

Campus de São Carlos

ANÁLISE DO ECOSISTEMA da REPRESA DO BROA (SP),

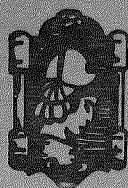
ATRAVÉS de

**um MODELO ESTÁTICO (ECOPATH II) e de
um MODELO DE SIMULAÇÃO (STELLA II).**

RONALDO ANGELINI

Orientador: Prof. Dr. Miguel Petrere Jr.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

77.3000121175

✓

Universidade de São Paulo (USP)
Escola de Engenharia de São Carlos (EESC)
Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA)
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental

**ANÁLISE DO ECOSISTEMA DA REPRESA DO BROA (SP),
ATRAVÉS DE UM MODELO ESTÁTICO (ECOPATH II) E DE UM
MODELO DE SIMULAÇÃO (STELLA II).**

RONALDO ANGELINI

Orientador: Prof. Dr. Miguel Petrere Jr.

DEDALUS - Acervo - EESC



31100016577

Dissertação apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo - Área: Ciências da Engenharia Ambiental, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre.

São Carlos - 06 / 1995



Angelini, Ronaldo

Análise do Ecossistema da Represa do Broa (SP), através de um modelo Estático (ECOPATH II) e de um modelo de simulação (STELLA II). / Ronaldo Angelini.-- São Carlos, 1995.

120p.

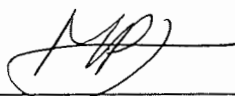
Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-
Universidade de São Paulo, 1995.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Petreire Jr.

1. Ecossistema. 2. Modelo Ecológico. I. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 21-7-1995
pela Comissão Julgadora:



Prof. Doutor MIGUEL PETRERE JUNIOR - Orientador
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"- Rio Claro)



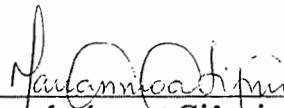
Prof. Doutor ANTONIO FERNANDO MONTEIRO CAMARGO
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"- Rio Claro)



Prof. Doutor FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Presidente da Comissão de Pós-Graduação
Prof. Dr. EDUARDO CLETO PIRES



Coordenador da área - Ciências da Eng. Ambiental
Profa. Dra. MARIA DO CARMO CALIJURI

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Miguel Petrere Jr. - Universidade Estadual Paulista (Rio Claro - SP) pelas idéias, críticas, iluminações, apoios, estímulos, sugestões, favores, livros, enfim pela orientação e amizade;

A Profa. Dra. Astrid Jarre-Teichmann - Institut für Meereskunde an der Universität Kiel (Alemanha) - pelo incentivo e revisão do modelo BROA construído com o ECOPATH II;

Ao Prof. Dr. Milton L. Asmus - Fundação Universidade do Rio Grande (Rio Grande do Sul) - pela revisão de todo o trabalho, com destaque nas sugestões para o modelo ELLOBO construído no STELLA II;

Ao Prof. Dr. Fazal Hussein Chaudhry - Universidade de São Paulo (São Carlos - SP) - pela prestimosa colaboração e incentivo;

A Profa. Dra. Maria do Carmo Calijuri e Profa. Dra. Arnola Rietzler - Universidade de São Paulo (São Carlos -SP) - pelo empréstimo dos dados imprescindíveis à construção do modelo ELLOBO;

Ao Prof. Dr. Antonio Camargo - UNESP (Rio Claro) e Prof. Dr. Harry Edmar Schulz - USP (São Carlos) - pelas discussões;

Aos Departamentos de Ecologia (UNESP - Rio Claro) e Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (USP - São Carlos) pela logística;

A CAPES pela bolsa de estudos;

A FAPESP (Proc. 94/1811-0) pelo auxílio concedido para a compra do micro-computador Apple Quadra 605 e impressora Apple Color StyleWriter Pro;

A MODAS TONINHA - Americana (SP) - nas pessoas de Geraldo e Antonia (meus pais) pelo incentivo financeiro e psicológico;

A Adriana Rosa Carvalho pelo carinho durante a realização deste;

"Meu pai era um homem bom.
De vez em quando me dizia:
Eric, nunca perca sua ignorância.
É uma coisa que você não pode substituir"

(sir **Lindsay Ring**, ex-prefeito de Londres,
citado por Roberto Campos)

ÍNDICE

1. Introdução e Objetivos.....	01
1.1 Introdução.....	01
1.2 Objetivos.....	06
2. Revisão Bibliográfica.. ..	07
3. Material e Métodos	19
3.1 A Represa do Lobo (BROA)	19
3.2 Modelo "steady-state".....	22
3.2.1 ECOPATH II	22
<i>Inputs</i>	23
<i>Outputs</i>	30
3.2.2 Limites do Sistema	37
3.2.3 Conjunto de Dados	37
3.3 Modelo de Simulação	45
3.3.1 STELLA II	45
3.3.2 Estrutura Quantitativa	46
4. Resultados	54
4.1 Modelo BROA (ECOPATH II)	54
<i>Inputs</i>	54
<i>Outputs</i>	56
4.2 Modelo ELLOBO (STELLA II)	66

5. Discussão	76
5.1 Modelo BROA (ECOPATH II)	76
<i>Inputs</i>	76
<i>Outputs</i>	78
5.2 Modelo ELLOBO (STELLA II)	85
6. Conclusão	87
6.1 Modelo BROA (ECOPATH II)	87
6.2 Modelo ELLOBO (STELLA II)	89
7. Conclusão Final.....	91
8. Referências Bibliográficas	93
9. Anexo 1 - Fax da Profa. Dra. Astrid Jarre-Teichmann sobre o modelo construído com o ECOPATH II.....	112
10. Anexo 2 - Fax do Prof. Dr. Milton Asmus sobre a presente dissertação.....	113

LISTA de FIGURAS

Figura 3.1 - Localização da Represa do Broa (SP)	19
Figura 3.2 - Mapa da Represa do Broa (SP).....	20
Figura 3.3 - Modelo de simulação ELLOBO para a Represa do Broa (SP) desenvolvido no programa STELLA II.....	47
Figura 4.1.1 - Modelo em estado de equilíbrio BROA para a Represa do Broa (SP) desenvolvido no programa ECOPATH II.....	58
Figura 4.1.2 - Pirâmide de Lindemann modificada.....	63
Figura 4.1.3 - Matriz de Impacto para o modelo BROA.....	65
Figura 4.2.1 - Comparação de dados observados e calculados de clorofila a (modelo ELLOBO - STELLA II).....	69
Figura 4.2.2 - Resíduos ordinários para a clorofila a	70
Figura 4.2.3 - Comparação de dados observados e calculados de zooplâncton (modelo ELLOBO - STELLA II).....	71
Figura 4.2.4 - Resíduos ordinários para o zooplâncton.....	72
Figura 4.2.5 - Variação de zooplâncton e Astyanax segundo o modelo ELLOBO.....	73
Figura 4.2.6 - Variação de fito e zooplâncton segundo o modelo ELLOBO.....	74
Figura 4.2.7 - Variação de clorofila a e zooplâncton - dados observados - para a represa do Broa (04/84 - 03/85).....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Caracterização dos modelos em pares de tipos.....	4
Tabela 3.1 - Atributos da sucessão ecológica e respectivos cálculos do ECOPATH II.....	33
Tabela 3.2 - Compartimentos do modelo BROA e trabalhos fonte de informações e dados.....	39
Tabela 3.3 - Parâmetros a serem ajustados no modelo ELLOBO.....	53
Tabela 4.1.1 - Valores de entrada para o ECOPATH II.....	55
Tabela 4.1.2 - Matriz de composição da dieta.....	55
Tabela 4.1.3 - Parâmetros medidos para o modelo BROA.....	56
Tabela 4.1.4 - Resumo Estatístico para o modelo BROA.....	57
Tabela 4.1.5 - Ascendência, overhead, capacidade de desenvolvimento para os compartimentos do BROA.....	59
Tabela 4.1.6 - Ascendência, overhead, capacidade de desenvolvimento para os fluxos do modelo BROA.....	60
Tabela 4.1.7 - Fluxos relativos por nível trófico do modelo BROA.....	60
Tabela 4.1.8 - Fluxos absolutos por nível trófico do modelo BROA.....	61

Tabela 4.1.9 - Distribuição dos fluxos originados nos produtores primários.....	61
Tabela 4.1.10 - Distribuição dos fluxos originados nos detritos.....	62
Tabela 4.1.11 - Distribuição dos fluxos combinados.....	62
Tabela 4.1.12 - Eficiência de transferência de energia por nível trófico.....	62
Tabela 4.1.13 - Matriz de Impacto para o modelo BROA.....	64
Tabela 4.2.1 - Equações e parâmetros do modelo ELLOBO.....	66
Tabela 4.2.2 - Variáveis forçantes, parâmetros e dados utilizados no modelo ELLOBO.....	67
Tabela 4.2.3 - Parâmetros ajustados no modelo ELLOBO.....	68
Tabela 5.1 - Atributos da sucessão ecológica e respectivos resultados do ECOPATH II para a Represa do Broa.....	81

PARÂMETROS USADOS no MODELO BROA
(elaborado no ECOPATH II)

SÍMB.	DEFINIÇÃO	Referência
A	Ascendência (teoria de Ulanowicz)	Eq. (3.11)
Ar	Índice da forma da nadadeira caudal	(3.7); (3.8)
Bi	Biomassa do grupo (i)	Eq. (3.2)
Bj	Biomassa do grupo (j) - predador	Eq. (3.2)
C	Capacidade de desenvolvimento - (Ulanowicz)	Eq. (3.12)
CT	Consumo Total	página 34
DCji	Fração da presa (i) na dieta do predador (j)	Eq. (3.2)
DE	Estoque de detrito	Eq. (3.3)
Ei	Emigração da espécie ou grupo (i)	Eq. (3.4)
EEi	Eficiência Ecotrófica da presa (i)	Eq. (3.2)
Euf	Profundidade Eufótica	Eq. (3.3)
EXi	Export da presa (i)	(3.2); (3.4)
Fi	Pesca do grupo ou espécie (i)	Eq. (3.4)
FR	Fluxos relativos por nível trófico	página 31
GEi	Coefficiente de Conversão Bruto - P_{Bi}/Q_{Bi}	página 29
h	altura da nadadeira	Eq. (3.8)
Hd	tipo de alimento: 0 - carnívoros; 1 - herb/detriv.	Eq. (3.7)
IC	Índice de Conexão	página 35
IF	Índice de Ciclagem de Finn	página 31
IMP	Import de Detritos para o Sistema	página 24
IOi	Índice de Omnivoría do grupo (i)	página 30
K	parâmetro de crescimento de von Bertalanffy	Eq. (3.6)
L_{∞}	comprimento infinito	Eq. (3.6)
M	Mortalidade Natural	Eq. (3.6)
MOi	Mortalidade por idade e doenças do grupo (i)	(3.5); (3.7)
MZ	Mortalidade por predação	Eq. (3.5)
NTi	Nível Trófico do grupo ou espécie (i)	página 30
n	número de grupos ou espécies ($i=1,2,3...n$)	Eq. (3.2)

PARÂMETROS USADOS no MODELO BROA (cont.)
(elaborado no ECOPATH II)

O	Overhead - energia armazenada (Ulanowicz)	página 36
PLS	Produção Líquida do Sistema (TPP-TR)	página 34
PP	0 - produtor primário; 1 - consumidores	página 40
S	superfície da nadadeira caudal	Eq. (3.8)
T	Fluxos (Transferências) Totais	Eq. (3.10)
TB	Biomassa Total	página 35
TC	Temperatura em graus Celsius	(3.6); (3.7)
TDET	Fluxo Total que vai para detritos	página 34
TEX	Fluxo Total exportado	página 34
TP	Soma de Todos os fluxos de Produção	página 34
TPP	Produção Primária Total	pág. 25, 34
TR	Fluxo Total Respirado	página 34
PBi	Produção/Biomassa do grupo (i) = M ou Z	(3.5); (3.6)
QBi	Consumo/Biomassa do grupo (i)	Eq. (3.7)
W_{∞}	peso infinito (assintótico) do peixe	Eq. (3.7)
Z	Mortalidade Total = $MO + MZ + F$	Eq. (3.5)

LISTA das EQUAÇÕES do MODELO ELLOBO
(elaborado no STELLA II)

Símbolo	Definição	Equação
CRESC	Crescimento do Fitoplâncton	(3.14) e (3.15)
D1	Luminosidade	(3.16)
D2	Fosfato Dissolvido	(3.17)
D3	Nitrato	(3.18)
D4	Temperatura	(3.19)
GRAZZ	Predação de zoo sobre fitoplâncton	(3.20)
MMFDSV	Função de Michaelis-Menten p/ o Fosfato Dissolvido	(3.17)
MMLUMIN	Função de Michaelis-Menten p/ a Luminosidade	(3.16)
MMNIT	Função de Michaelis-Menten p/ o Nitrato	(3.18)
MORTFITO	Mortalidade de Fitoplâncton	(3.22)
MORTZOO	Mortalidade natural de zooplâncton	(3.23)
MORTASTY	Mortalidade natural de Astyanax	(3.24)
PRED	Predação de Astyanax sobre zooplâncton	(3.21)
RANZOO	Função Randômica Uniforme para os valores de zooplâncton	(5.1)
RESFITO	Resíduo para o Fitoplâncton	Figura 4.2.1
RESZOO	Resíduo para o Zooplâncton	Figura 4.2.4
S1	Biomassa do Fitoplâncton	(3.14); (3.15); (3.20); (3.25)
S2	Biomassa do Zooplâncton	(3.20); (3.26)
S3	Biomassa do Astyanax	(3.24); (3.27)
S4	Sedimento	(3.28)
TEMPK	Função de Chen et al. p/ a temperatura	(3.19)

PARÂMETROS USADOS nos MODELO ELLOBO
(elaborado no STELLA II)

parâmt	DEFINIÇÃO e (EQUAÇÃO)	UNIDADE
ctf	taxa de mortalidade de fito p/ sedimento (MORTFITO)	%
ctz	taxa de mortalidade de zooplâncton p/ sedimento (MORTZOO)	%
kf	cte de Michaelis-Menten específica a fosfato dissolvido (CRESC)	não tem
kl	cte de Michaelis-Menten específica a luminosidade (CRESC)	não tem
kn	cte de Michaelis-Menten específica a nitrato (CRESC)	não tem
K27,1	constante a 27,1°C (temp. máx.) (TEMPK)	não tem
KOT	coeficiente dependente da temperatura (TEMPK)	não tem
KTR	concentração inicial p/ pastagem (GRAZZ)	gramas/m ³
KZ	concentração média de saturação p/ pastagem (GRAZZ)	gramas/m ³
MYZ	taxa de crescimento de zooplanc. (GRAZZ). Ver (5.2)	zooplanc/ 15 dias.
txpred	taxa de predação de lambari sobre zooplâncton (PRED)	%
txast	taxa de mortalidade natural do Astyanax (MORTASTY)	%

RESUMO

Os modelos matemáticos são representações de sistemas e/ou processos. Neste trabalho foram construídos dois modelos matemáticos para o ecossistema da represa do Broa (SP). Esta represa é o sistema aquático do Brasil, com maior quantidade de informações. O primeiro modelo - denominado BROA - descreve o ambiente em suposto estado de equilíbrio, através dos fluxos de matéria ou energia que os organismos (compartimentos) trocam entre si. Os 11 compartimentos neste modelo são: Fitoplâncton; Macrófitas; Detritos; Perifiton; Zooplâncton; Benthos; e Peixes: *Astyanax fasciatus*; *Geophagus brasiliensis*; *Gymnotus carapo*; *Leporinus spp* e *Hoplias malabaricus*. Este modelo foi construído com o programa ECOPATH II para PC. O segundo modelo - denominado ELLOBO - é de simulação e visa entender e prever os processos do subsistema planctônico da represa do Broa. As variáveis de estado são: fitoplâncton; zooplâncton; peixes e sedimento. As variáveis forçantes são: luminosidade; nutrientes e temperatura. Este modelo foi construído com o aplicativo STELLA II para computadores MacIntosh. Os resultados mostram que: o fitoplâncton é o produtor primário mais utilizado como alimento; a ciclagem de nutrientes é extremamente baixa, causando um acúmulo de detritos no ambiente; a produção primária total é 40 vezes maior que a respiração total do sistema, implicando que a represa do Broa é um ecossistema ainda em desenvolvimento; o crescimento zooplanctônico é influenciado e influencia a clorofila a. Além disso nota-se que há escassez de dados sobre a comunidade de peixes do reservatório. Apesar do reservatório do Broa ser o ecossistema brasileiro com maior quantidade de trabalhos científicos, nos dois modelos simples apresentados aqui, muitos dados ficaram faltando o que vem mostrar a diferença de uma equipe multidisciplinar para outra interdisciplinar. É de se ressaltar, entretanto, que é possível a construção de modelos matemáticos com base apenas em dados e estimativas publicadas.

ABSTRACT

Mathematical models are glimpses of systems and/or process. In this work two models were built for the Broa ecosystem, which is the most well studied waterbody in Brazil. The first model - called BROA - describes the environment considered in a steady-state, through the fluxes of matter and energy changed between the compartments (organisms). The eleven compartments in this model are: Phytoplankton, Macrophytes, Detritus, Periphyton, Zooplankton, Benthos and the Fish: *Astyanax fasciatus*; *Geophagus brasiliensis*; *Gymnotus carapo*; *Leporinus spp* and *Hoplias malabaricus*. This model was built using the program ECOPATH II, PC compatible. The second model - called ELLOBO - is a simulation model and aims to understand and forecast the processes of the planktonic subsystem of the Broa reservoir. The state variables are: Phytoplankton, Zooplankton, Fish and Sediment. The forcing variables are: luminosity, nutrients and temperature. This model was built using the program STELLA II, MacIntosh compatible. The results show that: the phytoplankton is the primary producer more utilized as a food source. Nutrient cycling is very low, provoking a detritus accumulation. Primary production is 40 times higher than the total ecosystem respiration implying that the Broa reservoir is a still an ecosystem not in equilibrium. Zooplankton growth influences and is influenced by chlorophyll *a*. The model pointed a general scarcity of data mainly on fish, although it shows that is possible to build models utilizing only published data.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Introdução

Segundo TUNDISI (1988), a construção de reservatórios é uma das grandes experiências humanas na modificação dos ecossistemas naturais, e vem sendo executada pelo Homem, desde tempos remotos, com o objetivo de armazenar água para o consumo, irrigação, controle de inundação e aquicultura.

Com a descoberta da energia elétrica e a necessidade de sua geração, o homem passou a construir um número maior de reservatórios. TUNDISI & BARBOSA (1981) consideram duas linhas principais de investimentos na construção de reservatórios no Brasil:

a) a construção de pequenos reservatórios no Nordeste com a finalidade principal de armazenamento de água;

b) a construção de grandes reservatórios no Sul e Sudeste com a finalidade principal de produção de energia elétrica.

Com respeito ao item (b), sabe-se que somente sob concessão da Companhia Energética de São Paulo - CESP, 20 reservatórios estão construídos ou em fase de construção no Estado de São Paulo totalizando 900.000 hectares de área inundada. Isto se deve principalmente ao grande consumo de energia elétrica, deste estado industrializado que responde por 40% do consumo brasileiro (SÃO PAULO, 1990):

Assim é notório que a interferência humana, através da retirada de matas ciliares, agricultura extensiva, urbanização intensa e industrialização, acarreta profundas alterações nas condições naturais de bacias e conseqüentemente dos recursos hídricos, que acabam modificando suas estruturas tróficas. BAIN et al. (1988), mostram que os resultados destas alterações ambientais podem diminuir o número de indivíduos, bem como o número de espécies da fauna nativa. Assim, toda comunidade biológica local bem como a sucessão natural do ecossistema sofrem mudanças.

TUNDISI et al. (1993) afirmam que o aumento do número de reservatórios em diferentes regiões do Brasil tem gerado problemas de manejo, associados com os usos múltiplos, tornando necessário integrar seu funcionamento na realidade local respeitando suas características ecológicas, econômicas e sociais.

Esta opinião é compartilhada e demonstrada por PETRERE (1992) que constatou a existência de um tipo de pescador amazônico que surgiu em decorrência da construção de grandes represas na região Norte. Estes pescadores barrageiros (ou itinerantes) vivem em acampamentos à beira dos reservatórios até que suas pescarias, inicialmente produtivas, comecem a declinar. Assim eles influenciam no comportamento das populações ribeirinhas que foram reassentadas próximas aos reservatórios, de duas maneiras: negativamente, inflacionando o mercado em detrimento dos outros grupos de pescadores, devido a sua pesca de alto rendimento; mas também positivamente, ensinando-os a pescar com maior eficiência. Além disso muitos destes itinerantes acabam por se associar aos moradores locais enriquecendo culturalmente a comunidade.

Um dos problemas encontrados quando do estudo ecológico de reservatórios, diz respeito às forças atuantes nas dinâmicas de suas populações. De maneira geral, pode-se dividir estas forças em dois tipos:

i) forças abióticas atuando sobre as populações, isto é, variáveis como vento, luminosidade, aporte de nutrientes, vazão, temperatura, e outras influenciam e são pouco ou nada influenciadas pelas populações.

ii) forças entre os próprios organismos vivos, isto é, relações como predação, herbivoria ("grazing") e competição, podem ser importantes para o entendimento do modo de vida das populações.

TUNDISI (1988) diz ser de fundamental importância para um manejo adequado de reservatórios, o entendimento e o conhecimento destes dois tipos de forças.

Segundo STRASKRABA et al. (1993) o ponto de vista holístico é um modo de se entender um sistema utilizando-se as variáveis bióticas e abióticas. Assim, a análise de sistemas é utilizada para o estudo dos reservatórios e lagos, pois ela permite que fenômenos complexos sejam reduzidos em partes elementares através da aplicação de métodos quantitativos. ODUM (1985) vê o sistema como um grupo de partes que interagem de acordo com algum tipo de processo.

Os modelos são poderosas ferramentas para compreender os sistemas. Segundo STARFIELD & BLELOCH (1986) um modelo é qualquer representação de um sistema ou processo. Eles são construídos para:

- definir os problemas;
- organizar a compreensão dos sistemas e idéias;
- avaliar os dados observados;
- fornecer o entendimento das ligações entre os componentes;
- fazer previsões.

Para JØRGENSEN (1988) qualquer tentativa de representação de um processo pode ser chamada de modelo, mas é a modelagem matemática que vem se transformando no instrumento mais eficaz de previsão dos efeitos das atividades humanas sobre ecossistemas aquáticos, sejam estes naturais ou artificiais. Isto ocorre devido ao avanço dos conhecimentos limnológicos e métodos computacionais.

As propriedades gerais dos modelos foram assim classificadas por ODUM (1985):

- realismo - correspondência entre o modelo e o sistema real;
- precisão - capacidade numérica de prever mudanças;
- generalidade - amplitude da aplicabilidade do modelo.

SAGGIO (1992) afirma que um dos aspectos mais importantes da modelagem é a flexibilidade permitida, isto é, se o modelo tem boa correspondência com o mundo real, pode-se realizar simulações para a comparação de hipóteses sobre o ecossistema. Este procedimento é definido como matemática experimental.

VALENTIN (1987) se refere ao fato de que a modelagem é um exercício de pesquisa, onde quase sempre o processo de desenvolvimento do modelo é mais importante que o próprio modelo criado. Além disso a modelagem estimula a discussão interdisciplinar entre os diferentes profissionais.

Pode-se classificar os modelos em pares de tipos. Como mostrado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1- Classificação dos modelos em pares de tipos

Caracterização	Tipo 1	Tipo 2
Finalidade	uso para pesquisa	uso para manejo
Variabilidade	estocástico	determinístico
Concepção	reducionista	generalista
Tempo	estático	dinâmico
Parâmetros	fixos	variáveis
Função	linear	não-linear
Solução de equações	analítica	métodos numéricos

Sabe-se que os sistemas ecológicos que representam lagos e represas, são complexos visto que envolvem aspectos relacionados a hidrologia e ecologia. O ponto de vista holístico é uma das maneiras de tentar descrever as interrelações entre os organismos e as forças atuantes nos sistemas. O holismo deve ainda, levar em consideração os conhecimentos, muitas vezes reducionistas, existentes no corpo em estudo.

A represa do Broa é o sistema aquático mais bem estudado do Brasil, possuindo um número respeitável de trabalhos científicos, publicados na

literatura internacional. O presente trabalho propõe aproveitar tais informações na construção de dois modelos: i) modelo de estado permanente ("steady-state") através do programa ECOPATH II; e ii) modelo de simulação, usando o programa STELLA II.

Ressalta-se que este trabalho representa a primeira tentativa de reunir todo o conhecimento adquirido nestes anos, numa estrutura conceitual e matemática a respeito deste sistema.

Visa-se por meio desta atividade oferecer um instrumento de comparação, uma base para o diálogo entre especialistas de diversas áreas afins e um meio para a busca de soluções aos problemas que porventura, o sistema apresentar.

1.2. Objetivos específicos

Os objetivos deste trabalho são:

-- Identificar e descrever propriedades, bem como quantificar parâmetros desconhecidos do ecossistema em estudo;

-- Padronizar os dados disponíveis sobre este ecossistema;

-- Apontar lacunas de conhecimento e identificar quais os compartimentos nos quais o esforço de coleta de dados e/ou estudo devam ser aplicados;

-- Agrupar os diferentes estudos realizados na represa do Broa à fim de integrar e interagir informações e proporcionar uma visão holística deste importante reservatório;

-- Propor um modelo estático ("steady-state") do reservatório Broa que englobe os organismos produtores, consumidores e decompositores conhecidos, através do programa ECOPATH II (CHRISTENSEN & PAULY, 1991);

-- Propor um modelo compartimental de simulação do subsistema planctônico da represa do Lobo - Broa (SP) com base nos processos conhecidos que influenciam na dinâmica deste subsistema, usando o software STELLA II;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Modelagem Matemática de Ecossistemas - Um Histórico.

Segundo NEEDHAM (1973, apud: BRANCO, 1989), a "ciência natural só se tornou propriedade comum da humanidade à partir do momento em que sua fusão com a matemática a tornou universal. A aplicação de hipóteses matemáticas à natureza, o pleno uso de métodos experimentais, a distinção entre qualidades primárias e secundárias (...) caracterizam o grande passo dado no final da Renascença e principalmente por Galileu Galilei: "O livro da natureza está escrito em caracteres matemáticos", tornando a ciência diferente da ciência medieval e primitiva" que buscava a pedra filosofal.

Desta maneira, segundo ALVES (1978) o universo passa a não ter mais sentido humano, pois "a natureza é arrancada do quadro quente e amigo marcado pelo amor e sabedoria divina", para um mundo frio em que dominam as relações entre os números. Esta visão racionalista de entendimento do mundo acaba criando a noção de sistemas, que para Galileu deveriam resolver e reduzir fenômenos complexos em partes elementares. Começava a tomar corpo a definição de sistemas. (VON BERTALANFFY, 1968).

A análise de sistemas em Ecologia consiste na aplicação de métodos quantitativos envolvendo problemas de sistemas complexos, buscando um instrumento mais apropriado para a compreensão dos mesmos.

Parece haver consenso na literatura sobre a definição de sistema. Assim GRANT (1986) entende que a essência do sistema não reside apenas na coleção de técnicas quantitativas, mas sim na estratégia descrita para a solução dos problemas. Este mesmo autor define sistema como uma coleção organizada de componentes interrelacionados, caracterizados por um limite e uma unidade funcional. Já DE WIT & RABBINGE (1979 apud: PRASAD et al., 1983), definem o sistema como uma parte da realidade que contém elementos interligados, onde cada um tem sua própria característica. ODUM (1985) vê o sistema como um grupo de partes que interagem de acordo com algum tipo de processo. O comportamento de um sistema depende da relação "input-output"

entre o tipo e a amplitude do estímulo que ele recebe de outros sistemas (MESAROVIC, 1968 apud: PRASAD et al., 1983).

A ferramenta mais utilizada para compreender o sistema é o modelo matemático. Modelos podem ser definidos como uma representação abstrata e simplificada de um sistema ou processo. (STARFIELD & BLELOCH, 1986)

Pode-se classificar os modelos em:

a) Modelos icônicos (imagens, ícones): reproduzem a aparência do objeto a ser modelado, fornecendo uma descrição apenas qualitativa, porém que sintetiza o todo. Exemplo: maquetes, mapas, diagramas de blocos...

b) Modelos analógicos: simulam uma situação real. Possuem grau de abstração média e são usados principalmente em engenharia. Exemplo: pequenos modelos de avião postos à prova em túneis de vento.

c) Modelos simbólicos (ou matemáticos): o grau de abstração é máximo. São representados através de princípios que, segundo os modeladores, regem a realidade.

Deve-se destacar que modelos matemáticos são os mais eficazes instrumentos de compreensão do ambiente e de previsão dos efeitos das atividades humanas (JØRGENSEN, 1988).

GRIMM (1994) dividiu os modelos em dois tipos:

a) estilo livre ("free style") - onde o modelador, à partir de uma idéia cria o modelo e vai em busca de dados que o validem (desejo de generalidade);

b) padrão orientado ("pattern-oriented") - onde o empiricismo prevalece e o modelo é formado à partir dos dados observados.

De forma geral os estudiosos em ecologia concordam que as populações interagem dentro de um determinado espaço e período de tempo;

com a finalidade única de persistirem no ambiente (HUTCHINSON, 1978). A fórmula mais elementar que as populações, tanto animais como vegetais, encontraram para atingirem tal objetivo foi o aumento de tamanho.

Assim, segundo PETRERE (1992), o primeiro modelo matemático emprestado a Ecologia foi o modelo de MALTHUS (1798) para prever o crescimento populacional. Ele é baseado numa equação diferencial muito simples:

$$dNt/dt = r * Nt \quad (2.1)$$

Para $t=0$ e $Nt=N0$

tem-se a solução analítica:

$$Nt = N0 * \lambda^t \quad (2.2)$$

onde:

Nt = número de indivíduos da população no instante t ;

$N0$ = número inicial de indivíduos da população;

$\lambda = e^r$ = razão finita de aumento populacional;

r = razão intrínseca ($r = b - d$, onde: b é a taxa de nascimento e d é a taxa de mortalidade).

