

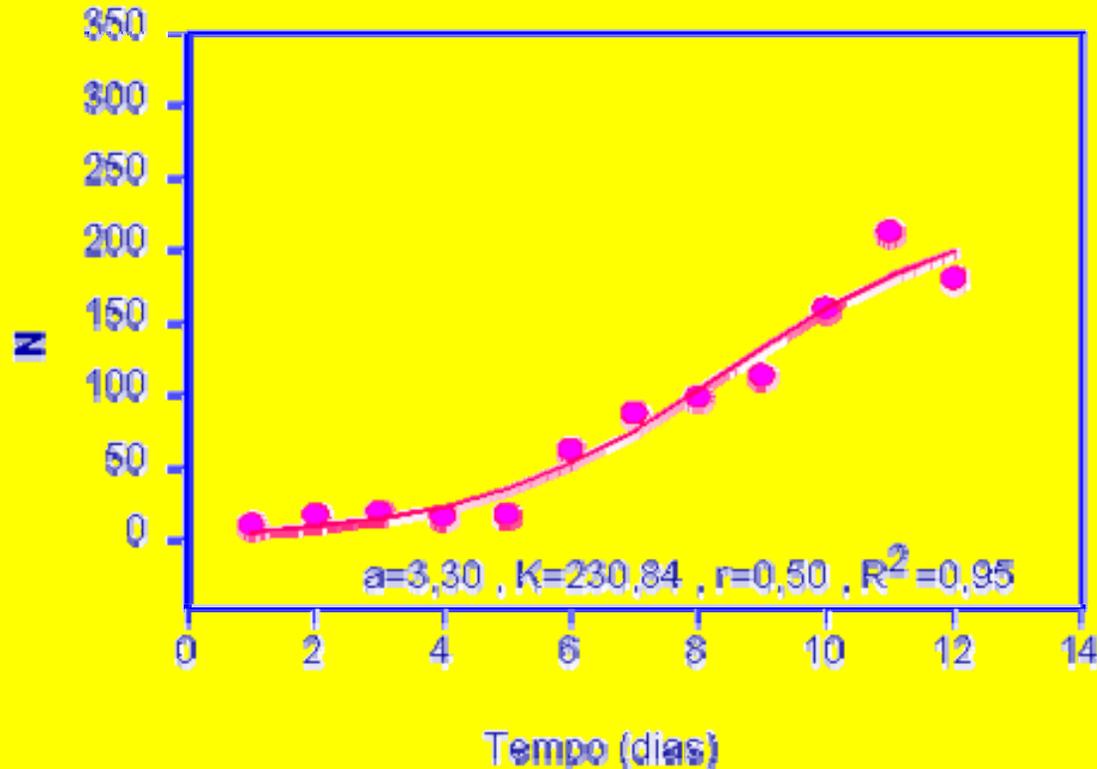
Estimando a capacidade de suporte em reservatórios

- O que é a capacidade de suporte?
- Quais as maneiras de medir a capacidade de suporte?
- O uso da modelagem matemática para estimar a capacidade de suporte.
- Porquê é importante conhecer a capacidade de suporte em projetos de aquicultura?

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N \cdot \frac{K-N}{K}$$

$$\lim_{N \rightarrow K} \left(\frac{K-N}{K} \right) = 0$$

$$N_t = \frac{K}{1 + e^{-a-r \cdot t}}$$



O conceito de capacidade de suporte (K) foi muito disseminado em Ecologia a partir do modelo clássico de crescimento logístico de populações, onde k é um parâmetro da curva sigmóide de crescimento. O modelo logístico acima foi ajustado para o crescimento de organismo do zooplâncton (*Moina* sp.) cultivado sob condições ideais em laboratório (Dados de Macedo & Pinto-Coelho, 2000).

Estimativa de capacidade de suporte baseada em nutriente limitante Bases Teóricas

O crescimento das algas pode ser simulado através de uma formulação inspirada na 'Lei do Mínimo' de Justus Liebig:

$$G_p = K_p(T) \cdot f(I) \cdot \text{Min} \left(\frac{C_j}{(K_{mj} + C_j)} \right)$$

onde:

Min é um operador selecionado para o termo j que seria o elemento limitante da série n.

