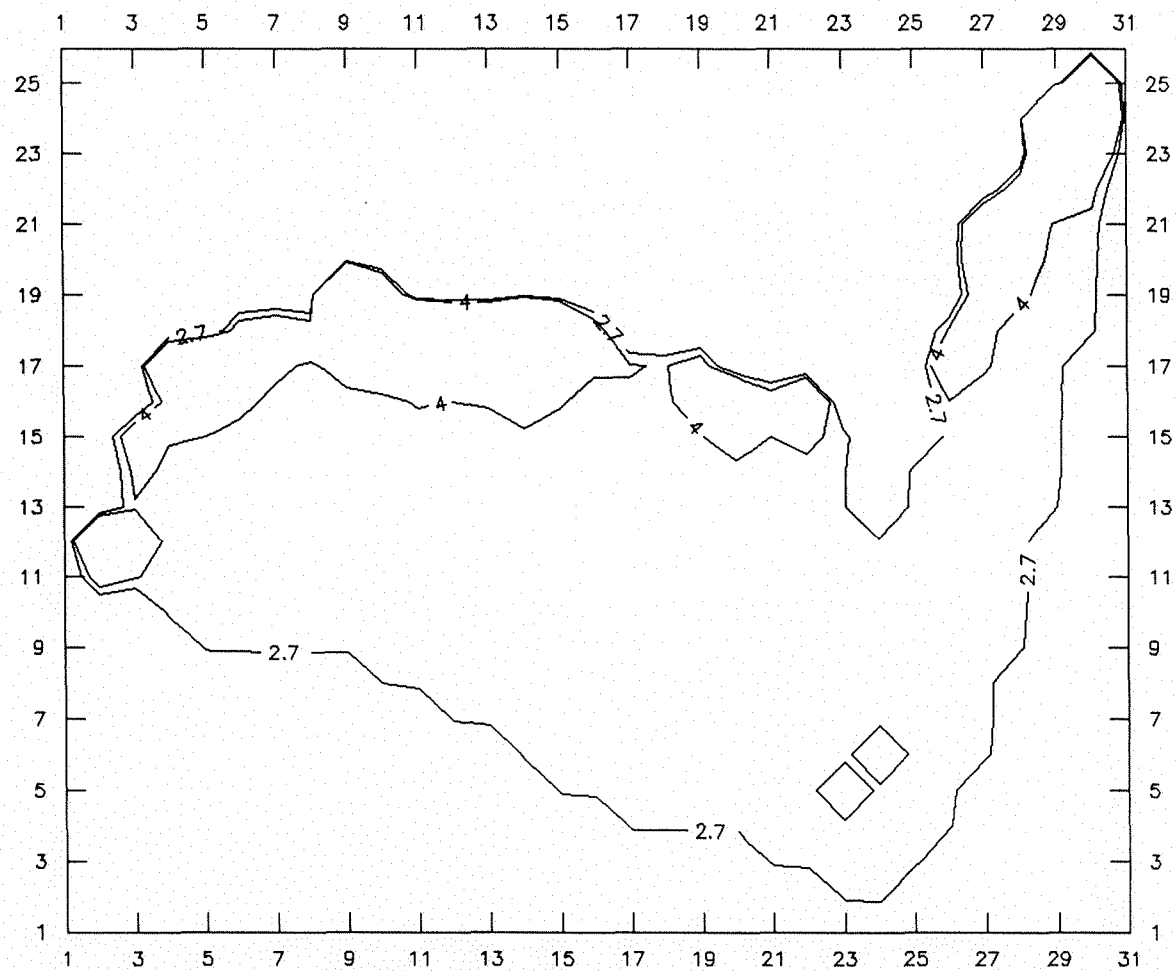


FIGURA B.18: Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário ABA1 - calmaria:  
 $T=30^{\circ}\text{C}$  -  $C_o=4\mu\text{g/l}$  - Carga máxima



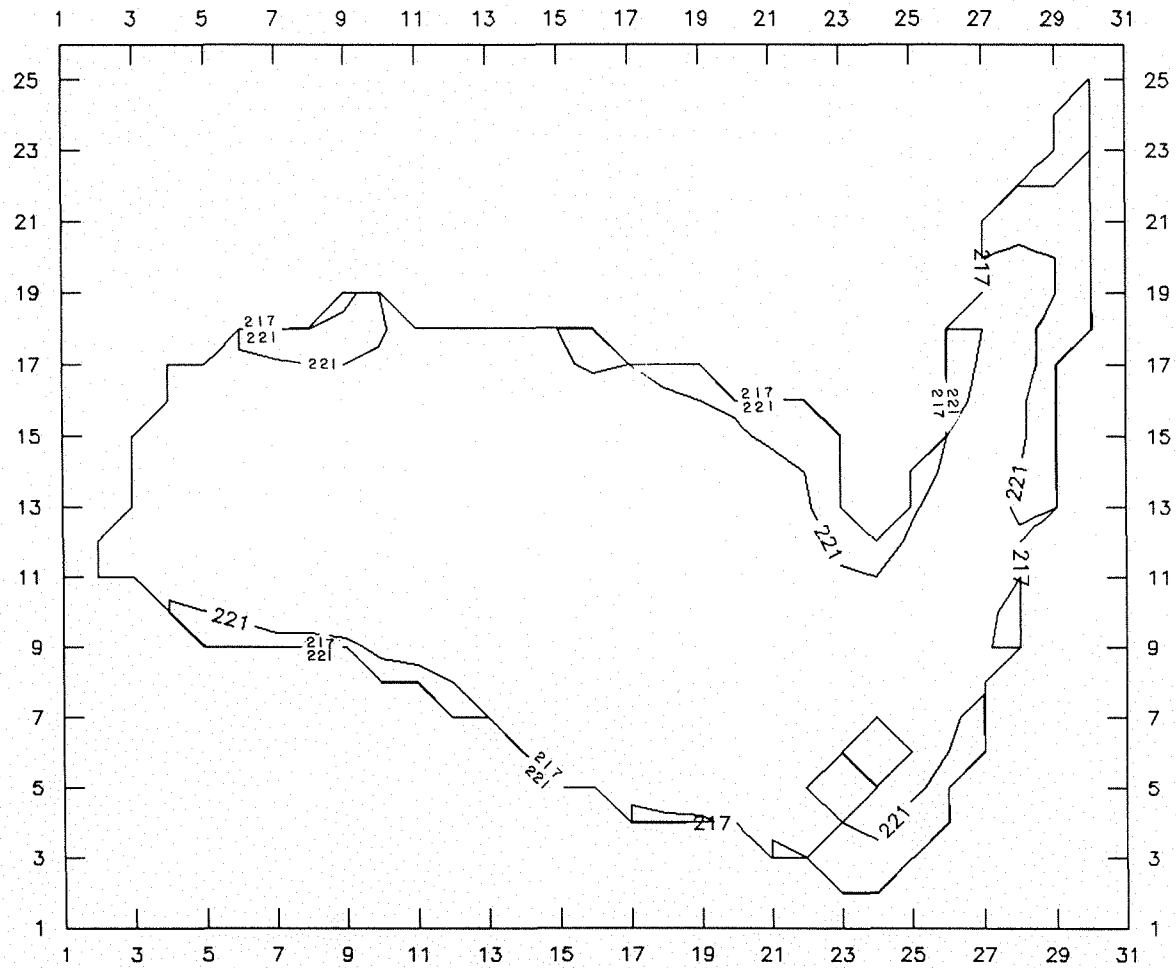


FIGURA B.19: Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário MMM1 - calmaria:  
 $T=21,3^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=240\mu\text{g/l}$  - Carga média

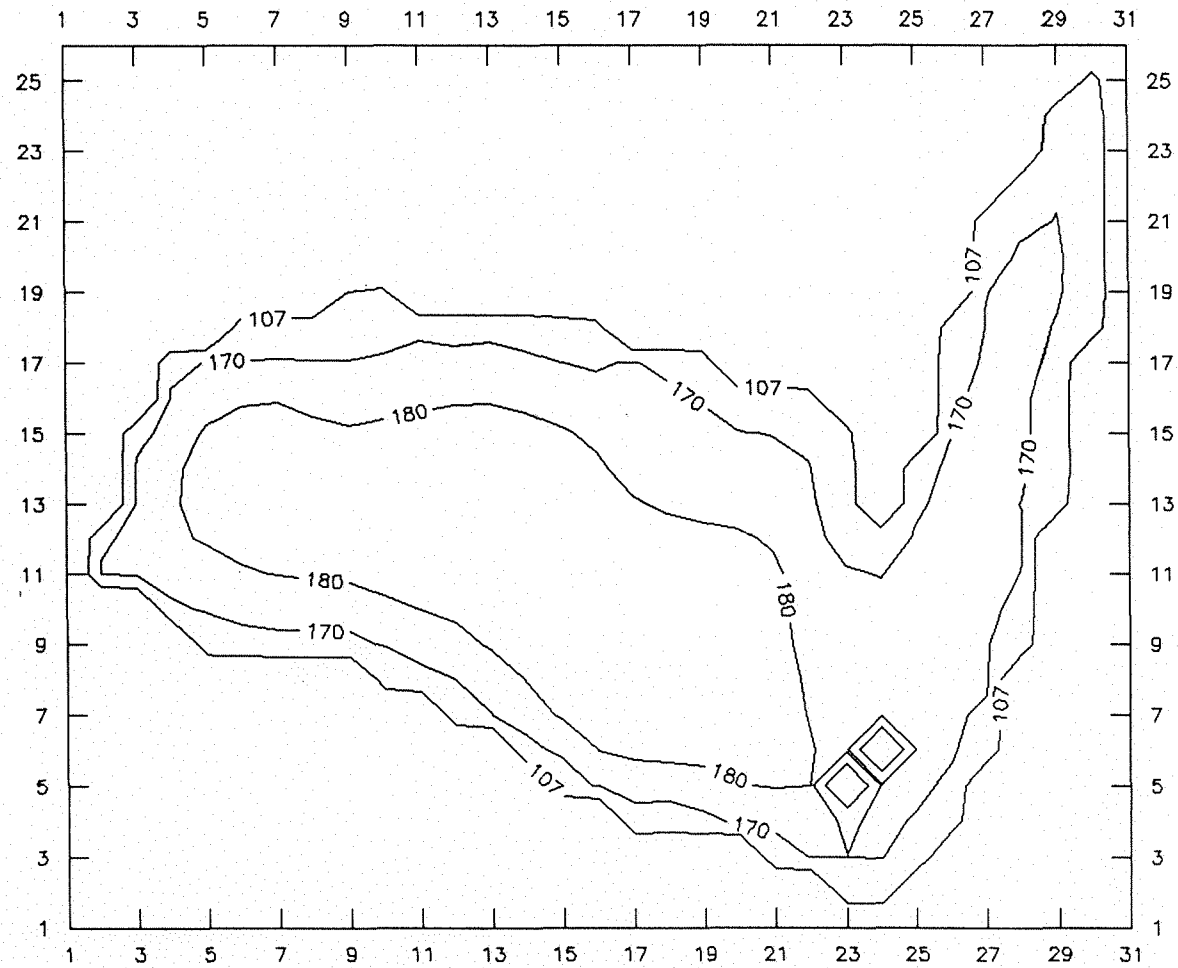


FIGURA B.20: Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário MMM1 - calmaria:  
 $T=21,3^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=170\mu\text{g/l}$  - Carga média

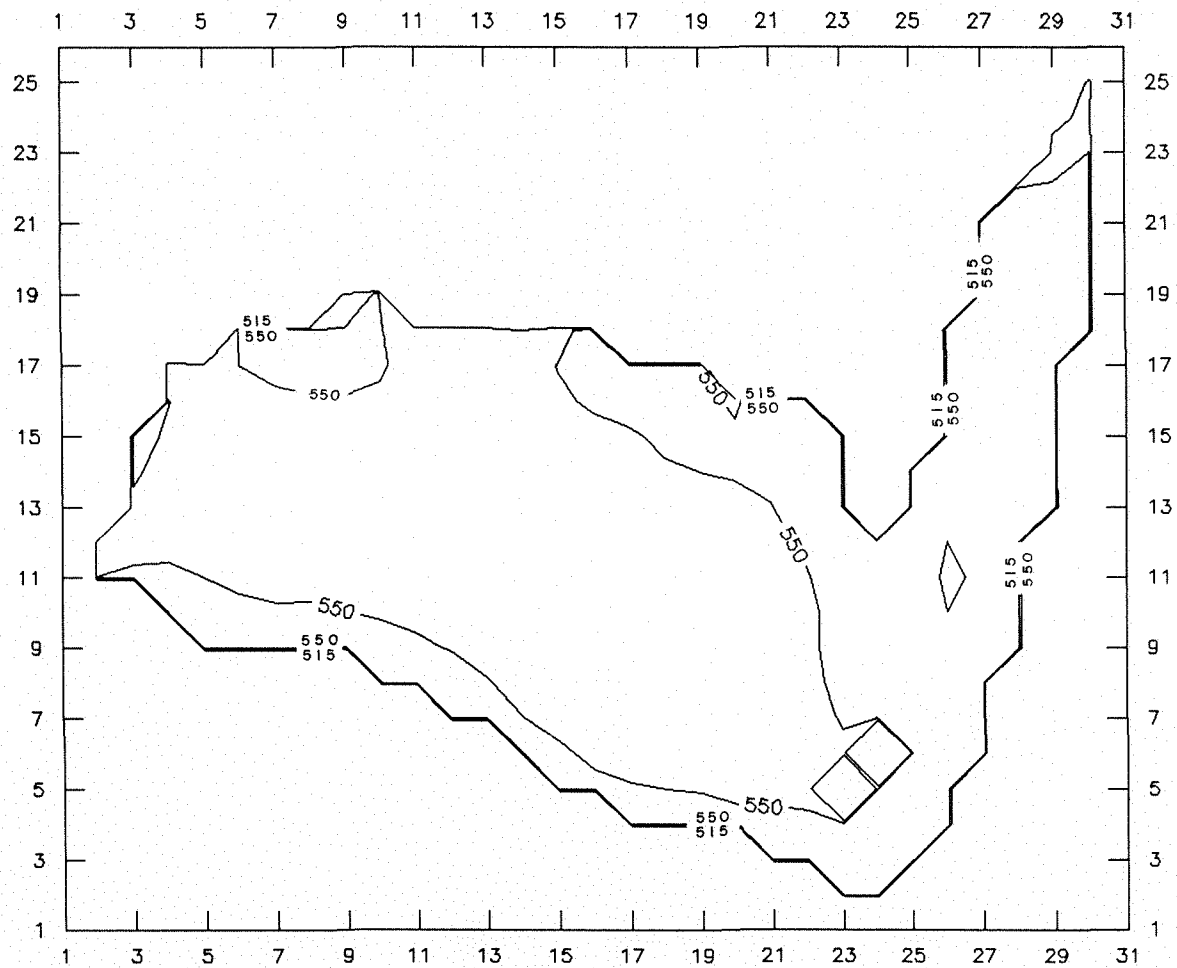


FIGURA B.21: Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário AAB1 - calmaria:  
 $T=30^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=680\mu\text{g/l}$  - Carga mínima