Esta equação é também conhecida como a equação de crescimento geométrico. Para Malthus, que viveu de 1766 a 1834, a população humana cresceria de forma geométrica enquanto os alimentos de maneira aritmética, como segue abaixo:

$$dN/dt = r \quad (2.3)$$

Para $t=0$ e $Nt=N0$.

a resolução analítica é dada por:

$$N = N0 + rt \quad (2.4)$$

que é a equação de uma reta.

Além do modelo em si, a importância das idéias de Malthus, publicadas no livro *Ensaio sobre a população* (1798), residem também no fato que, parece ter sido uma das três principais fontes de inspiração de Charles Darwin em sua busca do mecanismo da evolução das espécies. Desta forma, a população crescendo em escala geométrica (Eq. 2.2), iria inevitavelmente superar uma oferta de alimentos que só pode aumentar em escala aritmética (Eq. 2.4). Daí, que só os mais aptos é que sobreviveriam à fim de deixarem mais descendentes (GOULD, 1981, 1991).

É sabido que a equação 2.1 é irreal, pois as populações não crescem indefinidamente. Assim ela foi modificada por VERHULST (1838, apud: HUTCHINSON, 1978):

$$dN_t/dt = r * N_t * (1 - N_t/K) \text{ para } t=0 \text{ e } N_t=N_0. \quad (2.5)$$

cuja solução analítica é dada por:

$$N_t = K / (1 + ((K - N_0)/N_0) * e^{-rt}) \quad (2.6)$$

É também conhecida na literatura como sigmóide, devido a sua forma em 'S'. K é a assíntota da curva e representa as imposições impostas pelo meio como escassez de espaço e/ou alimento, ou ainda aumento do número de doenças. K seria o número máximo de indivíduos da população que o ambiente poderia aguentar, isto é, a capacidade de suporte.

Esta equação de Verhulst é inspirada nos trabalhos de seu mentor, o estatístico Quetelet (outra das fontes de Darwin (GOULD, 1981)). E sua equação logística foi fervorosamente defendida por Raymond Pearl na década de 20. KINGSLAND (1985) afirma que Pearl estava particularmente interessado em encontrar uma lei de crescimento das populações.

Não se duvida o quanto o modelo logístico é usado e ensinado mesmo sem ter uma aplicação prática, contudo sua fama deve-se provavelmente ao fato de sua equação diferencial ter uma solução analítica. Já em 1927 um dos pesquisadores ligado a Raymond Pearl, Charles Winsor, comparara a curva logística com outras curvas em uso. A mais próxima do

modelo de Verhulst foi a sigmóide de Benjamin Gompertz que havia sido desenvolvida em 1825 e usada em estudos de crescimento. As duas tinham características similares e nenhuma levava vantagem sobre a outra. Segundo KINGSLAND (1985), Winsor notou entretanto, que a forma diferencial da curva logística (Eq. 2.5) seria mais facilmente manipulável por razões práticas que a curva de Gompertz, isto é, há uma solução analítica para a eq. 2.5, dada pela eq. 2.6. Isso assegurou a "sobrevivência" do modelo logístico. Esta opinião é compartilhada por PETRERE (1992).

Outro modelo muito famoso em ecologia, provavelmente devido também à sua elegância matemática, é o modelo de presa-predador que foi independentemente formulado por LOTKA (1925) e VOLTERRA (1926, 1931). As equações deste modelo descrevem mudanças oscilatórias em duas populações que se interagem, N_1 e N_2 :

$$dN_1 / dt = r_1 * N_1 - (k_1 * N_1 * N_2) \quad (2.7)$$

$$dN_2 / dt = k_2 * N_1 * N_2 - (d_2 * N_2) \quad (2.8)$$

onde:

N_1 - número de presas;

N_2 - número de predadores;

r_1 = razão intrínseca de aumento de presas;

d_2 = coeficiente de mortalidade dos predadores;

k_1 e k_2 = constantes.

Estas equações ficaram conhecidas na literatura como equações de Lotka e Volterra. Este modelo tem sido alvo de muitos trabalhos e pesquisas mas com exceção de experimentos de laboratório (GAUSE, 1934) sua realidade e conseqüente aplicação, é quase sempre criticada pelos estudiosos (HALL, 1988).

De fato, o uso de quaisquer modelos matemáticos aplicados à ecologia, sempre foi motivo de ceticismo e crítica por parte dos próprios pesquisadores. É interessante notar que o pensamento dos ecólogos na década de 20, era que o uso dos modelos poderia, além de ser uma nova ferramenta

analítica, conferir à ecologia um símbolo de status. A ecologia atingiria, então, o mesmo grau de exatidão das ciências físicas. Porém com o aumento do número de trabalhos e com as críticas principalmente, de entomologistas econômicos, que tentavam aplicar os modelos à realidade, o entusiasmo inicial se arrefeceu. Além disso outros problemas foram aparecendo. KINGSLAND (1985) mostra que Eric Ponder apontou para o fato que os matemáticos teorizavam demais e que um "simples sistema de equações diferenciais nunca descreveria problemas complexos e altamente desconhecidos. Neste momento [1934] necessitamos de mais medidas de campo e menos teorias, mais análises experimentais de fenômenos e menos integrações de equações." Porém Georgii F. Gause demonstrou que os modelos não necessariamente teriam que prever com perfeita acurácia, mudanças em casos particulares. Este cientista russo, iniciou seus trabalhos em laboratório baseado nos modelos da curva logística e de presa-predador. Sua descoberta do "princípio de exclusão competitiva", no início conhecido como "postulado de Gause", mostrou que os modelos "apenas" serviriam para descobrir princípios e construir teorias gerais que guiarium certos tipos de pesquisas (como guiou as dele). Pode-se afirmar, que parte dos pesquisadores não haviam compreendido a definição de modelo como uma representação "simplificada" do mundo real.

Outra crítica ao uso dos modelos matemáticos foi feita por THOMPSON (1937 apud: KINGSLAND, 1985). Este pesquisador tinha sido um defensor ardoroso dos modelos na década de 20, mas tornou-se um grande crítico, quando notou que os argumentos e suposições matemáticas dos novos modelos estavam obscurecendo e ignorando constatações biológicas. KINGSLAND (1985) afirma que, como filósofo, William R. Thompson argumentou que a "matemática como uma ciência dedutiva tinha de ser cuidadosamente separada das ciências naturais que são essencialmente indutivas. Assim o raciocínio dedutivo, usado na matemática, refere-se somente a entidades ideais, cujas propriedades foram determinadas por definições originais ou axiomas. Mas a Biologia estava preocupada apenas com as relações de causa-e-efeito no mundo real; tais relações não poderiam ser deduzidas, mas somente descobertas por árdua observação, experimentos e indução." Parece óbvio que isso não fez com que a modelagem perdesse força entre muitos outros pesquisadores, mas a melhor resposta à Thompson, só veio em 1954 com Alexander J. Nicholson. Segundo NICHOLSON (1954, apud:

KINGSLAND, 1985), "a ciência consiste de influências recíprocas contínuas entre pensamento (ou teoria), observação e experimento. Depreciar a teorização em nome da superioridade da observação e experimentação indica um mau entendimento do método científico. Assim, qualquer argumento dedutivo depende da verdade de postulados fundamentais, mas se as observações de campo não coincidem com as conclusões matemáticas, isto mostra apenas que os postulados estão incorretos mas não que o método dedutivo está errado. A solução é modificar os postulados de acordo com os fatos conhecidos e iniciar novamente, com outras hipóteses."

Na década de 60, Howard T. Odum através de uma feliz e inspiradora analogia, usou modelos de circuitos elétricos para explicar diversos fenômenos ecológicos. O talento deste pesquisador ainda incluiu o homem nestes sistemas, permitindo a análise de problemas econômicos em modelos ecológicos. Sem dúvida a linguagem energética criada por H. Odum é a base da moderna modelagem (ODUM, 1960, 1962, 1967 e 1971).

Segundo JØRGENSEN (1994), hoje muitos modelos são usados como ferramentas científicas para testar hipóteses. Neste caso, o modelo pode substituir a hipótese em si. Este Autor coloca quatro casos diferentes para análise:

- 1 - O modelo é correto no presente problema, e a hipótese também.
- 2 - O modelo não é correto, mas a hipótese é.
- 3 - O modelo é correto, mas a hipótese não é.
- 4 - O modelo não é correto, e a hipótese também não.

Logicamente nos casos 2 e 4, os modelos teriam de ser corrigidos para efetivamente serem examinados. Este uso de modelos e hipóteses pode ser descrito como um método iterativo de busca de padrão. Por exemplo, tendo o caso 1 confirmado, pode-se perguntar: o conhecimento produzido por este modelo específico, está dentro de um padrão geral? Se a resposta é não, deve-se voltar para mudar o modelo e/ou a hipótese, ou ainda o próprio padrão, o requisitará mais investigações. Se a resposta é sim, incorpora-se temporariamente ao padrão o conhecimento gerado pelo modelo, que é então usado para explicar outras observações e realizar mais previsões, que serão

testadas. Este procedimento se for repetido, pode aumentar o conhecimento do fenômeno estudado (JØRGENSEN, 1994).

JØRGENSEN & KORYAVOV (1990) chamaram de matemática experimental o método pelo qual se usa o modelo para substituir certos experimentos impossíveis de se fazer em campo, devido ao custo ou mesmo à natureza do sistema modelado. E a partir dos resultados, novos conhecimentos e inferências são feitas sobre o ambiente estudado.

É inegável que o uso de modelos tem aumentado muito nas duas últimas décadas, principalmente no que diz respeito ao modelos denominados de compartimentos gerais. Em suma, estes modelos são um conjunto de equações que descrevem as interrelações entre os componentes do sistema. Para JØRGENSEN (1994) os principais motivos pelos quais o uso destes modelos aumentou foram:

- o desenvolvimento de computadores facilitou o uso de ferramentas matemáticas e de um grande número de dados;
- a necessidade crescente de respostas quantitativas frente à distúrbios causados pelo homem;
- os modelos tem ajudado a melhorar nosso conhecimento sobre problemas ecológicos.

Assim programas que incorporam modelos como o ECOPATH II e STELLA II podem se explorados na busca de soluções práticas e teóricas.

Independente do tipo de modelo que os estudiosos resolvam construir, uma interpretação da confecção de um modelo sugere as seguintes fases:

1 - Reconhecer e delimitar o sistema de interesse, expressando-o, primeiramente sob forma verbal e posteriormente criando o diagrama conceitual facilitando a visualização das interações entre os componentes. JØRGENSEN (1988), diz haver na literatura ecológica muitos modelos que

param nesta fase de construção, devido à falta de conhecimento na formulação das relações matemáticas. Eles podem, entretanto ser usados para ilustrar as relações de forma qualitativa.

2 - Escolher a estrutura quantitativa geral, selecionando as formas funcionais das equações além da unidade básica de tempo e codificando-as no computador para a realização das simulações.

Segundo GRANT (1986), um modelo pode ter as seguintes estruturas quantitativas:

Matriz algébrica - fornece um formato conveniente para representar a dinâmica de populações onde são conhecidos as taxas de natalidade e sobrevivência para cada faixa de idade. Este tipo de estrutura é geralmente usado para representar a dinâmica de sistemas onde a transferência de material é proporcional à variável de estado na qual se origina. O exemplo mais conhecido do uso desta estrutura é o da matriz de Leslie (GRANT, 1986);

Equações diferenciais - fornecem um formato flexível para a modelagem ecológica e algumas podem ser resolvidas analiticamente permitindo um aprofundamento conveniente no comportamento da dinâmica do sistema. O exemplo mais conhecido na literatura ecológica é a curva de crescimento populacional de Malthus (já citada aqui);

Equações de diferença - estes modelos fornecem uma representação flexível da dinâmica dos sistemas, pois utilizam a unidade de tempo em intervalos;

Modelos de compartimentos - permitem representar sistemas complexos de maneira simples. Basicamente consistem em escrever um conjunto de equações (diferenciais ou de diferença) para descrever as interrelações entre os componentes. Assim estas equações descrevem, juntas, toda a dinâmica e o comportamento do modelo. O ECOPATH II e o STELLA II fazem parte deste tipo de estrutura quantitativa.

3 - Observar a validade do modelo a fim de confirmar se este é adequado para satisfazer os objetivos propostos. Esta fase pode ser assim dividida:

Verificação - consiste em testar a lógica interna do modelo para se ter certeza que este não fere o bom-senso, nem foge muito do comportamento do sistema real. Por isso esta fase é "subjetiva" e depende do conhecimento prévio do comportamento do sistema real (JØRGENSEN, 1986);

Análise de Sensibilidade - é uma tentativa de medir a sensibilidade dos parâmetros, das funções e dos submodelos. É uma fase muito importante, pois mostra em que parte do modelo, deve-se tomar mais cuidado quando se está realizando a calibração;

Calibração - é uma tentativa de se descobrir quais os melhores valores dos parâmetros usados, isto é, quais valores minimizam a diferença entre os dados observados e os calculados pelo modelo;

Validação - é o teste que o modelador fará para saber se os parâmetros encontrados na calibração são reais para outros períodos do mesmo sistema. Isto pode ser feito com um conjunto de dados independente.

4 - Desenvolver planos de experiência para simulações, bem como analisar e interpretar os resultados da simulação.

É importante notar que estas fases nem sempre se desenvolvem como o descrito. Muitas vezes elas se interagem devido a novas descobertas e problemas que vão surgindo à medida que as simulações vão sendo processadas (GRANT, 1986).

A grande diferença no tratamento dado pelo ECOPATH II em comparação com o STELLA II é com relação à variável tempo. CHRISTENSEN (1993a) explica esta diferença:

-- ECOPATH II - "steady-state": estes modelos descrevem "médias" de estados e taxas, isto é, descrevem o sistema num estado de equilíbrio, ou estado permanente, e por isso são chamados de modelos estáticos. A

aproximação destas médias é feita usando estados e taxas estimadas para cada espécie num contexto único com muitas espécies, o que possibilita descrever em termos quantitativos o estado de todo o ecossistema aquático. Esta descrição quantitativa cobre todo o período (arbitrário) no qual os estados e taxas estimadas são aplicadas;

-- STELLA II - modelos de simulação: a grande diferença com relação aos modelos "steady-state" é que os modelos de simulação podem fazer previsões;

De modo geral os estudiosos concordam que a previsão (simulação do futuro) é um atributo muito importante de um modelo. Todavia CHRISTENSEN (1993b) aponta para o fato que os sistemas biológicos são irreduzíveis pois não se conhece nenhuma lei fundamental em Ecologia. Este mesmo autor afirma ainda que os modelos de simulação para ecossistemas apresentam certas limitações devido principalmente a três motivos:

i) há uma variabilidade biológica inerente a cada componente e os modelos de simulação, geralmente, usam médias o que elimina esta fonte de variabilidade;

ii) há uma interação hierárquica que começa no organismo, passando pela espécie, população, comunidade e ecossistema. Assim os ecossistemas são partes deste sistema hierárquico e não podem ser bem representados por modelos como, por exemplo, os de presa-predador que trabalham apenas com espécies;

iii) capacidade de auto-organização dos ecossistemas frente à distúrbios dificulta o processo de modelagem.

Apesar da simplificação hierárquica requerida pelo tratamento holístico, a busca da descrição de sistemas ecológicos, via modelagem, continua sendo uma atividade importante pelos motivos anteriormente expostos.

No Brasil o uso de modelos matemáticos em Ecologia Aquática parece ser ainda uma atividade rara entre os pesquisadores. À parte alguns trabalhos que incorporam o modelo de crescimento individual de VON BERTALANFFY (1934), que é muito usado para crescimento de espécies de peixes (ver SPARRE et al., 1989), poucos são os trabalhos com modelagem em ecossistemas aquáticos brasileiros. Mesmo assim pode-se citar: COUTINHO & YONESHIGUE (1988); VALENTIN & COUTINHO (1990); RICHEY, et al. (1990); MURICY (1990); KOUTSOUKOS & HART (1991); COLLART (1991); BEGOSSI (1992); BIDONE, et al. (1993); VALENTIN (1993); PEREIRA et al (1994). Parece que quatro problemas tem dificultado o pesquisador brasileiro no uso de técnicas de modelagem:

i) falha na formação universitária. O número de professores que ensinam uma disciplina de modelagem (quando ela existe nos cursos de formação e/ou especialização) é mínimo;

ii) uma certa "matematicofobia" (nas palavras de Bodenheimer, 1935 apud: KINGSLAND, 1985) que os pesquisadores formados em ciências biológicas possuem;

iii) escassez de conhecimentos básicos biológico e ecológico nos ecossistemas brasileiros;

iv) falta de vontade por parte dos profissionais de interagirem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - A represa do Lobo - Broa

A represa do Lobo, popularmente chamada de Broa, foi construída para geração de energia elétrica, em 1936 pela antiga Central Elétrica de Rio Claro S.A. (SACERC), hoje Centrais Elétricas de São Paulo (CESP). Localiza-se na região centro-leste do Estado de São Paulo, entre os municípios de Brotas e Itirapina (Figura 1). É formada, principalmente, pelo represamento das águas do Ribeirão do Lobo, Rio Itaqueri, Córrego do Geraldo e Córrego das Perdizes (Figura 2).

FIGURA 3.1

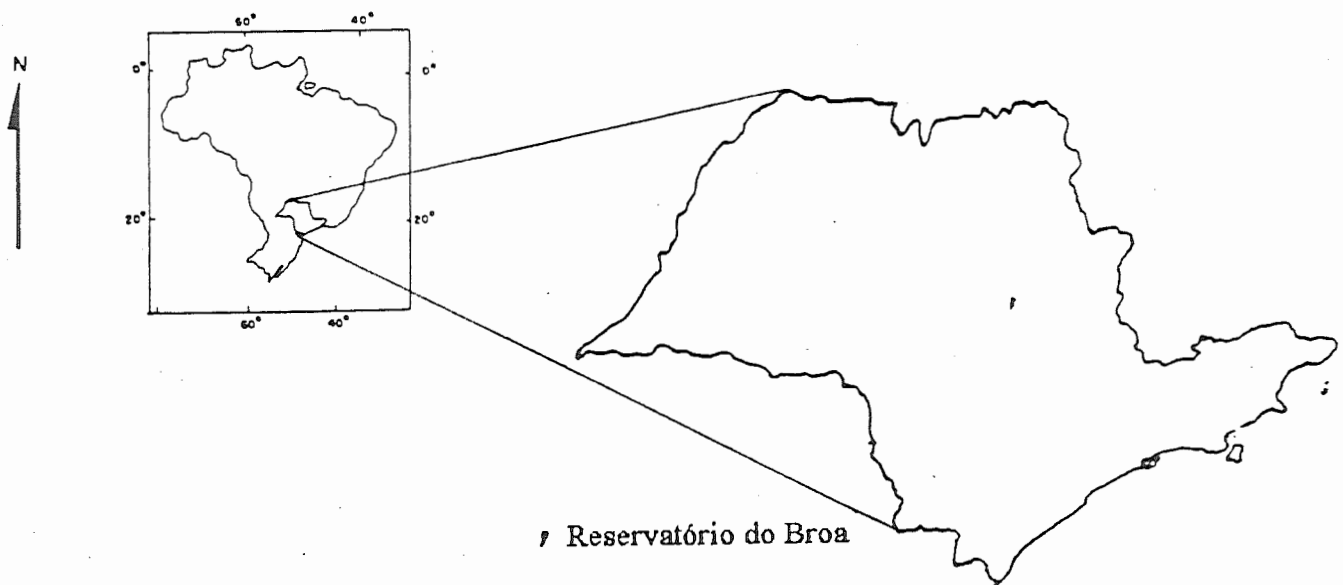


Figura 3.1 - Localização da Represa do Broa - Estado de São Paulo.

FIGURA 3.2

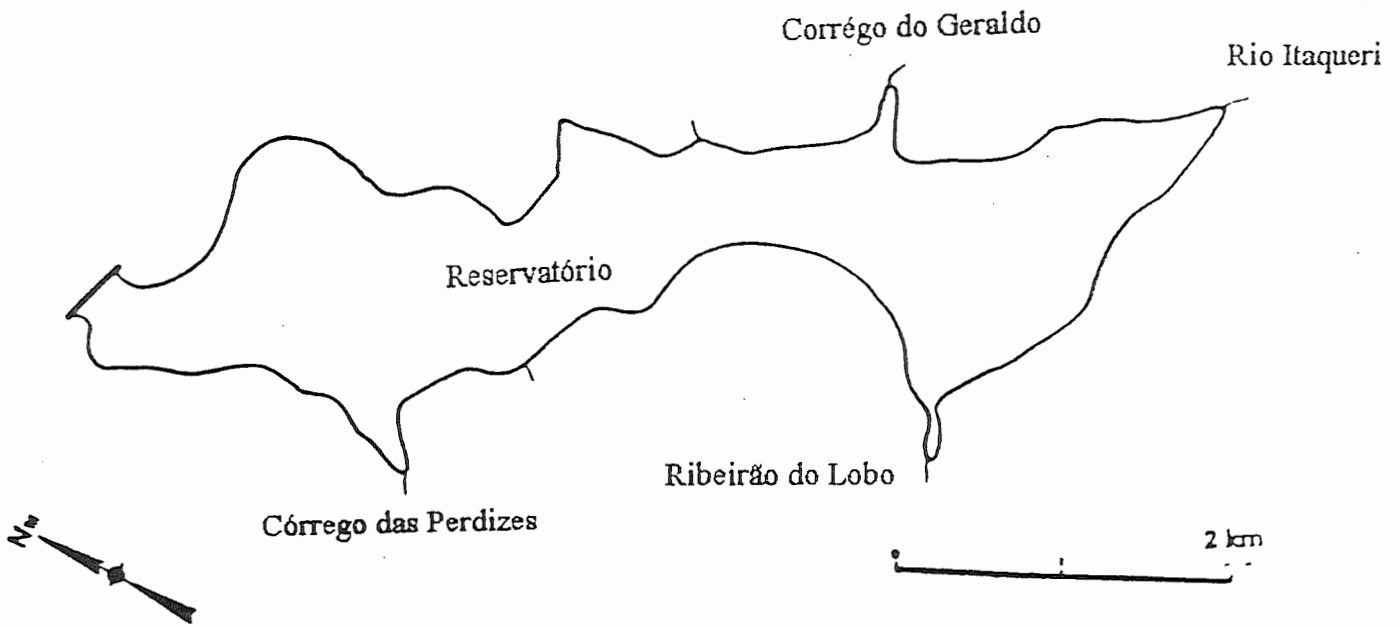


Figura 3.2 - Mapa da Represa do Broa - Itirapina (SP)

De acordo com a classificação de Köpen, o clima local pode ser considerado como Cwai-Awi, isto é, quente com período seco (TUNDISI, 1986).

CALIJURI & TUNDISI (1990) classificam o reservatório Broa como oligomesotrófico e identificaram as seguintes alterações ambientais provocadas por atividades humanas: desflorestamento; despejos domésticos e fertilizantes utilizados em algumas áreas agrícolas.

Esta represa foi escolhida objeto de estudo deste modelo pois é um reservatório com pequenas dimensões (TUNDISI, 1986):

comprimento máximo: 8,0 km;
largura máxima: 2,0 km;
largura média: 0,9 km;
profundidade máxima: 12,0 m;

profundidade média: 3,0 m
superfície: 6,0 km²;
perímetro: 21,0 km
volume: 22 * 10⁶ m³;
latitude: 22°15'S;
longitude: 47°49'W;

Estas dimensões associadas aos ventos e às características turbulentas da água, segundo WATANABE (1981), são responsáveis pela ausência de estratificação térmica e a distribuição homogênea do fitoplâncton na coluna d'água. Desta forma o modelo proposto pode ser simplificado, uma vez que não é necessário o tratamento diferenciado dos processos na vertical.

Além disso a represa do Broa possui grande suporte acadêmico, realizado principalmente, por pesquisadores da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos) e da EESC - USP (Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo). Destes trabalhos pode-se destacar: SOARES (1981); HINO (1979); HEREDIA-SEIXAS (1981); MORAES (1978); CALIJURI (1985, 1988); CÓ (1979); OISHI (1990); MARINS (1972, 1975); HENRY (1981); BARBIERI (1981, 1984); RIETZLER (1991); BARBIERI (1974, 1975); BARBIERI (1986); WATANABE (1981); PIRES-ZATARELLI (1990); TRINDADE (1980); OLIVEIRA (1993); TUNDISI (1977); STRIXINO (1973); RANTIN (1978); ROCHA (1978); SIMONATO (1986); GAZARINI (1975); GODINHO (1976); BARBOSA (1982); SILVEIRA-MENEZES (1984).

Assim existem muitos dados a respeito de alguns compartimentos e fenômenos deste reservatório, permitindo que se execute as fases do processo de modelagem.

3.2- Modelo "Steady-state"

3.2.1- ECOPATH II

O ECOPATH II, escrito em linguagem TURBO C++ para microcomputadores da linha PC, combina o trabalho desenvolvido por POLOVINA (1984), para estimar a biomassa e o consumo de vários elementos de um ecossistema aquático, com a teoria de ULANOWICZ (1986) para análises de fluxos entre os elementos do ecossistema. Esta união foi proposta por PAULY, et al. (1987) e permite a construção de modelos "steady-state" (estado de equilíbrio) em ecossistemas aquáticos. Isto pode fornecer a análise da rede trófica do ecossistema, também conhecida como "network analysis", que inclui análises de ciclos, fluxos, estoques e teoria de informação. O postulado geral da "network analysis" pode ser: "As redes de fluxo de energia e matéria provém uma descrição suficiente dos sistemas fora do ponto de equilíbrio" (ULANOWICZ, 1986).

A primeira versão do ECOPATH surgiu para estimar a biomassa e a produção de um recife de coral nas ilhas havaianas (POLOVINA, 1984). Sua evolução é parte do projeto "Comparações Globais de Ecossistemas Aquáticos" iniciado pela DANIDA (Danish International Development Agency) e executado por V. Christensen e D. Pauly da ICLARM (International Center of Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines). A mais recente e principal colaboração deste projeto é o livro: "Trophic Models of Aquatic Ecosystems", editado por estes pesquisadores, e onde 41 ecossistemas aquáticos de diferentes partes do mundo, são analisados através do programa ECOPATH II.

A equação básica do modelo ECOPATH II é a de um sistema balanceado, isto é, sob condições de equilíbrio. POLOVINA (1984) afirma que existem condições de equilíbrio num sistema quando "a biomassa média anual para cada espécie (ou grupo de) não varia de ano para ano" ou ainda se a soma das interações entre os componentes for maior, que as interações do sistema com o meio externo (CHRISTENSEN & PAULY, 1991). Num sistema em equilíbrio, o consumo de um predador (grupo) gera a mortalidade por predação de sua presa (grupo). Isto é expresso como:

$$\text{CONSUMO} + \text{IMPORT} = \text{PRODUÇÃO} + \text{RESPIRAÇÃO} \quad (3.1)$$

onde:

$\text{PRODUÇÃO} = \text{Export} + \text{Mortalidade por predação} + \text{Outras Mortalidades}$,

onde

Export = parte da produção perdida para outros sistemas (por exemplo, migração, pesca).

A equação de balançamento pode ser matematicamente escrita como:

$$B_i * P_{Bi} * E_{Ei} - \sum_j (B_j * Q_{Bj} * DC_{ji}) - EX_i = 0 \quad (3.2)$$

onde:

B_i - biomassa da presa (i);

P_{Bi} - produção / biomassa da presa (i);

E_{Ei} - eficiência ecotrófica da presa (i);

B_j - biomassa do predador (j);

Q_{Bj} - consumo / biomassa do predador (j);

DC_{ji} - fração da presa (i) na dieta do predador (j);

EX_i - export da presa (i).

Assim para um sistema com n grupos (compartimentos) o sistema terá n equações lineares que são resolvidas usando o "método generalizado de inversas" (MACKAY, 1981). Como o ECOPATH II faz a ligação das diferentes espécies (grupos), ele permite a estimação de qualquer parâmetro desconhecido de cada espécie (grupo).

Entradas (inputs) necessárias para o ECOPATH II:

Unidades

No ECOPATH II, a unidade de trabalho pode ser escolhida entre as seguintes unidades de energia:

Joules (J/m^2)

Kilo - calorias ($kcal/m^2$)

Gramas de Carbono ($g C/m^2$)

Gramas de Peso úmido ($g ww/m^2$) - ww - wet weight

Gramas de Peso seco ($g dw/m^2$) - dw - dry weight

ou unidades de nutrientes:

Miligramas de Nitrogênio (mgN/m²)

Miligramas de Fósforo (mgP/m²)

Quando os dados não estiverem na mesma unidade pode-se usar tabelas que convertem um tipo de unidade em outra (OPTIZ, 1991; JØRGENSEN, 1986).

Tempo

Deve-se lembrar que o ECOPATH II é "steady-state", mas a escolha da unidade de tempo se faz necessária visto que os organismos têm diferentes períodos de vida. Pode-se escolher entre dias, anos ou outra que convier ao usuário.

Detrito (DE)

É uma entrada opcional. Refere-se ao material em suspensão existente no ecossistema. Pode ser calculada com base numa fórmula empírica baseada na produção primária e profundidade eufótica do corpo de água (PAULY et al., 1987):

$$\log DE = 0,954 * \log TPP + 0,863 * \log Euf - 2,41 \quad (3.3)$$

onde:

DE - estoque de detrito (g C/m²)

TPP - produção primária total (g C/m²/year)

Euf - profundidade eufótica (m)

Porém, segundo os autores, esta estimativa é de pouca precisão, pois ela é baseada em dados contendo apenas 14 observações e explicando 52% de sua variância. Assim, ela deve ser usada somente em ecossistemas pouco conhecidos

Import (IMP)

Esta variável refere-se ao aporte de detritos que entra no ambiente.

Produção Primária Total (TPP)

É uma entrada opcional. Quando não há dados disponíveis pode-se avaliá-la consultando "handbooks" (FAO, 1981).

A produção primária é avaliada através de diversos métodos, entre os quais pode-se destacar o Carbono 14.

O programa ECOPATH II fará sua própria estimativa de produção primária total dos grupos identificados como produtores primários. Assim se a Produção primária calculada pelo ECOPATH II for maior que a produção estimada por outros métodos, a diferença entre as duas será um cálculo importante para o ecossistema, pois trata-se do Import para detrito, isto é, produtores primários que morreram e não foram "aproveitados" na cadeia trófica por outras espécies (grupos).