A expressão $C_j/(K_{mj}+C_j)$ corresponde ao modelo do tipo 'Michaelis Menten' , um modelo não linear, baseado na constatação empírica de que existe uma curva de saturação na cinética de absorção de elementos nutritivos pelas algas e também bactérias. Este tipo de comportamento das algas nem sempre é verdadeiro pois algumas delas podem na realidade absorver nutrientes em quotas acima de suas reais necessidades momentâneas. Este tipo de comportamento é chamado 'consumo luxuriante' e é típico de algumas algas azuis, por exemplo. Alguns modelos têm proposto equações que absorvem este tipo de comportamento (Jorgensen, 1976).

Estimando a capacidade de suporte a partir da relação clorofila x fósforo

Segundo Ignall e Colesar (1979), o propósito do uso de modelos matemáticos não são os números em si que eles apresentam mas sim os enfoques e a nova maneira de se focar uma dada questão científica. As principais características estruturais de um modelo são as variáveis de estado que correspondem às variáveis indispensáveis ao cálculo da dinâmica do sistema considerado. A escolha destas variáveis dependerá não só do sistema em questão (quemostato, lago, rios, estuários, etc.) como também dos processos a modelizar: transporte, produção, consumo, etc. O número e a natureza destas variáveis dependerá da complexidade do modelo que está vinculada a dois tipos de complexidade: a complexidade de representação física do sistema (padrões de distribuição espacial, por exemplo) e a complexidade dos processos ecológicos a serem modelizados (número de espécies ou de níveis tróficos a considerar, por exemplo).

A maioria dos modelos possuem três tipos de variáveis:

- a) variáveis de estado,
- b) variáveis de força
- c) variáveis auxiliares.

Estimativa de capacidade de Suporte: O modelo de Chauneau

O modelo que será apresentado a seguir é um modelo pontual de níveis tróficos condensados inicialmente desenvolvido por Chahuneau e publicado por Pourriot *et al.* (1982). O algoritmo de cálculo apresentado por eles foi por mim adaptado à linguagem TURBO PASCAL que além de possibilitar uma vasta gama de simulações adicionais não previstas originalmente está também acoplada a interfaces gráficas relativamente poderosas e sub-rotinas de entrada e saída (I/O procedures) que possibilitam ao usuário exportar os resultados para outros aplicativos tais como o SYSTAT, Q-PRO e o PowerPoint. O modelo envolve basicamente a dinâmica de três variáveis de estado: concentração de ortofosfato (PO_4), fitoplâncton (P) e zooplâncton (Z) definidas pelas equações diferenciais abaixo:

Variável de estado 1: P- ortofosfato (ug.l⁻¹)

$$\frac{dPO_4}{dt} = \text{FLOWIN} - \text{CONV} * P * \mu * \Theta^{T-T_{opt}} * \frac{I}{KI+I} * \frac{PO_4}{KPO_4 + PO_4} - \text{FLOWOT} + \text{FRCYCP} + \text{FRCY CZ}$$

Variável de estado 2: Fitoplâncton (ug. l⁻¹ clorofila-a)

$$\frac{dP}{dt} = P * \mu * \Theta^{T-T_{opt}} * \frac{I}{KI+I} * \frac{PO_4}{KPO_4 + PO_4} - P * \text{RESP} * \Theta^{(T-T_{opt})} - P * \text{SED} - Z * \text{GRAZ} * \frac{P}{KP+P} - \text{FOUTP}$$

Variável de estado 3: Zooplâncton (mg Carbono.l⁻¹)

$$\frac{dZ}{dt} = Z * \text{GRAZ} * \frac{P}{KOP + P} * \text{ASS} - Z * \text{RESP} * \Theta^{T-T_{opt}} - Z * \text{CARN} - \text{FOUTZ}$$