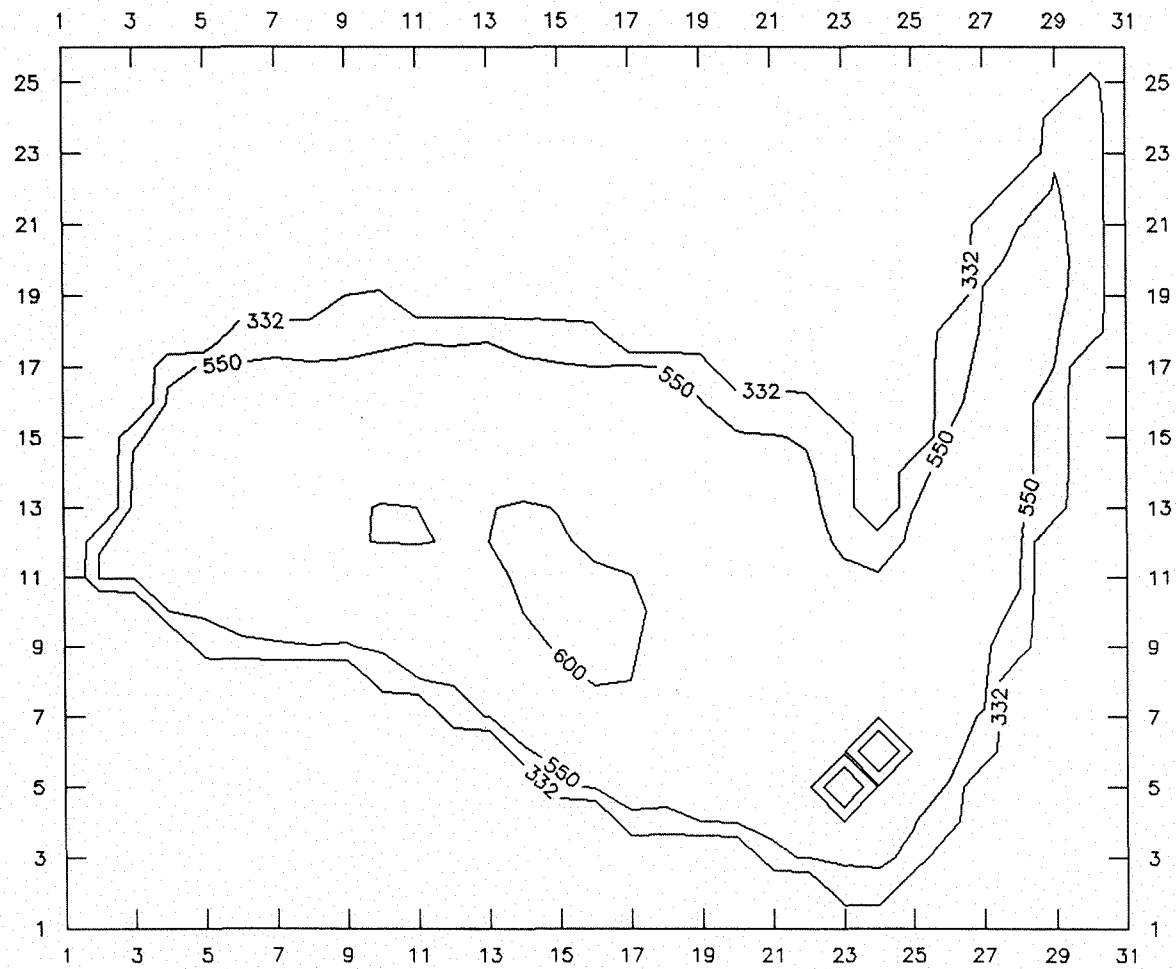


FIGURA B.22: Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário AAB1 - calmaria:  
 $T=30^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=490\mu\text{g/l}$  - Carga mínima

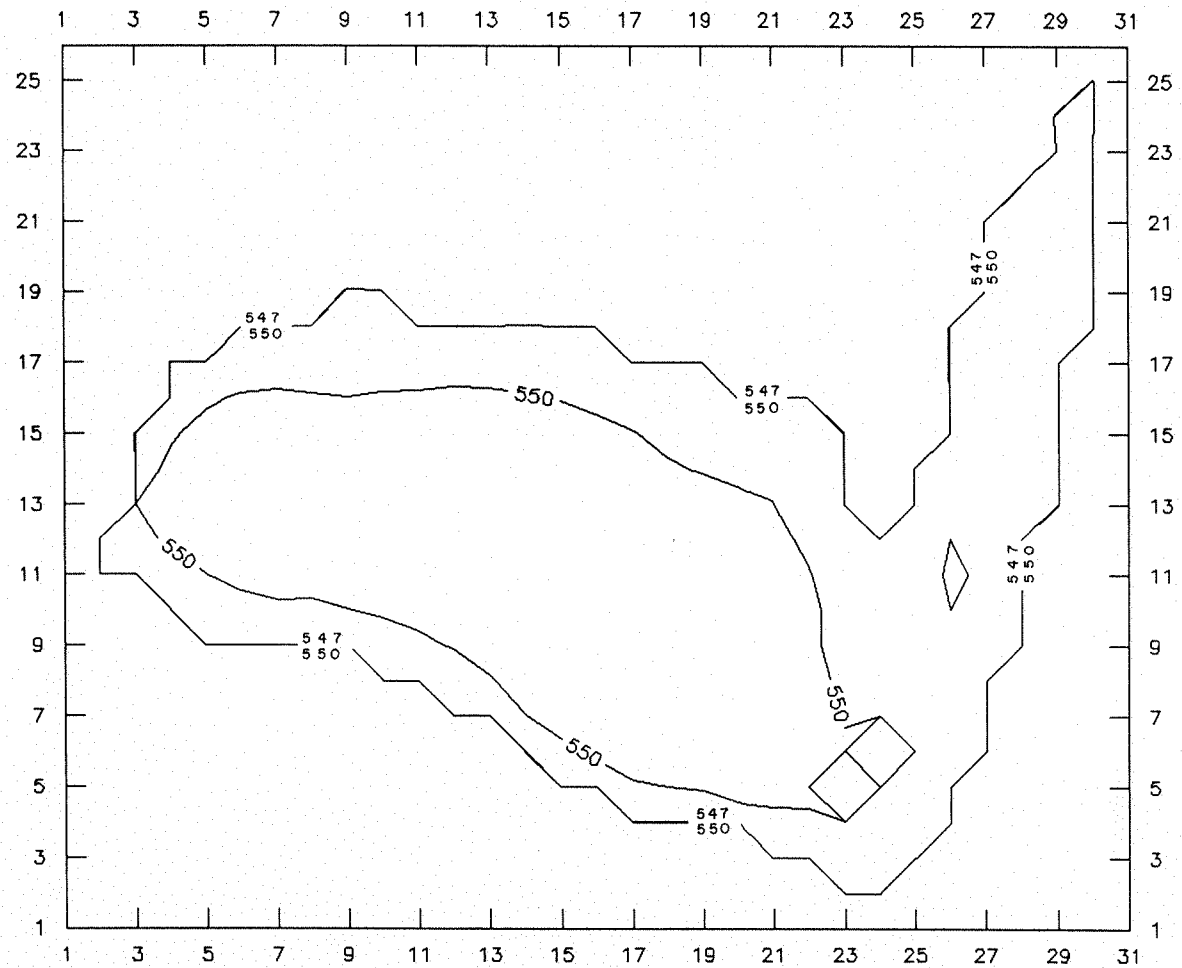


FIGURA B.23: Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário AAA1 - calmaria:  
 $T=30^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=680\mu\text{g/l}$  - Carga máxima

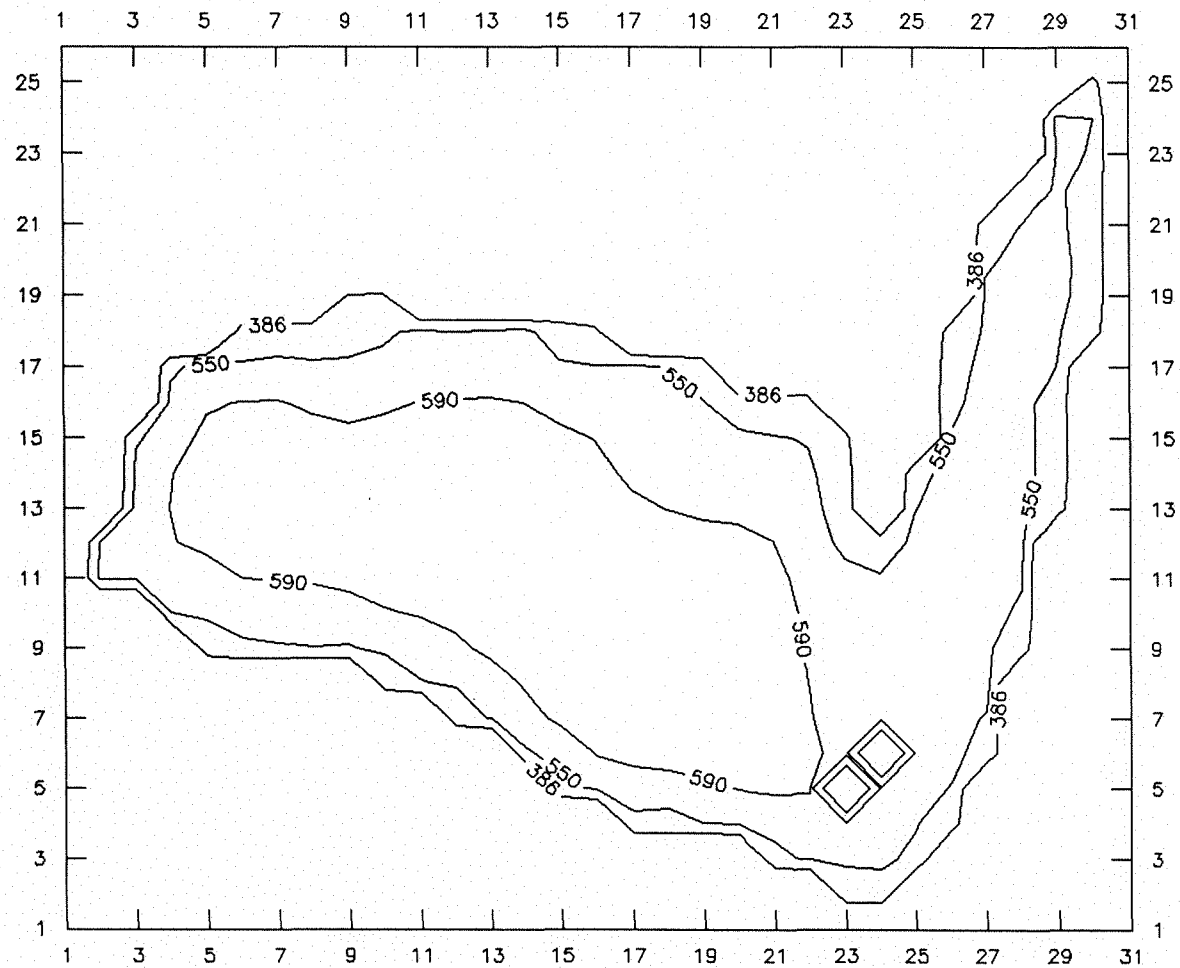


FIGURA B.24: Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário AAA1 - calmaria:  
 $T=30^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=490\mu\text{g}/\text{l}$  - Carga máxima

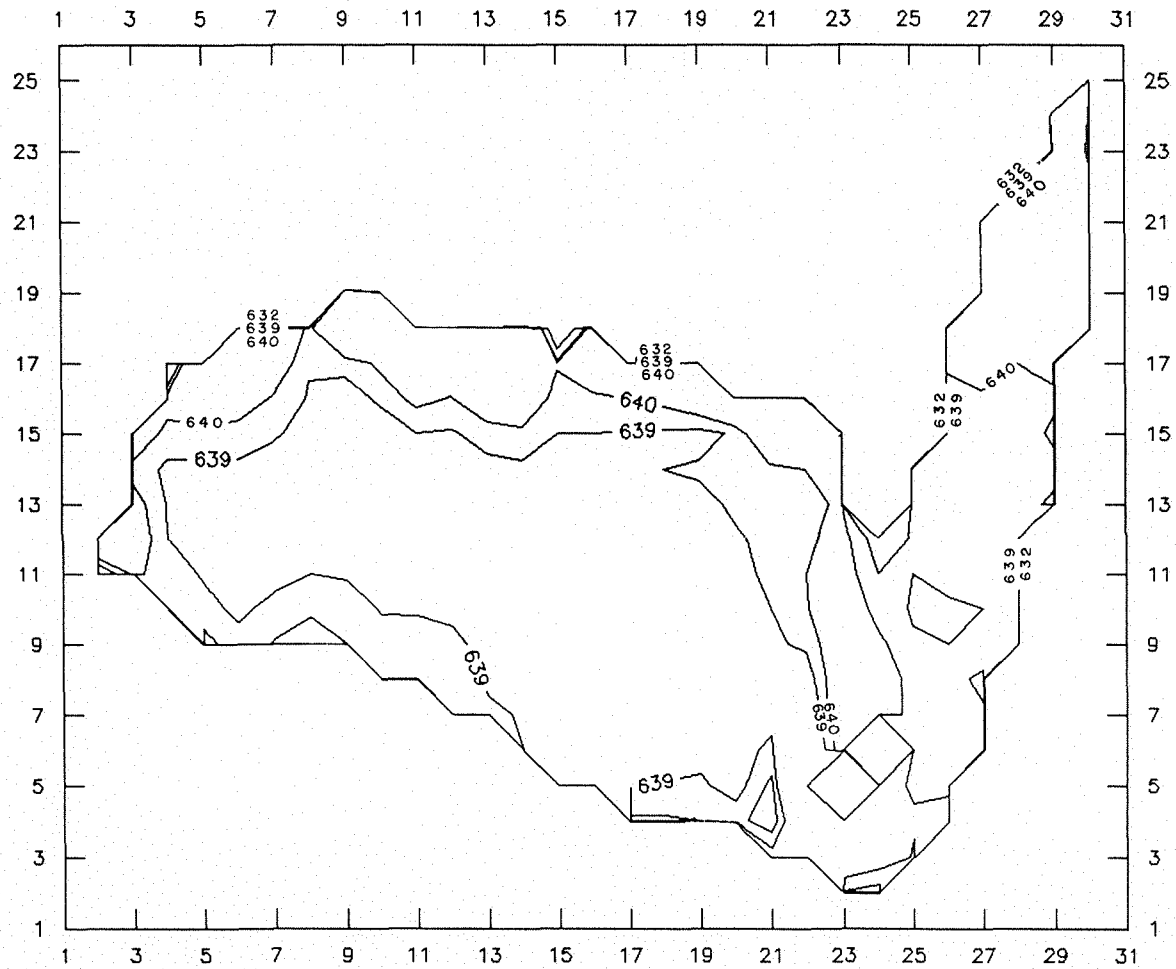


FIGURA B.25: Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário BAA2 - vento médio sul:  $T=14^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=680\mu\text{g/l}$  - Carga máxima