Nomes dos Compartimentos (espécies ou grupos)

Os compartimentos podem ter mais de uma espécie desde que entre estas haja similaridades em seus modos de vida, isto é, mesmo habitat, dieta e características históricas similares (POLOVINA, 1984). A identificação destes componentes e suas formações depende do objetivo do pesquisador, bem como da quantidade e qualidade das informações que ele possui do sistema.

Entrada PP

É uma variável de interesse, pois diferencia os grupos produtores dos consumidores. O valor 1 é para produtores, 0 para consumidores e os valores intermediários para organismos como corais (segundo a relação consumidor/produtor).

Export (EX_i)

Trata-se da parte do compartimento que é exportada do sistema, através de, pesca e/ou emigração. Assim:

$$EX_i = F_i + E_i \quad (3.4)$$

onde:

F_i - pesca da espécie ou grupo (i);

E_i - emigração da espécie ou grupo (i);

Unidade: (t/km²/ano).

Biomassa (B_i)

O modelo ECOPATH II é conhecido como "top-down model" (de cima para baixo). Assim é preferível que se entre com a biomassa do grupo que está no topo da pirâmide trófica, normalmente o predador de topo que é um peixe piscívoro. Segundo OPTIZ (1991) a biomassa destes peixes pode ser introduzida como sendo o próprio valor de captura.

Produção/Biomassa do grupo (i) - (P_{Bi})

Para peixes foi demonstrado por ALLEN (1971) que sob determinadas condições de equilíbrio, P_{Bi} é equivalente à Mortalidade Total (Z). Esta por sua vez é definida pela fórmula:

$$Z_i = M_{O_i} + M_{Z_i} + F_i \quad (3.5)$$

onde:

M_O - outra mortalidade (doenças, fome, idade) da espécie (i);

M_Z - mortalidade por predação da espécie (i);

F - mortalidade por pesca da espécie (i).

A mortalidade Total (Z) pode ser estimada por curvas linearizadas através do programa ELEFAN ("Electronic Length Frequency Analysis") que ainda permite análises de crescimento e recrutamento pesqueiro (PAULY & DAVID, 1981). Este programa tem ampla aceitação internacional no manejo pesqueiro, inclusive para estoques de peixes de água doce (VALDERRAMA-BARCO, 1992).

Num ecossistema em equilíbrio onde não há pesca, P_{Bi} de peixes e invertebrados é igual a sua taxa instantânea de mortalidade natural ($M = M_O + M_Z$), podendo ser estimada através da relação empírica (PAULY, 1980) onde M é uma função dos parâmetros da equação de von Bertalanffy (VBGF):

$$M = K^{0.65} * L_{\infty}^{-0.279} * TC^{0.463} \quad (3.6)$$

onde:

M - mortalidade natural (ano⁻¹);

K - parâmetro da curva de crescimento de von Bertalanffy (ano⁻¹);

L_∞ - comprimento infinito (cm);

TC - temperatura média (°C)

Para outros compartimentos PB, pode ser estimada por métodos diretos (produção de oxigênio, C14, etc. . .) ou métodos indiretos, isto é, equações empíricas. Outra prática comum é usar valores de PB para grupos taxonomicamente próximos ou de ecossistemas com características similares. Estes valores podem ser encontrados em outros trabalhos ou mesmo em manuais de estimativas e taxas como JØRGENSEN et al. (1979).

Consumo/Biomassa de i (QBi)

QB foi definida por PAULY (1986), como o número de vezes que uma população consome seu próprio peso por ano.

Pode ser estimada através de:

i) método analítico - necessita de experimentos de laboratório. Estes experimentos podem ser divididos em dois tipos de acordo com MANN (1978):

a) métodos diretos: tentam simular no laboratório as condições ambientais na qual a espécie está vivendo, imitando variáveis como temperatura, oxigênio, movimentos da água, etc...;

b) métodos indiretos: através de experimentos que fazem estimativas da quantidade de nitrogênio e/ou energia requerida pelo organismo. Esta energia serve como base para estimação do consumo sobre determinadas condições.

ii) método empírico - faz uso de regressões empíricas utilizando algumas características fáceis de quantificar. Um dos principais é o modelo de PALOMARES & PAULY (1989):

$$QB = 3.06 * W_{\infty}^{-0.2018} * TC^{0.6121} * A_r^{0.5156} * 3.53Hd \quad (3.7)$$

onde:

QB - razão anual Consumo/Biomassa;

W_{∞} - peso assintótico (gramas de peso úmido);

Hd - é o tipo de alimento (0 para peixes carnívoros; 1 para herbívoros e detritívoros);

T - temperatura média (°C);

A_r - índice da forma da nadadeira caudal:

$$A_r = h^2 * S \quad (3.8)$$

onde:

h - altura da nadadeira (mm);

S - superfície (mm).

Outra maneira é o uso do programa MAXIMS (JARRE-TEICHMANN et al., 1992) que pode estimar o consumo à partir de dados de conteúdo estomacal num período de 24 horas e/ou através da taxa de excreção dos peixes.

Eficiência Ecotrófica (EEi)

É a fração da produção do grupo consumida por predadores, isto é, aproveitada na cadeia trófica. Varia entre 0 e 1 e pode ser calculada como:

$$EE = 1 - MO_i \quad (3.7)$$

onde:

MO_i - outra mortalidade (doenças, fome, idade); ou ainda mortalidade não relacionada com predação da espécie ou grupo (i).

Desta forma a fração (1 - EE) da produção segue o fluxo para detritos, ou seja, é a produção não aproveitada pelo sistema.

Uma EE baixa representa que o grupo não consome nem é consumido por nenhum outro, e uma EE alta significa que o grupo é predador e/ou é muito predado. Este parâmetro é bastante usado para calibração. É sabido que uma EE maior que 1 é sinal que algo está errado, pois não é possível consumir acima da produção. Segundo JARRE-TEICHMANN (comunicação pessoal),

no momento da calibração deve-se tentar manter a EE entre 0.8 e 0.98.

Coeficiente de Conversão Bruto (GEi)

É a razão entre a produção e o consumo. Muitas vezes não se tem nenhuma idéia do consumo de uma espécie ou grupo. Este valor geralmente varia entre 0.1 e 0.3 já que o consumo deve ser de 3 a 10 vezes maior que a sua produção, assim tendo apenas uma idéia da produção/biomassa (PB) que é um cálculo mais comum nas pesquisas com peixes, pode-se entrar com GE entre 0.1 e 0.3 que o ECOPATH calculará o consumo-biomassa (QB).

Harvest - Biomassa de pesca.

É uma entrada opcional. Trata-se da biomassa total dos peixes pescados no sistema.

Alimento não Assimilado

É a parte da alimentação que se torna fezes. Se nenhuma estimativa deste parâmetro foi realizada para seu grupo, é recomendado por CHRISTENSEN & PAULY (1991), o valor de 20%.

Composição da dieta (DCij)

Proporção que cada presa (i), contribui para a dieta do consumidor (j). A soma destas proporções tem de ser 1 (100%). Em peixes pode ser determinada por análise de conteúdos estomacais através do método dos pontos (HYNES, 1949).

Este parâmetro é muito importante pois nos mostra a estrutura da comunidade trófica e dos fluxos de energia.

A elaboração do modelo não necessita da determinação de todos os parâmetros de entrada para todos os componentes, pois o ECOPATH II liga a produção de um grupo com a dos outros e usa estas ligações para estimar os parâmetros que faltam, baseado na suposição de que a produção de um grupo tem de finalizar em algum lugar do sistema. Como dito anteriormente o método usado é o de MACKAY (1981).

Os dados requeridos pelo ECOPATH II podem ser resumidos da seguinte forma:

- a) Estimativa da Produção Primária (TPP);
- b) Estimativa do Detrito (DE) (material em suspensão);
- c) Estimativa dos detritos que entram no sistema (IMP);
- d) Número de espécies (grupos) a serem considerados;
- e) Biomassa (Bi) para cada espécie (grupo);
- f) Export (EXi), isto é, biomassa retirada das populações exploradas ou biomassa de espécies migradoras para outro ambiente;
- g) Taxa PBi - produção por biomassa - (usualmente Mi ou Zi) para cada espécie (grupo);
- h) Taxa QBi - consumo por biomassa - para cada espécie (grupo);
- i) DCij - composição da dieta para cada espécie (grupo).

Saídas (outputs) fornecidas pelo ECOPATH II

O ECOPATH II além de calcular B, PB, QB desconhecidos, pode nos fornecer os seguintes resultados principais:

Nível trófico (NT) de cada grupo

É assumido o nível trófico de 1 para todos os produtores primários e detritos e o NT para os grupos de consumidores passa a ser:

$$NT = 1 + (\text{média ponderada do nível trófico das presas}).$$

Por exemplo, se um consumidor tem sua dieta formada por 40% de plantas (NT=1) e 60% de herbívoros (NT=2), então seu NT será: $1 + [0,4*1+0,6*2] = 2,6$.

Índice omnívoro (IO)

PAULY et al. (1987) calcularam o IO como a variância dos níveis tróficos do grupo de presas de um consumidor, isto é, quando, por exemplo, o valor é zero significa que o consumidor alimenta-se sobre apenas um nível trófico. Desta forma, este índice serve para avaliar a interrelação entre os níveis tróficos de um sistema.

Índice de reciclagem de Finn (IF)

Este índice foi desenvolvido por FINN (1976) e calcula o quanto de biomassa é reciclada no sistema.

Pirâmide Trófica e Fluxos Relativos (FR)

O ECOPATH II permite a construção das pirâmides tróficas como definidas por LINDEMANN (1942)

as quais representam os níveis tróficos inteiros, através da combinação da soma dos fluxos e das eficiências de transferência. Esta rotina também calcula fluxos relativos (FR) por nível trófico, isto é, a quantia de fluxo existente em cada nível.

Matriz de Leontief

É uma matriz que nos possibilita conhecer os efeitos diretos e indiretos nos grupos, à partir de um aumento de biomassa num único grupo. Esta rotina baseada em HANNON (1973) e HANNON & JOIRIS (1989) permite a análise de sensibilidade do modelo.

Agregação de Grupos

A ascendência e características relacionadas de um ecossistema são afetadas pelo número de grupos pelo qual o sistema é representado. Assim o ECOPATH II permite a redução do número destes grupos para qualquer número desejado.

Por exemplo, neste estudo pode-se agrupar diferentes espécies de peixes com mesmo hábito alimentar.

Caminhos "Pathways"

O ECOPATH II tem uma rotina específica que lista todos os caminhos ("pathways") pelo qual a energia pode fluir no sistema. Com esta rotina pode-se ter idéia da conectividade ("embaraçamento") da rede trófica.

Resumo Estatístico

ODUM (1969), definiu 24 atributos a fim de definir um estágio de amadurecimento dos ecossistemas (Tabela 3.1). Por exemplo, se um ecossistema possui alta quantidade de matéria orgânica, diz-se que ele está "amadurecido" (se baixa, o ecossistema estaria em desenvolvimento). Desta forma conhecendo apenas a matéria orgânica poderíamos concluir à respeito da estrutura da comunidade. Este trabalho de E. P. Odum, apesar de não quantificar os atributos, foi inspirador de outros sobre sucessão e evolução de ecossistemas. Com o aperfeiçoamento das "network analysis" outras formas de pensamento sobre amadurecimento de ecossistemas surgiram (WULFF, et al. 1989; HIGASHI & BURNS, 1991; ULANOWICZ, 1986).

O ECOPATH II fornece vários resultados que permite ao usuário analisar a rede trófica e conseqüentemente o estado de maturidade do ecossistema. A Tabela 3.1 mostra os atributos de ODUM (1969) e alguns cálculos realizados pelo ECOPATH II, que são definidos como quantificações destes atributos.

Tabela 3.1- Atributos da sucessão ecológica: tendências esperadas no desenvolvimento de ecossistemas, segundo ODUM (1969) e respectivos cálculos do ECOPATH II, segundo CRHISTENSEN & PAULY (1991).

<i>Energia da comunid.</i>	<i>em desenvolvimento</i>	<i>madura</i>	<i>ECOPATH II</i>
1 - Prod/Respiração	<1>	=~1~	TPP/TR
2 - Prod/Biomass	alta	baixa	TPP/TB
3 - Biomass/Fluxos	baixa	alta	TB/T
4- Prod. Líquida	alta	baixa	PLS
5- Cadeia Trófica	linear,	detritos	IC;
<i>Estrutura da comunid.</i>	<i>em desenvolvimento</i>	<i>madura</i>	<i>ECOPATH II</i>
6- Mat. Orgânica	pequena	grande	TB
7- Nutrientes Inorg.	extra-biótico	intra	---
8- Variedade de grupos	baixo	alto	---
9- Equitabilid. grupal	baixo	alto	---
10- Diversid. bioquími	baixo	alto	---
11- Estratificação	pouco organizado	muito	---
<i>História de Vida</i>	<i>em desenvolvimento</i>	<i>madura</i>	<i>ECOPATH II</i>
12-Especializ. de nicho	ampla	pouca	IO
13-Tamanho Indivíduo	pequeno	grande	---
14-Ciclos de vida	curto, simples	longo	---
<i>Ciclagem de nutrientes</i>	<i>em desenvolvimento</i>	<i>madura</i>	<i>ECOPATH II</i>
15-Ciclo Mineral	aberto	fechado	IF
16-Troca de nutrientes	rápida	lenta	---
17-Regeneração nutr.	sem importância	com	FR
<i>Pressão seletiva</i>	<i>em desenvolvimento</i>	<i>madura</i>	<i>ECOPATH II</i>
18- Forma crescimento	"r"-rápido	"k"	TB/T
19-Produção	quantidade	qualid.	---
<i>Homeostase total</i>	<i>em desenvolvimento</i>	<i>madura</i>	<i>ECOPATH II</i>
20-Simbiose interna	pouco desenvolvida	muito	---
21-Conservação nutr.	pobre	boa	IF
22-Estabilidade	pobre	boa	Overhead - O
23-Entropia	alta	baixa	TR/TB
24-Informação	baixa	alta	Ascendência

Os atributos calculados aqui serão:

- a) Export Total (TEX): soma de todos os fluxos de energia ou matéria exportados;
- b) Fluxo Total respirado (TR): soma dos fluxos de energia perdidos na respiração;
- c) Fluxo Total para detritos (TDET): energia total que o compartimento Detritos recebe;
- d) Transferências Totais (T): Soma dos três fluxos anteriores, isto é, o total de energia que é trocada no e pelo sistema;
- e) Consumo Total (CT): soma de todos os fluxos que são consumidos;
- f) Produção Total (TP) - soma dos fluxos de produção.
- g) Prod. Prim. Total / Respiração Total (TPP/TR)- (Atributo 1) - ODUM (1971) considera esta uma razão importante para descrever a maturidade de um ecossistema. Em ecossistemas "maduros" é esperado um valor próximo de 1. Valores abaixo de 1 são decorrentes de uma respiração muito alta e pode ser que o sistema esteja sofrendo um grande aporte de nutrientes orgânicos.
- h) Prod. Prim. Total/Biomassa Total (TPP/TB) - (Atributo 2) - nos sistemas "em desenvolvimento" a produção excede a respiração, como consequência haverá um acúmulo de biomassa no sistema ao decorrer do tempo.
- i) Biomassa/Transferências Totais (TB/T) - (Atributo 3 e 18) - um sistema maduro deve ter alta a razão (TB/T), pois os fluxos que chegam no sistema devem aumentar ao máximo sua biomassa;
- j) Produção Líquida do Sistema (PLS) - (Atributo 4) - é a diferença entre a produção primária total e a respiração total do sistema. ODUM (1969) considera que a produção em sistemas imaturos deve ser alta.

i) Índice de Conexão (IC) - (Atributo 5) - É a razão entre o número de conexões existentes na rede e o número teórico (possível) de conexões. Uma conexão é a ligação entre dois compartimentos do ecossistema. Os fluxos para detritos não são contabilizados. E o número possível de conexões é calculado como $(N-1)^2$ onde N é o número de compartimentos;

k) Biomassa Total (TB) - (Atributo 6) - biomassa total do sistema;

l) Respiração/Biomassa (TR/TB) - (Atributo 23) - pode ser vista como uma função termodinâmica. ODUM (1971) atribuiu-lhe o nome de taxa de Schlrödinger, físico que demonstrou que os sistemas ecológicos tem que bombear continuamente "desordem" para poder manter sua ordem interna na presença de flutuações termiais. Assim, biomassas altas requerem altos gastos de manutenção.

Overhead (Atributo 22); Ascendência (Atributo 24); e Desenvolvimento

ULANOWICZ (1986) desenvolveu uma nova interpretação da estrutura e da dinâmica dos ecossistemas. Para este autor o crescimento do sistema é decorrente não do simples aumento de sua biomassa, mas do número de compartimentos e principalmente do aumento do fluxo total no sistema.

A Ascendência é uma medida da informação média mútua trocada dentro do sistema. Estas quantidades são derivadas da teoria da informação. Assim, quando a localização de uma unidade de energia é conhecida, a incerteza de onde ela estará no tempo seguinte é reduzida por uma quantia conhecida como "informação média mútua", expressa por:

$$I = \sum_{ij} f_{ij} * Q_i * [\log_2 (f_{ij} / \sum_k f_{kj} * Q_k)] \quad (3.8)$$

onde:

I - informação média mútua;

k - número de compartimentos;

f_{ij} - fração do fluxo total de j que é passado para i, isto é:

$f_{ij} = T_{ij} / \sum_k T_{kj}$; T_{ij} - fluxo de energia de j para i;

Q_i é a probabilidade que uma unidade de energia passe de j para i, ou:

$$Q_i = \sum T_i / T \quad (3.9)$$

onde:

T é transferência total do sistema, isto é, a soma de todas as trocas entre os compartimentos. Representada matematicamente por:

$$T = \sum_{ij} T_{ij} \quad (3.10)$$

A ascendência foi designada como:

$$A = T * I \quad (3.11)$$

Esta medida foi desenvolvida com o intuito de determinar a maturidade de um ecossistema. ULANOWICZ (1986) postulou que os ecossistemas evoluem tanto quanto se esforçam para otimizar a ascendência. Esta otimização tem um limite denominado capacidade de desenvolvimento (C). É definida como:

$$C = H * T \quad (3.12)$$

onde:

H é a entropia estatística estimada pela fórmula:

$$H = - \sum_i (Q_i * \log Q_i) \quad (3.13)$$

A diferença entre C e A é chamada de "overhead do sistema" (O) e, além de refletir os limites de crescimento do sistema, mostra também as reservas de força que o sistema possui, caso ele venha a sofrer perturbações imprevistas.

Os valores de Ascendência e Overhead, podem ser divididos pelos compartimentos que compõem o sistema, ou pelos tipos de fluxos que são:

- i) "inputs" - fluxos que vêm de fora do sistema;
- ii) internos - fluxos que são trocados dentro do ecossistema;
- iii) "exports" - fluxos que são exportados para fora do ecossistema;
- iv) dissipações - fluxos que são respirados e não aproveitados;

Como já mencionado, ULANOWICZ (1986) afirma que o ecossistema deve evoluir incrementando sua ascendência, através da diminuição de seus "custos" (Overhead - O). Esta evolução têm um limite denominado Capacidade de Desenvolvimento (C). Porém CHRISTENSEN (1995) fez um "ranking" de maturidade para 41 ecossistemas do mundo, usando vários parâmetros e atributos de maturidade de ecossistemas. Este autor encontrou que a maturidade tem uma forte correlação negativa com a ascendência e, então, forte correlação positiva com o overhead. Assim, os ecossistemas tendem a evoluir conforme aumentem sua energia de reserva.

Os atributos restantes da tabela 3.1 são: atributo 12: Índice Omnívoro (IO); atributo 17: Fluxos Relativos (FR); atributos 15 e 21: Índice de Finn (IF), e foram explicados anteriormente (páginas 30 e 31).

3.2.2 - Limites do Sistema

Além da escassez de dados em algumas populações, o modelo, que doravante denominarei como BROA, é também restringido devido à delimitação de sua fronteira. TUNDISI, et al. (1975) dividem a represa do Broa em duas regiões com base em dados de distribuição das populações dos grupos que compõem o zooplâncton. BARBIERI (1984) e SILVEIRA-MENEZES (1984) mostraram que por volta de 10% da superfície da represa é coberta por diferentes espécies de macrófitas. Mesmo assim, adotou-se o critério de considerar o BROA como um lago homogêneo, isto é, o lago se comporta, segundo o modelo, de maneira similar em toda a sua extensão. Para a inclusão de subsistemas, como o da macrófita por exemplo, seria necessário o mesmo tipo de dados coletados apenas neste local, e o resultado seriam dois modelos ECOPATH: um para a região com macrófitas e outro para a região que não tem macrófitas.

3.2.3 - Conjunto de Dados

Os dados usados para a modelagem da Represa do Broa foram obtidos de trabalhos publicados e/ou teses e dissertações relativas à represa e que foram encontradas nas bibliotecas do CREHA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) e da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos).

A decisão para a escolha dos compartimentos foi feita com base no tipo de dados que os trabalhos forneciam. Quando o trabalho não fornecia todos os dados requeridos pelo ECOPATH II, foram realizadas tentativas para que estes fossem estimados. Estas tentativas foram feitas principalmente através da procura de certos dados para as mesmas espécies (grupos, taxons) em outros reservatórios. Assim sem os dados de estimativa de biomassa das populações na própria represa, fica quase impossível a inclusão desta população no modelo.

Apresentação dos compartimentos e respectivos trabalhos

Os compartimentos e os respectivos trabalhos onde as informações foram obtidas são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Compartimentos do modelo BROA e respectivos trabalhos onde as informações foram obtidas.

<i>Fitoplâncton</i>	TUNDISI (1977); TUNDISI et al. (1977); OLIVEIRA (1993)
<i>Perifíton</i>	SOARES (1981)
<i>Macrófitas</i>	BARBIERI (1984) E SILVEIRA-MENEZES (1984)
<i>Benthos</i>	STRIXINO (1973); CÓ (1979)
<i>Zooplâncton</i>	MATSUMURA-TUNDISI et al. (1989); ROCHA & MATSUMURA-TUNDISI (1984); ANGELINI et al. (1994)
<i>Geophagus brasiliensis</i>	BARBIERI (1974, 1975); LIZAMA & VAZZOLER (1993)
<i>Leporinus spp</i>	BARBIERI & GARAVELLO (1981); BARBIERI & BARBIERI (1991); (LIZAMA & VAZZOLER, 1993)
<i>Gymnotus carapo</i>	BARBIERI (1981); BARBIERI & BARBIERI (1983)
<i>Astyanax fasciatus</i>	BARBOSA (1982); BARBOSA & MATSUMURA-TUNDISI (1984)
<i>Hoplias malabaricus</i>	BARBIERI, et al. (1982); LIZAMA & VAZZOLER (1993)

Dados requeridos pelo ECOPATH II

Produção Primária Total

O valor usado foi a soma da produtividade dos 3 produtores primários:

- i) fitoplâncton: TUNDISI (1977) encontrou para a produção primária fitoplanctônica o valor de 150.0 mg C/m²/dia;
- ii) perifíton: calculada por SOARES (1981) foi de 599.82 g C/m²/ano;
- iii) macrófitas: dados de SILVEIRA-MENEZES (1984) apontam para o cálculo de 2270.0 mg C/m²/dia.

A unidade escolhida foi gramas de peso úmido por metro quadrado por ano (g ww/m²/ano). Para a conversão dos valores nesta unidade, foi usada a tabela obtida em Optiz (1991, página 45) que inclui os seguintes fatores de conversão utilizados neste trabalho:

- 1 g C = 10 g ww, para tecidos orgânicos;
- 1 g dw = 4,5 g ww, para tecidos orgânicos;
- 1 g C = 16.7 g ww, para algas e fitoplâncton;
- 1 g C = 3.33 g dw, para produtores primários;
- 1 g dw = 5.71 g ww, para algas e fitoplâncton;

Sigla PP

Neste estudo os compartimentos receberão os seguintes valores de PP:

- 0- fitoplâncton, macrófitas e bacterioplâncton;
- 1- todos os demais compartimentos.

Export

Na represa do Broa não há nenhum estudo sobre a quantidade de peixes que é pescada. Logo, este dado não será introduzido no programa.

Compartimentos

Peixes

BAYLEY & PETRERE (1989) notam que a construção de reservatórios na Amazônia com a finalidade de gerar energia elétrica, é potencialmente a atividade humana mais perigosa à pescaria da região. BARTHEM et al. (1991) mostraram que algumas espécies de bagres migradores na Amazônia podem ter seus estágios naturais de crescimento seriamente afetados pela construção das represas. Apesar disto, PETRERE (1992) mostra que é esperado um aumento na produção pesqueira tão logo o reservatório seja formado. CALIJURI & TUNDISI (1990) apontam o estímulo da pesca esportiva na represa do Broa como uma maneira adequada de recreação para promover o uso múltiplo deste reservatório. ALBINO (1987) considera que a construção da represa do Broa é um dos fatores responsáveis pela redução das condições de sobrevivência e dispersão da fauna ictiológica. As espécies de peixes incluídas no modelo BROA foram: *Astyanax fasciatus*; *Geophagus brasiliensis*; *Gymnotus carapo*; *Hoplias malabaricus*; *Leporinus friderici* e *Leporinus octofasciatus*. Devido à falta de estudos acadêmicos mais

detalhados sobre a composição das espécies na represa do Broa, outras espécies não serão incluídas no modelo.

1- *Gymnotus carapo*

A tuvira pertence à ordem Siluriformes, subordem Gymnotoidei e família Gymnotidae. Alimenta-se normalmente de larvas de bentos, insetos, e detritos (SOARES, 1979). Para Biomassa (Bi) os dados usados são de 1979, obtidos em BARBIERI (1981). Para o cálculo da Produção/Biomassa (PBi), foi usado o valor de mortalidade natural calculado de acordo com o modelo de PAULY (1980), baseado sobre os seguintes parâmetros de crescimento: $L_{\infty} = 60$ cm, $K = 0.3 \text{ year}^{-1}$ (BARBIERI & BARBIERI, 1983) e temperatura média ambiental de 24.7°C. Consumo/Biomassa (QBi) foi calculada com base num Coeficiente de Conversão Bruto (GEi) = 0.167.

2- *Geophagus brasiliensis*

Está inserido na série Percomorpha, ordem Perciformes, subordem Labroidei e família Cichlidae. A espécie *Geophagus brasiliensis* - acará - teve sua taxa de crescimento calculada no reservatório do Broa em: 0,443 para os machos e 0,394 para as fêmeas (BARBIERI 1974, 1975). Os dados para cálculo de Bi são de BARBIERI (1974); PBi foi calculado por PAULY (1980), baseado nos parâmetros de crescimento: $L_{\infty} = 27$ cm, $K = 0.35 \text{ year}^{-1}$ (LIZAMA & VAZZOLER, 1993); QBi foi calculada com base na equação de PALOMARES & PAULY (1989) e os parâmetros são: $W_{\infty} = 363$ g; $A_r = 0.49$. A dieta do *Geophagus* é herbívora e detritívora ($H_d = 1$).

3- *Leporinus spp.*

Na represa do Broa ocorrem duas espécies do gênero *Leporinus*: *L. octofasciatus* e *L. friderici*. Elas foram consideradas no mesmo compartimento, pois ANDRIAN et al. (em preparação) demonstraram que quatro espécies de *Leporinus* (incluindo, *L. friderici*) ocupam a mesma categoria trófica no Rio Paraná. Este grupo além de herbívoro, consome insetos. A biomassa foi estimada através dos trabalhos de BARBIERI & BARBIERI (1991) e BARBIERI & GARAVELLO (1981). PBi foi calculada pelo modelo de PAULY (1980), baseada nos parâmetros de crescimento: $L_{\infty} = 38$ cm, $K = 0.25 \text{ year}^{-1}$ (LIZAMA & VAZZOLER, 1993); QBi foi ajustada através de GEi = 0.16.

4-*Hoplias malabaricus*

Esta espécie é conhecida popularmente como traíra e possui ampla distribuição geográfica. É um peixe essencialmente carnívoro, incluindo canibalismo. Os dados para cálculo de B_i , são para o ano de 1979 e obtidos em BARBIERI et al. (1982). Q_{B_i} foi calculada por PALOMARES & PAULY (1989) e os parâmetros são : $W_\infty = 700\text{g}$; $A_r = 1$; $H_d = 0$ e P_{B_i} foi ajustada usando $GE_i = 0.223$.

5-*Astyanax fasciatus*

O gênero *Astyanax* pertence a: superordem Ostariophysi, série Otophysi, ordem Characiformes, família Characidae e subfamília Tetragonopterinae (Albino, 1987). A espécie *Astyanax fasciatus* - lambari - é considerada a espécie mais abundante na represa do Broa (ALBINO, 1987). A biomassa foi determinada com base em BARBOSA (1982) e BARBOSA & MATSUMURA-TUNDISI (1984). A partir deste último foi possível determinar a composição da dieta, onde nota-se que a preferência alimentar do *Astyanax* é por organismos do zooplâncton. Q_{B_i} foi ajustada em PALOMARES & PAULY (1989) e os parâmetros são: $W_\infty = 98\text{ g}$; $A_r = 2.56$; P_{B_i} através de $GE_i = 0.225$.

6-Benthos

Os organismos de fundo formam elos importantes na rede alimentar de um sistema lacustre, pois muitos deles são micrófagos e, por sua vez, servem de alimentos a vários predadores aquáticos. STRIXINO (1973) e CÓ (1979) estudaram estes organismos na represa do Broa. STRIXINO (1973) determinou o hábito alimentar dos grupos de Chironominae; Tanypodinae e Chaoboridae. Este trabalho, cuja coleta se deu no período de 1972-1973 garantiu os dados de biomassa. P_{B_i} foram obtidos em JØRGENSEN et al. (1979) e assumiu-se o valor de 0.09 para GE_i .

7- Zooplâncton

É o grupo de herbívoros mais importante num ecossistema aquático, pois é o principal fator biológico que controla o crescimento do fitoplâncton e conseqüentemente a produção primária (TUNDISI, 1977). Em virtude de informações detalhadas deste compartimento, ele será dividido em outros quatro - copepoda, cladocera, rotíferos e protozoários. Esta divisão

pretende enriquecer o modelo "steady-state". MATSUMURA-TUNDISI, et al. (1989) e TUNDISI (1977) destacam 3 grupos principais do zooplâncton da represa do Broa:

- i) Copepoda: em termos de biomassa os organismos deste grupo representam 81% da composição zooplanctônica. A espécie *Argyrodiaptomus furcatus* destaca-se pois totaliza quase 79% da biomassa total de zooplâncton da represa do Broa. A população de copepodas é provavelmente controlada pelo lambari.
- ii) Cladocera: este grupo representa, 13,8% da biomassa total zooplanctônica.
- iii) Rotíferos: numericamente é o maior grupo: representam 66,5% do zooplâncton da represa do Broa. Porém em biomassa dizem respeito apenas à 5,4%.