Program DYNAMICS.PAS

a Parametros Atuais

c Calcula

g Grafico das Variaveis de Estado

h Grafico da temperatura e radiacao solar

i Inicializa parametros para lago temperado

j Inicializa parametros para lago tropical

m Muda_parametro

p Imprime_parametros

s Selecciona Saida (CON Monitor, LPT1 printer ou filename)

v Ajuda

z Muda escalas no grafico

1 Imprime - Fosforo Dissolvido (ppb)

2 Imprime - Clorofila - a (ppb)

3 Imprime - Biomassa (C) do Zooplancton

4 Imprime - Biomassa (C) dos predadores

5 Imprime - Todas variaveis

6 Imprime - Temperatura da Agua

7 Imprime - Radiacao Solar

Saida Atual = CON

actual memory allows = 200 cycles/interactions

q Encerrar

Model variables

- 1 FLOWOT := PO4/TIMERET
- 2 FGP := P*MUMAX*(EXP((T-20)*LN(THETA)))*(IR/(KI+IR))*(PO4/(KPO4+PO4))
- 3 FRESP := P*RESP*(EXP((T-20)*LN(THETA)))
- 4 FSED := P*SED
- 5 FBR := Z*GRAZ*(P/(KP+P))
- 6 FOUTP := P/TIMERET
- 7 FGZ := FBR*ASS
- 8 FRESZ := Z*RESP*(EXP((T-20)*LN(THETA)))
- 9 FPRED := Z*CARN
- 10 FOUTZ := Z/TIMERET
- 11 FCONS := CONV*FGP
- 12 FRCYCP := FRESP * CONV
- 13 FRCYCZ := FRESZ * CONV/ASS]

Input variable constants

- K1 = solar radiation constant I (mean)
- K2 = solar radiation constant II (range)
- K3 = water temperature constant I (mean)
- K4 = water temperature constant II (range)

MaxTime = maximum time (in days)

Cont = time gap in days

Procedure variable explanation

State variables

- 1 PO4 = concentration of orthophosphate (ug/l)
- 2 P = biomass of phytoplankton as chlorophyll-a (ug/Chl-a.l)
- 3 Z = biomass of zooplankton as mgC/l
- 4 C = biomass of predators as mgC/l

Model constants

- 1 MUMAX = increase rate of phytoplankton
- 2 KPO4 = saturation constant (Phosphate)
- 3 THETA = temperature correction Q10
- 4 KI = saturation constant (irradiation)
- 5 TIMERET = retention time
- 6 RESP = respiration rate of phytoplankton
- 7 SED = sedimentation rate
- 8 GRAZ = zooplankton grazing rate
- 9 KP = saturation constant (phytoplankton)
- 10 ASS = assimilation efficiency (clorofila --> C)
- 11 RESZ = respiration rate of zooplankton
- 12 CARN = predation rate upon zooplankton
- 13 FLOWIN = external load of phosphorus
- 14 CONV = energy conversion efficiency