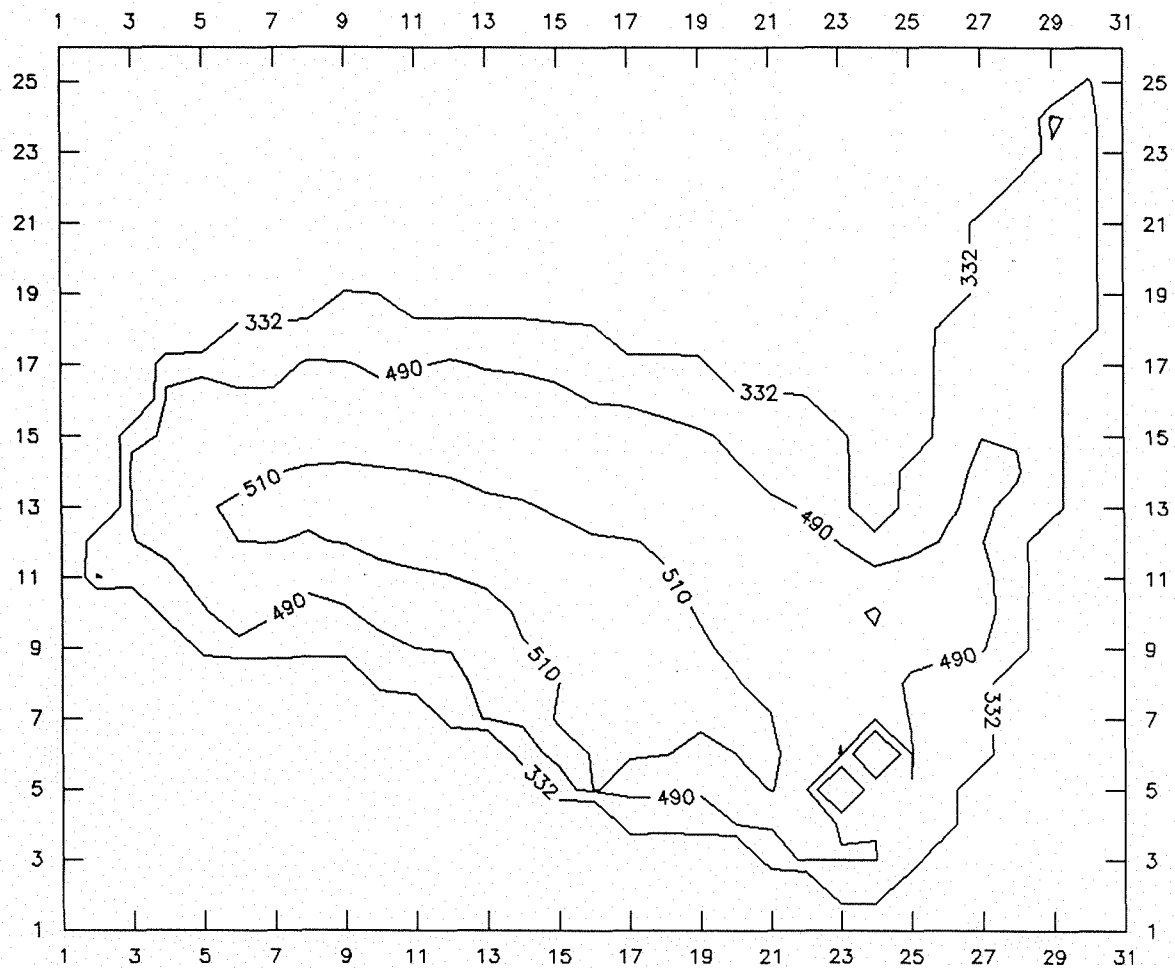


FIGURA B.26: Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário BAA2 - vento médio sul:  $T=14^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=490\mu\text{g}/\text{l}$  - Carga máxima



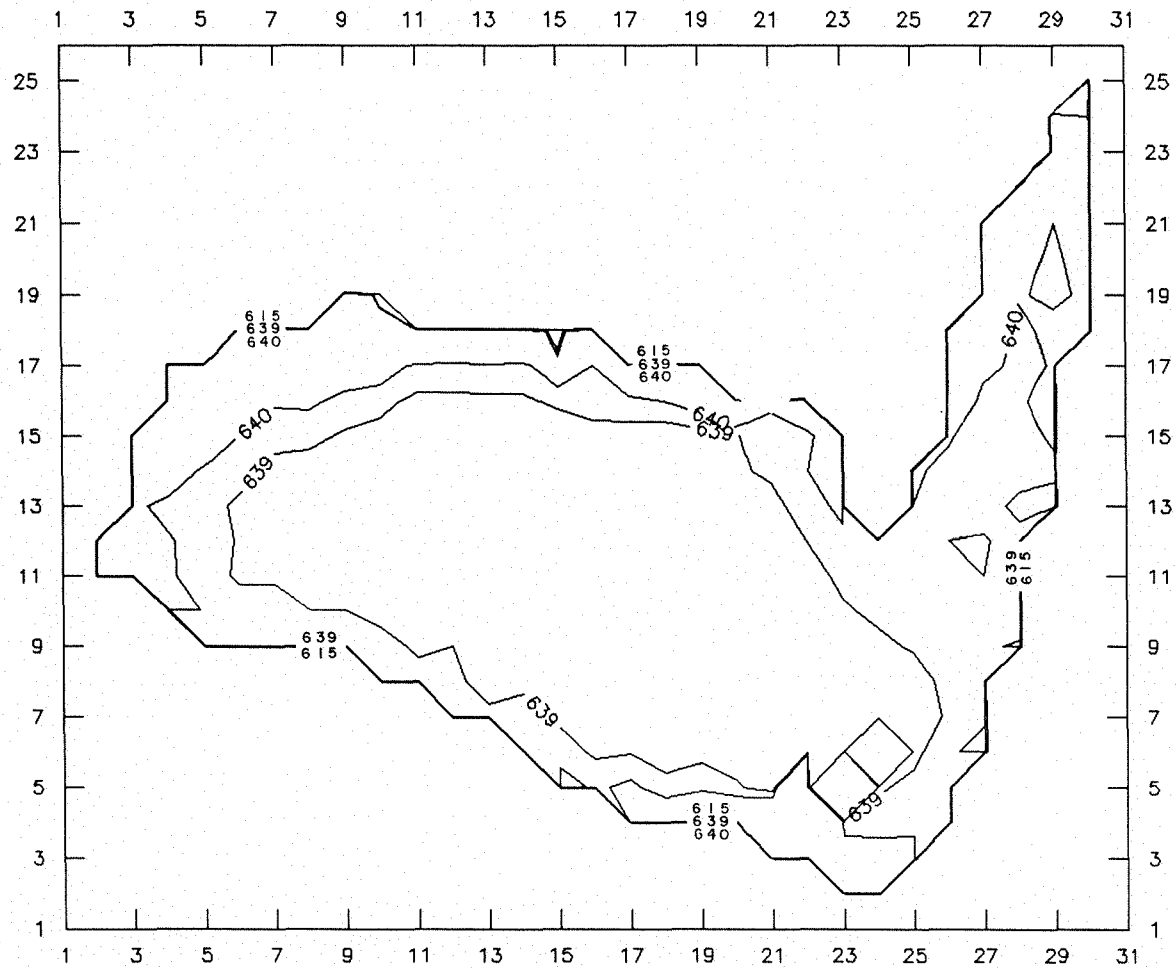


FIGURA B.27: Concentração de fósforo dissolvido após 10 horas de simulação. Cenário BAA3 - vento médio leste:  $T=14^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=680\mu\text{g/l}$  - Carga máxima

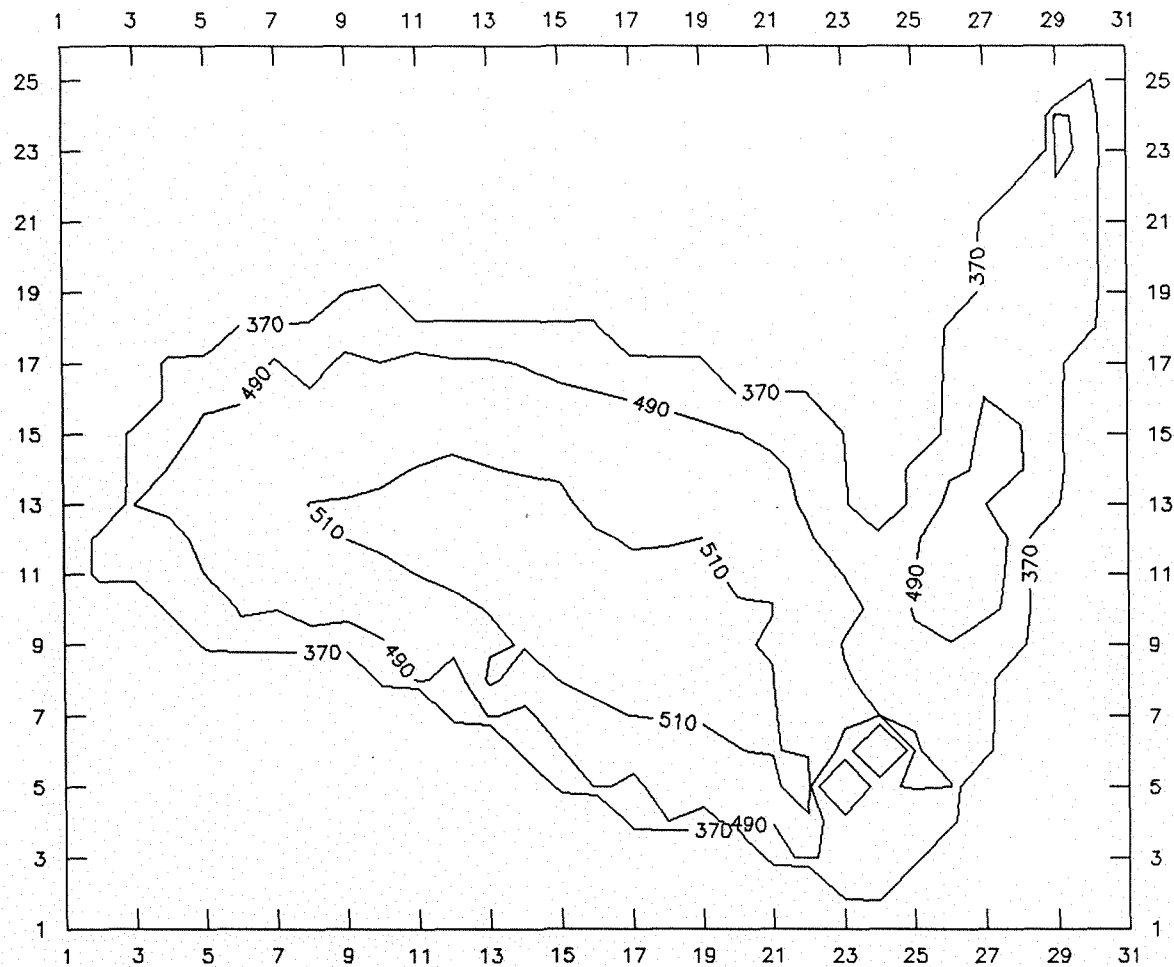


FIGURA B.28: Concentração de fósforo particulado após 10 horas de simulação. Cenário BAA3 - vento médio leste:  $T=14^{\circ}\text{C}$  -  $C_0=490\mu\text{g/l}$  - Carga máxima

---

**ANEXO C**

**DADOS EXISTENTES**

---

TABELA C.1 : Análise da Água da Lagoa Negra, realizada pelo CESB-DMAE, reproduzida de GERM-1975. Amostra tomada na extremidade do braço leste-oeste, a 100m da ilha.

PARÂMETROS	Unidade	25-02-75	04-03-75
Hora da Coleta		15:35	07:35
Tempo Atual		Bom	Bom
Tempo Anterior		Chuvoso	Bom
Vento		Leste	Leste
FÍSICOS:			
Condutividade	$\mu\text{MHO/cm}$	98	99
Cor	mg/l Pt	180	128
Odor		1E	3E
Sólidos Decantáveis	ml/l	0,2	0,2
Sólidos Totais	mg/l	248,7	337,9
Sólidos Fixos	mg/l	166,7	183,2
Temperatura da água	$^{\circ}\text{C}$	23,5	25
Temperatura do ar	$^{\circ}\text{C}$	24	24
Transparência	cm	15	15
Turbidez	UJT	62	59
ORGÂNICOS:			
DBO	mg/l O <sub>2</sub>	0,2	0,4
DQO	mg/l O <sub>2</sub>	56	80
Matéria Orgânica	mg/l O <sub>2</sub>	22,4	20,8
Fenóis	mg/l	0,0052	0,015
Graxas	mg/l	0,7	1,2
Surfactantes	mg/l ABS	0	0
INORGÂNICOS:			
-Não Metálicos:			
Alcalinidade	mg/l CaCO <sub>3</sub>	7	6
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	18	24
Cloreto	mg/l Cl	12,9	21,4
Fosfato Orto	mg/l PO <sub>4</sub>	0,055	0,05
Fosfato total	mg/l PO <sub>4</sub>	0,33	0,81
Gás Carbônico	mg/l CO <sub>2</sub>	1,9	3,8
Nitrogênio total	mg/l N	1,67	1,34
N-Amoniacal	mg/l N	0,09	0,03
N-Orgânico	mg/l N	1,50	1,25
Nitrito	mg/l N	0,046	0,003
Nitrato	mg/l N	0,31	0,27
OD	mg/l O <sub>2</sub>	7,6	7,2
pH		6,5	6,5
Sílica	mg/l SiO <sub>2</sub>	102,4	99,0
Sulfato	mg/l SO <sub>4</sub>	21,2	9,3
Sulfeto	mg/l S	0	0
-Metálicos:			
Cálcio	mg/l Ca	5,6	4,0
Ferro	mg/l Fe	1,25	1,47
Magnésio	mg/l Mg	1,2	4,0
Manganês	mg/l Mn	0	0
Mercúrio	mg/l Hg	0	0
Potássio	mg/l K	2,6	2,6
Sódio	mg/l Na	13,2	13,0

TABELA C.2: Valores Máximos e Mínimos dos Parâmetros das Análises de Água de 10 Estações de Coleta de Abril/79 a Abril/80. (Fonte: Volkmer-Ribeiro, 1981)