Neste trabalho utilizou-se apenas os dados de *Argyrodiaptomus furcatus* visto que é o mais representativo em termos de biomassa. Os dados de Bi são de 1983-1984 e foram obtidos em MATSUMURA-TUNDISI et al. (1989). PBi foi obtida em ANGELINI et al. (1994). GE foi assumida sendo 0.154. A dieta deste grupo é totalmente composta de fitoplâncton.

Os Coeficientes de Conversão Brutos (GEi) colocados aqui são uma média dos valores destes coeficientes em trabalhos sobre lagos apresentados em CHRISTENSEN & PAULY (1993).

8- Fitoplâncton

TUNDISI (1977) considera a produção primária pelo fitoplâncton de importância básica para os ecossistemas lacustres, pois os organismos constituintes deste grupo, destacam-se pelo potencial de produção orgânica através da fixação de carbono. Assim, mudanças na biomassa deste compartimento afetam as taxas fotossintéticas e de utilização de nutrientes para o ambiente (OLIVEIRA, 1993). Os dados são de TUNDISI et al. (1977) para o período de 1972-1973. As concentrações de clorofila *a* foram convertidas em peso fresco como segue: 1 mg de clorofila *a* = 100 mg peso seco e 1 gr. ww = 0.15 g de peso seco. PBi foi calculada pela razão: Produtividade Primária/Biomassa.

9-Macrófitas

A importância das macrófitas na represa do Broa foi destacada por BARBIERI (1984) e SILVEIRA-MENEZES (1984). Esses Autores chegaram a conclusão que estas plantas têm grande participação na produção total de matéria orgânica, influenciando o metabolismo de todo o ecossistema. Além disso, as macrófitas participam da ciclagem de nutrientes do ambiente, proporcionam habitats e nutrição para o zooplâncton e para os peixes (Barbosa, 1982; Rocha, 1978). Os dados são de SILVEIRA-MENEZES (1984). PBi foi calculada como mostrada anteriormente no fitoplâncton.

As macrófitas ocorrem no Broa apenas numa região da represa. Para simplificar este problema adotar-se-á que elas estão espalhadas por toda a represa.

10- Perifiton

O perifiton estudado no reservatório do Broa tem como substrato o banco de macrófitas. Os dados foram retirados de SOARES (1981) no período de 1978-1979. PBi foi calculada como no fitoplâncton.

11-Detrito

Foi calculado com base na fórmula empírica de PAULY et al., 1987. Os parâmetros foram obtidos em TUNDISI (1987).

3.3 - Modelo de Simulação

3.3.1 - STELLA II

CONSTANZA (1987) diz que a computação permite a construção de grandes modelos de simulação apesar da programação ser encarada como atividade tediosa que requer muito tempo. Porém este mesmo Autor afirma que o STELLA (Structured Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation) pode ser usado como ferramenta pelos biólogos na medida que é de fácil manuseio e não requer grandes conhecimentos de métodos matemáticos. Desta forma o esforço de modelagem em sistemas ecológicos deve se concentrar sobre a ecologia e não sobre a matemática ou computação. KURTZ (1989) acredita que o STELLA pode tornar-se uma grande ferramenta no ensino de análise de sistemas e modelagem dentro de diversas áreas. Ele foi desenvolvido em 1987 e é um pacote ideal para iniciantes em dinâmica de sistemas (RADFORD, 1988). Este programa foi escrito para computadores MacIntosh da Apple

O STELLA permite a construção de modelos de compartimentos gerais, isto é, permite representar sistemas complexos de maneira simples. Basicamente desenha-se o modelo na tela (Fig. 3.3), com as variáveis de estado (retângulos) e variáveis forçantes (círculos). Depois se escreve o conjunto de equações (diferenciais ou de diferença) para cada interrelação entre os componentes. Estas equações descreverão, juntas, toda a dinâmica e o comportamento do modelo. É interessante notar ainda, que as equações não precisam ser resolvidas analiticamente. O usuário entra com a forma diferencial das equações e escolhe o método numérico para resolvê-las: Euler, Runge-Kutta II ou Runge-Kutta IV. O STELLA apresenta os resultados em gráficos ou tabelas.

Este programa vem sendo amplamente usado por muitos pesquisadores-modeladores: JØRGENSEN (1992a); THÉBAULT & SALENÇON (1993); WU, et al. (1993); VALENTIN & COUTINHO (1990); ASMUS (1990).

Neste trabalho foi usado o STELLA II. Esta nova versão tem mais recursos que a anterior, principalmente no que diz respeito à apresentação da tela de trabalho e a velocidade com que o programa é executado.

3.3.2 - Estrutura Quantitativa

3 - Desenvolvimento do modelo de simulação:

O modelo de simulação proposto neste projeto é denominado ELLOBO. (Fig. 3.3).

a) Variáveis de Estado: representam pontos de acumulação de material dentro do sistema. São representadas por retângulos. Neste sistema tem-se as seguintes variáveis de estado:

- S1 - Biomassa do fitoplâncton;
- S2 - Biomassa do zooplâncton;
- S3 - Biomassa do Astyanax;
- S4 - Sedimento

Estas foram escolhidas, pois além de importantes variáveis no subsistema planctônico da represa (base da cadeia trófica), desejou-se conhecer melhor o fenômeno da relação fito-zooplâncton.

b) Variáveis forçantes (ou de direção): representam normalmente as variáveis abióticas. São representadas por círculos e afetam os processos entre as variáveis de estado:

- D1 - Luminosidade;
- D2 - Fosfato Dissolvido;
- D3 - Nitrato;
- D4 - Temperatura;

A escolha destas variáveis foi feita com base em trabalhos que as destacaram como importantes: CALIJURI & TUNDISI (1990); TUNDISI (1977, 1978, 1986); RIETZLER (1991); JØRGENSEN (1994); KREMER & NIXON (1987).

FIGURA 3.3

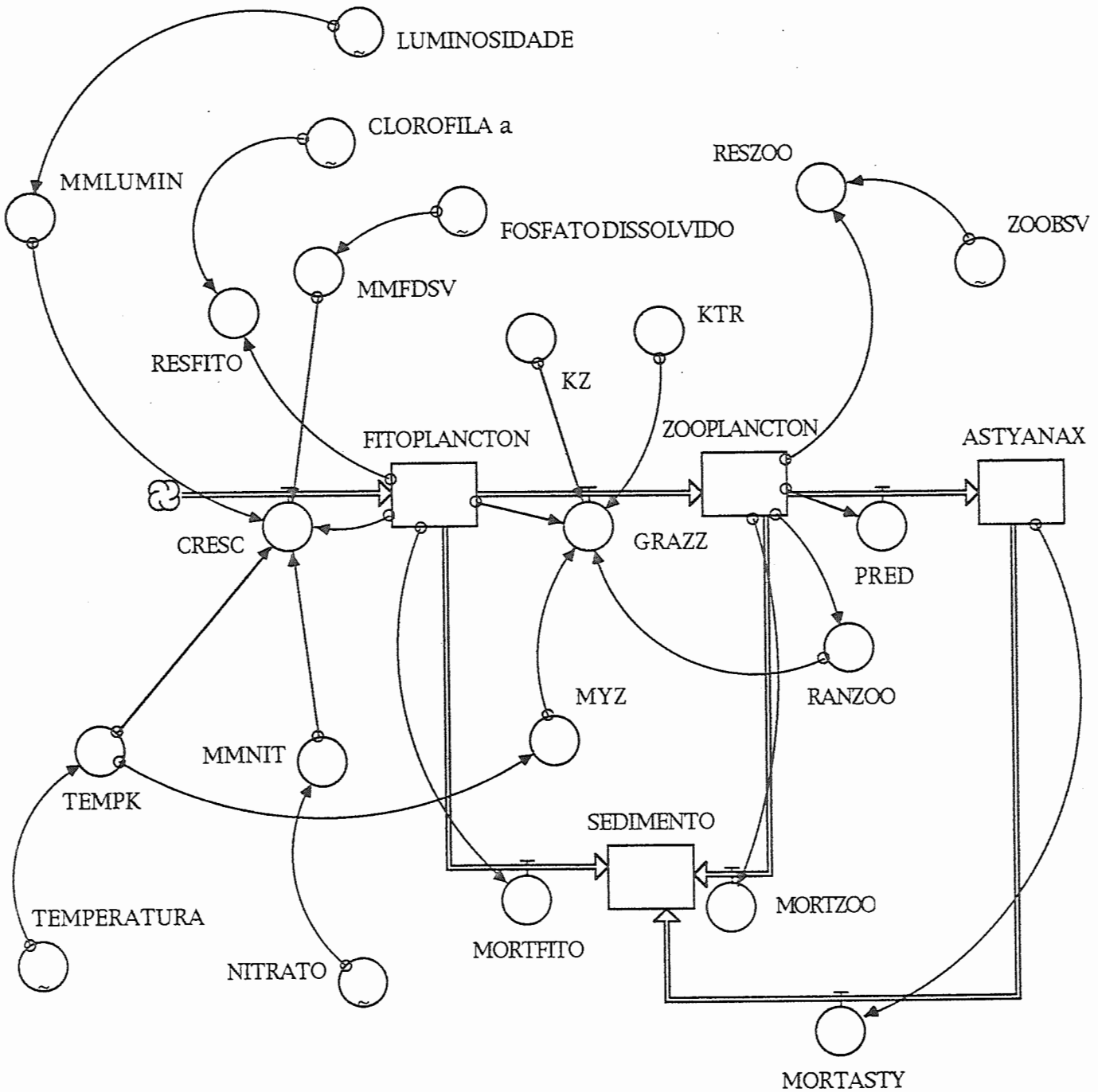


Fig. 3.3 - Modelo de Simulação ELLOBO para a represa do Broa (SP). O modelo foi desenvolvido no programa STELLA II.

c) **Variáveis Fonte e Sumidouro** - representam as fontes e perdas do modelo, estas últimas geralmente não são de interesse do modelador. No STELLA II são representadas pelas "nuvenzinhas". O modelo ELLOBO possui uma variável fonte, que é justamente o início do modelo.

GRANT (1986) identifica as relações entre os componentes do sistema:

i) transferências de material: representa a transferência física de material entre variáveis, isto é, os fluxos de energia ou biomassa. No modelo ELLOBO estas transferências são: CRESC; GRAZZ; PRED; MORTASTY; MORTZOO e MORTFITO.

ii) transferências de informação ou influência: são representadas pelas linhas vermelhas e mostram que variáveis interferem numa determinada transferência de material.

As transferências de material no modelo ELLOBO são descritas abaixo:

1) CRESC

Trata-se do crescimento do fitoplâncton ativo. É função da: luminosidade; fosfato dissolvido; nitrato; temperatura e do próprio fitoplâncton calculado.

$$\text{CRESC} = f(D1, D2, D3, D4, S1)$$

Será representado pela equação:

$$\text{CRESC} = \text{MMLUMIN} * \text{MMFDSV} * \text{TEMPK} * S1 \quad (3.14)$$

para os meses de agosto a novembro, ou

$$\text{CRESC} = \text{MMLUMIN} * \text{MMNIT} * \text{TEMPK} * S1 \quad (3.15)$$

para os outros meses do ano

onde:

a) MMLUMIN: trata-se da variável luminosidade, atuando como limitante através de uma função de Michaelis-Menten (KREMER & NIXON, 1978). Assim tem-se:

$$\text{MMLUMIN} = (\text{LUMINOSIDADE} / (\text{kl} + \text{LUMINOSIDADE})) \quad (3.16)$$

onde: kl é a constante de saturação média ou constante de Michaelis-Menten referente à luminosidade;

O valor de MMLUMIN nunca será maior que 1. Sendo MMLUMIN um multiplicador na função CRESC, ele só poderá ser um limitante (<1, quando os valores de luminosidade forem baixos) ou indiferente no resultado final (=1, quando os valores forem máximos).

O mesmo procedimento foi adotado para os nutrientes:

b) (3.17)
$$\text{MMFDSV} = (\text{FOSFATO_DISSOLVIDO} / (\text{kf} + \text{FOSFATO_DISSOLVIDO}))$$

c) (3.18)
$$\text{MMNIT} = (\text{NITRATO} / (\text{kn} + \text{NITRATO}))$$

d) Para a temperatura foi escolhida a equação de CHEN et al. (1975: apud JORGENSEN, 1994):

$$\text{TEMPK} = \text{K}_{27,1} * \text{KOT} (\text{TEMPERATURA} - 27,1) \quad (3.19)$$

onde:

$\text{K}_{27,1}$ = constante a 27,1°C (temperatura máxima);

KOT = coeficiente dependente da temperatura;

TEMPERATURA = dados observados de temperatura.

e) S1 - são os valores calculados de biomassa fitoplanctônica, isto é, o crescimento do fitoplâncton é dependente da densidade.

Optou-se por duas equações visto que o fosfato é limitante entre os meses de agosto a novembro e o nitrato nos outros meses CALIJURI (com. pessoal).

2) GRAZZ

Refere-se a predação de fitoplâncton por zooplâncton. É função das biomassas de fito e zooplâncton, isto é, dependente da densidade de ambos.

$$\text{GRAZZ} = f(S1, S2).$$

Para representar este processo foi escolhida a função de STEELE (1974: apud JØRGENSEN, 1994):

$$\text{GRAZZ} = \text{MYZ} * ((S1 - \text{KTR})/(\text{KZ}+S1))*S2 \quad (3.20)$$

onde:

- MYZ - taxa de crescimento diária de zooplâncton;
- KTR - concentração inicial para a pastagem (ou "grazing");
- KZ - concentração média de saturação para a pastagem;
- S2 - biomassa de zooplâncton calculada pelo modelo.

3) PRED

Trata-se da predação de zooplâncton pelo *Astyanax fasciatus*, pois BARBOSA & MATSUMURA-TUNDISI (1984) demonstraram que 90% da alimentação deste peixe provém do zooplâncton. Isto lhe confere a posição de fator-chave no controle deste compartimento.

$$\text{PRED} = f(S2)$$

Assim:

$$\text{PRED} = \text{txpred} * S2 \quad (3.21)$$

onde:

- txpred - é a taxa de predação do lambari sobre o zooplâncton;
- S2 - Biomassa de Zooplâncton.

4) MORTFITO

A mortalidade do fitoplâncton é função de sua própria densidade (GRANT, 1986). Nota-se que não se trata da mortalidade por predação que será representada pelo fluxo de material denominado GRAZZ.

$$\text{MORTFITO} = f(S1)$$

No modelo ELLOBO esta equação tomará a seguinte forma:

$$\text{MORTFITO} = \text{ctf} * S1 \quad (3.22)$$

onde:

ctf - taxa de perda de fitoplâncton para sedimento;
S1 - Biomassa de Fitoplâncton.

5) MORTZOO

Trata-se da fração de parte da mortalidade do zooplâncton. É função de sua densidade.

$$\text{MORTZOO} = f(S2)$$

No modelo tem-se:

$$\text{MORTZOO} = \text{ctz} * S2 \quad (3.23)$$

onde:

ctz - é uma constante estimada através da mortalidade total.
S2 - Biomassa de Zooplâncton

6) MORTASTY

Trata-se da mortalidade natural do lambari. É função da própria densidade do *Astyanax fasciatus*, pela predação por outros organismos, doenças, etc...

$$\text{MORTASTY} = f(S3)$$

Assim:

$$\text{MORTASTY} = \text{txast} * S3 \quad (3.24)$$

onde:

txast - taxa de mortalidade natural do lambari;
S3 - Biomassa do lambari.

A unidade básica de tempo (dt) a ser adotada no modelo ELLOBO é a quinzena visto que as coletas foram realizadas neste intervalo de tempo.

As variáveis de estado podem ser definidas:

Biomassa do fitoplâncton:

$$S1(t) = S1(t-dt) + (\text{CRESC} - \text{GRAZZ} - \text{MORTFITO}) * dt \quad (3.25)$$

Biomassa do zooplâncton:

$$S2(t) = S2(t-dt) + (\text{GRAZZ} - \text{PRED} - \text{MORTZOO}) * dt \quad (3.26)$$

Biomassa do Lambari:

$$S3(t) = S3(t-dt) + (\text{PRED} - \text{MORTASTY}) * dt \quad (3.27)$$

Sedimento:

$$S4(t) = S4(t-dt) + (\text{MORTFITO} + \text{MORTZOO} + \text{MORTASTY}) * dt \quad (3.28)$$

Montagem do modelo ELLOBO -

Como este é o primeiro modelo a ser construído no reservatório do Broa, optou-se desde seu início, por uma estrutura simples como mostrada acima. Desta forma, não foram acrescentados aspectos como sedimentação, decomposição e respiração.

Tentou-se modificar o modelo usando outras equações para os fenômenos descritos, mas as equações aqui colocadas foram as que melhor ajustaram os resultados do modelo aos dados observados. Para uma leitura mais enriquecedora deste procedimento ver o capítulo 5 de JØRGENSEN (1994).

Os parâmetros do modelo foram estimados com base em valores encontrados em outros ecossistemas. À partir daí foram modificados para melhor ajustarem as curvas dos valores calculados, de fito e zooplâncton, à dos valores observados. Este procedimento também permitiu a análise de sensibilidade destes parâmetros (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Parâmetros à serem ajustados no modelo ELLOBO.

parâmt	EQUAÇÃO	INTERPRETAÇÃO	UNIDADE
kl	MMLUMIN* (3.16)	cte de Michaelis-Menten específica a luminosidade	não tem
kf	MMFDSV* (3.17)	cte de Michaelis-Menten específica a fosfato dissolvido	não tem
kn	MMNIT* (3.18)	cte de Michaelis-Menten específica a nitrato	não tem
K27,1	TEMPK* (3.19)	constante a 27,1°C (temp. máx.)	não tem
KOT	TEMPK* (3.19)	coeficiente dependente da temp.	não tem
MYZ	GRAZZ (3.20)	taxa de crescimento de zooplanct.	zooplanc/ 15 dias.
KTR	GRAZZ (3.20)	concentração inicial p/ pastagem	gramas/m ³
KZ	GRAZZ (3.20)	concentração média de saturação p/ pastagem	gramas/m ³
txpred	PRED (3.21)	taxa de predação de lambari sobre zooplâncton	%
ctf	MORTFITO (3.22)	taxa de mortalidade de fito p/ sedimento	%
ctz	MORTZOO (3.23)	taxa de mortalidade de zooplâncton p/ sedimento	%
txast	MORTASTY (3.24)	taxa de mortalidade natural do Astyanax	%

* - parte da equação CRESC (crescimento de fitoplâncton).

4 - Resultados

4.1 - Modelo BROA (ECOPATH II)

INPUTS

Unidades de energia, tempo e Export

Como unidade de energia utilizou-se o peso úmido (g ww/m^2), visto que os dados relativos aos peixes encontram-se nesta unidade.

A unidade de tempo escolhida foi o ano.

Não havendo nenhuma estimativa da pesca e emigração dos peixes do reservatório, este parâmetro não foi incluído no modelo.

Estimativas independentes de Import e Detrito

Num primeiro modelo resolveu-se não entrar com estes dados, a fim de se discutir preliminarmente os outros resultados.

Produção Primária Total

A produção primária total, que inclui a produção por macrófitas, fitoplâncton e perifíton foi de $2421.0 \text{ g ww/m}^2/\text{ano}$. (gramas de peso úmido "wet weight")

Compartimentos

Os valores de Biomassa (Bi), Produção/Biomassa (PBi), Consumo/Biomassa (QBi) e Eficiência Bruta (GE), são apresentados na Tabela 4.1.1.

Tabela 4.1.1 - Dados de entrada para o ECOPATH II, modelo BROA. Valores já calibrados. Unidades em g ww/m² ou gww/m²/ano

COMPARTIMENTO	Bi	PBi	QBi	GE
1- <i>Gymnotus carapo</i>	.017	0.8	4.8	0.167
2- <i>Geophagus brasiliensis</i>	.03	0.9	5.7	0.158
3- <i>Leporinus spp</i>	.04	0.8	5.0	0.160
4- <i>Hoplias malabaricus</i>	.02	1.45	6.5	0.223
5- <i>Astyanax fasciatus</i>	.1	2.7	12.0	0.225
6- Benthos	.729	1.0	11.0	0.091
7- Zooplanton	.314	40.0	260.0	0.154
8- Fitoplancton	4.5	170.0	---	
9- Macrofitas	648.2	2.13	---	
10- Perifiton	1.501	16.2	---	
11- Detritus				

A matriz de composição da dieta foi representada como mostra a Tabela 4.1.2.

Tabela 4.1.2 - Matriz de composição da dieta (DCij) do predador j (linhas) sobre as presas i (colunas) para o modelo BROA. A soma das linhas resulta em 100%. Dados em porcentagem.

GR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	imp
1						70					30	
2								20	10	10	60	
3						40		20	20	10		10
4	10	20	20	20	30							
5							70	10	10		10	
6								60			40	
7								100				

Os grupos são: 1- *Gymnotus carapo*; 2- *Geophagus brasiliensis*; 3- *Leporinus spp*; 4- *Hoplias malabaricus*; 5- *Astyanax fasciatus*; 6- Benthos; 7- Zooplanton; 8- Fitoplancton; 9- Macrofita; 10- Perifiton; 11- Detritos; imp - Import.

OUTPUTS

As tabelas 4.1.3 e 4.1.4 e Figuras 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3, mostram os principais resultados fornecidos pelo ECOPATH II.

Tabela 4.1.3 - Eficiência Ecotrófica (EEi); Coeficiente de Eficiência Bruta (GEi); Nível Trófico (NTi); Índice Omnívoro (IO) e Fluxo para Detritos (Fluxo p/ 11), para os compartimentos do modelo BROA. A unidade do Fluxo para Detritos é g ww/m²/ano. Os outros valores não tem unidade.

COMPARTIMENTO	EE	NT	IO	Fluxo p/ 11
1- <i>Gymnotus</i>	0.956	2.70	0.21	0.017
2- <i>Geophagus</i>	0.963	2.00	0.00	0.035
3- <i>Leporinus</i>	0.813	2.44	0.24	0.046
4- <i>Hoplias</i>	0.897	3.71	0.32	0.029
5- <i>Astyanax</i>	0.144	2.70	0.21	0.471
6- <i>Benthos</i>	0.188	2.00	0.00	2.196
7- <i>Zooplankton</i>	0.067	2.00	0.00	28.048
8- <i>Fitoplancton</i>	0.113	1.00	0.00	678.354
9- <i>Macrofita</i>	0.000	1.00	0.00	1380.681
10- <i>Perifiton</i>	0.002	1.00	0.00	24.279
11- <i>Detrito</i>	0.001	1.00	0.02	---

Tabela 4.1.4 - Resumo Estatístico da rede de fluxos para o modelo BROA. Dados em g ww/m² ou g ww/m²/ano.

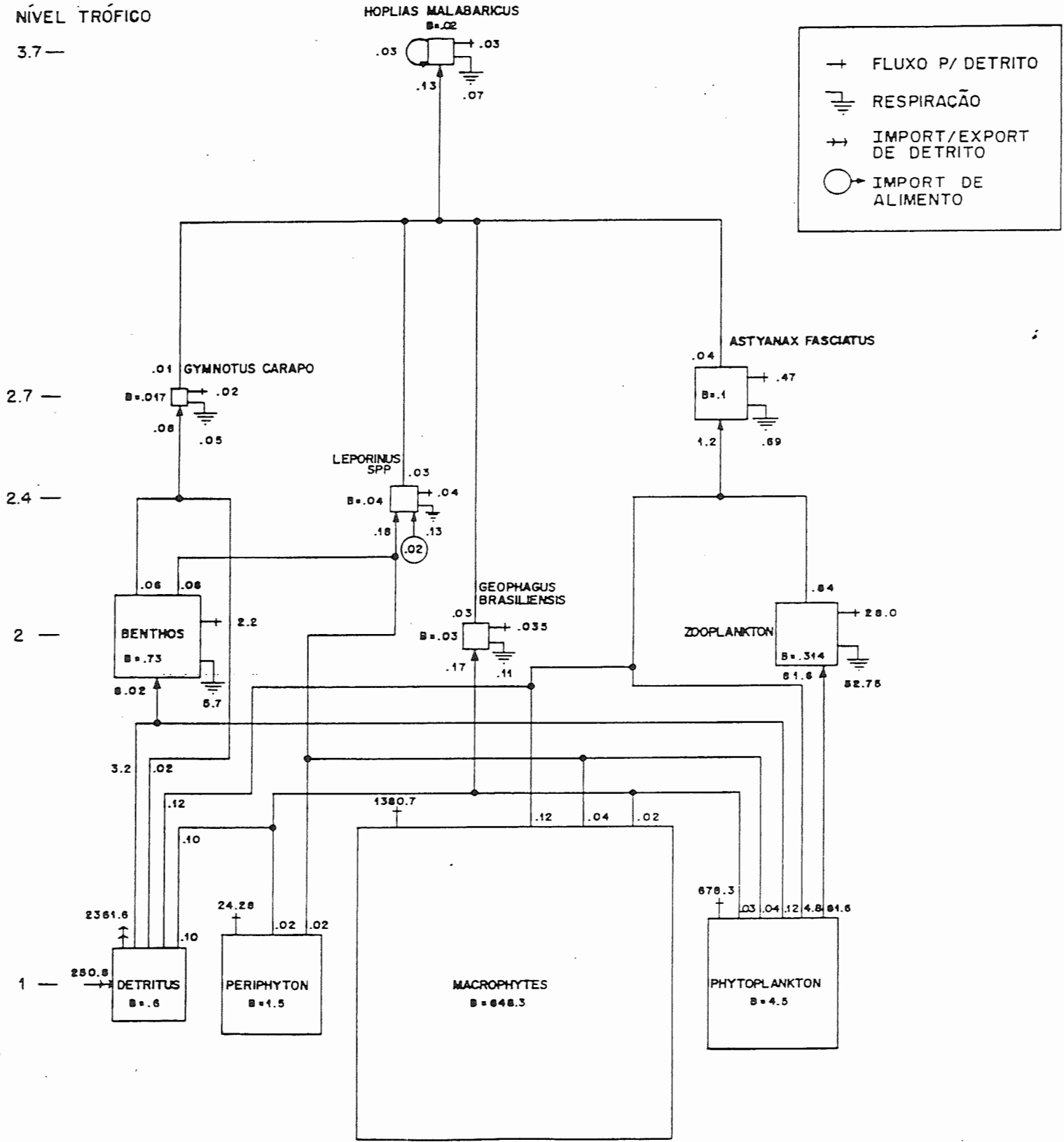
Consumo Total (CT)	91.4
Export Total (TEX)	2361.5
Fluxo Total de Respiração (TR)	59.5
Fluxo Total para Detritos (TDET)	2365.0
Transferências Totais (T)	4877.4
Produção Total (TP)	2183.8
Prod. Prim. estimada independente (TPP)	2421.0
Prod. Prim. calculada no ECOPATH II-TPP'	2170.2
Prod. Prim. Tot / Respiração Tot (TPP/TR)	40.69
Produção Líquida do Sistema (PLS)	2361.50
Prod. Prim. Tot / Biomassa Tot (TPP/TB)	3.69
Biomassa Tot / Transferências Tot (TB/T)	0.13
Biomassa Total (excluindo Detritos)	655.5
Índice de Conexão (IC)	0.22
Índice de Sistema Onívoro Total (IO)	0.05

A Figura 4.1.1 mostra o modelo BROA, com os valores dos fluxos que os compartimentos trocam entre si. No eixo Y, desta Figura, tem-se os níveis tróficos. O tamanho das caixas é proporcional à biomassa dos compartimentos.

FIGURA 4.1.1

NÍVEL TRÓFICO

3.7 —



O número de "pathways" do sistema, isto é, caminhos que a energia percorre dos produtores primários, até os predadores de topo é 24 e o tamanho médio destes caminhos é 1.71.

O ECOPATH II calculou o valor de 2170.2 g ww/m²/ano (Tab. 4.4) para produção primária. Como o valor de entrada foi de 2421.0 g ww/m², logo a diferença (250.8), é fluxo de produtores primários para detrito (como explicado anteriormente).

As Tabelas 4.1.5 e 4.1.6 mostram os resultados de Ascendência (A); Overhead (O); Capacidade de Desenvolvimento (C) e Transferência total (Ti) para cada compartimento, e para cada tipo de fluxo, além dos valores totais do sistema.

Tabela 4.1.5-Ascendência (A); Overhead (O); Capacidade de Desenvolvimento (C) e Transferência total (Ti) para os compartimentos, e para o sistema todo do modelo BROA. Unidades: Flowbits (log na base 2).

COMPARTIMENTO	A	O	C	Ti
1- <i>Gymnotus</i>	0.44	0.96	1.4	0.08
2- <i>Geophagus</i>	0.91	1.84	2.75	0.17
3- <i>Leporinus</i>	1.02	2.51	3.53	0.20
4- <i>Hoplias</i>	0.72	1.44	2.16	0.13
5- <i>Astyanax</i>	4.09	11.67	15.77	1.20
6- <i>Benthos</i>	32.65	49.37	82.03	8.02
7- <i>Zooplankton</i>	292.70	271.04	563.75	81.64
8- <i>Fitoplankton</i>	818.21	1645.27	2463.48	765.00
9- <i>Macrofitas</i>	1441.36	1075.33	2516.68	1380.86
10- <i>Perifiton</i>	25.46	160.95	186.41	24.32
11- <i>Detritos</i>	2726.89	855.87	3582.76	2364.98
Total	5344.46	4076.27	9420.73	4877.44
Total (%)	56.7%	43.3%	100.0%	--

Tabela 4.1.6 - Ascendência (A); Overhead (O) e Capacidade de Desenvolvimento (C) para os diversos tipos de fluxos e para o sistema todo do modelo BROA. Unidades: flowbits e porcentagens.