Procedure actual_settings

Initial Settings of State variables --

Type of Lake =Tropical Lake

PO40 = 40.000 P0 = 3.000 Z0 = 0.015 C0 = 0.009

Parameters

MUMAX = 2.100 KPO4 = 8.000 THETA = 1.700 KI = 0.040

TIMERET = 200.000 RESP = 0.250 SED = 0.060 GRAZ = 19.000

GRAZ2 = 11.000 KP = 15.000 ASS = 0.015 RESZ = 0.150

CARN = 0.016 FLOWIN = 0.440 CONV = 0.680 CARN2 = 0.005

KZ = 0.047 ASSCARN = 1.000 RESCARN = 0.005

Input (Fource) variable constants

K1 = 0.300 K2 = 0.020 K3 = 24.000 K4 = 2.000

TMax = 26.000 ESC_RANDOM = 0

Other constants

MaxTime = 1825 Cont = 14

Number of cycles/interactions = 130

Min_Y1 = 0.0000 Max_Y1 = 60.0000

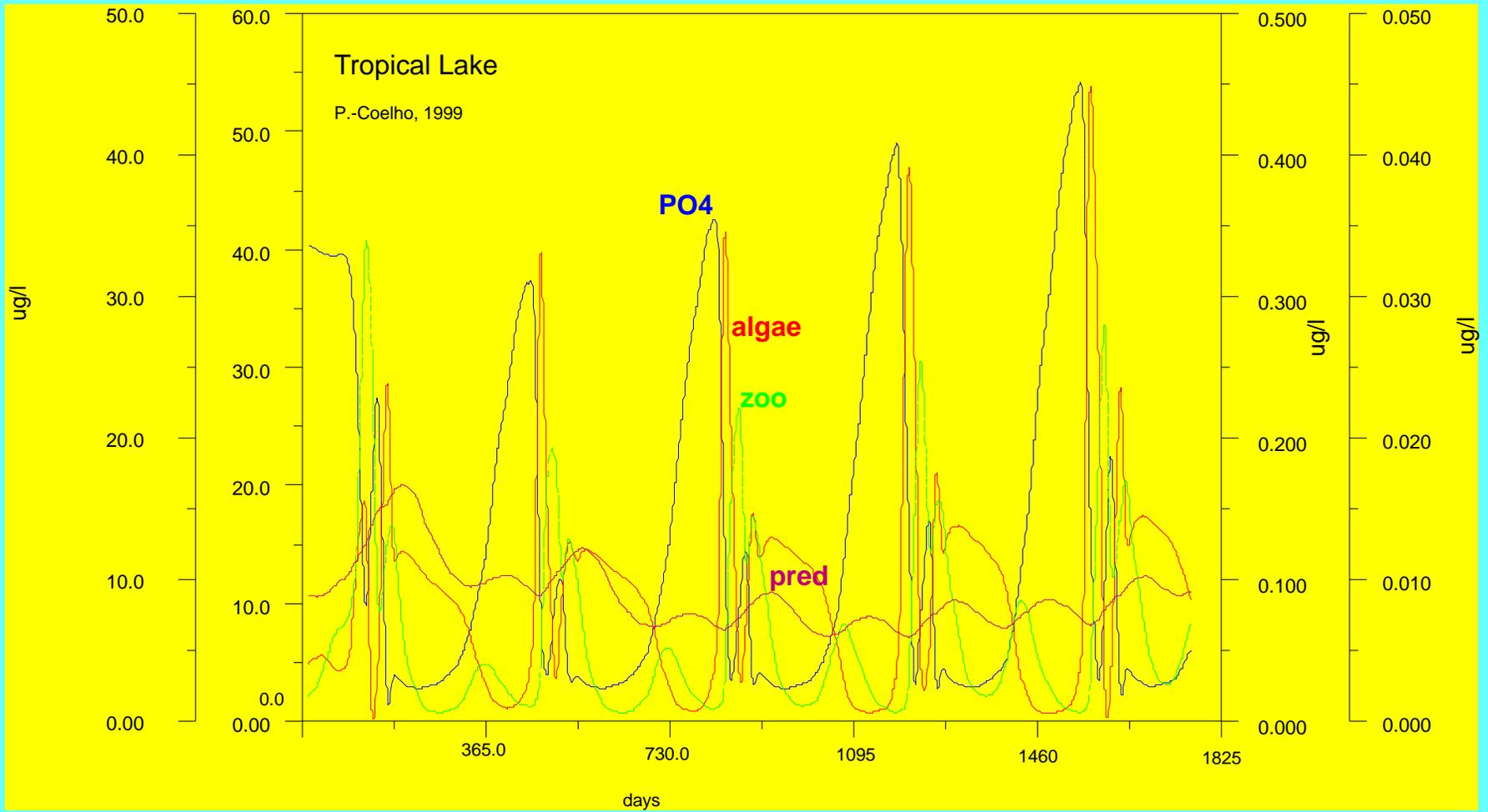
Min_Y2 = 0.0000 Max_Y2 = 50.0000

Min_Y3 = 0.0000 Max_Y3 = 0.5000

Type of Simulation

Flowin_Simula_Bol = TRUE TimeRet_Simula_Bol = FALSE

Carn_Simula_Bol = FALSE Graz_Simula_Bol = FALSE

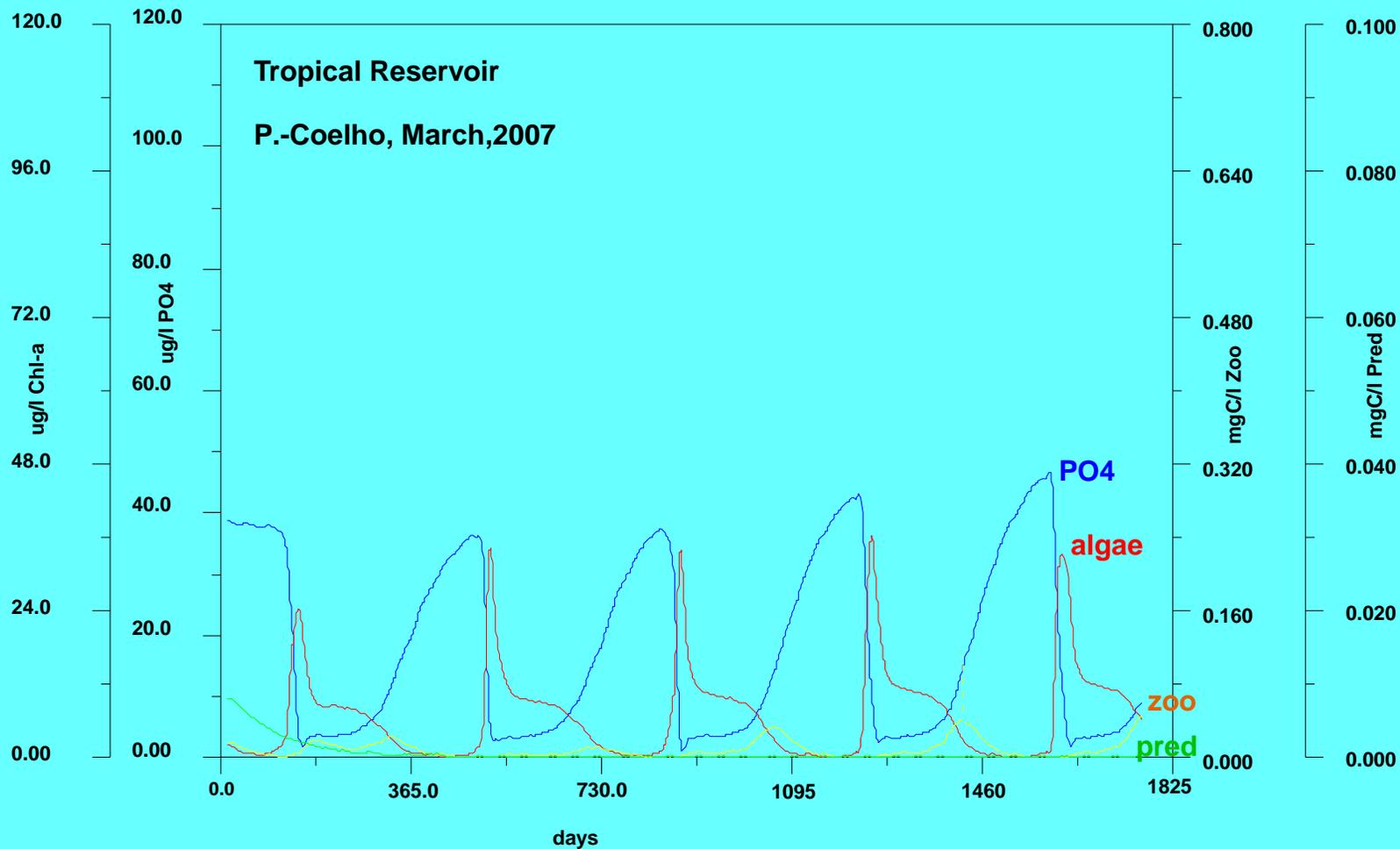


A capacidade de suporte um reservatório pode ser estimada, por exemplo, através da concentração de clorofila-a obtida pelo modelo que é função de uma série de variáveis de força e outros parâmetros importantes tais como a taxa de herbivoria ou a taxa de sedimentação.