Estação		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
T água	Máx	27,5	28	29	28	28	28	29	28,5	30	30	30
	Mín	10	10	10	10	10,5	10,5	10,5	11	11	11	10
T amb	Máx	31	30	30	31	29	30	30,5	30	29	29	31
	Mín	11,5	11,5	12,5	12,5	11,5	7,0	9,5	11,5	11,0	11,0	7,0
Prof.	Máx	135	175	130	150	145	285	250	180	254	170	285
	Mín	70	145	80	110	50	185	220	115	160	115	50
OD	Máx	9,56	10,10	10,16	10,20	10,02	10,08	10,16	10,20	10,16	10,22	10,22
	Mín	4,56	6,98	5,58	7,08	7,02	7,07	7,12	6,87	6,96	7,02	4,56
OD %	Máx	91,0	96,0	96,5	96,5	96,5	95,4	99,3	94,5	95,6	96,1	99,3
	Mín	56,5	86,8	71,8	86,3	87,1	84,9	85,4	82,0	81,6	85,6	56,5
DBO	Máx	1,31	0,80	1,12	1,14	1,06	1,01	0,62	1,01	0,86	0,88	1,31
	Mín	0,38	0,63	0,64	0,56	0,36	0,28	0,29	0,18	0,30	0,29	0,18
MO	Máx	41,5	42,4	51,2	43,3	49,0	47,4	54,3	54,5	43,3	47,6	54,5
	Mín	13,5	13,8	21,0	16,0	16,9	14,0	16,1	15,1	13,0	13,0	13,0
pH	Máx	6,8	6,7	6,8	6,6	6,6	6,6	6,6	6,8	6,7	6,5	6,8
	Mín	5,8	5,9	5,8	5,4	5,3	5,2	5,8	5,8	5,6	5,7	5,2

Unidades: Temperatura(T)=°C ; Profundidade(Prof)=cm ; OD=mg/l ;  
DBO=mg/l ; MO=mg/l

TABELA C.3 : Valores Sedimentológicos da Lagoa Negra - 1980.  
( Fonte: Volkmer-Ribeiro, 1981)

	ESTAÇÕES DE COLETA					
	A	B	C	D	E	F
-Profundidade (m)	2,70	2,60	2,20	1,90	1,15	1,70
-Areia em %	0,72	1,73	1,98	3,16	82,98	47,16
-Silte em %	77,68	69,36	62,01	61,16	14,87	37,06
-Argila em %	21,57	28,86	35,95	35,68	2,14	15,70
-Mat. Orgânico p/ calcinação total	38,83	38,80	31,60	42,13	13,77	16,80
-Mat. Orgânico a 8%	8,1	8,1	8,1	8,1	7,6	7,6

TABELA C. 4: Valores Sedimentológicos (Oliveira, 1983).

LAGOA	Matéria Orgânica %MO	Carbono %C	Nitrogênio %N	C/N	C na MO %
Negra 1	23,28	12,16	0,612	19,9	52,23
2	31,46	11,69	0,690	16,9	37,16
3	29,22	13,64	0,765	17,8	46,68
4	53,80	32,12	1,230	26,1	59,70
5	29,23	13,91	0,814	17,1	47,59
Barros 1	9,50	2,24	0,206	10,9	23,55
2	9,86	3,03	0,25	12,1	30,73
3	8,30	1,30	0,121	10,7	15,66
4	6,10	1,30	0,109	11,9	21,31
5	5,48	1,12	0,0556	20,1	20,44
6	4,07	0,693	0,0764	12,6	23,59
7	4,95	0,726	0,0772	9,4	14,75
8	5,67	1,75	0,156	11,2	30,86
9	56,98	22,44	0,954	23,5	39,68
Índio	13,31	4,77	0,236	20,2	35,84
Palácio	34,66	1,2	0,11	10,9	16,28
Jacaré	18,75	17,74	1,23	14,4	51,18
*Laguna Negra	7,37	5,88	0,435	13,5	31,36

\* Localizada no Uruguai

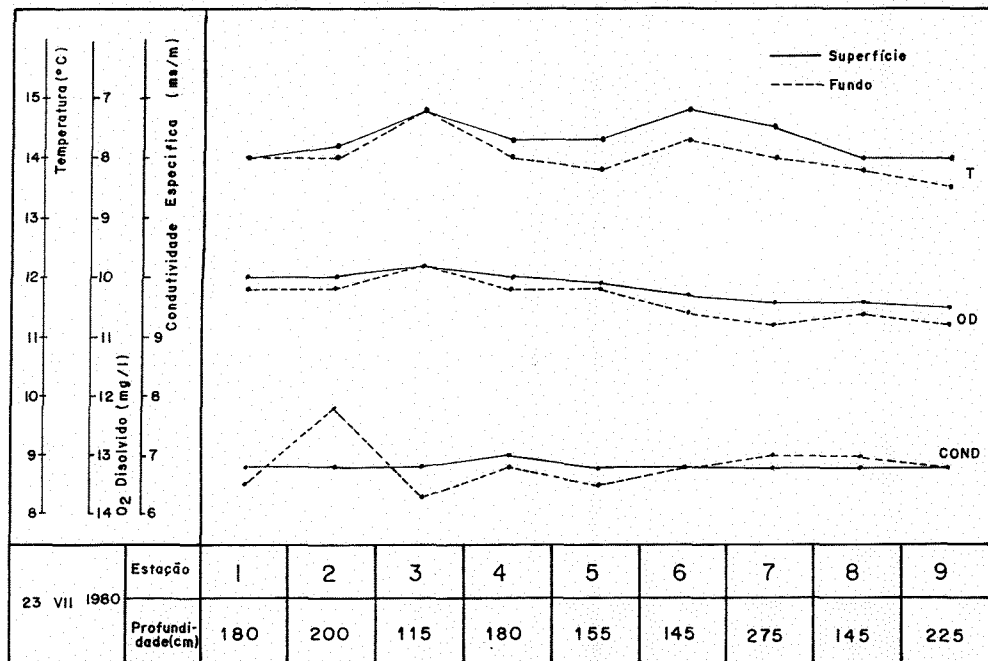


FIGURA C.1: Curvas para a Temperatura (T), Oxigênio Dissolvido (OD) e Condutividade (COND) em Superfície e Fundo. (Fonte: Volkmer-Ribeiro, 1981)

---

ANEXO D  
LAUDOS

---



TABELA D.1: Laudo de Análises de Água - Campanha 1

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
SETOR DE SANEAMENTO-LABORATÓRIO

Local de Coleta: LAGOA NEGRA - RS							
Data da coleta : 11/07/90 *12/07		Régua: 0,59m					
Tempo anterior : chuva		Tempo atual: bom					
PARÂMETROS	Unidade	LN-1	LN-2	LN-3	LN-4	LN-5	* LN-6
Profundidade	m	1,90	1,70	2,00	1,40	1,30	0,50
Hora da coleta		12:25	13:20	13:45	14:20	14:50	11:00
<b>FÍSICO-QUÍMICOS</b>							
Condutividade	µMHOS/cm	70	70	70	65	70	30
Cor	mg/l Pt	400	500	600	400	600	200
Sólidos Totais	mg/l	283	323	331	235	409	223
SDT	mg/l	137	120	98	110	111	99
SST	mg/l	146	203	233	125	298	124
Temperatura (água)	°C	15,5	15,5	15,5	15,5	16,0	14,0
Temperatura (ar)	°C	16,0	16,0	15,5	14,0	14,0	15,5
Transparência	m	0,16	0,16	0,16	0,10	0,10	0,46
Turbidez	NTU	43	45	48	54	55	13
<b>ORGÂNICOS:</b>							
DBO	mg/l O <sub>2</sub>	0,9	0,5	0,3	0,1	0,9	1,2
DQO	mg/l O <sub>2</sub>	9,4	13,4	2,6	12,1	17,5	6,5
Fenóis	mg/l	ND	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Óleos e graxas	mg/l	2,0	1,2	1,4	AP	1,6	1,2
Surfactantes	mg/l ABS	0,214	ND	<0,025	0,079	0,047	0,293
<b>INORGÂNICOS:</b>							
Acidez	mg/l CaCO <sub>3</sub>	6,1	8,1	7,1	5,0	8,1	7,1
Alcalinidade tot.	mg/l CaCO <sub>3</sub>	2,1	1,1	3,1	5,0	8,0	7,1
Cloreto	mg/l Cl	19,3	20,8	31,2	21,3	30,2	16,3
Fosfato total	mg/l P	0,20	0,26	0,28	0,36	0,27	0,17
Nitrogênio total	mg/l N	1,41	1,32	1,13	1,13	1,41	1,22
N-Amoniacal	mg/l N-NH <sub>3</sub>	0,66	0,11	0,06	0,06	0,11	0,23
N-Orgânico	mg/l N-Org	0,75	1,20	1,07	1,07	1,30	1,00
Nitrito	mg/l N-NO <sub>2</sub>	0,030	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Nitrato	mg/l N-NO <sub>3</sub>	<0,01	0,02	<0,01	0,02	0,05	0,06
OD	mg/l O <sub>2</sub>	9,3	9,4	9,0	9,3	9,6	9,4
pH		6,3	6,0	5,8	5,7	6,0	5,5
Sílica	mg/l	40	40	40	60	40	60
Sulfato	mg/l SO <sub>4</sub>	14	11	9	12	14	4
<b>Metais:</b>							
Alumínio total	mg/l Al	4,7	3,9	4,1	6,2	5,9	1,7
Cálcio total	mg/l Ca	0,185	0,214	0,210	0,168	0,168	0,180
Chumbo total	mg/l Pb	ND	ND	ND	ND	0,0075	0,0087
Cobre total	mg/l Cu	ND	ND	ND	ND	0,025	0,033
Cromo total	mg/l Cr	0,056	0,049	0,029	0,023	0,029	0,016
Ferro total	mg/l Fe	1,016	3,200	1,442	4,913	3,795	0,098
Magnésio total	mg/l Mg	0,723	0,715	0,699	0,726	0,720	0,643
Manganês total	mg/l Mn	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02
Mercúrio total	mg/l Hg	0,00056	0,00070	0,00042	0,00091	0,00042	0,00089
Potássio total	mg/l K	2,3	1,9	1,9	2,2	2,3	1,5
Selênio total	mg/l Se	0,0222	0,0276	0,0554	0,0267	0,0192	0,0225
Sódio total	mg/l Na	5,5	4,6	4,2	4,5	4,9	6,3
Zinco total	mg/l Zn	0,093	0,015	0,021	0,098	0,019	0,024
<b>BIOLÓGICOS:</b>							
Coliformes Totais	} NMP 100ml	1,5 10 <sup>4</sup>	2,3 10 <sup>2</sup>	9,3 10 <sup>2</sup>	2,3 10 <sup>1</sup>	2,3 10 <sup>2</sup>	9,3 10 <sup>2</sup>
Coliformes Fecais		4,0 10 <sup>0</sup>	ND	1,5 10 <sup>1</sup>	4,0 10 <sup>0</sup>	9,0 10 <sup>0</sup>	4,3 10 <sup>2</sup>

AP: Análise Prejudicada

Tr: Traco ( &lt;0,1 µg/l )

ND: Não detectado

TABELA D.2: Laudo de Análises de Água - Campanha 2

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
SETOR DE SANEAMENTO-LABORATÓRIO

Local de Coleta: LAGOA NEGRA - RS		Régua: 0,86m					
Data da coleta : 18/10/90		Tempo atual: bom, vento forte					
Tempo anterior : chuva							
PARÂMETROS	Unidade	LN-1	LN-2	LN-3	LN-4	LN-5	LN-6
Profundidade	m	2,00	1,87	2,15	1,30	1,50	0,75
Hora da Coleta		9:47	10:55	11:17	11:43	12:06	14:35
FÍSICO-QUÍMICOS							
Condutividade	$\mu\text{MHOS/cm}$	70	60	70	60	70	50
Cor	mg/l Pt	2000	200	300	300	200	300
Sólidos Totais	mg/l	301	328	314	298	378	151
SDT	mg/l	146	153	148	139	109	95
SST	mg/l	155	175	166	159	269	56
Temperatura (água)	$^{\circ}\text{C}$	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	24,0
Temperatura (ar)	$^{\circ}\text{C}$	21,5	22,0	22,0	22,5	23,0	25,5
Transparência	m	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,29
Turbidez	NTU	65	60	56	60	58	36
ORGÂNICOS:							
DBO	mg/l $\text{O}_2$	0,8	0,8	0,8	0,9	1,2	1,0
DQO	mg/l $\text{O}_2$	65,0	91,1	66,4	81,2	59,2	46,8
Fenóis	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Óleos e graxas	mg/l	1,0	3,6	5,6	2,8	3,0	0,6
Surfactantes	mg/l ABS	0,111	0,371	0,371	0,371	0,371	0,621
INORGÂNICOS:							
Acidez	mg/l $\text{CaCO}_3$	4,0	5,0	4,0	4,0	2,0	5,0
Alcalinidade Tot.	mg/l $\text{CaCO}_3$	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0
Cloreto	mg/l Cl	19,8	18,8	18,8	19,3	18,8	15,3
Dureza	mg/l $\text{CaCO}_3$	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fosfato total	mg/l P	0,88	1,45	1,01	0,51	1,58	0,30
Nitrogênio total	mg/l N	2,16	1,98	1,03	1,13	1,69	1,61
N-Amoniacal	mg/l N-NH <sub>3</sub>	ND	ND	ND	0,11	0,06	ND
N-Orgânico	mg/l N-Or <sub>g</sub>	2,16	1,98	1,03	1,02	1,64	1,61
Nitrito	mg/l N-NO <sub>2</sub>	0,023	0,008	0,019	0,014	0,011	0,013
Nitrato	mg/l N-NO <sub>3</sub>	0,31	0,33	0,11	0,44	1,87	2,23
OD	mg/l $\text{O}_2$	9,1	9,1	9,3	9,3	9,6	7,7
pH		6,2	6,1	6,2	6,3	6,2	5,9
Silica	mg/l	40	40	40	60	60	40
Sulfato	mg/l $\text{SO}_4$	6	7	6	7	7	6
Metais:							
Alumínio Total	mg/l Al	4,8	5,7	4,2	12,2	5,6	2,0
Cálcio Total	mg/l Ca	1,838	1,529	1,750	1,835	1,678	1,449
Chumbo Total	mg/l Pb	0,360	0,306	0,333	0,333	0,333	0,360
Cobre Total	mg/l Cu	0,016	0,016	ND	0,034	0,025	ND
Cromo Total	mg/l Cr	0,028	0,033	0,005	0,019	0,042	0,028
Ferro Total	mg/l Fe	1,354	2,270	2,252	3,270	4,244	0,212
Magnésio Total	mg/l Mg	0,775	0,758	0,719	0,738	0,745	0,643
Manganês Total	mg/l Mn	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mercúrio Total	mg/l Hg	0,00054	0,00060	0,00810	0,00150	0,00073	0,01300
Potássio Total	mg/l K	2,4	1,8	2,3	1,9	1,9	1,2
Selênio Total	mg/l Se	0,0046	0,0182	0,0227	0,0182	0,0046	0,0136
Sódio Total	mg/l Na	9,8	8,3	9,3	10,3	11,8	8,8
Zinco Total	mg/l Zn	0,018	0,014	0,026	0,020	0,048	0,017
BIOLÓGICOS:							
Coliformes Totais	NMP/100 ml	$4,3 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^3$
Coliformes Fecais	NMP/100 ml	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : Não Detectado