Tipo	A		O		C	
	flowbit	%	flowbit	%	flowbit	%
Inputs	261.9	2.8	812.3	8.6	1074.2	11.4
Internos	2275.0	24.1	3185.9	33.8	5460.9	58.0
Export	2466.1	26.2	5.0	0.1	2471.1	26.2
Respiração	341.4	3.6	73.1	0.8	414.4	4.4
Total	5344.5	56.7	4076.3	43.3	9420.7	100.0

O índice de reciclagem de Finn foi igual à zero em termos de porcentagem das transferências totais (T).

As Tabelas 4.1.7 e 4.1.8 mostram, respectivamente os fluxos relativos e absolutos por nível trófico.

Tabela 4.1.7 - Fluxos relativos (FR) por nível trófico para o reservatório do Broa (SP).

COMPARTIMENTO	I	II	III	IV
1- <i>Gymnotus carapo</i>		0.30	0.70	
2- <i>Geophagus brasiliensis</i>		1.00		
3- <i>Leporinus spp</i>		0.55	0.44	
4- <i>Hoplias malabaricus</i>			0.54	0.46
5- <i>Astyanax fasciatus</i>		0.30	0.70	
6- <i>Benthos</i>		1.00		
7- <i>Zooplankton</i>		1.00		
8- <i>Fitoplankton</i>	1.00			
9- <i>Macrofita</i>	1.00			
10- <i>Perifiton</i>	1.00			
11- <i>Detrito</i>	1.00			

Tabela 4.1.8- Fluxos absolutos por nível trófico para o reservatório do Broa (SP).

COMPARTIMENTO	I	II	III	IV
4- <i>Hoplias malabaricus</i>			00.07	00.06
1- <i>Gymnotus carapo</i>		00.02	00.06	
5- <i>Astyanax fasciatus</i>		00.36	00.84	
3- <i>Leporinus spp</i>		00.11	00.09	
2- <i>Geophagus brasiliensis</i>		00.17		
6- <i>Benthos</i>		08.02		
7- <i>Zooplanton</i>		81.60		
8- <i>Fitoplancton</i>	765.00			
9- <i>Macrofita</i>	1381.00			
10- <i>Perifiton</i>	24.30			
11- <i>Detrito</i>	2365.00			
Total	4535.00	90.30	1.06	00.06

As Tabelas 4.1.9, 4.1.10 e 4.1.11 mostram a os fluxos distribuídos em diferentes níveis tróficos sob distintas fontes.

Tabela 4.1.9 - Distribuição dos fluxos por nível trófico originados dos Produtores Primários para o modelo BROA. NT: Nível Trófico; I: Import; PRED: Energia consumida pelos predadores; EX: Export; FDT: Fluxo para Detritos; R: Respiração; T: Transferências Totais.

NT	I	PRED	EX	FDT	R	T
I	00.00	86.86	00.00	2083.31	00.00	2170.17
II		00.95	00.00	29.50	56.41	86.87
III		00.04	00.00	00.36	00.56	00.96
IV		00.00	00.00	00.01	00.03	00.04

Tabela 4.1.10 - Distribuição dos fluxos originados dos Detritos por nível trófico para o modelo BROA. NT: Nível Trófico; I: Import; PRED: Energia consumida pelos predadores; EX: Export; FDT: Fluxo para Detritos; R: Respiração; T: Transferências Totais.

NT	I	PRED	EX	FDT	R	T
I	250.82	03.45	2361.53	00.00	00.00	2615.81
II		00.08	00.00	00.95	02.42	03.45
III		00.00	00.00	00.02	00.05	00.08
IV		00.00	00.00	00.00	00.00	00.01

Tabela 4.1.11 - Distribuição de todos os fluxos Combinados (soma das Tabelas 4.1.9 e 4.1.10) por nível trófico para o modelo BROA. NT: Nível Trófico; I: Import; PRED: Energia consumida pelos predadores; EX: Export; FDT: Fluxo para Detritos; R: Respiração; T: Transferências Totais.

NT	I	PRED	EX	FDT	R	T
I	250.82	90.31	2361.53	2083.31	00.00	4785.98
II		01.03	00.00	30.45	58.84	90.32
III		00.05	00.00	00.38	00.62	01.04
IV		00.00	00.00	00.01	00.04	00.05

A tabela 4.1.12 mostra as eficiências de transferência de energia por nível trófico, à partir de diversas fontes. É importante notar que estes níveis tróficos são discretos.

Tabela 4.1.12 - Eficiências de transferência de energia por nível trófico, à partir de diferentes fontes para o modelo BROA.

FONTE\NÍVEL	I	II	III
Produtores	--	1.1	4.1
Detritos	--	2.3	10.1
Todos os Fluxos	--	1.1	4.6

Interpreta-se assim:

i) De toda energia oriunda dos produtores primários e que vai para o NT = II apenas 1.1% é enviada para o NT=III. Este envia 4.1% desta energia para o nível trófico IV.

ii) De toda a energia oriunda de detritos que entra no NT = II apenas 2.3% é enviada para o NT=III. O NT=III envia 10.1% desta energia para o NT=IV.

iii) De toda a energia que entra no NT=II (90.32 - Tab. 4.1.11) apenas 1.1% é enviada para o NT=III (1.04 - Tab. 4.1.11). E desta, apenas 4.6% é enviada ao nível trófico IV (0.09 - Tab. 4.1.11).

Melhor visualização dos baixos valores de aproveitamento de energia entre os níveis tróficos podem ser visualizados na Figura 4.1.2. Esta mostra a pirâmide de Lindemann modificada. A base da pirâmide representa a herbivoria (NT=II), e é grande quando comparada com a Baía de Tongoy no Chile (WOLFF, 1994). Ela mostra que o ecossistema do reservatório do Broa concentra 98,5% do total de seus fluxos nos níveis tróficos I e II.

FIGURA 4.1.2

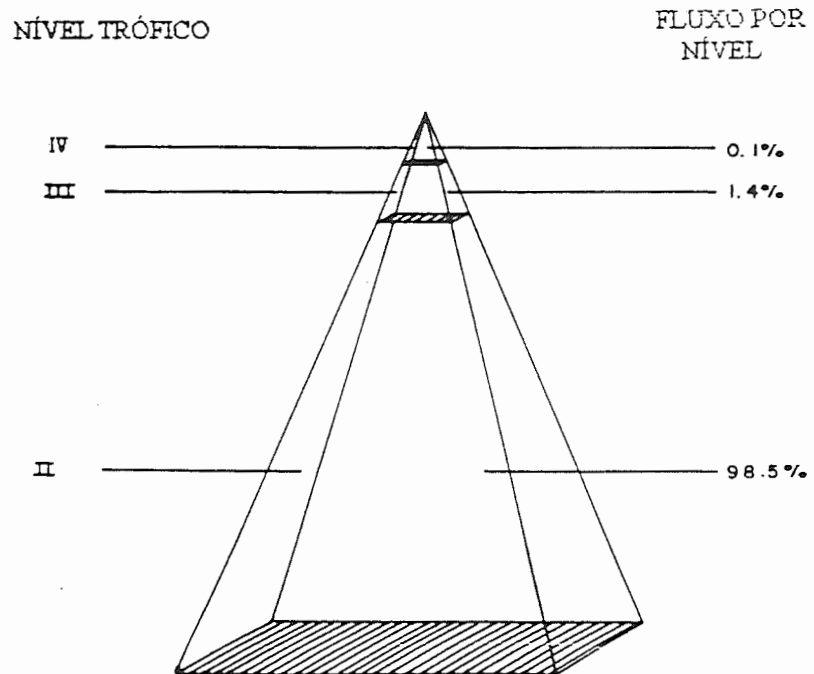


Figura 4.2.1 - Pirâmide de Lindemann modificada para o reservatório do Broa

Os valores calculados para a matriz de Leontief estão na Tabela 4.1.13 e ilustrados na Figura 4.1.3.

Tabela 4.1.13 - Matriz de Impacto para o modelo BROA. Nas colunas tem-se o grupo impactado, nas linhas o impactante. Valores negativos referem-se a perda de biomassa, positivos à acúmulo. Os grupos são: 1- *Gymnotus*; 2- *Geophagus*; 3- *Leporinus*; 4-*Hoplias*; 5- *Astyanax*; 6- *Bentos*; 7- *Zooplankton*; 8- *Fitoplancton*; 9- *Macrófita*; 10- *Perifíton*; 11- *Detritos*.

Grupo Impactado

GR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-0.04	-0.02	-0.03	0.07	-0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
2	-0.07	-0.07	-0.05	0.13	-0.01	-0.01	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.02
3	-0.07	-0.04	-0.06	0.13	-0.01	-0.02	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.02
4	-0.28	-0.29	-0.24	-0.33	-0.05	0.01	0.00	-0.00	0.00	0.00	-0.00
5	-0.09	-0.10	-0.07	0.19	-0.03	0.00	-0.03	0.00	-0.00	0.00	-0.03
6	0.31	-0.39	0.29	-0.01	-0.07	-0.28	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.65
7	-0.07	-0.06	-0.08	0.12	0.61	-0.04	-0.11	-0.09	-0.00	0.00	0.02
8	0.07	-0.12	0.27	0.18	0.66	0.38	0.88	-0.10	-0.00	-0.00	-0.37
9	-0.03	0.07	0.18	0.06	0.09	-0.01	-0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00
10	-0.01	0.09	0.09	0.03	-0.00	-0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00
11	0.36	0.39	0.07	0.11	0.06	0.28	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00

FIGURA 4.1.3

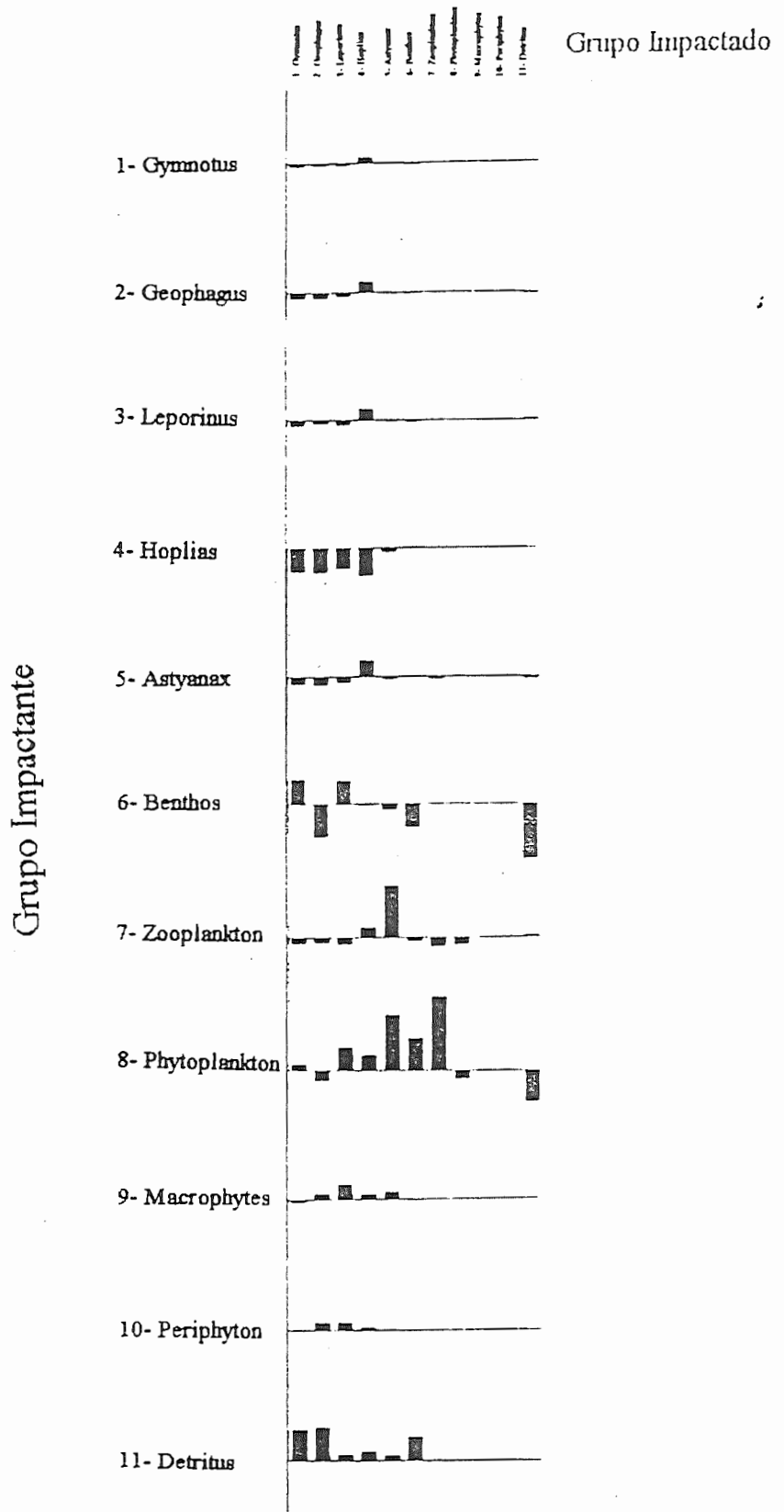


Figura 4.1.3 - Matriz de Impacto para o modelo BROA do reservatório do Broa (SP). Os valores encontram-se na Tabela 4.1.13.

4.2 - Modelo ELLOBO (Stella II)

A Figura 3.3 mostra o modelo final. As tabelas 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 mostram as equações, os parâmetros e os dados usados no modelo ELLOBO.

Tabela 4.2.1 - Equações e parâmetros no modelo ELLOBO, impressas pelo STELLA II.

- ASTYANAX(t) = ASTYANAX(t - dt) + (PRED - MORTASTY) * dt
INIT ASTYANAX = .033
INFLOWS:
 - \Rightarrow PRED = ZOOPLANCTON*.1OUTFLOWS:
 - \Rightarrow MORTASTY = ASTYANAX*.28

- FITOPLANCTON(t) = FITOPLANCTON(t - dt) + (CRESC - GRAZZ - MORTFITO) * dt
INIT FITOPLANCTON = 2.335
INFLOWS:
 - \Rightarrow CRESC = IF (TIME>=8) AND (TIME<=12)
THEN (MMLUMIN*MMFDSV*FITOPLANCTON*TEMPK)
ELSE (MMLUMIN*MMNIT*FITOPLANCTON*TEMPK)OUTFLOWS:
 - \Rightarrow GRAZZ = MYZ*((FITOPLANCTON-KTR)/(KZ+FITOPLANCTON))*RANZOO
 - \Rightarrow MORTFITO = FITOPLANCTON*.394

- SEDIMENTO(t) = SEDIMENTO(t - dt) + (MORTFITO + MORTZOO + MORTASTY) * dt
INIT SEDIMENTO = .01
INFLOWS:
 - \Rightarrow MORTFITO = FITOPLANCTON*.394
 - \Rightarrow MORTZOO = ZOOPLANCTON*.24
 - \Rightarrow MORTASTY = ASTYANAX*.28

- ZOOPLANCTON(t) = ZOOPLANCTON(t - dt) + (GRAZZ - PRED - MORTZOO) * dt
INIT ZOOPLANCTON = 1.45
INFLOWS:
 - \Rightarrow GRAZZ = MYZ*((FITOPLANCTON-KTR)/(KZ+FITOPLANCTON))*RANZOOOUTFLOWS:
 - \Rightarrow PRED = ZOOPLANCTON*.1
 - \Rightarrow MORTZOO = ZOOPLANCTON*.24

Tabela 4.2.2 - Variáveis forçantes, parâmetros e dados utilizados no modelo ELLOBO, impressas pelo STELLA II.

<input type="radio"/>	KTR = .59
<input type="radio"/>	KZ = 1.35
<input type="radio"/>	MMFDSV = (FOSFATO DISSOLVIDO/(.86+FOSFATO DISSOLVIDO))
<input type="radio"/>	MMLUMIN = (LUMINOSIDADE/(1+LUMINOSIDADE))
<input type="radio"/>	MMNIT = (NITRATO/(1.05+NITRATO))
<input type="radio"/>	MYZ = .8*TEMPK
<input type="radio"/>	RANZOO = RANDOM(.8,3.33,ZOOPLANCTON)
<input type="radio"/>	RESFITO = (CLOROFILA_a-FITOPLANCTON)/CLOROFILA_a
<input type="radio"/>	RESZOO = (ZOOBSV-ZOOPLANCTON)/ZOOBSV
<input type="radio"/>	TEMPK = (1.06^(TEMPERATURA-27.1))*1.003
<input checked="" type="radio"/>	CLOROFILA_a = GRAPH(TIME) (0.00, 2.33), (1.04, 3.53), (2.08, 4.00), (3.12, 1.33), (4.16, 1.07), (5.20, 2.14), (6.24, 1.33), (7.28, 3.10), (8.32, 4.84), (9.36, 2.86), (10.4, 2.31), (11.4, 2.75), (12.5, 3.08), (13.5, 2.97), (14.6, 3.30), (15.6, 5.49), (16.6, 5.38), (17.7, 5.27), (18.7, 5.60), (19.8, 5.93), (20.8, 4.95), (21.8, 4.00), (22.9, 3.20), (23.9, 3.47), (25.0, 3.47), (26.0, 4.54)
<input checked="" type="radio"/>	FOSFATO DISSOLVIDO = GRAPH(TIME) (0.00, 1.10), (1.04, 1.20), (2.08, 8.30), (3.12, 6.30), (4.16, 1.50), (5.20, 1.50), (6.24, 3.60), (7.28, 2.80), (8.32, 2.16), (9.36, 4.70), (10.4, 3.00), (11.4, 2.20), (12.5, 2.50), (13.5, 2.70), (14.6, 5.30), (15.6, 3.35), (16.6, 2.70), (17.7, 3.20), (18.7, 3.00), (19.8, 2.24), (20.8, 2.40), (21.8, 2.20), (22.9, 2.30), (23.9, 2.80), (25.0, 1.20), (26.0, 1.60)
<input checked="" type="radio"/>	LUMINOSIDADE = GRAPH(TIME) (0.00, 140), (2.36, 150), (4.73, 130), (7.09, 120), (9.45, 140), (11.8, 130), (14.2, 190), (16.5, 200), (18.9, 210), (21.3, 230), (23.6, 230), (26.0, 220)
<input checked="" type="radio"/>	NITRATO = GRAPH(TIME) (0.00, 2.00), (1.04, 2.00), (2.08, 49.9), (3.12, 47.1), (4.16, 44.2), (5.20, 55.3), (6.24, 46.4), (7.28, 51.0), (8.32, 54.6), (9.36, 48.3), (10.4, 30.0), (11.4, 20.0), (12.5, 32.0), (13.5, 50.7), (14.6, 39.1), (15.6, 23.1), (16.6, 3.70), (17.7, 3.40), (18.7, 3.00), (19.8, 3.00), (20.8, 3.00), (21.8, 1.00), (22.9, 1.00), (23.9, 2.20), (25.0, 4.04), (26.0, 4.00)
<input checked="" type="radio"/>	TEMPERATURA = GRAPH(TIME) (0.00, 24.2), (1.04, 24.0), (2.08, 24.3), (3.12, 23.2), (4.16, 20.5), (5.20, 20.4), (6.24, 20.4), (7.28, 20.6), (8.32, 22.1), (9.36, 17.1), (10.4, 18.5), (11.4, 19.3), (12.5, 18.3), (13.5, 22.0), (14.6, 20.8), (15.6, 21.9), (16.6, 24.2), (17.7, 25.0), (18.7, 24.5), (19.8, 25.6), (20.8, 27.1), (21.8, 26.0), (22.9, 26.3), (23.9, 26.8), (25.0, 25.8), (26.0, 25.0)
<input checked="" type="radio"/>	ZOOBSV = GRAPH(TIME) (0.00, 1.45), (1.04, 1.60), (2.08, 3.10), (3.12, 1.40), (4.16, 1.12), (5.20, 1.25), (6.24, 0.8), (7.28, 1.10), (8.32, 1.60), (9.36, 1.62), (10.4, 2.55), (11.4, 3.20), (12.5, 1.73), (13.5, 1.23), (14.6, 2.10), (15.6, 0.85), (16.6, 2.23), (17.7, 1.27), (18.7, 2.75), (19.8, 2.30), (20.8, 0.8), (21.8, 1.10), (22.9, 1.23), (23.9, 1.80), (25.0, 3.30), (26.0, 2.10)

Tabela 4.2.3 - Parâmetros ajustados no modelo ELLOBO.

parâmt	EQUAÇÃO	valor ajustado
kl	MMLUMIN*	1
kf	MMFDSV*	0,86
kn	MMNIT*	1,05
K27,1	TEMPK*	1,003
KOT	TEMPK*	1,06
MYZ	GRAZZ	0,8 zooplâncton/ 15 dias
KTR	GRAZZ	0,59 gramas/m ³
KZ	GRAZZ	1,35 gramas/m ³
txpred	PRED	0,1 = 10% de zoo
ctf	MORTFITO	0,394 = 39,4% de fito
ctz	MORTZOO	0,24 = 24% de zoo
txast	MORTASTY	0,28 = 28% de Astyanax

* - parte da equação CRESC de crescimento fitoplanctônico.

Sobre cada variável de estado pode-se ressaltar:

Biomassa do Fitoplâncton (S1)

a) O valor inicial usado é o valor observado de clorofila *a*, para o mês de abril.

b) A Figura 4.2.1 mostra os valores esperados (1-FITOPLANCTON) e observados (2 - CLOROFILA a).

c) A Figura 4.2.2 mostra a análise de resíduos entre estas duas curvas (observado - esperado).

d) A mortalidade natural (excluindo predação) foi estimada em 39,4%.

FIGURA 4.2.1

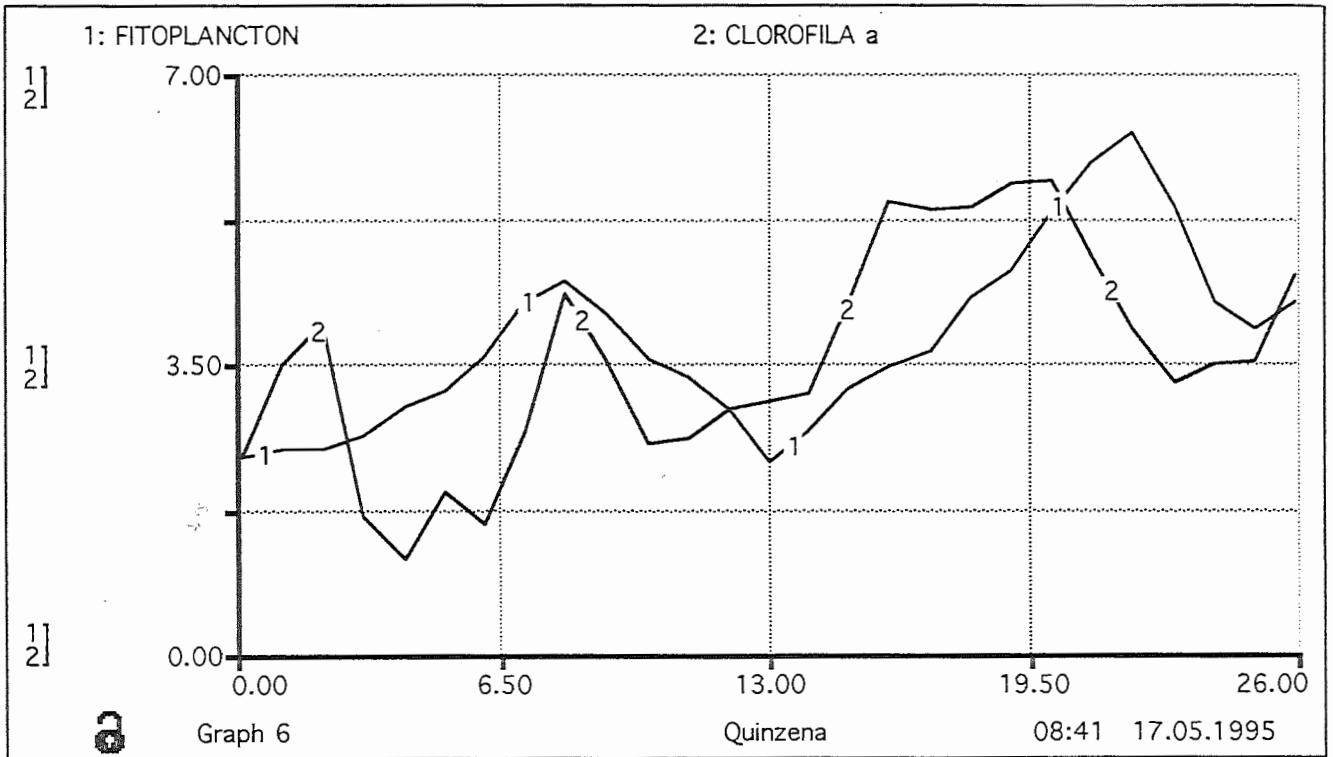


Figura 4.2.1 - Dados observados (2 - CLOROFILA a) e calculados pelo modelo ELLOBO (1 - FITOPLANCTON). (04/84 - 03/85)

FIGURA 4.2.2

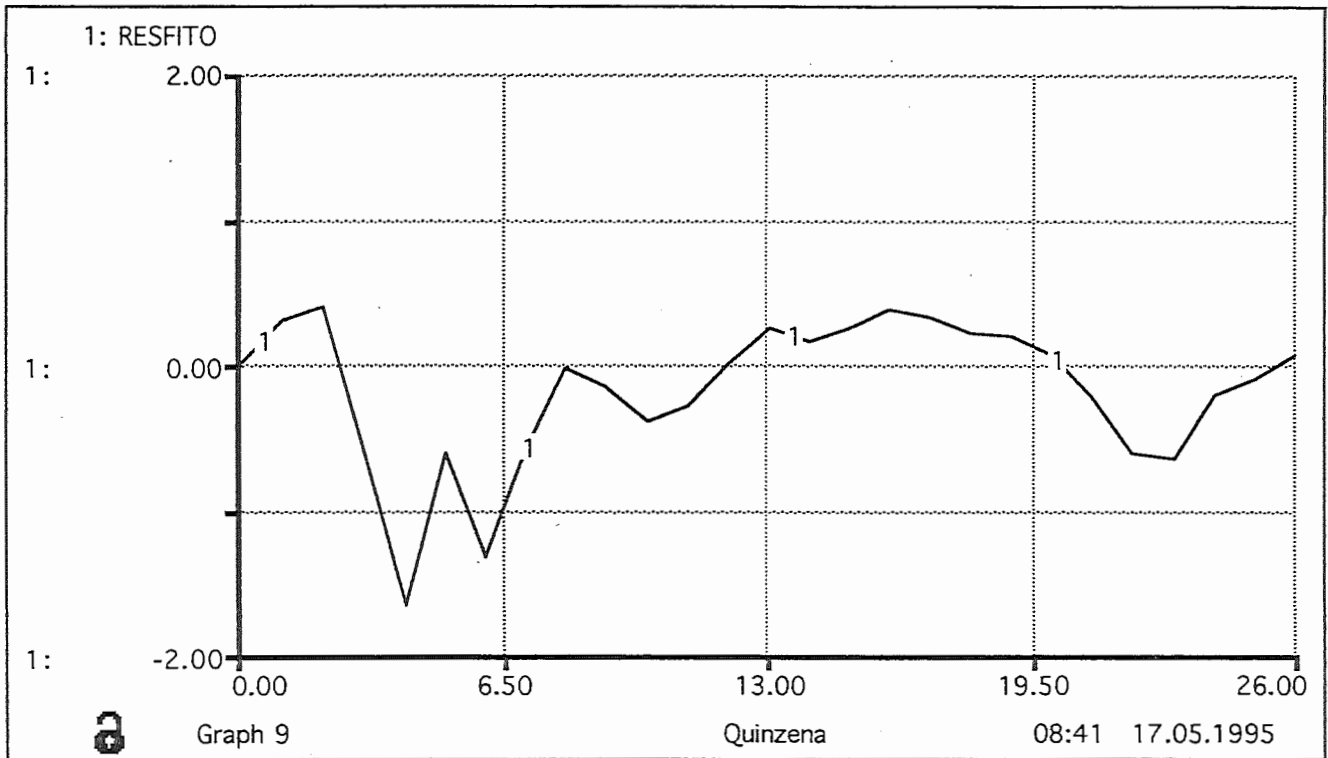


Figura 4.2.2 - Análise de Resíduos Ordinária para a Figura 4.2.1.

Biomassa do Zooplâncton (S2)

a) A Figura 4.2.3 mostra as curvas dos valores esperados (1 - ZOOPLANCTON) e observados (2 - ZOOBSV).

b) A Figura 4.2.4 mostra a análise de resíduos ordinária ([observado - esperado]/observado).

c) Os valores da equação de Steele ajustados foram:

MYZ - taxa de crescimento: 0,8

KTR - concentração inicial p/ "grazing": 0,59

KZ - concentração média de saturação p/ "grazing": 1,35

d) A mortalidade natural (excluindo a predação) foi estimada em 24%.