TABELA D.3: Laudo de Análises de Água - Campanha 3

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
SETOR DE SANEAMENTO-LABORATÓRIO

Local de Coleta: LAGOA NEGRA - RS							
Data da coleta : 05/12/90		Régua: 0,82m					
Tempo anterior : -		Tempo atual: bom					
PARAMETROS	Unidade	LN-1	LN-2	LN-3	LN-4	LN-5	LN-6
Profundidade	m	2,10	2,40	2,48	1,74	1,58	0,45
Hora da Coleta		9:40	10:42	11:03	11:26	11:45	15:04
<b>FISICOS:</b>							
Condutividade	µMHOS/cm	70	75	90	70	70	90
Cor Real	mg/l Pt	300	300	400	300	300	300
Sólidos Totais	mg/l	189	165	188	248	134	141
SDT	mg/l	135	146	134	140	109	107
SST	mg/l	54	19	54	108	25	34
Temperatura(água)	°C	25,5	26,0	26,5	27,5	27,0	33,0
Temperatura (ar)	°C	26,5	28,0	30,0	30,0	30,0	31,0
Transparência	m	0,08	0,10	0,08	0,12	0,13	0,12
Turbidez	NTU	67	64	70	60	62	58
<b>ORGANICOS:</b>							
DBO	mg/l O	1,4	1,4	0,6	1,7	1,4	2,9
DQO	mg/l O <sup>2</sup>	203,4	89,5	32,3	77,5	127,4	336,5
Fenóis	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Óleos e graxas	mg/l	0,2	1,8	3,6	3,0	5,4	0,4
Surfactantes	mg/l ABS	0,051	0,112	<0,025	0,066	0,451	0,097
<b>INORGANICOS:</b>							
Acidez	mg/l CaCO <sub>3</sub>	3,0	3,0	4,1	5,1	4,1	8,1
Alcalinidade Tot.	mg/l CaCO <sub>3</sub>	1,0	2,0	3,0	2,0	1,0	2,0
Cloreto	mg/l Cl	6,9	6,4	7,4	6,9	6,9	7,9
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fosfato total	mg/l P	0,25	0,36	0,32	0,27	0,28	0,25
Nitrogênio total	mg/l N	0,18	0,21	0,14	0,28	0,32	0,21
N-Amoniacal	mg/l N-NH <sub>3</sub>	0,09	0,11	0,06	0,11	0,17	0,11
N-Orgânico	mg/l N-Or <sub>g</sub>	0,09	0,10	0,08	0,17	0,15	0,10
Nitrito	mg/l N-NO <sub>2</sub>	0,010	0,009	0,009	0,007	0,013	0,103
Nitrato	mg/l N-NO <sub>3</sub>	0,13	0,37	0,31	0,32	0,40	0,29
OD	mg/l O <sub>2</sub>	9,5	9,3	8,2	9,2	8,7	7,5
pH		5,78	5,76	5,79	5,82	5,78	5,58
Sílica	mg/l	40	60	40	40	40	40
Sulfato	mg/l SO <sub>4</sub>	19	18	16	13	12	18
<b>Metais:</b>							
Alumínio Total	mg/l Al	1,0	1,0	1,1	0,9	0,8	0,9
Alumínio Diss.	mg/l Al	0,25	0,25	0,13	0,25	0,50	0,38
Cálcio Total	mg/l Ca	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	0,1
Cálcio Dissol.	mg/l Ca	ND	ND	ND	0,03	ND	ND
Chumbo Total	mg/l Pb	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10
Chumbo Dissol.	mg/l Pb	0,017	0,023	0,018	0,018	0,017	0,018
Cobre Total	mg/l Cu	ND	ND	ND	0,062	ND	ND
Cobre Dissolv.	mg/l Cu	ND	0,017	ND	0,044	ND	ND
Cromo Total	mg/l Cr	0,098	0,071	0,071	0,058	0,071	0,058
Cromo Dissolv.	mg/l Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro Total	mg/l Fe	0,65	0,55	0,65	0,48	0,48	0,48
Ferro Dissolv.	mg/l Fe	0,10	0,10	0,13	0,10	0,15	0,13
Magnésio Total	mg/l Mg	0,20	0,28	0,23	0,23	0,20	0,23
Magnésio Diss.	mg/l Mg	0,18	0,18	0,18	0,20	0,18	0,20
...cont.							

ND : Não Detectado

## continuação TABELA D.3

PARÂMETROS	Unidade	LN-1	LN-2	LN-3	LN-4	LN-5	LN-6
... cont.							
Manganês Total	mg/l Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês Diss.	mg/l Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mercúrio Total	mg/l Hg						
Mercúrio Diss.	mg/l Hg						
Potássio Total	mg/l K	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Potássio Diss.	mg/l K	0,661	0,661	0,665	0,656	0,661	0,627
Selênio Total	mg/l Se						
Selênio Diss.	mg/l Se						
Sódio Total	mg/l Na	4,6	3,7	3,7	3,8	3,7	3,6
Sódio Dissolv.	mg/l Na	3,646	1,016	1,816	2,438	2,601	2,375
Zinco Total	mg/l Zn	0,018	0,021	0,018	0,017	0,018	0,018
Zinco Dissolv.	mg/l Zn	0,006	0,006	0,002	ND	ND	ND
BIOLÓGICOS:							
Coliformes Totais	NMP/100 ml	$2,4 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	ND	$4,3 \cdot 10^2$
Coliformes Fecais	NMP/100 ml	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: Não detectado

TABELA D.4: Laudo de Análises de Água - Campanha 4

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
 INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS  
 SETOR DE SANEAMENTO-LABORATÓRIO

PARÂMETROS	Unidade	LN-1	LN-2	LN-3	LN-4	LN-5	LN-6
Local de Coleta: LAGOA NEGRA - RS							
Data da coleta: 27/03/91							
Tempo anterior: -							
					Réguas: 0,24m		
					Tempo atual:		
Profundidade	m	1,64	0,85	1,69	0,97	0,96	0,15
Hora da Coleta		9:30	10:50	11:13	11:30	11:55	15:20
<b>FÍSICO-QUÍMICOS</b>							
Condutividade	µMHOS/cm	75	90	90	90	90	70
Cor	mg/l Pt	200	200	200	200	200	100
Sólidos Totais	mg/l	270	315	292	301	402	178
SDT	mg/l	146	142	128	149	161	108
SST	mg/l	124	173	164	152	241	70
Temperatura(água)	°C	22,0	23,0	22,0	22,5	22,0	26,0
Temperatura (ar)	°C	26,0	26,0	24,0	24,0	23,0	27,0
Transparência	m	0,24	0,21	0,18	0,24	0,16	-
Turbidez	NTU	35	40	43	34	40	5
<b>ORGANICOS:</b>							
DBO	mg/l O	1,9	1,6	1,5	2,5	2,7	3,0
DQO	mg/l O <sub>2</sub>	26,2	47,3	162,5	89,4	22,0	28,4
Fenóis	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Óleos e graxas	mg/l	0,4	2,0	3,2	2,8	4,8	0,2
Surfactantes	mg/l ABS	0,545	0,436	0,406	0,084	0,219	0,250
<b>INORGANICOS:</b>							
Acidez	mg/l CaCO <sub>3</sub>	4,0	4,0	5,0	4,0	3,0	6,0
Alcalinidade Tot.	mg/l CaCO <sub>3</sub>	3,0	2,0	4,0	2,0	2,0	3,0
Cloreto	mg/l Cl	21,4	25,9	24,5	21,4	25,4	20,9
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fosfato total	mg/l P	0,08	0,11	0,17	0,16	0,07	<0,01
Ortofosfato	mg/l P	0,04	0,11	0,04	0,10	0,08	0,03
Nitrogênio total	mg/l N	1,94	2,12	1,76	2,03	1,85	1,94
N-Amoniacal	mg/l N-NH <sub>3</sub>	0,05	0,11	0,05	ND	0,05	0,05
N-Orgânico	mg/l N-Or <sub>g</sub>	1,89	2,01	1,71	2,03	1,80	1,89
Nitrito	mg/l N-NO <sub>2</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nitrato	mg/l N-NO <sub>3</sub>	0,03	<0,1	0,05	<0,01	ND	<0,01
OD	mg/l O <sub>2</sub>	7,2	7,1	7,3	7,0	6,6	7,2
pH		6,7	6,6	6,8	6,9	6,9	6,8
Sílica	mg/l	40	40	60	60	40	40
Sulfato	mg/l SO <sub>4</sub>	10	9	8	7	5	5
<b>Metais:</b>							
Alumínio Total	mg/l Al	0,8	0,9	1,0	0,8	1,0	0,3
Cálcio Total	mg/l Ca	ND	ND	ND	ND	ND	<0,8
Chumbo Total	mg/l Pb	0,100	0,100	0,094	0,094	0,100	0,089
Cobre Total	mg/l Cu	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cromo Total	mg/l Cr	0,124	0,098	0,124	0,098	0,111	0,085
Ferro Total	mg/l Fe	0,30	0,43	0,45	0,35	0,40	0,25
Magnésio Total	mg/l Mg	0,20	0,23	0,20	0,20	0,18	0,23
Manganês Total	mg/l Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mercúrio Total	mg/l Hg						
Potássio Total	mg/l K	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Selênio Total	mg/l Se						
Sódio Total	mg/l Na	4,1	4,3	4,7	4,3	4,3	4,7
Zinco Total	mg/l Zn						
<b>BIOLÓGICOS:</b>							
Coliformes Totais	NMP/100 ml	ND	ND	ND	2,4 10 <sup>2</sup>	1,5 10	4,3 10 <sup>2</sup>
Coliformes Fecais	NMP/100 ml	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : Não Detectado

TABELA D.5: Laudo de Análises de Água - Campanha 5

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
 INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
 SETOR DE SANEAMENTO-LABORATÓRIO

Local de Coleta: LAGOA NEGRA - RS							
Data da coleta : 14/05/91				Régua: 0,43m			
Tempo anterior : -				Tempo atual: Encoberto			
PARÂMETROS	Unidade	LN-1	LN-2	LN-3	LN-4	LN-5	LN-6
Profundidade	m	1,43	1,57	1,53	0,88	0,75	0,11
Hora da Coleta		9:22	10:27	10:45	11:05	11:25	13:50
<b>FÍSICOS:</b>							
Condutividade	µMHOS/cm	72	79	79	79	75	45
Cor Real	mg/l Pt	250	200	200	250	250	175
Sólidos Totais	mg/l	290	200	161	293	400	120
SDT	mg/l	156	94	72	168	198	85
SST	mg/l	134	106	89	125	202	35
Temperatura(Água)	°C	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	21,0
Temperatura (ar)	°C	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	24,0
Transparência	m	0,18	0,23	0,29	0,25	0,29	-
Turbidez	NTU	29	22	25	29	28	11
<b>ORGÂNICOS:</b>							
DBO	mg/l O <sub>2</sub>	2,3	1,1	1,1	1,5	1,2	1,3
DQO	mg/l O <sub>2</sub>	6,3	61,1	57,1	51,0	55,7	34,4
Fenóis	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Óleos e graxas	mg/l	1,8	0,8	0,8	1,4	0,8	2,0
Surfactantes	mg/l ABS	0,22	0,04	0,07	0,10	0,05	0,19
<b>INORGÂNICOS:</b>							
Acidez	mg/l CaCO <sub>3</sub>	4,0	6,0	5,0	4,0	3,0	6,0
Alcalinidade Tot.	mg/l CaCO <sub>3</sub>	2,9	1,9	3,9	1,9	1,9	2,9
Cloreto	mg/l Cl	21,4	25,8	24,5	21,4	25,4	20,1
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fosfato total	mg/l P	0,34	0,23	0,35	0,42	0,33	0,34
Ortofosfato	mg/l P	0,06	0,20	0,20	0,21	0,19	0,26
Nitrogênio total	mg/l N	1,42	1,14	1,04	1,33	1,14	1,04
N-Amoniacal	mg/l N-NH <sub>3</sub>	0,11	0,05	0,05	0,11	0,11	0,11
N-Orgânico	mg/l N-Or <sub>g</sub>	1,31	1,09	0,99	1,22	1,03	0,93
Nitrito	mg/l N-NO <sub>2</sub>	<0,001	<0,001	<0,001	ND	ND	ND
Nitrato	mg/l N-NO <sub>3</sub>	0,11	0,15	0,08	0,15	0,13	0,37
OD	mg/l O <sub>2</sub>	9,0	9,0	8,9	9,3	9,2	8,0
pH		6,88	6,88	6,91	7,04	7,06	6,20
Sílica	mg/l	20	20	20	20	20	20
Sulfato	mg/l SO <sub>4</sub>	9	10	10	12	8	6
<b>Metais:</b>							
Alumínio Total	mg/l Al	-	-	-	-	-	-
Alumínio Diss.	mg/l Al	-	-	-	-	-	-
Cálcio Total	mg/l Ca	8,1	8,2	8,1	7,5	7,1	7,4
Cálcio Dissol.	mg/l Ca	2,230	1,942	1,514	1,514	0,657	0,943
Chumbo Total	mg/l Pb	ND	ND	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Chumbo Dissol.	mg/l Pb	ND	ND	0,0003	0,0016	0,0030	0,0083
Cobre Total	mg/l Cu	<0,004	ND	0,040	0,066	ND	ND
Cobre Dissolv.	mg/l Cu	ND	ND	0,032	0,064	ND	ND
Cromo Total	mg/l Cr	0,442	0,436	0,274	0,252	0,114	0,232
Cromo Dissolv.	mg/l Cr	0,378	0,430	0,067	0,222	0,067	0,222
Ferro Total	mg/l Fe	3,15	2,54	3,05	3,25	2,59	3,30
Ferro Dissolv.	mg/l Fe	1,060	1,313	1,515	1,919	1,363	1,060
Magnésio Total	mg/l Mg	2,71	2,73	2,75	2,77	2,67	2,13
Magnésio Diss.	mg/l Mg	1,852	1,932	1,962	2,248	1,946	1,486
...cont.							