FIGURA 4.2.3

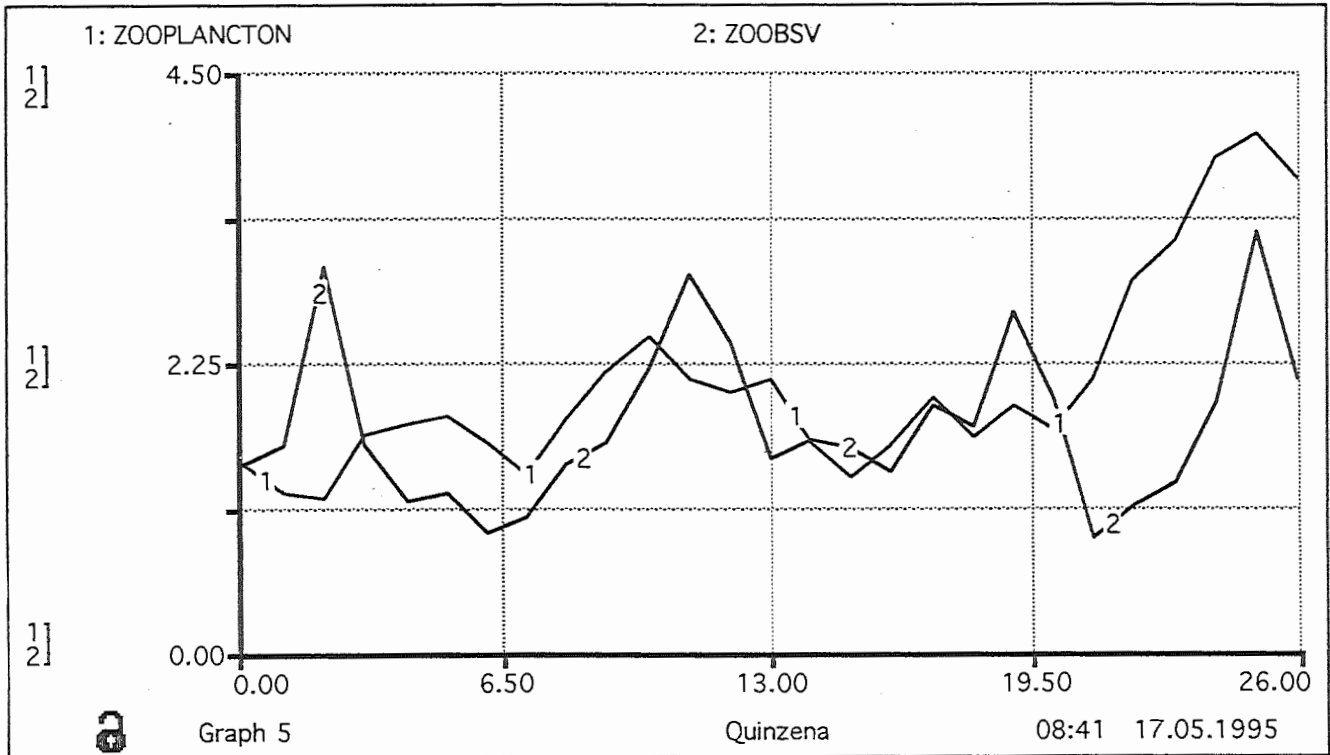


Figura 4.2.3 - Dados observados (2 - ZOOBSV) e calculados pelo modelo ELLOBO (1 - ZOOPLANCTON)

Biomassa do Astyanax (S3)

- a) A predação por Astyanax sobre o zooplâncton foi de 10% (Fig. 4.2.5)
- b) A mortalidade total (pesca + natural) foi estimada em 28%.

Biomassa do Sedimento (S4)

Por não haver remineralização no modelo, o sedimento sempre aumenta durante a simulação.

A Figura 4.2.6 mostra como é o comportamento ao longo do ano do fito e zooplâncton esperados. A Figura 4.2.7 mostra os valores observados para estas mesmas variáveis.

FIGURA 4.2.4

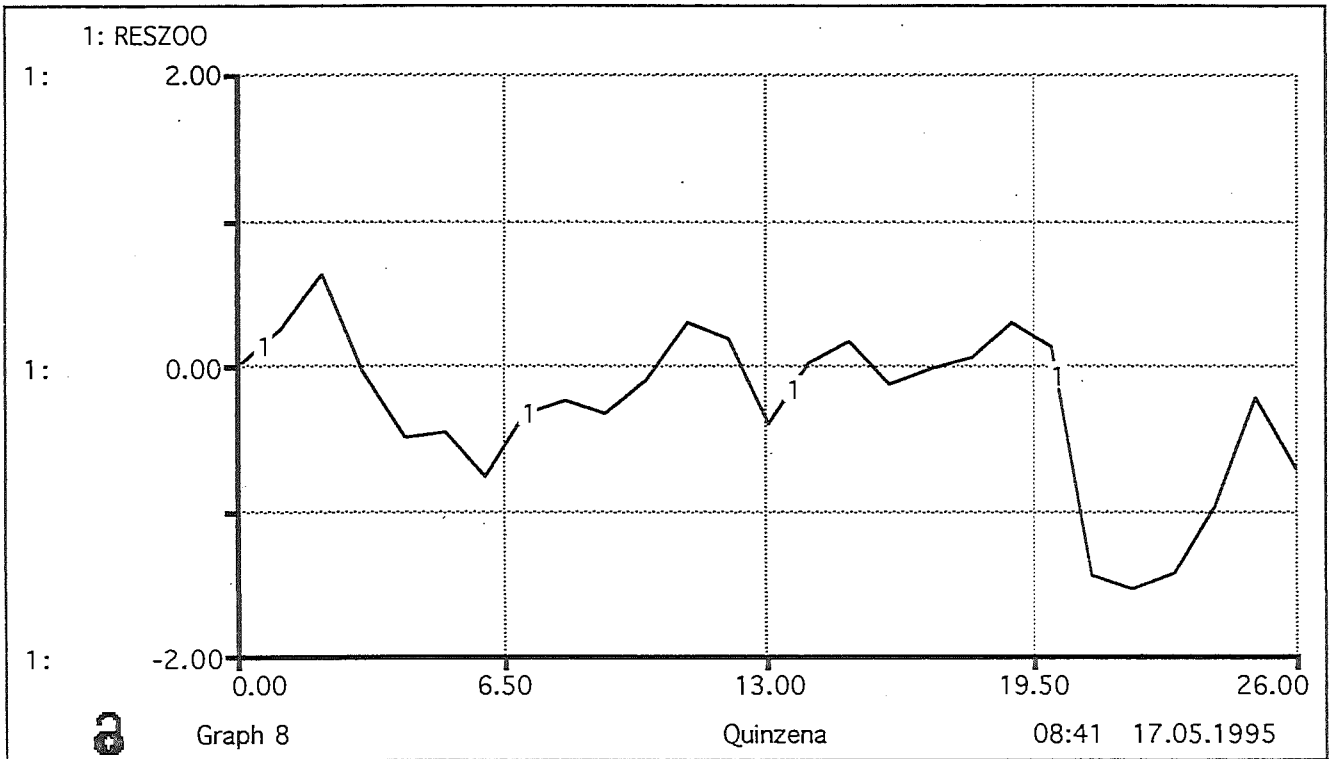


Figura 4.2.4 - Análise de Resíduos Ordinária para a Figura 4.2.3.

FIGURA 4.2.5

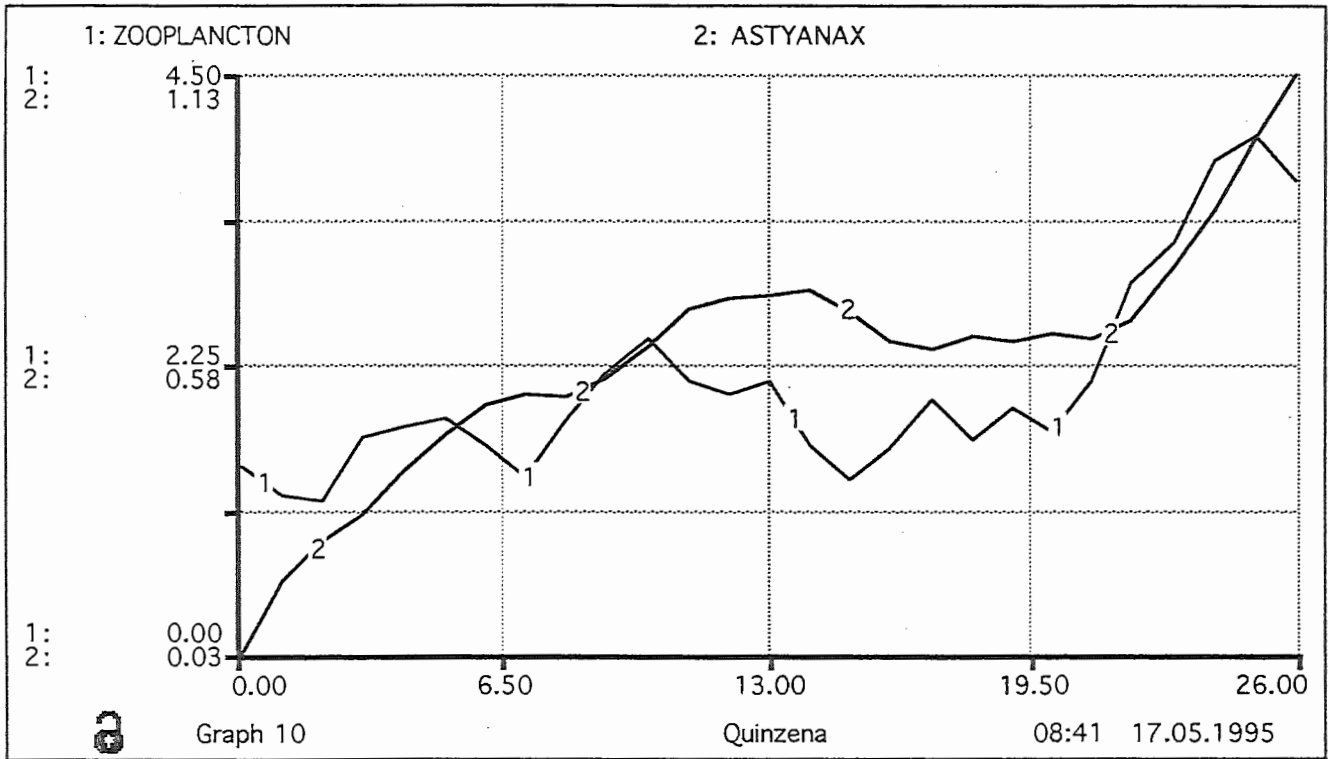


Figura 4.2.5 - Variação do zooplankton e Astyanax. Valores calculados pelo modelo ELLOBO.

FIGURA 4.2.6

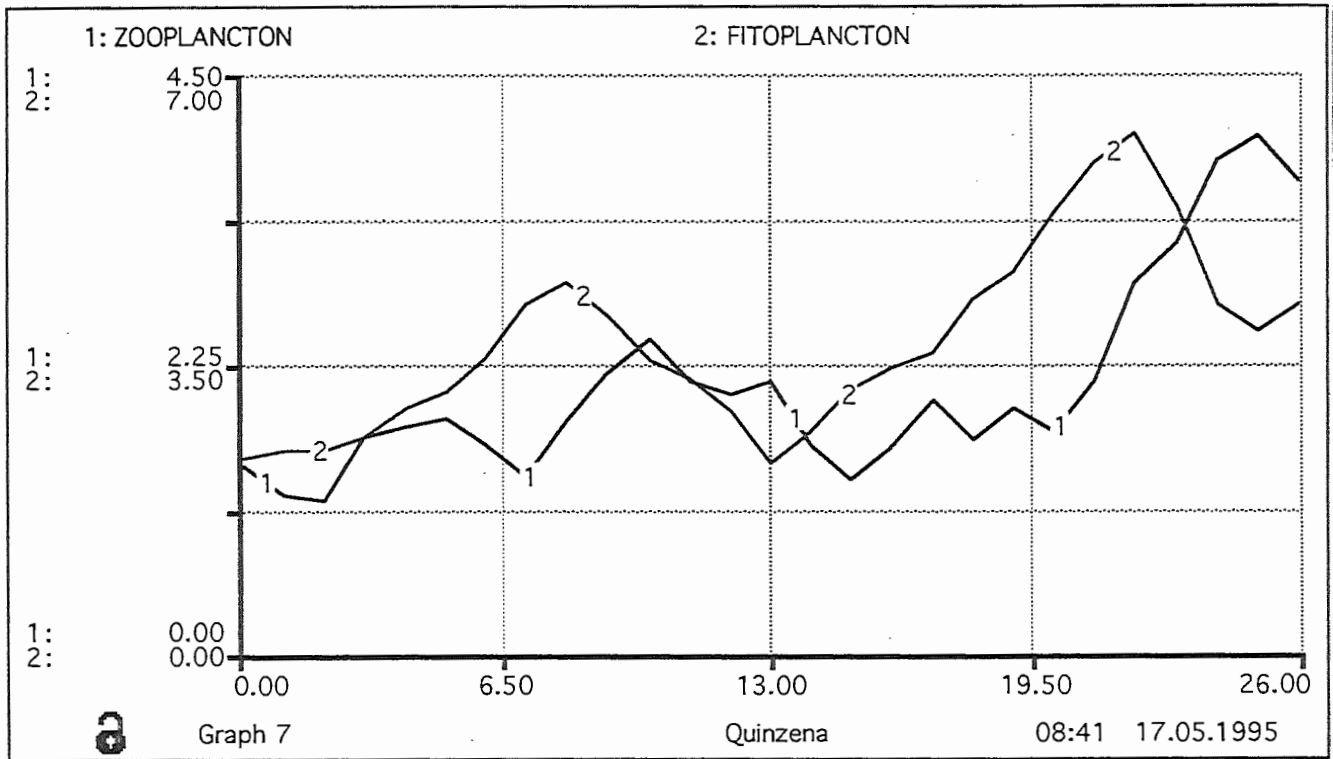


Figura 4.2.6 - Variação do fito e zooplâncton. Valores calculados pelo modelo ELLOBO.

FIGURA 4.2.7

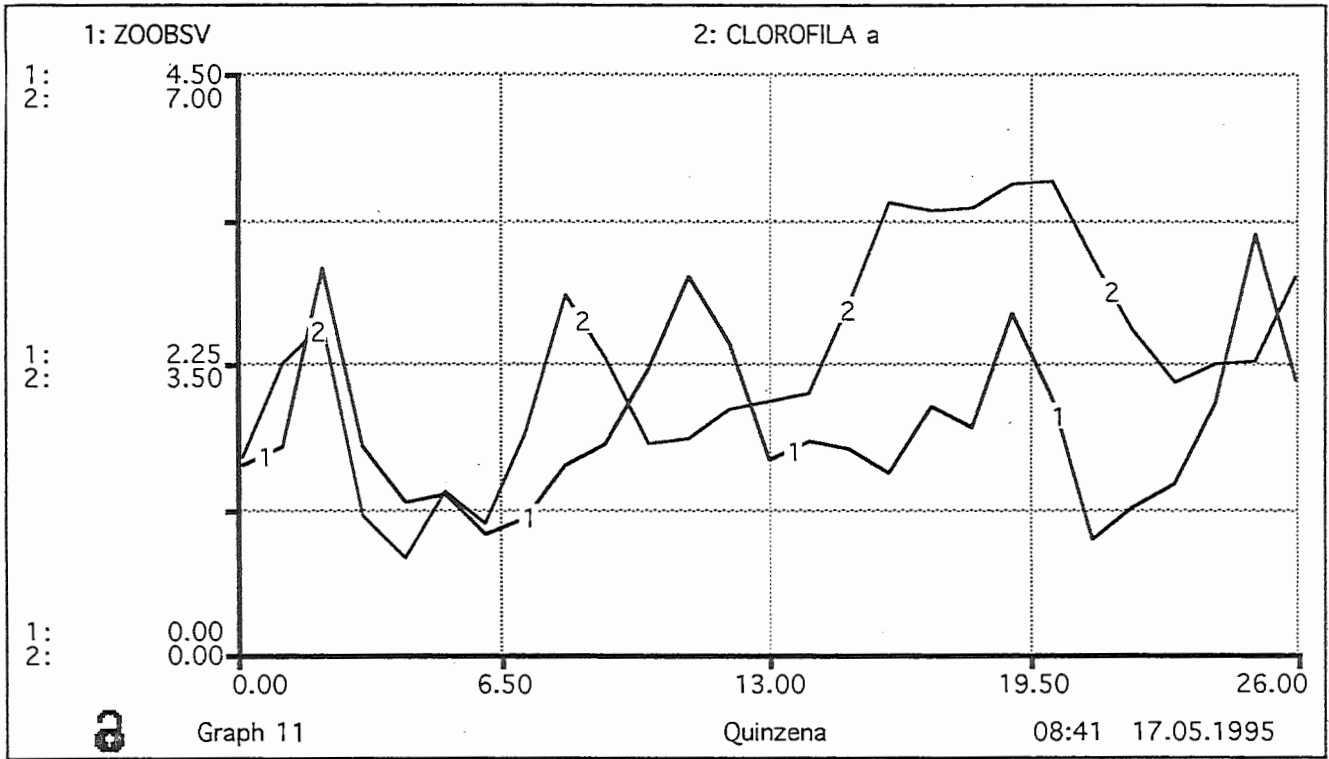


Figura 4.2.7 - Variação da clorofila a e zooplâncton - dados observados - para a represa do Broa (SP) (04/84 - 03/85).

5 - Discussão

5.1- Modelo BROA (ECOPATH II)

5.1.1 INPUTS

PEIXES

Para os dados de entrada no ECOPATH II, o problema maior é a determinação das taxas PB e QB, principalmente para os peixes. Dos métodos empregados para o cálculo de PB o mais preciso é aquele que recorre ao ELEFAN e utiliza a equação de PAULY (1980), considerando que PB seja Z (mortalidade total) ou M (mortalidade por predação). Para uso do ELEFAN é conveniente que os dados sejam coletados numa escala temporal e que seja contada a frequência dos indivíduos por classe de tamanho. Estes valores podem fornecer também uma estimativa da população de peixes da represa.

A preocupação com os dados da fauna piscívora se deve ainda a três fatores principais:

- i) o ECOPATH II foi criado com o objetivo de oferecer uma visão holística do sistema aquático com ênfase na fauna de peixes;
- ii) o peixe é o compartimento que pode atrair com mais facilidade, a atenção de investidores que pretendam de formas diversas incrementar, por exemplo, o turismo ou a atividade pesqueira da região em estudo;
- iii) como já mencionado o ECOPATH II é um modelo para ser construído "de cima para baixo" (top-down). Assim, tendo estimativas precisas dos grupos que estão no topo da pirâmide trófica, normalmente peixes carnívoros, fica mais fácil ter uma idéia de como se comporta a base da pirâmide (níveis tróficos I e II).

Do levantamento de dados realizado a maior lacuna é a falta de um estudo da comunidade de peixes como um todo. Os estudos e levantamentos usados aqui são particulares para cada espécie.

Outro problema, é a falta de estudos para a análise de conteúdo estomacal. Os dados aqui utilizados para algumas espécies de peixes, são de outras regiões, o que pode mudar a estrutura trófica do modelo BROA.

Não se possui ainda nenhum conhecimento da pesca, comercial e/ou esportiva, realizada no Broa. Esta falta de informação também restringe a aplicabilidade do modelo. Apesar de ainda permanecer um instrumento de comparação com outros ecossistemas.

OUTROS COMPARTIMENTOS

Houve tentativas de se colocar outros compartimentos como bacterioplâncton e protozoários, mas por absoluta falta de taxas - e de dados e/ou bibliografia que pudessem fornecê-las - como PB, QB, e/ou composição da dieta, mesmo para outros ambientes, preferiu-se não incluí-los.

O problema das macrófitas que ocorrem apenas numa região da represa foi camuflado considerando-as espalhadas uniformemente por todo o lago. Para cálculo da biomassa usou-se o seguinte recurso: o banco de macrófitas ocupa por volta de 10% (680 m²) da represa. Dados de biomassa deste banco acusaram 6483.9 g ww/m². Logo, tem-se no banco todo: 6483.9 gr.ww/m² * 680 m² = 4408372 g ww. Assim "espalhando" as macrófitas na represa toda tem-se: 4408372 g ww/6800 m² = 648.2 g ww/m².

Quando da colocação dos dados e primeira execução do programa, é necessário sempre fazer o balanceamento do modelo. Isto é realizado colocando os valores de EE entre 0 e 1. A primeira vista, isto pode ser considerado um método com pouco rigor científico, mas como disse HALL (1988), é um critério irrelevante para julgar a virtude do modelo com a realidade. Além disso, a elegância é normalmente sacrificada devido à importância numérica (HALL & DE ANGELIS, 1985). O balanceamento do modelo permite que as várias taxas sejam mutuamente compatíveis. Além disso o ECOPATH II (versão 2.2) possui uma rotina chamada "Sensitivity Analysis" (Análise de Sensibilidade) que facilita a calibração de todos os parâmetros de entrada.

5.1.2 OUTPUTS

De forma geral observa-se que a Eficiência Ecotrófica (EE) dos grupos de Nível Trófico (NT) menor ou igual 2.00 é muito baixa. Isto está sendo causado por vários motivos:

i) A Produção Primária Total estimada Independentemente (TPP) foi calculada sendo 2421.0 g ww/m²/ano e a Produção Primária Calculada pelo ECOPATH II (TPP') foi menor (2170.2). Desta forma a diferença (250.0) é fluxo para detritos. Além deste "import", o detrito recebe fluxos de todos os outros componentes (Fig. 4.1.1), totalizando 2365.00 gr.ww/m²/ano. Este valor é quase 50% de todas as transferências (T) ocorridas no BROA. O consumo de detritos no BROA também é muito baixo (3.45 g ww/m²/ano). Logo, um compartimento que recebe muita energia e não a transfere, é pouco eficiente no que se refere a rede trófica (EE=0.001). É interessante notar que com um "import" de detritos tão alto, a "necessidade" de reciclagem do sistema é baixa. O índice de Finn (IF) encontrou o valor zero para a reciclagem em termos de porcentagem das transferências totais (T).

ii) As macrófitas, com a biomassa (B) mais alta do sistema (648.2 gr.ww/m²) "perdem" sua biomassa para detritos por falta de predadores. Assim considerando as macrófitas na rede trófica, elas não tem importância (apenas 0.18 g ww/m²/ano é consumida), nem são eficientes (EE=0.000). Não se deve esquecer que as macrófitas tem seu papel na represa: servindo como um filtro para os nutrientes que entram através dos rios e também como abrigo para muitas espécies animais e vegetais (substrato do perifiton). Porém é inegável que colabora muito com os detritos, pois transfere a este outro compartimento, 1380.7 g ww/m²/ano, isto é, 58.3% do "input" total que vai para detritos. Sendo assim, cabe aqui uma pergunta que o modelo BROA levanta mas é incapaz de responder: Isto não compensaria a filtragem dos nutrientes (orgânicos) provenientes dos rios que as macrófitas realizam?

iii) O perifiton também é pouco eficiente (EE=0.002) pois é pouco consumido e sua biomassa é a menor dos três produtores primários que ocorrem no BROA.

iv) Apesar de ser o produtor primário mais consumido (86.64 gww/m²/ano), o fitoplâncton também é pouco eficiente (EE=0.11) devido sua alta taxa de produtividade (PB= 170.0 g ww/m²/ano) e biomassa também alta (4.5 g ww/m²). Mesmo assim é o produtor primário mais importante no BROA, pois é a única fonte de alimentos do zooplâncton, além de possuir mais quatro predadores (*Astyanax*, *Benthos*, *Leporinus* e *Geophagus*). Desta forma, pode-se observar (Fig. 4.1.3 e Tab. 4.1.13) que um aumento em sua biomassa provoca as maiores alterações na represa como um todo, afetando principalmente seu principal predador (zooplâncton) e o *Astyanax*, que além de ser seu predador, também o é do zooplâncton. Esta matriz (Fig. 4.1.3) ainda mostra que mudanças nos outros dois produtores não causa grandes oscilações no sistema.

Índice Omnívoro (IO) e Nível Trófico fracionado (NT)

Como já foi dito o NT fracionado depende da composição da dieta e o IO do NT das presas (Tabela 4.1.3). Desta forma poderia se pensar que ambos são altamente relacionados mas isto não é totalmente correto. No BROA temos as seguintes características:

i) o compartimento de topo é o 4-*Hoplias* (NT=3.7 e IO=0.31);

ii) Os produtores primários (8-*Fito*, 9-*Macrófita* e 10-*Perifíton*) além do 11- Detritos recebem NT=1 e IO=0.00 (por convenção do ECOPATH II);

iii) 6-*Benthos*, 7-*Zooplâncton* e 2-*Geophagus* têm NT=2 (alimentam-se exclusivamente do NT=1.00) e IO=0.00. É importante perceber que o 6-*Benthos* alimenta-se de vários compartimentos, mas todos estão no mesmo nível trófico, logo o IO é zero, servindo apenas para saber a interrelação do compartimento com os níveis tróficos do sistema;

iv) O compartimento 3-*Leporinus* tem NT menor que 1-*Gymnotus* e 5-*Astyanax*, porém possui IO maior. Isto ocorre pois, assim como os outros dois, ele se alimenta dos níveis 1.00 e 2.00, mas recebendo alimento do Import (parte da dieta à base de insetos) seu IO é maior (Tab. 4.3).

Matriz de Leontief

Representada pela Tab. 4.1.13 e Fig. 4.1.3, a matriz de Leontief mostra o impacto que um aumento da biomassa no tempo t , num grupo (linha) pode causar nos outros (coluna) no instante $t+1$. De uma certa forma, esta matriz acaba funcionando como uma análise de sensibilidade do modelo. Percebe-se, por exemplo, que:

- a) 8-*Fitoplâncton* é o grupo que mais modifica os outros. Nesta simulação, até a biomassa do grupo 11-*Detrito* é alterada. Isto porque o aumento do fitoplâncton, aumentará a biomassa dos peixes consumidores de detritos bem como a de benthos;
- b) Um aumento da predação do 4-*Hoplias* diminuirá todas as biomassas de suas presas e drasticamente sua própria biomassa. Isto ocorre por causa da diminuição das presas, maior competição intra-grupo e aumento do canibalismo neste grupo;
- c) Aumento no 11-*Detritos* aumenta também a biomassa de 4-*Hoplias*. Isto mostra bem o efeito indireto que esta análise é capaz de detectar. Assim, primeiro há aumento na biomassa das presas de *Hoplias malabaricus* que comem detritos (1-*Gymnotus*, 2-*Geophagus*, 3-*Leporinus*) para depois o 4-*Hoplias* se beneficiar.

Pirâmide de Lindemann

A Tabela 4.1.12, mostra que de toda a energia que entra no NT=II (90.32 - Tab. 4.1.11) apenas 1.1% é enviada para o NT=III (1.04 - Tab. 4.1.11). E desta, apenas 4.6% é enviada ao nível trófico IV (0.09 - Tab. 4.1.11). Isso provocou o grande tamanho da base da pirâmide de Lindemann (Fig. 3), confirmando que os dados de eficiência de transferência entre os níveis tróficos no modelo BROA estão abaixo de outros ecossistemas lacustres (CHRISTENSEN & PAULY, 1993).

Análise de Network

A Tabela 3.1 foi retirada de ODUM (1969) e (CHRISTENSEN & PAULY, 1991), mostrando 24 atributos que tentariam determinar o estágio de evolução do ecossistema e os respectivos cálculos feitos pelo ECOPATH II. A Tabela 5.1 mostra os resultados e coloca em negrito o estágio em que o BROA se encontra segundo a interpretação do respectivo atributo. Os atributos ausentes não possuem cálculos compatíveis com o ECOPATH II.

Tabela 5.1- Atributos da sucessão ecológica: tendências esperadas no desenvolvimento de ecossistemas (segundo, ODUM, 1969) e respectivas siglas e cálculos neste trabalho. (* - resultado que identifica o reservatório do Broa como um ecossistema em desenvolvimento; ** - maduro). Siglas em negrito mostram mudanças na tabela original de CRHISTENSEN & PAULY (1991).

<i>ENERGÉTICAS</i>	<i>em desenvolvimento*</i>	<i>madura**</i>	<i>Sigla</i>	<i>Resultados</i>
1 - Prod/Resp	<1>	=~1~	TPP/TR	40.7*
2 - Prod/Biomass	alta	baixa	TPP/TB	3.7*
3 - Biom/Fluxos	baixa	alta	TB/T	0.134*
4- Prod. Líquida	alta	baixa	PLS	2170.6*
5- Cadeia Trófica	simples	complx	IC;	0.22*
<i>ESTRUTURA</i>	<i>em desenvolvi-ento</i>	<i>madura</i>	<i>Sigla</i>	<i>Resultados</i>
6- Mat. Orgânica	pequena	grande	TB/TDET	0.27*
<i>HIST. de VIDA</i>	<i>em desenvolvimento</i>	<i>madura</i>	<i>Sigla</i>	<i>Resultados</i>
12-Especializa	ampla	pouca	IO	0.057*
<i>RECICLAGEM</i>	<i>em desenvolvimento</i>	<i>madura</i>	<i>Sigla</i>	<i>Resultados</i>
15-Ciclo Mineral	aberto	fechado	IF	0.0*
17-Detritos	sem importância	com	TDC/CT	3.4%*
<i>PRessão SEletiva</i>	<i>em desenvolvimento</i>	<i>madura</i>	<i>Sigla</i>	<i>Resultados</i>
18-Crescimento	"r"-rápido	"k"	TB/T	0.134*
<i>HOMEOSTASE</i>	<i>em desenvolvimento</i>	<i>madura</i>	<i>Sigla</i>	<i>Resultados</i>
21-Conserv. nutr.	pobre	boa	IF	0.0*
22-Estabilidade	pobre	boa	O	43.3%*
23-Entropia	alta	baixa	TR/TB	0.09*
24-Informação	baixa	alta	A	56.7%*

Atributos:

1) TPP/TR - Prod. Prim. Total/Respiração Total - O valor encontrado é bastante superior a 1, mostrando que a produção primária é muito maior que a respiração, isto é, a energia produzida excede o necessário para a manutenção do sistema. O reservatório do Broa estaria, então, em desenvolvimento.

2) TPP/TB - Prod. Prim. Total/Biomassa Total - O valor maior que 1 mostra que a produção é mais alta que a biomassa, isto é, ainda está ocorrendo acúmulo de biomassa no sistema.

3) TB/T - Biomassa/Transferências Totais - o valor baixo encontrado mostra o mau aproveitamento da energia circulante.

4) PLS - Produção Líquida do Sistema - o alto valor encontrado é sinônimo de mau aproveitamento de energia (ecossistema em desenvolvimento).

5) IC - Índice de Conexão: razão entre o número de conexões existentes na rede (24 - número de "pathways") e o número teórico (possível) de conexões ($(N-1)^2 = 100$). Os fluxos para detritos não são contabilizados. Isto mostra que o IC do BROA é baixo e fica aquém de suas possibilidades.

6) Matéria Orgânica Total - CRHISTENSEN & PAULY (1991) consideram à este atributo como TB/TP. Porém JARRET-TEICHMANN (com. pessoal) diz que este atributo é apenas TB que indica a quantidade de biomassa do sistema. ODUM (1969) afirma, que quando TPP/TR é maior que 1 (atributo 1), a matéria orgânica e a biomassa se acumularão no sistema. Logo TB pode realmente ser considerado, como um indício da quantidade de matéria orgânica. Porém a biomassa de um sistema só pode ser alta ou baixa se comparada com outro sistema. Resolveu-se, assim, adotar o seguinte parâmetro: TB/TDET (Biomassa Total/Fluxo Total p/ Detritos), pois mostra o quanto a biomassa transforma-se em matéria orgânica. Assim, se esta taxa for próxima a 1, todos os organismos estarão se reciclando rapidamente e o sistema terá atingido um estado maduro. Se diferente de 1, o ecossistema está em desenvolvimento (caso do BROA).