ND : Não Detectado

## continuação TABELA D.5

PARÂMETROS	Unidade	LN-1	LN-2	LN-3	LN-4	LN-5	LN-6
... cont.							
Manganês Total	mg/l Mn	-	-	-	-	-	-
Manganês Diss.	mg/l Mn	-	-	-	-	-	-
Mercúrio Total	mg/l Hg	0,0020	0,0012	0,0030	0,0014	0,0013	0,0015
Mercúrio Diss.	mg/l Hg	0,0012	0,0011	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011
Potássio Total	mg/l K	-	-	-	-	-	-
Potássio Diss.	mg/l K	0,608	0,596	0,596	0,541	0,516	0,516
Selênio Total	mg/l Se	0,0064	0,0073	0,0085	0,0073	0,0079	0,0075
Selênio Diss.	mg/l Se	0,0060	0,0067	0,0073	0,0067	0,0073	0,0070
Sódio Total	mg/l Na	3,2	3,2	3,1	3,2	3,2	3,1
Sódio Dissolv.	mg/l Na	2,632	2,404	2,826	2,819	2,420	2,396
Zinco Total	mg/l Zn	0,315	0,240	0,217	0,328	0,177	0,079
Zinco Dissolv.	mg/l Zn	0,074	0,068	0,068	0,286	0,090	0,079
BIOLÓGICOS:							
Coliformes Totais	NMP/100 ml	ND	ND	ND	ND	ND	2,3 10 <sup>0</sup>
Coliformes Fecais	NMP/100 ml	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND : Não Detectado

TABELA D.6: Resultado da Análise de Pesticidas

Local de Coleta: LAGOA NEGRA - RS	Régua: 0,59m
Data da coleta : 11/07/90 *12/07	Tempo atual: bom
Tempo anterior : chuva	

PARÂMETROS	Unidade	LN-1	LN-2	LN-3	LN-4	LN-5	* LN-6
Pesticidas							
Organo-clorados:							
Aldrin	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
BHC	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
DDE	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
DDT	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	TR	0,2
Dieldrin	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Heptachlor	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Heptachlor Epóxi	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Beta-HCH	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Alfa-HCH	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Endrin	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
pp'DDD	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Tr: Traco ( &lt;0,1 µg/l )

TABELA D.7: Vazões medidas na estação LN-6. IPH/90-91.

Data	h(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)
12/07/90	0,88	0,486
18/10/90	1,61	2,069
05/12/90	0,24	0,647
27/03/91	0,10	0,088
14/05/91	0,11	0,074



TABELA D.8: Laudo de análises da camada recente do sedimento da Lagoa Negra.

**MEC - UFRGS FACULDADE DE AGRONOMIA**

DEPARTAMENTO DE SOLOS - LABORATÓRIO DE ANÁLISES

Av. Bento Gonçalves, 7712 - Cx. Postal 776

90.001 Porto Alegre, RS - Brasil

Fones: (0512)39.13.55 - Ramal 6023

(0512)36.35.75

## LAUDO DE ANÁLISES

NOME: Regina Tiemy Kishi

DATA: 26/07/91

NUN.:

LST.:

Nº DE REG.: 121/56-40

128/3

Amostra 1: LN - 1  
 Amostra 2: LN - 2  
 Amostra 3: LN - 3  
 Amostra 4: LN - 4  
 Amostra 5: LN - 5  
 Amostra 6: LN - 6

Determinação	Amostra					
	1	2	3	4	5	6
Cu (ppm)	224	226	1565	346	6	<1
Pb (ppm)	18	19	44	20	6	<1
Hg (ppb)	107	143	123	164	93	ald
N to Lal (%)	0,414	0,647	0,792	0,727	0,545	<0,007
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ppm)	20	38	139	29	11	<1
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	38	20	3	20	<1	<1
C.O. (%)	5,78	7,79	12,71	11,04	9,48	0,04

Obs.: Os resultados são expressos em material seco a 75°C.

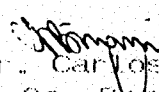
  
 Eng. Agr. Carlos A. Bissani  
 CREA 8a. Reg. 44.664  
 Chefe do Laboratório de Análises  
 de Solos

TABELA D.9: Laudo de análises da camada recente do sedimento da Lagoa Negra.

## MEC — UFRGS — FACULDADE DE AGRONOMIA

Depto. de Solos - Laboratório de Análises  
 Av. Bento Gonçalves, 7712 - C. Postal 776  
 91001 - Porto Alegre, RS - BRASIL  
 Fone (0512) 36 50 11 - Ramal. 38

## LAUDO DE ANÁLISE DE SOLO

NOME: Regina Tiemy Kishi  
 MUNICÍPIO: nd  
 ESTADO: nd  
 LOCALIDADE:

DATA DO RECEBIMENTO: 16/05/91  
 DATA DA EXPEDIÇÃO: 18/06/91

NUM.	REGISTRO	ARGILA %	PH	ÍNDICE SMP	P ppm	K ppm	M.O. %	Al me/dl	Ca me/dl	Mg me/dl
1	127/36	13	5.3	5.4	19	80	6.9	0.2	2.5	1.9
2	127/37	8	5.3	5.1	18	87	7.0	0.3	3.5	2.6
3	127/38	13	5.4	5.1	18	88	7.5	0.3	2.9	1.8
4	127/39	9	5.4	5.2	17	88	8.0	0.2	3.5	2.6
5	127/40	10	5.5	5.3	37	55	8.0	0.5	1.8	1.3

(Unidades:  $\mu\text{g/ml}$  = ppm (peso/volume); me/dl = miliequivalentes/100ml; CTC a pH 7

NUM.	CTC me/dl	N+Al me/dl	% SAT. de CTC		RELAÇÕES			SUGESTÃO DE CALAGEM (t-ha) PARA PH 7			
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	100	85	70	55
1	7.11	5.1	59.1	2.6	1.32	12.2	9.26	6.0	7.1	8.6	10.0
2	10.6	4.2	59.6	2.8	1.35	15.7	11.7	7.4	8.7	10.6	12.4
3	9.3	4.2	53.2	3.2	1.61	12.9	7.98	7.6	9.0	10.9	12.7
4	10.2	3.8	62.0	2.0	1.35	15.5	11.5	7.3	8.5	10.4	12.1
5	6.7	3.5	48.2	7.4	1.38	12.8	9.22	7.2	8.5	10.3	12.0

Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 calculada pela média dos métodos SMP e Al+MO. Sugestão válida no caso de não ter sido feita calagem integral nos últimos 3 anos

NUM.	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	B ppm	Mn ppm	Pb %	OUTRAS
1	37.5	5.3	0.8	0.3	26	0.20	Na (mm)
2	66.4	5.7	0.6	0.3	33	0.22	87
3	53.1	7.2	0.7	0.4	58	0.27	93
4	46.9	6.5	0.6	0.2	27	0.27	104
5	42.2	1.4	0.2	0.2	8	0.07	100
							80

CONSULTE UM ENGENHEIRO AGRÔNOMO PARA OBTER AS RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

NUM.	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
1	LN - 1
2	LN - 2
3	LN - 3
4	LN - 4
5	LN - 5

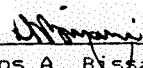
  
 Carlos A. Bissani  
 ENG.º AGR.º CREA 8º REG. 44.664  
 CHEFE DO LABORATÓRIO DE ANÁLISES

TABELA D.10: Laudo de análises da camada recente do sedimento da Lagoa Negra.

## MEC — UFRGS — FACULDADE DE AGRONOMIA

Depto de Solos - Laboratório de Análises  
 Av. Bento Gonçalves, 7712 - C. Postal 770  
 91001 - Porto Alegre, RS - BRASIL  
 Fone (0512) 36 50 11 - Ramal: 38

## LAUDO DE ANÁLISE DE SOLO

NOME: Regina Tiemy Kishi  
 MUNICÍPIO: 1102  
 ESTADO: 11-3  
 LOCALIDADE:

DATA DO RECEBIMENTO: 17/05/91  
 DATA DA EXPEDIÇÃO: 10/07/91

NUM.	REGISTRO	ARGILA %	PH	ÍNDICE SMP	P ppm	K ppm	M.O. %	Al me/dl	Ca me/dl	Mg me/dl
1	138/3	5	5.5	7.7	3	8	0.4	0.0	0.1	0.1

(Unidades:  $\mu\text{g/ml}$  = ppm (peso/volume); me/dl = miliequivalentes/100ml; CTC a pH 7)

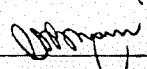
NUM.	CTC me/dl	H + Al me/dl	% SAT. de CTC		RELAÇÕES			SUGESTÃO DE CALAGEM (t/ha) PARA PH 7			
			BASES	Al	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	100	80	70	60
1	0.3	0.3	40.0	0.0	1.00	4.88	4.88	0.3	0.4	0.5	0.5

Necessidade de calcário para atingir pH 6,0 calculada pela média dos métodos SMP e Al + MO. Sugestão válida no caso de não ter sido feita calagem integral nos últimos 3 anos

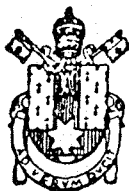
NUM.	S ppm	Zn ppm	Cu ppm	B ppm	Mn ppm	Fe %	OUTRAS			
							Na (ppm)			
1	6.2	0.3	1.6	0.1	1	0.01	0			

CONSULTE UM ENGENHEIRO AGRÔNOMO PARA OBTER AS RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

NUM.	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA
1	IN - 6

  
 Carlos A. Bissani  
 ENG.º AGR.º CREA 8º REG. 44.664  
 CHEFE DO LABORATÓRIO DE ANÁLISES

Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS  
Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

OBSERVAÇÕES:

- A legenda ( x ) significa : organismos identificados, mas não computados no campo de contagem.
- Não identificados: organismos não identificados a nível genérico.
- Todas amostras do P - 07 apresentaram elevada turbidez, com excessão da P6 - 07.
- Todas amostras da Lagoa Negra apresentaram elevada turbidez.
- Utilizou-se dois fatores de cálculo : 2167 e 4567 para obtermos o nº de organismo p/litro.

\*\*\*\*\*

Porto Alegre, 13 de dezembro de 1990.

Rose Maria B.F. Widholzer  
ROSE MARIA B.F. WIDHOLZER

Isabel Cristina Junqueira  
ISABEL CRISTINA JUNQUEIRA

TABELA D.11: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-1/julho-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPH- Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Procedência da amostra: Pl - 07

Data da coleta: JULHO/90

Data do exame: 4/12/90

Exame hidrobiológico      quali-quantitativo

Plâncton	Total de org/litro
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Ankistrodesmus	9134
Scenedesmus	9134
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Eunotia	36536
Melosira	75812
Pinnularia	4567
Nitzschia	41103
Synedra	4567
Não identificados	13701
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Euglena	x
<u>CRUSTACEA</u>	
Nauplius	x

TABELA D.12: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-2/julho-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 38-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidrológicas

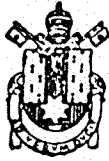
Procedência da amostra: P2 - 07

Data da coleta: JULHO/90

Data do exame: 4/12/90

<u>Exame hidrobiológico</u>	<u>quali-quantitativo</u>
Plâncton	Total de org/litro
<u>CYANOPHYTA</u>	
Oscillatoria	4567
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Ankistrodesmus	18268
Closterium	13701
Scenedesmus	27402
Crucigenia	9134
Staurastrum	13701
Tetraedron	31969
<u>CHRYSTOPHYTA</u>	
Cymbella	9134
Eunotia	50237
Melosira	96364
Pinnularia	13701
Frustulia	x
Surirella	x
Gomphonema	x
Nitzschia	77639
Navicula	18268
Synedra	13701
Não identificados	36536
<u>PITOFLAGELADOS</u>	
Trachelomonas	13701
<u>ROTIFERA</u>	
Neratella	x

TABELA D.13: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-3/julho-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPI - Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Procedência da amostra: P3 - 07

Data da coleta: JULHO/90

Data do exame: 4/12/90

Exame hidrobiológico quali-quantitativo

Plâncton	Total de org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Merismopedia	x
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Ankistrodesmus	13268
Closterium	13701
Scenedesmus	4567
Schroederia	9134
Crucigenia	18268
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Melosira	184964
Pinnularia	9134
Navicula	31969
Frustulia	x
Eunotia	100474
Nitzschia	123309
Synedra	27402
Surirelia	4567
Cymbella	9134
Não identificados	77639
<u>PITOFLAGELADOS</u>	
Hemidinium	x
<u>PROTOZOA</u>	
Euglypha	x
<u>CRUSTACEA</u>	
Nauplius	x

TABELA D.14: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-4/julho-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Procedência da amostra: P4 - 07

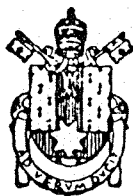
Data da coleta: JULHO / 90

Data do exame: 4/12/90

<u>Exame hidrobiológico</u>	<u>quali-quantitativo</u>
Plâncton	Total de org/litro
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Ankistrodesmus	x
Scenedesmus	9134
Tetraedron	4567
Crucigenia	9134
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Eunotia	260319
Cymbella	4567
Surirella	x
Melosira	128789
Pinnularia	13701
Navicula	4567
Synedra	27402
Fragillaria	4567
Nitzschia	50237
Não identificados	50237



TABELA D.15: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-5/julho-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90820 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Procedência da amostra: P5 - 07

Data da coleta: Julho/90

Data do Exame: 6/12/90

Exame hidrobiológico quali-quantitativo

Plâncton Total de org/litro

CHLOROPHYTA

Ankistrodesmus	x
Scenedesmus	4567
Crucigenia	4567
Closterium	4567

CHRYSCOPHYTA

Melosira	39970
Eunotia	45670
Pinnularia	4567
Nitzschia	50273
Navicula	9134
Synedra	13268
Cymbella	22835
Gomphonema	4567
Não identificados	31969

PROTOZOA

Euglypha	x
----------	---

TABELA D.16: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-6/julho-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Procedência da amostra: P6 - 07

Data da coleta: Julho/90

Data do exame: 6/12/90

Exame hidrobiológico quali-quantitativo

Plâncton Total de org/litro

CHLOROPHYTA

Closterium x

Tetraedron 4567

CHRYSOPHYTA

Eunotia 22835

Melosira 458

Navicula 31969

Gomphonema 18268

Synedra 4567

Nitzschia 27402

Pinnularia 4567

Não identificados 50237

PROTOZOA

Diffflugia x

TABELA D.17: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-1/outubro-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
 MUSEU DE CIÊNCIAS  
 Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
 Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
 90620 Porto Alegre - RS  
 Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPI- Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Procedência da amostra: Lagoa Negra - LN 1

Data da coleta: outubro/90

Data do exame: 3/12/90

<u>Exame hidrobiológico</u>	<u>quali-quantitativo</u>
Plâncton	total org/l
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Scenedesmus	4334
Ankistrodesmus	4334
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Melosira	39006
Eunotia	45507
Finnularia	13002
Synedra	6501
Navicula	28171
Nitzschia	15169
Cymbella	2167
Não identificados	8668
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Eudorina	x
Trachelomonas	2167
<u>PROTOZOA</u>	
Wailesella	x
Arcella	x
Euglypha	6501
<u>ROTIIFERA</u>	
Keratella	x
<u>CRUSTACEA</u>	
Cladocera não identificados	x

TABELA D.18: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-2/outubro-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 38-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Procedencia da amostra: Lagoa Negra - LN 2

Data da coleta: outubro/90

Data do exame: 3/12/90

Exame hidrobiológico - quali quantitativo

Plâncton	total org/l
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Ankistrodesmus	23837
Scenedesmus	4334
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Melosira	78012
Eunotia	73678
Pinnularia	2167
Surirella	x
Nitzschia	15169
Navicula	30338
Synedra	13002
Gomphonema	2167
Cymbella	15169
Não identificados	28171
<u>PROTOZOA</u>	
Cyphoderia	2167
<u>ROTIFERA</u>	
Keratella	2167