12) IO - Índice Omnívoro - IO baixo, como mostra a Tab. 5.1, é sinal que os indivíduos se alimentam sobre poucos níveis tróficos e por isso são especializados. Logo a especialização de nicho é ampla.

15) IF - Índice de Finn (Ciclo Mineral) - Praticamente, não há reciclagem no BROA (IF=0.0). Assim, considerar-se-á o ciclo mineral aberto.

17) Detritos - CRHISTENSEN & PAULY (1991) consideraram que este atributo seria definido pelos fluxos relativos. Como ODUM (1969) é claro ao dizer que o atributo pretende mostrar a importância dos detritos no sistema, resolveu-se adotar o seguinte parâmetro: Total de Detrito Consumido (TDC)/Consumo Total (CT). Assim, $(3.45/91.4)*100=3.4\%$. Logo, apenas 3,4% do detrito tem "importância" para o consumo da cadeia trófica.

18) Forma de Crescimento - (TB/T) - Biomassa/Transferências Totais - já está presente nesta tabela (atributo 3). O resultado baixo sugere o BROA como um sistema em desenvolvimento, com populações "r" estrategistas.

21) Conservação de Nutrientes no sistema - Índice de Finn (IF) - este atributo tem o mesmo objetivo e característica do atributo 15 e mediu que não há reciclagem em termos da biomassa dentro do sistema (IF=0.0).

Os atributos 22, 23 e 24 dizem respeito à teoria de informação e da teoria de crescimento e desenvolvimento para ecossistemas (ULANOWICZ, 1986). Como já mencionado o trabalho de CHRISTENSEN (1995) mostra que a maturidade tem uma forte correlação negativa com a ascendência e forte correlação positiva com o Overhead. Este resultado mostra que ULANOWICZ (1986) acerta nos cálculos mas erra na interpretação, pois ele dizia o contrário. O Overhead pode ser considerado uma energia de reserva do ecossistema frente a distúrbios imprevistos. Assim, os ecossistemas tendem a evoluir conforme aumentem sua energia de reserva. Desta forma o atributo 24 de Odum que é quantificado pela Ascendência deve ter sua característica trocada: para ecossistemas em desenvolvimento a Ascendência deve ser alta.

O BROA apresentou em porcentagens os valores: A=56.7% e O = 43.3%. Sendo estes valores intermediários, tanto para energia usada, como para armazenada, pode-se afirmar que o BROA é um ecossistema em desenvolvimento. Pode-se dizer também que o BROA, tendo em vista as Tabelas 4.5 e 4.6, concentra sua energia de reserva nos fluxos internos (33.8%) e os fluxos que mais otimizam o uso de energia são os fluxos de export de energia para fora do sistema (26.2%). Dos compartimentos o maior valor de Overhead pertence ao fitoplâncton e as macrófitas. É como se estes

compartimentos estivessem sendo subutilizados, desta forma teriam uma energia de reserva consigo.

5.2 MODELO ELLOBO

A Figura 4.2.1, mostra as curvas dos valores esperados (1- FITOPLANCTON) e observados (2 - CLOROFILA a). Apesar de em alguns períodos as curvas não estarem próximas, é perceptível que os valores calculados pelo modelo seguem as inúmeras e abruptas mudanças ocorridas nos dados observados. A Figura 4.2.2 mostra uma simples análise de resíduos entre estas duas curvas ($[\text{observado} - \text{calculado}]/\text{calculado}$). Nesta figura, não é possível imaginar nenhuma tendência nestes resíduos, o que valida o uso do modelo.

A Figura 4.2.3 mostra as curvas dos valores esperados (1 - ZOOPLANCTON) e observados (2 - ZOOBSV). Apesar de as curvas praticamente não se encontrarem em quase nenhum momento, são poucas as vezes em que os valores calculados pelo modelo, ultrapassam os limites máximos e mínimos dos dados observados. Para que isto fosse conseguido, foi substituída, na equação GRAZZ (página 50), a variável zooplâncton (S2) por RANZOO. Esta foi definida como sendo:

$$\text{RANZOO} = \text{RANDOM}(0,8; 3,33; \text{ZOOPLANCTON}),$$

onde:

0,8 - valor mínimo de biomassa de zooplâncton no período coletado;

3,33 - valor máximo de biomassa de zooplâncton no período coletado;

RANDOM - Função existente no STELLA II, que gera uma distribuição uniforme de números aleatórios entre os valores mínimo e máximo do zooplâncton.

Tentou-se usar as funções de probabilidade, NORMAL (gera uma distribuição de números normalmente distribuídos) e POISSON (usada em eventos discretos) no lugar de RANDOM, mas os resultados obtidos não foram satisfatórios.

Ainda na equação GRAZZ, a taxa de crescimento MYZ foi calculada como:

$$\text{MYZ} = 0,8 * \text{TEMPK}$$

onde:

0,8 - taxa máxima encontrada na literatura (JØRGENSEN, 1994);
TEMPK - Equação de CHEN et al. (1975: apud JØRGENSEN, 1994),
mostrando que a taxa de crescimento zooplânctônica é dependente da
temperatura.

A Figura 4.2.4 mostra a análise de resíduos ordinária ([observado -
calculado]/observado) para o zooplâncton. O que mostra certa generosidade do
modelo. A taxa de 24% de mortalidade é confirmada experimentalmente por
RIETZLER (1991).

A predação por *Astyanax* sobre o zooplâncton é de 10%. Este
valor não tem como ser avaliado já que não se dispõe de dados precisos da
população do lambari. É interessante notar que como este processo é
representado apenas por uma multiplicação, a curva da biomassa do *Astyanax*
acompanha a do zooplâncton.

Quanto ao sedimento, é esperado que haja um acúmulo durante a
execução do modelo, visto que nenhum processo de remineralização foi
adotado no modelo ELLOBO. Isto ocorreu pois o modelo anterior feito com o
ECOPATH II mostrou que os processos de reciclagem na represa são
praticamente desprezíveis. Como esta variável de estado não é de maior
interesse para este caso, ela poderia ser substituída por uma variável sumidouro
(no STELLA II é representada pela "nuvenzinha").

A análise de sensibilidade mostrou que o modelo é mais
susceptível à mudanças nos parâmetros que compõem a fórmula de Steele:
KTR e KZ; e aos parâmetros da fórmula de Chen et al. para a temperatura:
K27,1 e KOT.

A Figura 4.2.6 mostra os valores calculados para fitoplâncton (1) e
zooplâncton (2). Uma curiosidade que pode ser notada nesta figura, é que os
dois picos da biomassa zooplânctônica ao longo do ano, só ocorrem quando
precedidos por picos fitoplanctônicos. Esta é uma das características do modelo
original presa-predador de LOTKA & VOLTERRA (1925, 1926). Porém os
dados observados (Figura 4.2.7) seguem este mesmo "raciocínio" mas apenas
até a quinzena 13, à partir daí, há uma alta e quase constante biomassa
fitoplanctônica, mas uma oscilatória e pequena biomassa zooplânctônica.

6. CONCLUSÃO

6.1 Modelo BROA (ECOPATH II)

Verifica-se, à partir da apresentação dos capítulos anteriores, que é viável a construção de modelos termodinamicamente balanceados, com base apenas em dados e estimativas publicadas;

Modelos são ótimos instrumentos de integração de informações e dados de um determinado ambiente e podem servir também para testar hipóteses sobre o sistema.

Como não há um estudo mais detalhado e atual sobre o compartimento relativo aos peixes, o modelo fica comprometido e sem a mesma convicção para propor formas de manejo visando a melhoria da pesca. No entanto pode-se oferecer as seguintes conclusões e recomendações para melhor descrever o ecossistema em estudo:

Conclusões sobre os Outputs

O fitoplâncton é o produtor primário mais importante na represa;

A ciclagem de nutrientes é baixa e está ocorrendo um acúmulo de detritos na represa, provenientes principalmente das macrófitas;

A energia dos produtores primários é subutilizada pelo sistema, pois a produção primária total é 40 vezes maior que a respiração total;

Biomassa Total/Fluxo Total p/ Detritos (TB/TDET), é um bom estimador da importância da matéria orgânica no sistema;

A represa do Broa é um ecossistema em desenvolvimento e possui grande energia de reserva (Overhead), que está concentrada no nível trófico I, mostrando ser este sistema capaz de suportar distúrbios imprevistos, como por exemplo, ser invadida por espécies de peixes exóticas, principalmente por aquelas que se alimentam dos compartimentos do nível trófico I (detritívoras e/ou herbívoras).

Recomendações a respeito dos Inputs

Para melhorar o modelo BROA os seguintes dados necessitam ser coletados:

PEIXES

Identificação de todas as espécies de peixes da represa;

Monitoramento da pesca esportiva e de subsistência no reservatório. Coletando dados de peso e comprimento dos indivíduos capturados (determinação de M , isto é, P/B);

Pescas experimentais mensais em diversos locais da represa, durante o período de um ano (determinação de P/B);

Determinação da dieta alimentar dos peixes, através do conteúdo estomacal (matriz de composição da dieta - DC);

Coleta, durante um período de 24 horas, de peixes com a finalidade de se estudar as diferenças no conteúdo estomacal para a estimação da taxa de Consumo/Biomassa (Q/B);

OUTROS COMPARTIMENTOS

Durante período de um ano, coletar a biomassa para os outros compartimentos do modelo incluindo grupos que não foram colocados aqui, como bacterioplâncton, protozoários e oligochaetas.

É interessante, que estas coletas ocorram em várias regiões da represa, para que se possa identificar ecorregiões. Deve-se dar especial atenção à região da represa que contém as macrófitas.

6.2 - Modelo ELLOBO (STELLA II)

O modelo ELLOBO carece de mais dados para que ele seja adequadamente validado. Porém isto não ofusca sua maior virtude: os resultados calculados de fito e zooplâncton, formam curvas com um comportamento quase aleatório e imprevisível (Figuras 4.2.1 e 4.2.3). Este comportamento, se por um lado não acompanha rigidamente as curvas observadas, o que é convencionalmente necessário para um "bom" modelo, por outro lado mostra:

i) a importância de diferentes variáveis no processo de crescimento de fitoplâncton (fosfato dissolvido, nitrato, temperatura, luminosidade e dos próprios valores do fitoplâncton);

ii) a sensibilidade do modelo aos valores dos parâmetros (k_z , e k_{tr}) da equação de Steele, determinante do "grazing" zooplanctônico;

iii) a sensibilidade aos parâmetros da equação de dependência de temperatura de Chen et al.;

iv) a existência de um componente aleatório com distribuição uniforme, colocado no modelo através da função RANDOM;

iv) além disso foi possível definir valores de mortalidade para as variáveis de estado.

Também é de se salientar que outros modelos similares feitos em ecossistemas brasileiros só consideraram o crescimento fitoplanctônico em algumas semanas, tentando explicar os "booms" ocorridos (VALENTIN & COUTINHO, 1990 e SAGGIO, 1992). O modelo ELLOBO foi mais pretensioso. Além de tentar explicar uma variação anual de clorofila a , tenta mostrar que a predação zooplanctônica tem influência nesta variação. Não é de se admirar que não convence à primeira vista.

Conclusões específicas.

O fosfato dissolvido é limitante no crescimento fitoplanctônico entre os meses de agosto a novembro (no caso, das quinzenas 8 a 12). Nos outros meses o nitrato aparece como mais importante;

Dados de clorofila *a* tiveram melhores relações com as variáveis abióticas e com o zooplâncton do que dados de pigmentos totais fitoplanctônicos primeiramente usados, provavelmente devido ao fato que nesta última variável seja pesado também o fitoplâncton morto;

Apesar de ser uma relação descrita de forma absolutamente simples, o *Astyanax* mostrou-se importante no controle da biomassa zooplanctônica;

A distribuição de probabilidade uniforme parece se adequar mais ao dados de zooplâncton do que as distribuições NORMAL e POISSON.

Para melhorar o ELLOBO

Ainda não foi possível descrever um modelo que tenha um ajuste perfeito com os dados. Desta forma para os próximos modelos novas relações devem ser descobertas procurando ainda o acréscimo de: a) outras variáveis como por exemplo, vazão e ventos; e b) outros fenômenos como respiração zooplanctônica, decomposição e remineralização.

Os seguintes dados poderiam ser coletados para melhorar o modelo ELLOBO:

determinação semanal de: clorofila *a*, biomassa de zooplâncton, biomassa de *astyanax*.

coleta diária de variáveis abióticas: luminosidade, vento, vazão, nutrientes (fósforo, nitrôgenio), temperatura.

Estas coletas deveriam ser feitas durante dois anos seguidos, para o modelador usar o primeiro ano como ajuste e o segundo para validação. Este um importante passo da modelagem ecológica que aqui não foi realizado.

7. CONCLUSÃO FINAL

Os dois modelos apresentados neste trabalho: BROA e ELLOBO, respectivamente elaborados nos programas ECOPATH II e STELLA II, apesar das inúmeras falhas e problemas que carregam consigo, trazem à luz algumas reflexões:

a) modelos são uma realidade na Ciência Biológica. Sem eles, estudos supostamente interdisciplinares não passam de estudos multidisciplinares, onde pode até haver qualidade entre os diferentes trabalhos, mas não haverá ligação orgânica entre eles, impossibilitando respostas holísticas sobre o sistema em questão;

b) estes dois modelos permitem o teste de algumas hipóteses que são impossíveis de se realizar no campo como: Aumentando a taxa de crescimento de zooplâncton a população de fitoplâncton diminui? Aumentando a taxa de mortalidade de zooplâncton, o que ocorre com o *Astyanax*? Aumentando a biomassa do fitoplâncton, através da matriz de Leontief, o que acontece com os outros compartimentos?

c) permitiram também a quantificação de parâmetros até então desconhecidos (ver Tabela 4.2.3);

d) estes modelos serviram como forma de padronização dos dados disponíveis, além de apontarem lacunas de conhecimento;

e) apesar do reservatório do Broa ser considerado por TUNDISI (com. pessoal, 1994) o ecossistema brasileiro com maior volume de trabalhos científicos, nos dois modelos simples apresentados aqui, muitos dados ficaram faltando o que vem mostrar mais uma vez a diferença de uma equipe multidisciplinar para outra interdisciplinar e a necessidade da descrição de um "desing" experimental para que a coleta de dados passe a ser realizada segundo um modelo proposto;

f) o custo direto destes dois modelos foi praticamente zero. Não foi feita nenhuma coleta em campo, logo, não houveram gastos com gasolina, ou

reagentes químicos e equipamentos de laboratório, nem com horas de trabalho dos funcionários. Para o tipo de respostas que os modelos são capazes de dar pode-se dizer que a relação "custo-benefício" é muito maior para o lado do benefício.

g) Os dois modelos servem para indicar novas linhas de pesquisa em relação a compartimentos e processos. Além disso eles são os primeiros modelos ecológicos para o referido reservatório, servindo como exemplo e suporte para outros modelos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBINO, A.L.D., 1987. *Estudo sobre a fauna de peixes da bacia do rio Jacaré-Guaçu (Estado de São Paulo) com uma avaliação preliminar dos efeitos de dois barramentos*. Dissertação de mestrado. Depto de Ciências Biológicas. UFSCar. São Carlos. 168p.
- ANDRIAN, I.F.; DORIA, C.R.C.; TORRENTE, G.; FERRETI, C.M.L. (em prep.) Espectro Alimentar e Similaridade na Composição da Dieta Alimentar de Quatro Espécies de *Leporinus* (Characiformes, Anostomidae) do Rio Paraná (22° 10' - 22° 50' S e 53° 40' W), Brasil.
- ALLEN, K.R. 1971. Relation between production and biomass. *J.Fish Res. Board Can.* 28: 1573 - 1581.
- ALVES, R. 1987. *Filosofia da Ciência: Introdução ao jogo e suas regras*. Ed. Brasiliense (SP).
- ANGELINI, R.; ABUABARA, M.A.P.; RIETZLER A.C. 1994. Application of De Bernardi & Di Cola's Model in a *Argyrodiaptomus furcatus* population (zooplankton - copepod) from Broa Reservoir (São Carlos, SP - Brazil). *Série Relatórios Internos*, Depto de Matemática (UNESP - Rio Claro) pag.1-15.
- ASMUS, M.L. 1990. *Ecological Modelling of the North Inlet Marsh-Estuarine System, South Carolina*. Ph.D. Dissertation. University of South Carolina.
- BAIN, M.B.; FINN, J.T.; BOOKE, H.E. 1988. Streamflow regulation and fish community structure. *Ecology*, 69 (2):382-392.
- BARBIERI, G. 1974. *Crescimento do Geophagus brasiliensis (Quoy & Gaimard, 1824) na Represa do Lobo*. Dissertação de Mestrado. IB - USP - São Paulo. 111p.
- BARBIERI, G. 1975. *Sobre o crescimento relativo do Geophagus brasiliensis (Quoy & Gaimard, 1824) na Represa do Lobo, Estado de São Paulo*. Tese

de Doutorado. IB- USP - São Paulo. 135p.

BARBIERI, G. & BARBIERI, M.C. 1983. Growth and first sexual maturation size of *Gymnotus carapo* (LINNAEUS, 1758) in the Lobo reservoir (state of São Paulo, Brazil) (PISCES, GYMNOTIDAE). *Rev. Hydrobiol. Trop.* 16(2):195-201.

BARBIERI, G. & GARAVELLO, J.C. 1981. Sobre a Dinâmica da Reprodução e da Nutrição de *Leporinus friderici* (BLOCH, 1794) na Represa do Lobo, Brotas-Itirapina (SP), (PISCES, ANASTOMIDAE). *II Seminário Regional de Ecologia*. 347-387. São Carlos.

BARBIERI, G.; VERANI, J.R.; BARBIERI, M.C. 1982. Dinâmica Quantitativa da Nutrição de *Hoplias malabaricus* (BLOCH, 1974), na Represa do Lobo (Brotas- Itirapina, SP). (PISCES, ERYTHRINIDAE). *Revista Brasileira de Biologia*, 42 (2): 295-302.

BARBIERI, G.; PERET, A.C.; VERANI, J.R..1991. Análises Morfométricas de *Gymnotus carapo* (LINNAEUS, 1758) (SILURIFORMES, GYMNOTIDAE) da Represa do Lobo, São Paulo. *An. Sem. Reg. Ecol.* VI: 209-222. São Carlos (SP).

BARBIERI, G. & BARBIERI, M.C. 1991. Biologia Reprodutiva de Fêmeas de *Leporinus octofasciatus* STEINDACHNER, 1917 (CHARACIFORMES, ANOSTOMIDAE) da Represa do Lobo, São Paulo. Notas Preliminares. *An. Sem. Reg. Ecol.* VI: 293-301. São Carlos (SP).

BARBIERI, G. & BARBIERI, M.C. 1983. Growth and first sexual maturation size of *Gymnotus carapo* (LINNAEUS, 1758) in the Lobo reservoir (state of São Paulo, Brazil) (PISCES, GYMNOTIDAE). *Rev. Hydrobiol. Trop.* 16(2):195-201.

BARBIERI, M.C., 1981. *Contribuição ao estudo da biologia de Gymnotus carapo (Linnaeus, 1758) na Represa do Lobo, Estado de São Paulo (Pisces, Ostariophysi, gymnotidae)*. Tese de Doutorado. Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. São Carlos. 220p

- BARBIERI, R. 1984. *Estudo da composição química de algumas espécies de macrófitas aquáticas e suas implicações no metabolismo da represa do Lobo (Broa), SP*. Dissertação de Mestrado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 225p.
- BARBIERI, S.M. 1986. *Estudos ecológicos dos protozoários planctônicos em duas represas do Estado de São Paulo (Represa do Lobo e Represa do Rio Grande)*. Dissertação de Mestrado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 219p.
- BARBOSA, P.M. 1982. *Predação dos organismos zooplanctônicos pelo Astyanax fasciatus Cuvier, 1819 (Osteichthyes, Characidae) na represa do Lobo ('Broa') São Carlos*. Dissertação de Mestrado. Depto. de Biociências. UFSCar.
- BARBOSA, P.M. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 1984. Consumption of zooplanktonic organisms by *Astyanax fasciatus* Cuvier, 1819 (Osteichthyes, Characidae) in Lobo (Broa) Reservoir, São Carlos, SP, Brazil. *Hydrobiologia* 113, 171-181.
- BARTHEM, R.B.; RIBEIRO, M.C.L.B. & PETRERE Jr, M. 1991. Life strategies of some long-distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the Amazon Basin. *Biological Conservation*. 55: 339-345.
- BAYLEY, P.B. & PETRERE Jr, M. 1989. Amazon Fisheries: assessment methods, current status and management options. In: D.P. Dodge [ed]. *Proceedings of the International Large River Symposium*. Can.Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106: 385-398.
- BEGOSSI, A. 1992. The use of the Optimal Foraging Theory in the Understanding of Fishing Strategies: A Case from Sepetiba Bay (RJ, State - Brazil). *Human Ecology*. 20 (4): 463 - 475.
- BIDONE, E.D.; FERNANDES, H.M.; SILVA-FILHO, E.V.; DOS SANTOS, L.F.T. 1993. Statistical Modelling of Heavy Metal Partitioning Among their

- Geochemical Carriers in Sediments of the Ribeira Bay(RJ) - Brazil: A Critical Analysis. *Environmental Technology*. 14(3): 271 - 276.
- BRANCO, S.M. 1989. *Ecosistêmica - Uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente*. Ed. Edgar Blucher Ltda. - SP
- CALIJURI, M.C. 1985. *Curvas de luz: fotossíntese e fatores ecológicos em ecossistema artificial e não estratificado: Represa do Broa (Lobo), São Carlos (SP)*. Dissertação de Mestrado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 280p
- CALIJURI, M.C. 1988. *Respostas Fisiológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização*. Tese de Doutorado. Depto de Hidráulica e Saneamento. EESC USP - São Carlos. 293p.
- CALIJURI, M.C. & TUNDISI, J.G. 1990. Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita - Estado de São Paulo: mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. *Rev. Brasil. Biol.*, 50(4): 893-913. R.J.
- CHESSON, J. 1983. The estimation and analysis of preference and its relationship to foraging models. *Ecology* 64 (5):1297 - 1304.
- CHRISTENSEN, V. 1993a. *Steady-state Modelling and Network Analysis*. In ECOPATH II Modelling Workshop.
- CHRISTENSEN, V. 1993b. Lecture notes on: *Steady-state Modelling and Network Analysis*. In: ECOPATH II Modelling Workshop, pp 32. Germany.
- CHRISTENSEN, V. 1995. Ecosystem maturity - towards quantification. *Ecological Modelling* 77. 3-32.
- CHRISTENSEN, V. & PAULY, D.,1991 *A Guide to the ECOPATH II Software System (version 2.0)*. International Center for Living Aquatic resources Management. Manila, Philippines.

- CHRISTENSEN, V. & PAULY, D (Eds). 1993. *Trophic Models of Aquatic Ecosystems*. Editora da ICLARM. 390p.
- CÓ, L.M. 1979. *Distribuição de oligochaeta na represa do Lobo, estado de São Paulo, Brasil*. Dissertação de Mestrado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 169p.
- COLLART, O.O. 1991. Tucuruí Dam and the Populations of the Praw *Macrobrachium amazonicum* in the Lower Tocantins (Para, Brazil): A Four Year Study. *Archiv fuer Hydrobiologie*. 122 (2): 213 - 228.
- CONSTANZA, R. 1987. Simulation modeling on the Macintosh using STELLA *BioScience*, 37 (2), p 129-132.
- COUTINHO, R. & YONESHIGUE, Y. 1988. Diurnal variation in photosynthesis vs. irradiance curves from "sun" and "shade" plants of *Pterocladia capillacea* (Gmelin) Bornet et Thuret (Geliciaceae: Rhodophyta) from Cabo Frio, RJ. Brazil. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 118 (3): 217-228.
- DE WIT, C.T. & RABBINGE, R. 1979. *Systems Analysis and Dynamic Simulation*. EPPO Bull., 9: 149-153.
- FROST, B.W. 1972. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. *Limnol. Oceanogr.* 17, 805-815.
- EPPLEY, R.W. 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull.* 70, 1063-1085.
- FAO. 1981. Atlas of the living resources of the seas. FAO Fish. Ser. 15. FAO Fisheries Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

- FINN, J.T. 1976. Measures of the ecosystem structure and function derived from analysis of flows. *J.Theor.Biol.* 56: 363-380.
- GAUSE, G.F. 1934. *The Struggle for Existence*. Willians & Wilkins, Baltimore. USA.
- GAZARINI, L.C. 1975. *Alguns aspectos ecológicos da macrófita aquática Mayaca fluviatis AUBLET, 1775 na represa do Lobo (Brotas - Itirapina-SP)*. Dissertação de Mestrado. Depto de Ciências Biológicas. UFSCar. São Carlos (SP).
- GODINHO, M.J.L. 1976. *Ciclo sazonal, "standing-stock" e distribuição do bacterioplâncton em ecossistema lacustre artificial (Represa do Lobo, São Carlos)*. Dissertação de Mestrado. IB - USP - São Paulo. 97p.
- GOULD, S.J. 1980. *O Polegar do Panda*. Ed. Martins Fontes. 297pp.
- GOULD, S.J. 1991. *Viva o Brontosauo*. Ed. Companhia das Letras. 525pp.
- GRANT, W.E., 1986. *Systems Analysis and Simulation in Wildlife and Fisheries Sciences*. Wiley, N.Y.
- GRIMM, V., 1994. Mathematical models and understanding in ecology. *Ecological Modelling*, v. 75/76 (641-651).
- HALL, C.A.S. 1988. An Assessment of Several of the Historically Most Influential Theoretical Models Used in Ecology and of the Data Provided in Theory Support. *Ecol. Modelling*, v. 43 (4-31).
- HALL, C.A.S. & DE ANGELIS, L. 1985. Models in Ecology: Paradigms Found or Paradigms Lost? *Bull. Ecol. Soc. Am.* v.66, nº 3, (339-346).
- HANNON, B., 1973. The structure of ecosystems. *J.Theor. Biol.* 41:535-546.
- HANNON, B. & JOIRIS, C. 1989. A seasonal analysis of the southern North Sea ecosystem. *Ecology* 70(6):1916 - 1934.

- HEREDIA-SEIXAS, M.H. 1981. *Aspectos ecológicos das populações de cladocera (crustacea) na represa do Lobo (Broa), São Carlos (SP)*. Dissertação de Mestrado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 156p
- HENRY, R. 1981. *Efeitos da eutroficação artificial por nutrientes inorgânicos na comunidade fitoplanctônica na represa do Lobo - Brotas - Itirapina (SP) e no lago D. Helvécio, Parque Florestal do Rio Doce, MG*. Tese de Doutorado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 172p.
- HENRY, R., 1990. *Estrutura espacial e temporal de ambiente físico-químico e análise de alguns processos ecológicos na represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP) e sua bacia hidrográfica*. Tese de Livre-Docência. UNESP, Botucatu, 242p.
- HIGASHI, M. & BURNS, T. P.(eds). 1991. *Theoretical Studies of Ecoystems. The Network Perspective*. Cambridge Univ. Press. 364p.
- HINO, K. 1979. *Análise qualitativa e quantitativa do microfitoplancton da represa do Lobo (Broa), São Carlos, São Paulo*. Dissertação de Mestrado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 119p.
- HUTCHINSON, G.E. 1978. *Introducción a La Ecologia de Poblaciones*. Edição espanhola: 1981, Ed. Blume, Barcelona. 497pp.
- HYNES, H. B. N., 1949. The food of fresh water sticklebacks (*Gasterosteus aculecitus* and *Pygosteus pungitius*) with a review of methods used in studies of the food of fishes. *J. Anim. Ecol.*, 19: 36-58.
- IVLEV, V.S., 1945. The biological productivity of waters. *Biol.* 19, 98-120. *Uspekhi Sovrem.*
- JARRE-TEICHMANN, A.; PALOMARES, M.L.; SORIANO, M.; GAYANILO, F.C.Jr. and PAULY, D. 1992. *A user's manual for MAXIMS*

(version 1.0): A computer program for estimating the food consumption of fishes from diel stomach contents data and population parameters. ICLARM software. Manila, Philippines. 28p.

JØRGENSEN, S.E.; FRIIS, M.B.; HENRIKSEN, J.; JØRGENSEN, L.A. & MEJER, H.F. (Eds.), 1979. *Handbook of environmental data and ecological parameters*. Pergamon Press, Oxford. 1162p.

JØRGENSEN, S.E. & KORYAVOV, P.P., 1990. Modeling Ecosystem dynamics. In: *Wetlands and Shallow Continental Water Bodies*. Patten et al. (eds). SPB Academic Publishing. Vol 1, pp 619-702

JØRGENSEN, S.E., 1986. *Fundamentals of Ecological Modelling*. Elsevier - Amsterdam. 391p.

JØRGENSEN, S.E., 1988. Modelling as a tool in environmental management of lakes and reservoirs. In: *Limnologia e Manejo de Represas*. Série Monografias em Limnologia. (Ed.) J.G.Tundisi (Vol I, Tomo 2). EESC - USP/CRHEA/ACIESP.

JØRGENSEN, S. E., 1992a. Parameters, ecological constraints and exergy. *Ecological Modelling*, 62 p 163-170. Elsevier Science Publishers. Amsterdam.

JØRGENSEN, S. E., 1992b. The shifts in species composition and ecological modelling in hydrobiology. *Hydrobiologia*, 239:115-129. Kluwer Academic Publishers.

JØRGENSEN, S.E., 1994. *Fundamentals of Ecological Modelling*. 2 ed. Elsevier - Amsterdam. 628p.

KINGSLAND, S.E. 1985. *Modeling Nature*. Ed. Chicago. 267pp.