TABELA D.19: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-3/outubro-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Procedência da amostra: Lagoa Negra - LN 3

Data da coleta: outubro/90

Data do exame: 3/12/90

Exame hidrobiológico      quali-quantitativo

Plâncton	Total de org/l
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Ankistrodesmus	8668
<u>CHRYSTOPHYTA</u>	
Eunotia	65010
Frustulia	x
Melosira	71511
Gomphonema	8668
Cymbella	19503
Synedra	21670
Nitzschia	23837
Navicula	17336
Surirella	2167
Pinnularia	10835
Não identificados	28171
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Euglena	2167
Peridinium	x
Hemidinium	x
Trachelomonas	x
<u>PROTOZOA</u>	
Arcella	x
Euglypha	x
Diffugia	x

continuação TABELA D.19:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

Cont. fl. 1

SETOR DE AQUACULTURA

<u>ROTIFERA</u>	org/1
Keratella	2167
Não identificados	x

TABELA D.20: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-4/outubro-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Procedência da amostra: Lagoa Negra - LN 4

Data da coleta: outubro /90

Data do exame: 4/12/90

<u>Exame hidrobiológico</u>	<u>quali-quantitativo</u>
Plâncton	Total de org/l
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Scenedesmus	31969
Closterium	4567
Ankistrodesmus	31969
Tetraedron	4334
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Melosira	221956
Navicula	49841
Surirella	4567
Eunotia	146144
Syneira	54804
Pinnul ria	19503
Cymbella	31969
Gomphonema	18268
Nitzschia	77639
Diploneis	4567
Não identificados	63938
<u>PITOFLAGELADOS</u>	
Hemidinium	9134
Trachelomonas	9134
<u>PROTOZOA</u>	
Euglypha	4567
Arcella	x
oodonella	x

continuação TABELA D. 20:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 38-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

Cont. fl. 1

PROTOZOA

org/l

Wailesella

x

Ciliado não identificado

x



TABELA D.21: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-5/outubro-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90820 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Procedência da amostra: Lagoa Negra - LN 5

Data da coleta: outubro/90

Data do exame: 4/12/90

Exame hidrobiológico quali-quantitativo

Plâncton total de org/litro

CHLOROPHYTA

Ankistrodesmus	41103
Scenedesmus	18268
Closterium	4567
Staurastrum	x

CHRYSOPHYTA

Melosira	247531
Eunotia	63938
Pinnularia	13701
Gomphonema	31969
Navicula	95907
Synedra	45670
Nitzschia	95907
Cymbella	36536
Não identificados	73072

ROTIFERA

Keratella	x
Trichocerca	4567

TABELA D.22: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-6/outubro-90:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

SETOR DE AQUACULTURA

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisa Hidrológicas

Procedência da amostra: Lagoa Negra - LN 6

Data da coleta: outubro/90

Data do exame: 27/11/90

Exame hidrobiológico quali-quantitativo

Plâncton	Total de org/litro
<u>CYANOPHYTA</u>	
Romeria	x
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Closterium	x
Ankistrodesmus	2167
Cosmarium	x
<u>CHRYSCOPHYTA</u>	
Synedra	4334
Eunotia	2167
Pinnularia	x
Melosira	x
Gomphonema	2167
Frustulia	2167
Nitzschia	6501
Navicula	2167
Não identificados	30338
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Hemidinium	21670
Euglena	x
Chlamydomonas	x
<u>PROTOZOA</u>	
Codonella	x
Anthophysa	34372
Vorticella	44334

continuação TABELA D. 22:



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
MUSEU DE CIÊNCIAS

Av. Ipiranga, 6681 — Caixa Postal 1429  
Tel. 36-9400 — Telex: (051)3349  
90620 Porto Alegre - RS  
Brasil

Cont. fl 1.

<u>PROTOZOA</u>	org/l
Não identificados	2167
<u>ROTIFERA</u>	
Não identificados	x
<u>CRUSTACEA</u>	
Não identificados	x

Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Natureza do Serviço: \_\_\_\_\_

Procedência da Amostra: \_\_\_\_\_

Dados de Coleta: \_\_\_\_\_

Recebido em: \_\_\_\_\_

Data do Exame: \_\_\_\_\_

RESULTADOS

E R R A T A:

- Onde diz-se Intituto de Pesquisas Hidrológicas, lê-se:  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

- Onde diz-se Agmnellum (CYANOPHYTA), Lê-se: Agmenellum.

OBSERVAÇÕES:

- As amostras LN 1, LN 2, LN 3, LN 4, LN 5, apresentavam elevada turbidez em todas as datas de coletas, excessão da amostra LN 6 que apresentou-se límpida em todas as datas.

LN= Lagoa Negra

- o símbolo "x" significa organismos identificados, mas não computados.

Porto Alegre, 19 de Junho 1991.

Resp. Técnico Biol. ISABEL CRISTINA JUNQUEIRA CRB 04632-03

Coord. Biol. ROSE M.B.F. WIDMOLZER

MCPUCRS - Laboratório de Aquacultura

Av. Ipiranga 6681 - Caixa Postal 1429 - CEP 90620 - POA -RS-Brasil

Tel. 39-1511 - Telex (OP) 3349 - FAX (0512) 39-1564

TABELA D.23: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-1/dezembro-90:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVICOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 1  
 Dados de Coleta: dezembro/90  
 Recebido em: Junho/91  
 Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Não constatadas	
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Scenedesmus	20550
Closterium	x
Tetraedron	13700
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Gomphonema	13700
Synedra	30825
Diploneis	3425
Epithemia	3425
Cymbella	23975
Nitzschia	65075
Pinnularia	23975
Melosira	390450
Eunotia	212350
Navicula	44525
Surirella	34250
Amphipleura	x
Frustulia	3425
Não identificado	27400
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Chlamydomonas	17125
Peridinales	x
Trachelomonas	13700
Não identificado	10275

continuação TABELA D.23:

Folha anexa

Interessado: IPH

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 1

Natureza do Serviço: Exame de plâncton

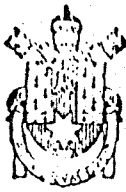
---

**RESULTADOS**

---

Cont.	org/l
<u>PROTOZOA</u>	
Arcella	x
Euglypha	3425
Wailesella	3425
Diffugia	x
<u>ARTHROPODA</u>	
<u>ACARINA</u>	
Não identificado	x

TABELA D.24: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-2/dezembro-90:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVICOS

Interessado: IPH- Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 2  
 Dados de Coleta: dezembro/90

Recebido em: junho/91

Data do Exame: junho/91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Lyngbya	3425
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Scenedesmus	17125
Ankistrodesmus	x
Tetraedron	3425
Closterium	3425
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Neidium	3425
Nitzschia	78775
Melosira	390450
Navicula	58225
Eunotia	157550
Cyclotella	x
Synedra	20550
Cymbella	17125
Gomphonema	x
Surirella	17125
Frustulia	x
Pinnularia	6850
Não identificados	13700
Achnanthes	x
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Chlamydomonas	3425
Strombomonas	6850
Volvocales ñ identif.	27400
Euglena	3425

continuação TABELA D.24:

Folha anexaInteressado: IPHProcedência da Amostra: Lagoa Negra nº 2Natureza do Serviço: Exame de plânctonRESULTADOS

Cont. org/l

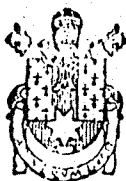
PROTOZOA

Euglypha x

Wailesella x



TABELA D. 25: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-3/dezembro-90:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVICOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 3

Dados de Coleta: dezembro /90

Recebido em: Junho /91

Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Agmenellum	x
Oscillatoria	x
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Tetraedron	x
Closterium	x
Scenedesmus	6850
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Epithemia	13690
Melosira	342500
Navicula	47950
Eunotia	140475
Nitzschia	102750
Surirella	13700
Gomphonema	3425
Pinnularia	6850
Synedra	17125
Cymbella	10275
Não identificados	37675
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Peridinium	3425
Trachelomonas	6850
Volvocales ñ identif.	10275
Strombomonas	x
Não identificados	3425
<u>PROTOZOA</u>	
Arcella	x

continuação TABELA D. 25:

Folha anexa

Interessado: IPH

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 3

Natureza do Serviço: Exame de plancton

RESULTADOS

Cont. org/l

PROTOZOA

Waillesella 6850

Ciliado não identificado x

Não identificado 6850

ROTIFERA

Trichocerca x

TABELA D.26: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-4/dezembro-90:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

## SOLICITAÇÃO DE SERVICOS

Interessado: IPH- Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 4  
 Dados de Coleta: dezembro /90  
 Recebido em: Junho/91  
 Data do Exame: Junho/91

## RESULTADOS

GRUPO org/l

CYANOPHYTA

Lyngbya x  
 Colonia ã identif. x

CHLOROPHYTA

Crucigenia x  
 Colonia não identif. x  
 Tetraedron 13700  
 Scenedesmus 41100  
 Closterium 13700  
 Ankistrodesmus 6850  
 Epithemia 6850  
 Melosira 328800  
 Surirella x  
 Nitzschia 157550  
 Eunotia 143850  
 Cymbella 6850  
 Navicula 75350  
 Gomphonema x  
 Synedra 61650  
 Pinnularia 13700  
 Frustulia x  
 Diploneis 6850  
 Não identif. 34250

FITOFLAGELADOS

Phacus x  
 Gonyostomum x  
 Wislouchiella x  
 Volvocales ã identif. 41100

continuação TABELA D. 26:

Folha anexa

Interessado: IPH

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 4

Natureza do Serviço: Exame de plâncton

RESULTADOS

Cont.	org/l
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Trachelomonas	x
Chlamydomonas	41100
Strombomonas	6850
<u>PROTOZOA</u>	
Wailesella	x
Vorticella	x
Ciliado ñ identif.	6850

TABELA D.27: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-5/dezembro-90:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH- Instituto de Pesquisas Hidrológicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 5  
 Dados de Coleta: dezembro/90

Recebido em: Junho/91  
 Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

GRUPO	Org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Lyngbya	x
Agmenellum	x
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Crucigenia	3425
Tetraedron	20550
Crucigenia	13700
Scenedesmus	58225
Closterium	3425
Ankistrodesmus	23975
Colonia ñ identif.	6850
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Pinnularia	3425
Surirella	10275
Navicula	20550
Nitzschia	164400
Melosira	246600
Cymbella	17125
Frustulia	x
Synedra	20550
Gomphonema	x
Coscinodiscus	x
Diploneis	x
Eunotia	65075
Não identificados	17125

continuação TABELA D. 27:

Folha anexa

Interessado: IPH

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 5

Natureza do Serviço: Exame de plâncton

RESULTADOS

Cont.                      org/l

FITOFLAGELADOS

Phacus	x
Volvocales ñ identif.	75350
Trachelomonas	x
Chlamydomonas	10275
Euglena	3425
Wislouchiella	10275

PROTOZOA

Strombidium	3425
Wailesella	x
Ciliado ñ identif.	3425

ROTIFERA

Keratella	x
-----------	---

TABELA D.28: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-6/dezembro-90:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVICOS

Interessado: IPH- Instituto de Pesquisas Hidrológicas

Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativa de plâncton

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 6

Dados de Coleta: dezembro/90

Recebido em: junho/91

Data do Exame: junho/91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Oscillatoria	54800
Agmenellum	x
Lyngbya	x
Anabaena	6850
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Scenedesmus	23975
Closterium	13700
Tetraedron	6850
Ankistrodesmus	x
Crucigenia	3425
Cosmarium	x
Dictyosphaerium	x
Pediastrum	x
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Neidium	x
Stauroneis	6850
Frustulia	10275
Surirella	6850
Navicula	54800
Eunotia	167825
Melosira	150700
Nitzschia	198650
Pinnularia	41100
Gomphonema	27400
Cymbella	20550
Cyclotella	140425
Synedra	34250
Amphipleura	x

continuação TABELA D. 28:

Folha anexa

Interessado: IPH  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 6  
 Natureza do Serviço: Exame de plâncton

RESULTADOS

Cont. org/l

CHRYSOPHYTA

Gyrosigma 3425  
 Não identificado 65075

FITOFLAGELADOS

Volvocales não identif. 27400  
 Phacus x  
 Euglena 3425  
 Chlamydomonas 13700  
 Trachelomonas 6850  
 Pleodorina 3425

PROTOZOA

Wailesella x  
 Lesquereusia x  
 Euglypha x  
 Ciliado ã identif. x

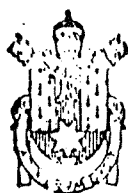
ROTIFERA

Keratella x  
 Lecane x

OBS. Presença de esporos de fungos  
 Inúmeras formações de flóculos de matéria em suspensão.



TABELA D.29: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-1/março-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH- Instituto de Pesquisas hidrológicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 1  
 Dados de Coleta: coletado em março/91

Recebido em: Junho de 1991

Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

Grupo	org/l
CYANOPHYTA	
Colonia ã identificada	44525
Lyngbya	123300
Oscillatoria	x
Marssoniella	x
Anabaena	x
Agmenellum	3425
CHLOROPHYTA	
Ankistrodesmus	41100
Scenedesmus	106175
Closterium	27400
Pediastrum	x
Tetraedron	20550
Dictyosphaerium	3425
Euastrum	3425
Crucigenia	6850
Ulothrix	x
CHRYSOPHYTA	
Epithemia	x
Navicula	44525

continuação TABELA D. 29:

Folha anexa

Interessado: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

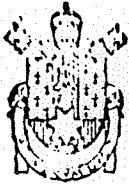
Procedência da Amostra: Lagoa negra nº 1

Natureza do Serviço: exame de plâncton

RESULTADOS

Cont.	org/l
<u>CHRYSTOPHYTA</u>	
Cymbella	3425
Synedra	10275
Nitzschia	41100
Pinnularia	3425
Eunotia	73350
Melosira	342500
Cyclotella	6850
Gomphonema	3425
Frustulia	x
Stephanodiscus	x
Coscinodiscus	3425
Não identificados	17125
Diploneis	x
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Trachelomonas	3425
Strombomonas	20550
Peridinium	x
Phacus	6850
Wislouchiella	41100
Euglena	3425
Chlamydomonas	13700
Volvocales não identificada	6850
<u>PROTOZOA</u>	
Diffugia	x
Euglypha	3425
Ciliado não identif.	x
<u>ROTIFERA</u>	
Trichocerca	x
Keratella	x
Ploeosoma	x
<u>MICROCRUSTACEO</u>	
Nauplius	x

TABELA D.30: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-2/março-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 2  
 Dados de Coleta: Coletado em março/91  
 Recebido em: Junho/91  
 Data do Exame: Junho /91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Anabaena	x
Lyngbya	109600
Oscillatoria	x
Colonia ñ identif.	13700
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Closterium	20550
Tetraedron	17125
Scenedesmus	58225
Ulothrix	x
Ankistrodesmus	65075
Oocystis	3425
Staurastrum	x
Crucigenia	3425
Pediastrum	3425
Euastrum	3425
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Pinnularia	10275
Melosira	274000
Eunotia	119875
Synedra	20550
Gomphonema	10275
Surirella	17125
Cymbella	17125
Frustulia	10275
Anomoeoneis	6850
Epithemia	3425
Coscinodiscus	3425

continuação TABELA D. 30:

Folha anexa

Interessado: IPH

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 2

Natureza do Serviço: exame de plâncton

RESULTADOS

Cont.	org/l
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Diploneis	10275
Nitzschia	75350
Navicula	71925
Cyclotella	6850
Não identif.	47950
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Chlamydomonas	6850
Mallomonas	3425
Trachelomonas	17125
Strombomonas	x
Wislouchiella	20550
Phacus	3425
Peridinium	x
Volvocales ã identif.	17125
<u>PROTOZOA</u>	
Codonella	x
Arcella	x
Strombidium	x
Diffflugia	x
<u>ROTIFERA</u>	
Ploeosoma	x
Keratella	x

TABELA D.31: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-3/março-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 3  
 Dados de Coleta: Coletado em março/91  
 Recebido em: Junho/91  
 Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

GRUPO	Org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Oscillatoria	x
Marssonella	x
Agmenellum	3425
Anabaena	x
Lyngbya	102750
Colonia ñ identif.	17125
<u>CHROROPHYTA</u>	
Ulothrix	x
Closterium	17125
Tetraedron	10275
Scenedesmus	51375
Chlorella	x
Ankistrodesmus	27400
Euastrum	6850
Oocystis	x
Crucigenia	10275
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Navicula	61650
Surirella	6850
Melosira	301400
Eunotia	147275
Cyclotella	37675
Synedra -	17125
Gomphonema	6850
Cymbella	18125
Anomoeoneis	x
Epithemia	3425

continuação TABELA D. 31:

Folha anexa

Interessado: IPH

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 3

Natureza do Serviço: Exame de plâncton

RESULTADOS

Cont. org/l

CHRYSOPHYTA

Vischeria	6850
Gyrosigma	x
Nitzschia	68500
Pinnularia	3425
Não identif.	23975

FITOFLAGELADOS

Phacus	13700
Strombomonas	13700
Wislouchiella	34250
Chlamydomonas	10275
Trachelomonas	6850
Volvocales ñ identif.	20550

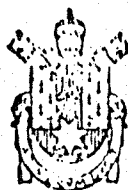
PROTOZOA

Euglypha	3425
Wailesella	3425
Ciliado ñ identif.	x
Diffflugia	x

ROTIFERA

Keratella	3425
-----------	------

TABELA D.32: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-4/março-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 4  
 Dados de Coleta: Coletado em março/91  
 Recebido em: Junho /91  
 Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Lyngbya	143850
Oscillatoria	x
Agmenellum	3425
Colônia ñ identif.	10275
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Ankistrodesmus	78775
Closterium	13700
Scenedesmus	82200
Tetraedron	17125
Pediastrum	x
Crucigenia	3425
Ulothrix	6850
Oocystis	3425
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Nitzschia	47975
Cyclotella	17125
Navicula	44525
Frustulia	6850
Pinnularia	17125
Diploneis	x
Eunotia	198650
Synedra .	17125
Cymbella	37675
Melosira	267150
Coscinodiscus	3425
Epi themia	10275
Surirella	10275

continuação TABELA D. 32:

Folha anexa

Interessado: IPH

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 4

Natureza do Serviço: Exame de plâncton

RESULTADOS

Cont. org/l

CHRYSOPHYTA

Vischeria	3425
Gomphonema	20550
Não identificado	47975

FITOFLAGELADOS

Volvocale ñ ident.	23975
Euglena	x
Strombomonas	10275
Wislouchiella	44525
Chlamydomonas	6850
Phacus	6850
Trachelomonas	6850

PROTOZOA

Diffugia	x
Ciliado ñ identif.	3425

ROTIFERA

Trichocerca	x
Polyarthra	x



TABELA D. 33: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-5/março-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVICOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidrológica  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 5  
 Dados de Coleta: Coletado em março/91  
 Recebido em: Junho/91  
 Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Agmenellum	3425
Lyngbya	164400
Anabaena	3425
Oscillatoria	3425
Marssoniella	3425
Colonia N identif.	3425
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Crucigenia	3425
Tetraedron	3425
Scenedesmus	58225
Dictyosphaerium	x
Euastrum	3425
Closterium	6850
Chlorella	x
Ankistrodesmus	6850
Mougeotia	6850
Staurastrum	3425
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Pinnularia	6850
Synedra	17125
Gomphonema	23975
Eunotia	208925
Surirella	x
Cymbella	13700
Navicula	58225
Nitzschia	41100
Melosira	246600
Frustulia	3425

continuação TABELA D. 33:

Folha anexa

Interessado: IPH  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 5  
 Natureza do Serviço: Exame de plâncton

RESULTADOS

Cont. org/l

CHRYSOPHYTA

Epithemia x  
 Cyclotella 3425  
 Não identificado 23975

FITOFLAGELADO

Euglena 3425  
 Phacus 10275  
 Wislouchiella 17125  
 Strombomonas 3425  
 Chlamydomonas 20550  
 Trachelomonas 3425  
 Peridinium 3425  
 Volvocales ã identif. 13700

PROTOZOA

Waillesella x  
 Ciliado ã identif. 6850

ROTIFERA

Keratella x  
 Polyarthra x  
 Ploeosoma x

TABELA D.34: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-6/março-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 6  
 Dados de Coleta: coletado em março/91  
 Recebido em: junho/91  
 Data do Exame: junho/91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Anabaena	6850
Oscillatoria	x
Aphanizomenon	x
Agmenellum	3425
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Pediastrum	x
Crucigenia	x
Ankistrodesmus	x
Scenedesmus	x
Desmidium	10275
Euastrum	x
Closterium	3425
Cosmarium	x
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Stauroneis	x
Synedra	3425
Eunotia	27400
Navicula	10275
Cymbella	x
Nitzschia	x
Anomoeoneis	x
Frustulia	x
Pinnularia	10275
Cyclotella	6850
Melosira	6850
Não identificados	13700

continuação TABELA D. 34:

Folha anexa

Interessado: IPH  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 6  
 Natureza do Serviço: Exame de plâncton

RESULTADOS

Cont.	org/l
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Euglena	x
Phacus	3425
Trachelomonas	x
Chlamydomonas	3425
<u>PROTOZOA</u>	
Arcella	x
Wailesella	x
<u>NEMATODA</u>	
Não identif.	x
<u>ROTIFERA</u>	
Lecane	x
<u>MICROCRUSTACEO</u>	
Nauplius	x

TABELA D. 35: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-1/maio-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 1  
 Dados de Coleta: Coletado em maio /91  
 Recebido em: Junho /91  
 Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Anabaena	4567
Lyngbya	54804
Anacystis	13701
Agmenellum	27402
Colonia ñ identif.	13701
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Asterococcus	4567
Tetraedron	x
Crucigenia	9134
Closterium	4567
Micractinium	x
Pediastrum	x
Errerella	x
Scenedesmus	45670
Ankistrodesmus	68505
Closteriopsis	50237
Euastrum	4567
Dictyosphaerium	4567
<u>CHRYSTOPHYTA</u>	
Coscinodiscus	x
Frustulia	x
Neidium -	x
Eunotia	100474
Melosira	109608
Synedra	9134
Surirella	x
Epithemia	4567
Nitzschia	187247

continuação TABELA D. 35:

Folha anexa

Interessado: IPH  
 Procedência da Amostra: Exame de plâncton  
 Natureza do Serviço: Lagoa Negra nº 1

RESULTADOS

Cont.	org/l
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Gomphonema	9134
Cyclotella	4567
Navicula	36537
Fragilaria	4567
Surirella	4567
Pinnularia	4567
Não identificados	13701
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Strombomonas	4567
Wislouchiella	9134
<u>PROTOZOA</u>	
Euglypha	4567
Codonella	4567
Ciliado ã identif.	9134
<u>ROTIFERA</u>	
Keratella	x

TABELA D. 36: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-2/maio-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 2  
 Dados de Coleta: coletado em maio de 91  
 Recebido em: Junho /91  
 Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

GRUPO	ORG/1
<u>CYANOPHYTA</u>	
Marssoniella	x
Anabaena	4567
Lyngbya	91340
Anacystis	36536
Agmenellum	27402
Colonia ñ identif.	27402
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Closteriopsis	9134
Scenedesmus	31969
Euastrum	x
Staurastrum	x
Errerella	x
Ankistrodesmus	59371
Closterium	9134
Crucigenia	9134
Dictyosphaerium	4567
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Gomphonema	4567
Melosira	91340
Synedra	4567
Nitzschia	68505
Eunotia	27402
Navicula	27402
Pinnularia	4567
Coscinodiscus	4567
Não identificado	18268

continuação TABELA D. 36:

Folha anexa

Interessado: IPH  
 Procedência da Amostra: Exame de plâncton  
 Natureza do Serviço: Lagoa Negra nº 2

RESULTADOS

Cont. org/l

FITOFLAGELADOS

Strombomonas	4567
Wislouchiella	x

PROTOZOA

Wailesella	4567
Codonella	4567
Ciliado não identificado	18268



TABELA D.37: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-3/maio-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVICOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 3  
 Dados de Coleta: coletado em maio /91

Recebido em: Junho/91

Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Lyngbya	91340
Anabaena	9134
Anacystis	36536
Agmenellum	27402
Oscillatoria	4567
Marssoniella	4567
Colonia ñ identif.	13701
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Closteriopsis	27402
Errerella	x
Ankistrodesmus	22835
Staurastrum	4567
Scenedesmus	x
Euastrum	x
Closterium	4567
Micractinium	4567
Crucigenia	18268
Tetraedron	x
Cosmarium	x
Pediastrum	4567
Dictyosphaerium	4567
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Eunotia	36536
Nitzschia	95907
Vischeria	x
Melosira	118742
Navicula	36536
Synedra	18268

continuação TABELA D. 37:

Folha anexa

Interessado: IPH

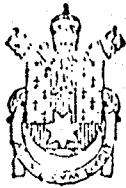
Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 3

Natureza do Serviço: Exame de plâncton

RESULTADOS

Cont.	org/l
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Surirella	x
Cymbella	x
Gomphonema	4567
Fragilaria	4567
Pinnularia	4567
Não identificados	13701
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Wislouchiella	9134
Strombomonas	4567
Volvocales ã identif.	4567
<u>PROTOZOA</u>	
Diffflugia	x
Vorticella	x
Codonella	4567
Ciliado ã identif.	31969
<u>ROTIFERA</u>	
Polyarthra	x
Trichocerca	x
<u>MICROCRUSTACEO</u>	
Nauplius	x

TABELA D.38: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-4/maio-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 4  
 Dados de Coleta: coletado em maio/91  
 Recebido em: Junho/91  
 Data do Exame: Junho/91

RESULTADOS

GRUPO	org/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Anabaena	9134
Anacystis	18268
Agmenellum	18268
Marssoniella	4567
Lynghya	91340
Colonia não identif.	18268
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Crucigenia	x
Closteriopsis	9134
Ankistrodesmus	54804
Euastrum	x
Micractinium	18268
Dictyosphaerium	x
Errerella	4567
Closterium	9134
Scenedesmus	13701
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Cymbella	x
Eunotia	22835
Synedra	4567
Melosira	63938
Navicula	4567
Gomphonema	x
Frustulia	x
Surirella	x
Epithemia	x

continuação TABELA D. 38:

Folha anexa

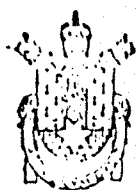
Interessado: IPH  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 4  
 Natureza do Serviço: Exame de plâncton

RESULTADOS

Cont.	org/l
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Nitzschia	50237
Não identif.	9134
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Strombomonas	4567
Wislouchiella	x
Euglena	x
<u>PROTOZOA</u>	
Euglypha	x
Strombidium	x
Codonella	13701
Diffflugia	x
Ciliado ã identif.	9134
<u>ROTIFERA</u>	
Polyarthra	x
<u>MICROCRUSTACEO</u>	
<u>CLADOCERA</u>	
Bosminopsis	x

OBS: Amostra com coloração avermelhada

TABELA D.39: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-5/maio-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 5

Dados de Coleta: maio/91

Recebido em: junho/91

Data do Exame: junho/91

RESULTADOS

GRUPO	ORG/1
<u>CYANOPHYTA</u>	
Anabaena	9134
Anacystis	22835
Lyngbya	45670
Agmenellum	9134
Marssoniella	4567
Colonia ñ identif.	4567
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Scenedesmus	9134
Closteriopsis	22835
Crucigenia	x
Micractinium	x
Pediastrum	x
Closterium	9134
Ankistrodesmus	27402
Euastrum	4567
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Navicula	4567
Melosira	45670
Synedra	x
Eunotia	9134
Nitzschia	31969
Gomphonema	4567
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Euglena	4567
Wislouchiella	4567
Strombomonas	9134

continuação TABELA D. 39:

Folha anexa

Interessado: IPH

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 5

Natureza do Serviço: Exame de plâncton

RESULTADOS

Cont.	Org/l
<u>PROTOZOA</u>	
Diffugia	x
Euglypha	x
Codonella	4567
Strombidium	x
Ciliado ã identif.	13701

OBS. presença de esporos de fungos

TABELA D.40: Exame Hidrobiológico quali-quantitativo do plâncton da Lagoa Negra. Amostra LN-6/maio-91:



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Museu de Ciência  
Laboratório de Aquacultura

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS

Interessado: IPH- Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
 Natureza do Serviço: Exame quali-quantitativo de plâncton  
 Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 6  
 Dados de Coleta: coletado em maio/91  
 Recebido em: junho /91  
 Data do Exame: junho/91

RESULTADOS

GRUPO	ORG/l
<u>CYANOPHYTA</u>	
Anabaena	4567
Oscillatoria	x
Anacystis	x
<u>CHLOROPHYTA</u>	
Desmidium	x
Euastrum	x
Closterium	4567
Scenedesmus	x
Cosmarium	4567
Crucigenia	x
Mougeotia	x
Penium	4567
<u>CHRYSOPHYTA</u>	
Gyrosigma	x
Cymbella	9134
Nitzschia	146144
Surirella	4567
Melosira	x
Gomphonema	31969
Synedra	36536
Pinnularia	36536
Eunotia	4567
Navicula	31969
Frustulia	4567
Cyclotella	13701
Fragilaria	13701
Não identificados	45670

continuação TABELA D. 40:

Folha anexa

Interessado: IPH

Procedência da Amostra: Lagoa Negra nº 6

Natureza do Serviço: exame de plâncton

RESULTADOS

Cont.	org/l
<u>FITOFLAGELADOS</u>	
Dinobryon	x
Synura	x
Chlamydomonas	4567
Trachelomonas	9134
Phacus	4567
Peridinium	31969
Euglena	9134
Não identificado	4567
 <u>PROTOZOA</u>	
Euglypha	x
Wailesella	x
Arcella	x
 <u>ROTIFERA</u>	
Polyarthra	x