KOUTSOUKOS, E.A.M.; HART, M.B. 1991. Cretaceous Foraminiferal Morphogroup Distribution Patterns, Paleocommunities and Trophic



- Structures: A Case Study from the Sergipe Basin, Brazil. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Studies*. 81 (3): 221-246.
- KREBS, C.J. 1989. *Ecological Methodology*. Harper & Row, Publishers, N.Y. 654p.
- KREMER, J.N. & NIXON, S.W. 1987. *A Coastal Marine Ecosystem - Simulation and Analysis*. 215 pp Ed. Springer-Verlag (NY).
- KURTZ, A.C.S. 1989. STELLA no modelamento de equações diferenciais. *Caderno de Ensino de Física*, 6(3): 211-223. Florianópolis
- LOTKA, A.J. 1925. *Elements of Physical Biology*. Baltimore: Williams and Wilkins. Reprinted with corrections and bibliography as *Elements of Mathematical Biology*. NY. 1956.
- LINDEMANN, R.L., 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology* 23: 399 - 418.
- LIZAMA, M.de L.A.P. & VAZZOLER, A.E.A.de M. 1993. Crescimento em Peixes do Brasil: uma Síntese Comentada. *Revista UNIMAR*, 15 (suplemento): 141-173.
- MACKAY, A. 1981. The generalized inverse. *Practical Computing*, September 108- 110.
- MANN, K.H. 1978. Estimating the food consumption of fish in nature. p 250-273. In: S. D. Gerking. (Ed.): *Ecology of freshwater fish production*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 322pp.
- MARINS, M.A. 1972. Distribuição, "Standing-stock" e aspectos ecológicos da alga *Melosira italica* (EHR) Kutz, em ambiente lacustre, represa do Lobo. Depto de Ciências Biológicas. UFSCar. São Carlos. SP.

- MARINS, M.A. 1975. *Ecologia da alga Melosira Itálica (EHR) Kutzi, represa do Lobo, estado de São Paulo, Brasil*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Dep4o. de Biologia, Instituto de Biociências, USP. 144p.
- MATSUMURA-TUNDISI, T.; RIETZLER, A.C. & TUNDISI, J.G. 1989. Biomass (dry weight and carbon content) of plankton crustacea from Broa reservoir (São Carlos, S.P.- Brazil) and its fluctuation across one year. *Hydrobiologia*. 179:229-236.
- MALTHUS, T. R. 1798. *An Essay on the Principle of Population, as it Affects the Future Improvement of Society, with Remarks on the Speculations of Mrs. Godwin, M. Condorcet and Others Writers*. J. Johnson, V IX, London, U.K.
- MESAROVIC, M.D., 1968. Systems theory and Biology - View of Theoretican. In: Mesarovic, M.D. (Ed.). *Systems Theory and Biology*, Proc. III Systems Symp. at Case Institute of Technology. Ed. Springer-Verlag (Berlim), pp. 59-87.
- MONOD, J. 1942. *Recherches sur la croissance des cultures bacteriennes*. Paris: Herman et. Cie.
- MORAES, E.M. 1978. *Ciclo sazonal, distribuição horizontal e vertical e inter-relações ecológicas de nutrientes na represa do Lobo: Brotas, Itirapina, SP*. Dissertação de Mestrado. São Paulo - Instituto de Biociências - USP. 153p.
- MURICY, G. 1990. Sponges as Pollution Biomonitors at Arraial do Cabo, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*. 49 (2): 347-354.
- NEEDHAM, J. 1973. *La Science Chinoise et l'Occident*. Éditions du Seuil.
- NICHOLSON, A.J. 1954. An Outline of the Dynamics of Animal Populations. *Australian Journal of Zoology*. 2: 9-65

- ODUM, E.P. 1969. The Strategy of Ecosystem Development. *Science* 104: 262-270.
- ODUM, E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. WB Saunders Co, Philadelphia. 574p.
- ODUM, E.P. 1985. *Ecologia*; trad. Cristopher J. Tribe - Ed. Guanabara (RJ).
- ODUM, H.T. 1960. Ecological potential and analogue circuits for the ecosystem. *Amer. Sci.*, 48: 1-8.
- ODUM, H.T. 1962. Ecological tools and their use - Man and the ecosystem. In: *Proceedings of the Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology* (Paul E. Waggoner and J.D. Ovington, eds.) The Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin 652, pp. 57-75.
- ODUM, H.T. 1967. Biological circuits and marine system of Texas. In: *Pollution and Marine Ecology*. (T.A. Olson and F.J. Burgess, eds.) John Wiley & Sons, Inc. (Interscience), NY. pp. 99-157.
- ODUM, H.T. 1971. *Environment, Power and Society*. John Wiley & Sons, Inc. NY. 331pp.
- OISHI, M.K. 1990. *Determinação do potencial trófico das águas dos componentes da bacia hidrográfica da represa do Lobo (Broa - Itirapina - SP), através de ensaio algal*. Dissertação de Mestrado. São Carlos. SHS/EESC/USP. 131p
- OLIVEIRA, M.D. 1993. *Produção primária e estrutura da comunidade fitoplanctônica no reservatório do Lobo (SP): uma comparação entre fatores ecológicos na represa e seus principais tributários*. Dissertação de Mestrado. USP/EESC/SHS/CRHEA. 178p.
- OPTIZ, S. 1991. *Quantitative Models of Trophic Interactions in Caribbean Coral Reefs*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch

-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian - Albrechts - Universität zu Kiel.

PALOMARES, M.L. & PAULY, D. 1989. A multiple regression model for predicting the food consumption of marine fish populations. *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.* 40: 259-273.

PAULY, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. CIEM* 39(3): 175-192.

PAULY, D. 1986. A Simple Method for Estimating the food consumption of fish populations from growth data and food conversion experiments. *Fish. Bull.* 84 (4): 827-840.

PAULY, D. & DAVID, N. 1981. ELEFAN I, a BASIC program for the objective extraction of growth parameters from length frequency data. *Meeresforsch.*, v.28, n° 4 p. 205-211.

PAULY, D., SORIANO, M. & PALOMARES, M.L. 1987. On improving the construction, parametrization and interpretation of "steady-state" multispecies models. Presented at the 9th Shrimp and Finfish Fisheries Management - Workshop, 7-9 December 1987, Kuwait. ICLARM Contr. 627. International - Center for Living Aquatic Resources Management. Manila, Philippines.

PAULY, D., CHRISTENSEN, V., SAMBILAY, V. 1990. Some features of fish food consumption estimates used by ecosystem modelers. ICES Counc. Meet. 1990/G:178p.

PEREIRA, A., TASSIN, B., JØRGENSEN, S.E., 1994. A model for decomposition of the drown vegetation in an Amazonia Reservoir. *Ecological Modelling*, v.75/76, 447- 458.

PETRERE Jr., M. 1992. As comunidades humanas ribeirinhas da Amazônia e suas transformações sociais. In: *Populações humanas, rios e mares da*

Amazônia. IV Encontro de Ciências Sociais e o Ma2 no Brasil. Antonio Carlos Diegues (Org.).PPCAUB-USP. (31-67).

- PIRES-ZATORELLI, C.L.A. 1990. *Levantamento dos fungos zoosporicos (mastigomycotina) da represa do Lobo (Broa). São Carlos (SP).* Dissertação de Mestrado. Rio Claro - Instituto de Biociências - UNESP. 176p.
- POLOVINA, J.J., 1984. Model of a coral reef ecosystem. Part I. The ECOPATH model and its application to French Frigate Shoals. *Coral Reefs* 3:1-11.
- PORTER, K.G.; PACE, M.L. & BATTEY, I.F. 1979. Ciliate protozoans as links in freshwater planktonic food chains. *Nature*. 277: 563-565.
- PRASAD, S.; PATIL, B.D. & HAZRA, C.R., 1983. An Introduction to Systems and Models. *Ecol. Modelling*, 18: 73-83.
- RADFORD, P. 1988. Simple simulation on a desk-top computer. *NERC Computing*. p 21-26. EUA.
- RANTIN, F.T. 1978. *Temperaturas letais, aclimatação e tolerância térmica do Acará Geophagus brasilienses (Quay & Gaimard, 1824): represa do broa, represa da UFSCar, estado de São Paulo.* Dissertação de Mestrado. São Paulo. Instituto de Biociências, USP, 181p.
- REYNOLDS, C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton.* Cambridge University Press. NY. 384p.
- RICHEY, J.E.; MERTES,L.A.K.; DUNNE, T.; VICTORIA, R.L.; FORSBERG, B.R.; TANCREDI, A.C.N.S.; OLIVEIRA, E. 1990. Sources and Routing of the Amazon River Flood Wave. *Global Biogeochemical Cycles* 3 (3):191-204.

- RIETZLER, A.C. 1991. *Estudo da dinâmica de populações de copepoda-calanoída na represa do Lobo (Broa)*. Dissertação de Mestrado. São Carlos, USP/EESC/ SHS. 196p.
- ROCHA, O. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 1984. Biomass and Production of *Argyrodiaptomus furcatus*, a tropical calanoid copepod in Broa reservoir, southern Brazil. *Hydrobiologia*. 113, 307-311.
- ROCHA, O. 1978. *Flutuação Sazonal e Distribuição da População de Diaptomus furcatus, Sars (Copepoda, Calanoída) na Represa do Lobo (Broa) São Carlos, S.P.* Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências Depto. de Biologia da USP (SP). São Paulo.
- SAGGIO, A.A. 1992. *Estudo da eutrofização do reservatório de Barra Bonita (Rio Tietê - SP) através de Simulação numérica*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. 105p.
- SÃO PAULO, 1990. *Plano Estadual de Recursos Hídricos: Primeiro Plano do Estado de São Paulo*. Síntese. Conselho Estadual de Recursos Hídricos, DAEE, São Paulo, 97 pp.
- SILVEIRA-MENEZES, C.F. 1984. *Biomassa e produtividade primária de 3 espécies de macrófitas aquáticas da Represa do Lobo (Broa), SP*. Dissertação de mestrado. Depto de Ciências Biológicas. UFSCar. 250p.
- SIMONATO, A.D. *Ciclos diurnos de fatores ecológicos na Represa do Lobo (Broa)*. Dissertação de Mestrado. Depto de Ciências Biológicas. UFSCar. São Carlos (SP). 1986.
- SMAYD, T.J. 1973. The growth of *Skeletonema costatum* during a Winter-Spring bloom in Narraganset Bay, RI. *Norw. J. Bot.* 20, 219-247.
- SOARES, J.J. 1981. *Estudos sobre a biomassa e produtividade de perifiton em macrófitas na represa do Lobo, São Carlos (SP)*. Tese de Doutorado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 223p.

- SOARES, M.G.M. 1979. Aspectos ecológicos (alimentação e reprodução) dos peixes do Igarapé do Porto, Aripuanã, M.T. *Acta Amazônica*. 9(2):325-352.
- SPARRE, P.; URSIN, E.; VENEMA, S.C. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment . Part 1. Manual. *FAO - Fisheries Technical Paper*. Rome. 337p.
- STARFIELD, A.M. & BLELOCH, 1986. *Building Models for Conservation and Wildlife Management*. Macmillan Publishing Company. N. Y. and Collier Macmillan Publishers. London.
- STEELE, J.H., 1962. Environmental control of photosynthesis in the sea. *Limnology and Oceanography* 7:137-150.
- STELLA - Structured Thinking Experimental Learning laboratory with Animation for Apple Macintosh PC with 512K RAM from Logotron, Dales Brewey, Gurydir Street, Cambridge, CB1 2LJ.
- STRASKRABA, M., 1982. The application of predictive mathematical models of reservoir ecology and water quality. In: *Canadian Water Resources Journal*. Vol - 7, p 283 - 318.
- STRASKRABA, M., 1991. Specificity of Ecological Simulations. In: *Modelling and Simulation*. European Simulation Multiconference. Denmark. E. Mosekilde (Ed) p 689-694.
- STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G. & DUNCAN, A., 1993. State-of-art of reservoir limnology and water quality management. In: *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management*. M. Straskraba; J.G. Tundisi & A. Duncan (Eds). Cap XIII p: 213-288. Kluwer Academic Publishers.
- STRIXINO, G.B.M.A. 1973. *Sobre a ecologia dos macroinvertebrados do fundo na represa do Lobo*. Tese de Doutorado. São Paulo, USP-Depto de Biologia. 188p.

- THÉBAULT, J.M. & SALENÇON, M-J. 1993. Simulation model of a mesotrophic reservoir (Lac de Pareloup, France): biological model. *Ecological Modelling*, 65 p 1-30.
- THOMPSON, W.R. 1937. *Science and Common Sense: An Aristotelian Excursion*. London: Longmans, Green.
- TRINDADE, M. 1980. Nutrientes em sedimentos da Represa do Broa: Brotas - Itirapina (SP). Dissertação de Mestrado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 219p.
- TUNDISI, J.G. 1977. *Produção primária, "standing-stock", fracionamento do fitoplâncton e fatores ecológicos em ecossistema lacustre artificial (represa do Broa, São Carlos)*. Tese de Livre-Docência. Depto. de Biologia - Ribeirão Preto - USP. 409p.
- TUNDISI, J.G. 1978. O modelo Broa. *Anais do Simpósio sobre Comunidade Vegetal como unidade biológica, turística e econômica*. Academia de Ciências do Estado de São Paulo. (99-113).
- TUNDISI, J.G. 1986. The Lobo (Broa) Ecosystem. *Ciencia Interamericana*. vol: 25, pp 18-31.
- TUNDISI, J.G., 1988. Impactos ecológicos da construção de represas, aspectos específicos e problemas de manejo. *Limnologia e Manejo de Represas*. Série Monografias em Limnologia. Ed. J.G. Tundisi - Vol I, Tomo 1 - EESC - USP/CRHEA/ACIESP.
- TUNDISI, J.G., 1990. Perspectives for ecological modelling of tropical e subtropical reservoirs in South America. *Ecological Modelling*, 52: 7-20. Elsevier Science Publishers, Amsterdam
- TUNDISI, J.G., 1993. Represas do Paraná Superior: Limnologia e Bases Científicas para o Gerenciamento. Conferências de Limnologia. Eds: Andrés Boltovskoy & H. L. López. Instituto de Limnologia "Dr. R.A.

Ringuelet". p 41-52.

TUNDISI, T.M.; TUNDISI, J. & MATHEUS, C. E. 1975. Plankton Studies in a Lacustre Environment. II Spatial Distribution of the Zooplankton. *Ciência e Cultura*. 27 (3): 269 - 271.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M.; ROCHA, O.; GENTIL, J.G.; NAKAMOTO, N. 1977. Primary Production, Standing-Stock of Phytoplankton and Ecological Factors in a Shallow Tropical Reservoir (Represa do Broa, São Carlos, Brasil). *Sem. edio Ambiente y Represas*. (1) 138-172. Montivideo, Uruguai.

TUNDISI, J.G. & BARBOSA, F.A.R., 1981. Impacto das obras hidráulicas nas bacias hidrográficas. *Interfaces: escritos e documentos*. UNESP, 69 pp. 1 - 27.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. & CALIJURI, M.C., 1993. Limnology and Management of reservoirs in Brazil. In: *Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management*. M. Straskraba; J.G. Tundisi & A. Duncan (Eds). Cap II p: 25-55. Kluwer Academic Publishers.

ULANOWICZ, R.E. 1986. *Growth and Development: Ecosystem Phenomenology* Springer Verlag. NY. 203 pp.

VALDERRAMA-BARCO, M.B. 1992. *Parâmetros populacionais (crescimento mortalidade, nível de exploração) e padrão de recrutamento do Bocachico Prochilodus magdalenae (Steindachner, 1878; Prochilodontidae) do baixo Rio Magdalena (Colômbia)*. Dissertação de mestrado. IB- UNESP - Rio Claro (SP). 80 pp.

VALENTIN, J.L., 1987. A modelagem ecológica, uma ferramenta objetiva para o estudo integrado dos ecossistemas. *Nerítica*. Vol 2: 43-60. Pontal do Sul (PR).

- VALENTIN, J.L. 1993. Modelling of the Vertical Distribution of Marine Primary Biomass in the Cabo Frio Upwelling Region. *Ciência e Cultura*. 44 (2-3): 178.- 183.
- VALENTIN, J.L. & COUTINHO, R. 1990. Modelling maximum chlorophyll in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: a preliminary approach. *Ecological Modelling*, 52 p 103-113.
- VERHULST, P.F. 1838. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondences Mathématiques et Physiques*, 10: 113-121.
- VOLTERRA, V. 1926. Fluctuations in the Abundance of a Species Considered Mathematically. *Nature* 118: 558-60.
- VOLTERRA, V. 1931. *Leçons sur la Théorie mathématique de la lutte pour la vie*. Ed. Marcel Brelot. Paris.
- VON BERTALANFFY, L. 1934. Untersuchgen uber die Gesetzchkeiten des wachstms. 1. Allgemie Grundlagen der Theorie. *Roux'Arch. Entwicklungsmech. Org.*, 131: 613-653.
- VON BERTALANFFY, L. 1968. *Teoria Geral dos Sistemas*. Ed. Vozes (RJ). 351pp
- WATANABE, T. 1981. *Flutuação sazonal e distribuição espacial do nano e microfitoplâncton na represa do Lobo (Broa), São Carlos (SP)*. Dissertação de Mestrado. São Carlos - Depto. de Ciências Biológicas. UFSCar. 157p.
- WU, J.; VANKAT, J.L. & BARLAS Y. 1993. Effects of patch connectivity and arragement on animal metapopulation dynamics: a simulation study. *Ecological Modelling*, 65 p 221-254.

WULFF, F.; FIELD, J.G. & MANN, K.H. (eds). 1989. *Coastal and Estuarine Studies. Network Analysis in Marine Ecology - Methods and Applications*. Ed. Springer-Verlag. 284p.

WULFF, F.; ULANOWICZ, R.E. 1989. A Comparative Anatomy of the Baltic Sea and Chesapeake Bay Ecosystems, p 232-256. In: Wulff, F.; Field, J.G. & Mann, K.H. (eds). *Coastal and Estuarine Studies. Network Analysis in Marine Ecology - Methods and Applications*. Ed. Springer-Verlag. 284p.

ZILLIOUX, E. 1970. Ingestion and assimilation in laboratory cultures of *Acartia*. *Tech. Rept. Mar. Water Qual.* Lab. EPA, Narraganset, RI.

ANEXO 1

Fax da Profa. Dra. Astrid Jarre-Teichmann
(Universidade de Kiel - Alemanha)
sobre o modelo construído com o ECOPATH II

Dr. Astrid Jarre-Teichmann

Ronaldo Angelini
c/o Miguel Petrere, Jr.
UNESP
Instituto de Biociencias de Rio Claro
Depto. de Ecología
Caixa Postal 199
13506-900 - Rio Claro (SP), Brasil
FAX 0055 195 34 4433

03 April 1995

Dear Ronaldo,

sorry that it took me such a long time to respond to your letter. As you can see from the letterhead, I changed the institute and moved to the Institute of Marine Science in Kiel. On top of that, I had to spend a couple of days in hospital - but now, here I am back at my desk, getting things back in order.

As for the ECOPATH Chapter in your thesis, I have the following comments:

1. Abstract: "this reservoir was chosen because it contains the largest amount of information in Brazil". A reservoir contains water, no information! It is probably the best-known reservoir - please rephrase.
2. p. 3 (Introduction), para 3: $8 \text{ km} \times 900 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 21.6 \times 10^6 \text{ m}^3 \approx 22 \times 10^6 \text{ m}^3$, but not as many zeroes as you put.
3. p. 4: Production = Export - mortality by predation + non-predatory mortality
= Export + mortality by predation + flow to detritus
is probably more easily understood by the reader.
Export is not only the fraction of the production lost to other systems, e.g., by migration, but also harvests, e.g., the fishery.
4. p 5ff (Group descriptions): please include the family names with the species names (e.g., *Geophagus brasiliensis* (Cichlidae)).
Any references for the diet compositions?
"Natural mortality was calculated by the program ELEFAN": This is true in principle, but the M formula is based on a reference - I don't have the program here at the moment, but I suppose it is Pauly (1980).
A more correct statement would be: The natural mortality was calculated following Pauly (1980), based on the growth parameters $W_{\infty} = \text{xxx g}$, $K = \text{xxx year}^{-1}$ (Reference) and a mean environmental temperature of xx °C.
5. Computation of QBi: Please use the formula of Palomares and Pauly (1989) as a reference. The scientific basis of her regression is much more sound than the one in Pauly et al. (1990), who only used "what other people are using" - rough guesses, in some cases. Should you not have the paper, I can send it to you. Anyway, the complete reference is
Palomares, M.L.D. & D. Pauly. 1989. A multiple regression model for predicting the food consumption of marine fish populations. Aust. J. Mar. Freshwater Res. 40: 259-273.

- 2 -

- Deng Palomares extended this approach in her PhD thesis to freshwater fish, and there's no difference in the food consumption estimate between marine and freshwater species. I do not think she published the latter, though.
6. p.6: *Hoplias malabaricus*: Table 1 gives EE = 0.26, which seems very high for a large species. Text says EE = 0.2. Pls. explain.
 7. p.6: Benthos: EE = 0.3 seems very high - pointing to mainly carnivorous groups. Data compilations indicate that $EE \cong 0.09$ for (exclusively) herbi/detritivores, and $0.25 \leq EE \leq 0.3$ for (exclusively) carnivores. Pls. adjust according to diet composition - you are probably better off with an EE around 10%.
 8. p. 6. Zooplankton: You use EE = 0.3 in the text, and EE = 0.25 in Table 1. Please adjust, and check the literature which value is more realistic.
 9. p.7. Macrophytes: last sentence of the paragraph: Dou you mean "... it was assumed that they were spread out over the whole lake, but with "diluted" biomass"? Pls. clarify.
 10. p. 7 Results. The first paragraph belongs to the "Material and Methods" section.
 11. p. 8, Table 1: Any explanation why there are so few zooplanktivores in the system?
 12. p. 9, Table 3: Pls. include the units after each of the items listed (e.g., Total Consumption (CT) (g ww/m²/year))
 13. p. 9/10: Why did you analyse the Ascendency, Overhead etc. by compartment? An explanation would be in place.
 14. p.11, point (i): import to detritus is from outside the system. Do you mean *flows* to the detritus?
 15. p. 11, last para (point (ii)): Language: The macrophytes, with the largest biomass of the system lose their *production* to the detritus due to the lack of *herbivores*.
 16. p. 12, first para (point iii). Primary producers have a consumption of zero! Any idea why there is not more zooplankton in the reservoir?
 17. p. 12, line 8, typo: sensitivity analysis, not sensibility
 18. p. 12, Lindeman's pyramid: You find an average 5%, which is lower than the average 9.2% found by Christensen and Pauly (1993). Please try to find an explanation why the efficiency at the herbivore level is so low.
 19. p. 13, Table 7. I think it is less confusing for the reader if you add another column at the right side giving your results for BROA, rather than highlighting the respective fields in the table.
 20. Good idea to consider more attributes!
 21. p. 14, TDC/CT: Please keep in mind, however, that all flows based on detrituts should be considered, i.e., also the indirect ones.
 22. p. 15. Has the accumulation of detritus suggested by your model also been observed independently? Reference?
 23. I agree with you suggestions for improvement. Emphasize the mismatch between the phytoplankton production and the predation by zooplankton, and the role of zooplankton in the system. Could a more detailed investigation of the potential grazers/predators help?
 24. There are several papers on lakes in the "Trophic models" book edited by Christensen and Pauly. Could you compare your results to some of them? Do you have access to the book?
 25. Fig. 1 is not very telling. Please include major cities and rivers in the SP State Map, and villages/study sites/ Laboratories around the Reservoir.
 26. Fig. 3.: Please give an indication for the scaling of the y-axes, in order for the reader to get an impression how big "large" is.

- 3 -

Last not least: Well done! The suggestions should not be too difficult to include. There are a few more typos in the text which you will surely have found in the meantime. I'll airmail the MS back to you.

Looking forward to hearing from you. Good luck for the final spurt.

Best wishes,



Dr. Astrid Jarre-Teichmann
Research Scientist

Dr. Astrid Jarre-Teichmann
Institute of Marine Science
Department of Fisheries Biology
Duesternbrooker Weg 20
24105 Kiel
F.R. Germany

Phone + 49 431 5973921
FAX: + 49 431 565876
e-mail: ajarre@ifm.uni-kiel.d400.de

ANEXO 2

Fax do Prof. Dr. Milton Asmus (FURG - Rio Grande)
sobre a presente dissertação, com ênfase
no modelo construído no STELLA II.



Fundação Universidade do Rio Grande

Rio Grande, 13 de junho de 1995

Prof. Miguel Petrere Jr.
Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Engenharia Ambiental
Escola de Engenharia de São Carlos
fax 0195-34-0009

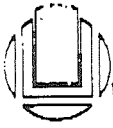
Prezado Prof. Petrere Jr.:

A pedido de seu orientado, Ronaldo Angelini, analisei sua dissertação de mestrado intitulada "Análise do Ecossistema da Represa do Broa (SP), através de um Modelo Estático (ECOPATH II) e de um Modelo de Simulação (STELLA II)". O meu parecer sobre o trabalho é favorável. Acredito que o tema, o nível e a qualidade do trabalho atendem as exigências mínimas referentes a uma dissertação de mestrado. Me agradou sobretudo a idéia de construir um modelo estático e outro dinâmico sobre o mesmo sistema aquático. Esse enfoque de modelagem comparativa abre, na minha opinião, uma linha muito interessante de análise ambiental, com grande potencialidade de aplicação em ações de planejamento e manejo.

Existem, no entanto, alguns aspectos no trabalho que poderiam ser, a meu juízo, melhorados numa versão revisada da dissertação, ou nos trabalhos que dela serão derivados e, acredito, futuramente publicados. Nesse sentido, de forma bastante sucinta, tratei de apontar aqueles aspectos de caráter mais geral. Comentários mais específicos poderão ser encaminhados diretamente ao seu orientado na forma de anotações no próprio documento. As observações são as seguintes:

— No RESUMO há uma sentença que afirma que "O primeiro modelo- denominado BROA- descreve o ambiente em suposto estado de equilíbrio, ...". Logo adiante, afirma que "a represa do Broa é um ecossistema em desenvolvimento; ...". Não há contradição nessas afirmações? Talvez a redação deva ser revista.

→ Em todo o trabalho existem parágrafos com apenas uma sentença. Acho que deveriam ser evitados. Seria mais elegante e mais claro blocos (parágrafos) com informações relacionadas.



- No final da INTRODUÇÃO há uma justificativa da razão do trabalho ter sido realizado na represa do BROA. Afirma que esse é o ambiente aquático com maior volume de informações no Brasil, e que o presente trabalho aproveitaria tais informações na construção dos modelos. Acredito que a represa do Broa deva ter importâncias ecológicas, acadêmicas, econômicas e sociais que justifiquem o grande número de trabalhos (incluindo este). O trabalho deve ser colocado num contexto que o justifique adequadamente.
- Nos OBJETIVOS ESPECIFICOS não fica claro se esse trabalho pretende "Identificar e descrever propriedades, bem como, quantificar parâmetros desconhecidos dos ecossistemas de reservatórios" em geral, ou especificamente do BROA.
- Na equação 4.7 e na 4.8 não encontro " r^2 ".
- Na REVISÃO BIBLIOGRÁFICA há um histórico sobre os modelos em ecologia. Acho que deveriam ali aparecer os trabalhos clássicos de modelagem desenvolvidos por H. T. Odum. Seus trabalhos (Silver Springs FL) criaram uma nova e amplamente utilizada linguagem energética para a ecologia, e basicamente iniciam a "ecologia de sistemas moderna".
- Acho que o ECOPATH e STELLA não deveriam ser designados como "modelos". Eles são, na verdade, linguagens de alto nível que representam modelos (BROA, ELLOED, etc.)
- Na página 16 pode estar havendo uma confusão entre CALIBRAÇÃO e VALIDAÇÃO. Seria interessante checar esses conceitos utilizando Jorgensen (1992) (Fundamentals of Ecological Modeling, 2ª edição)
- NO MATERIAL E METODO as figuras de localização do reservatório (3.1 & 3.2) deveriam ser refeitas. Nas figuras e tabelas devem ser evitados termos em inglês como "reservoir" e "river".
- No item 3.2.1 ECOPATH II (pg 22) há uma sentença que afirma que "A equação básica do modelo ECOPATH II é a de um sistema balanceado, isto é, sob condições de equilíbrio." Essa condição se aplica a represa do Broa? Talvez aqui caiba uma justificativa esclarecedora.



Fundação Universidade de Rio Grande

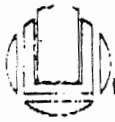
Espero que estas sugestões possam de alguma forma contribuir nessa etapa final do trabalho. Quero agradecer pela oportunidade que tive em ler a dissertação e parabenizar ambos orientado e orientador.

Estarei a disposição para qualquer outra possível colaboração.

Atenciosamente,

Milton L. Asmus
Professor Titular

Dept^o Oceanografia-FURG
Caixa Postal 474
96201-900 Rio Grande RS
fax 0532-30-2126



- Nas tabelas todos os símbolos deveriam ser explicados na legenda ou referidos ao texto.
- No MODELO DE SIMULAÇÃO não há uma justificativa da razão pela qual as variáveis de estado e as variáveis forçantes foram selecionadas. Creio que é um ponto crucial da modelagem e mereceria uma melhor explicação.
- Acredito que o modelo ELLOBO deveria incluir aspectos de perdas do sistema como respiração e decomposição, no mínimo conceitualmente. Esses processos certamente são importantes para a variação temporal das variáveis de estado selecionadas.
- As equações de crescimento CRESC não correspondem ao modelo conceitual da pg. 47 (CLOROFILA II)
- Eu recomendaria que numa futura versão do modelo a função representativa da produtividade primária utilizasse uma taxa de produtividade (p. e. P_{max}) independente de valores empíricos de clorofila. Isso tornaria o modelo mais representativo das condições que controlam a produção e menos representativo de observações preteritas (clorofila no Broa).
- As tabelas 4.2.1 & 4.2.2 deveriam ir para um apêndice.
- O modelo ELLOBO possui uma estrutura simples mas razoável. Acho que deveria em futuras versões incorporar parâmetros originados do BROA tais como taxas de respiração.
- Acho que tabelas ricas em informação como a 5.1 poderiam ser mais exploradas em termos de alguma recomendação sobre possíveis cuidados e usos adequados do sistema.

Como observação final gostaria de ressaltar que, na minha opinião, deveriam ser, em trabalhos futuros (ou em análises futuras deste), mais exploradas as comparações dos resultados dos dois modelos. Vários aspectos de um podem ser utilizados na melhoria do outro. Em resumo: evitar uma análise em paralelo e focar numa análise integrada.