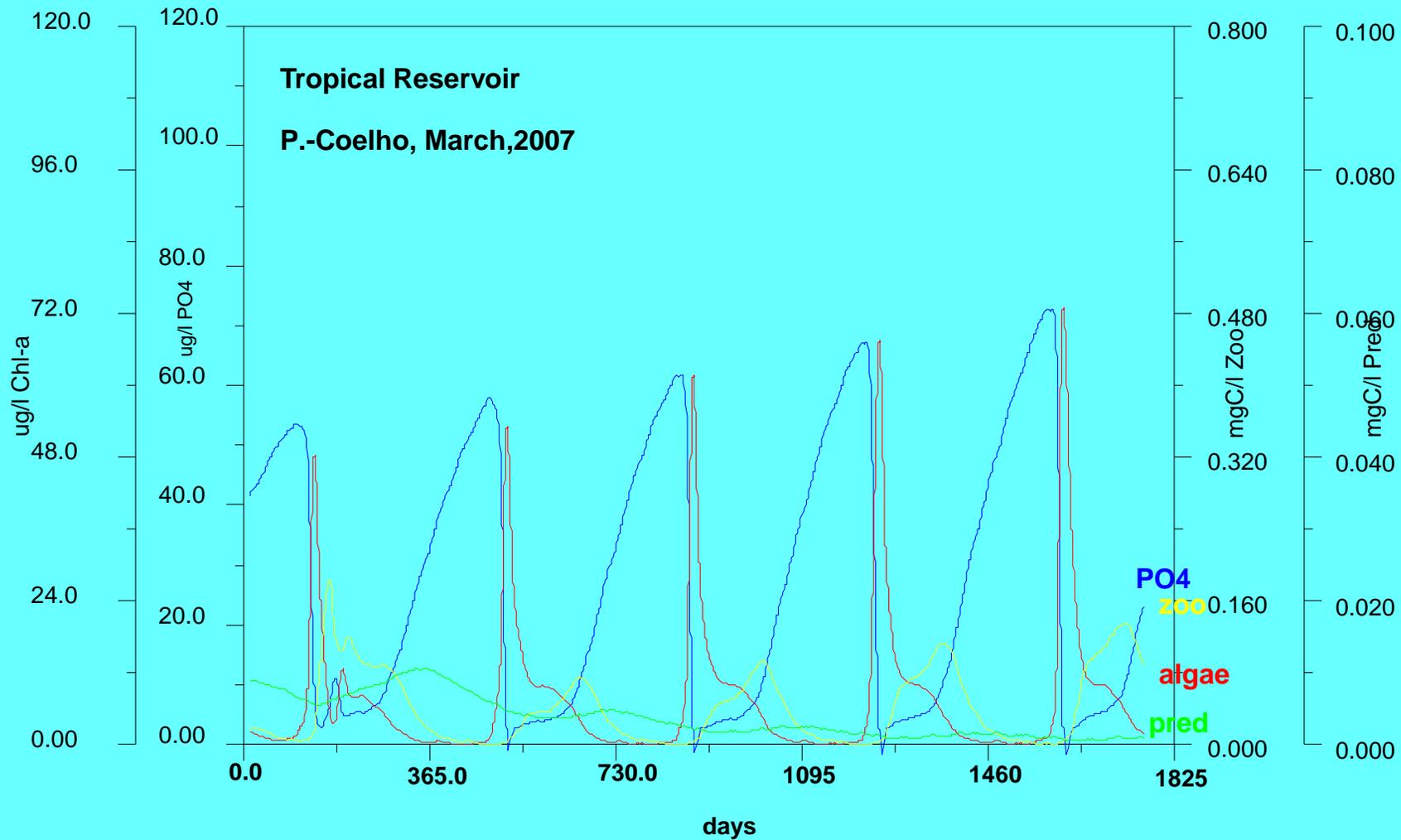
A seguir, iremos simular o comportamento de algumas variáveis que consideramos são de importância para a delimitação dos parques aquícolas:

- a) Aporte externo de fósforo
- b) Tempo de retenção
- c) Temperatura média e máxima da água
- d) Taxa de sedimentação

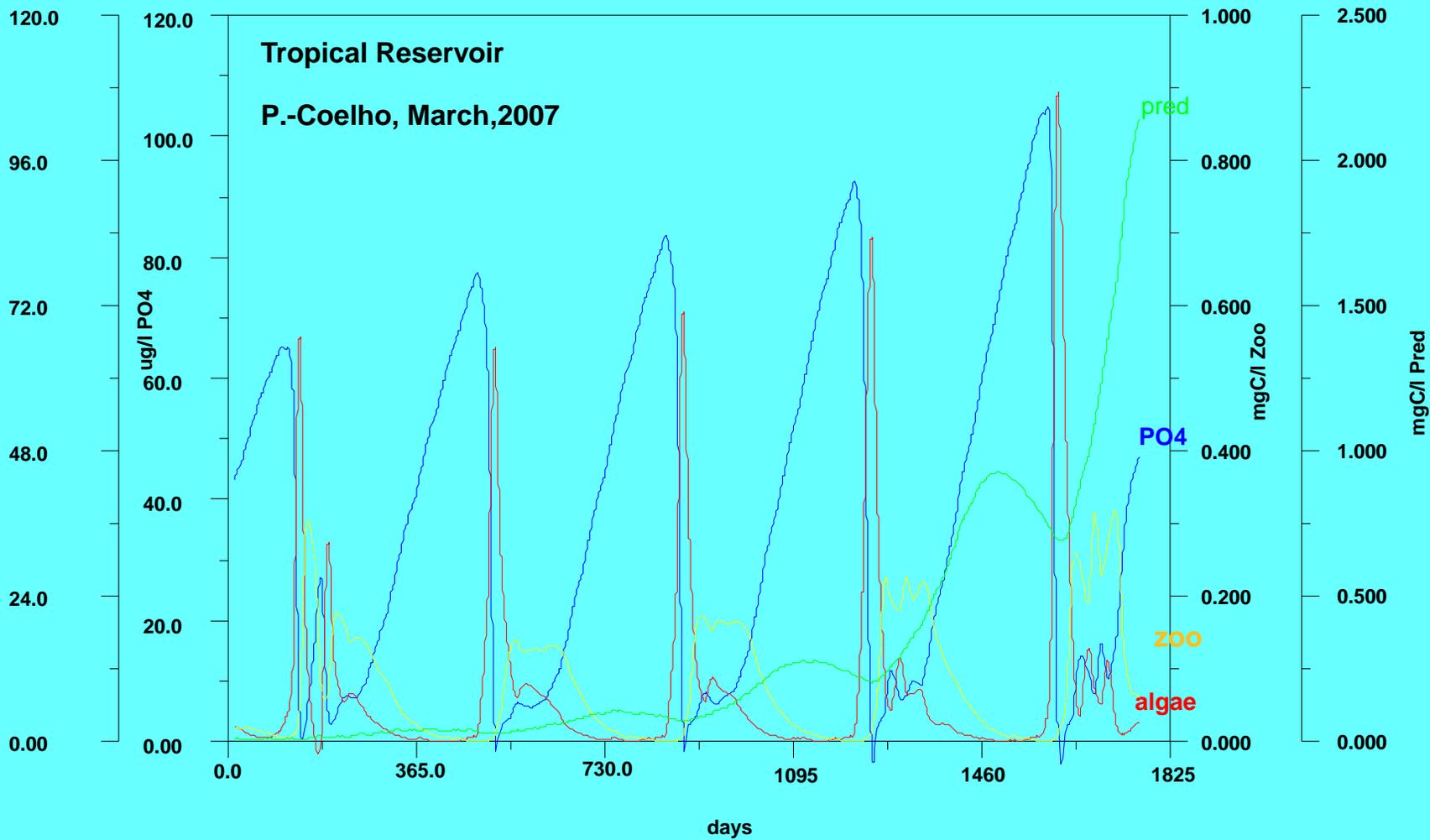
Tempo de Retenção



Timeret = 90

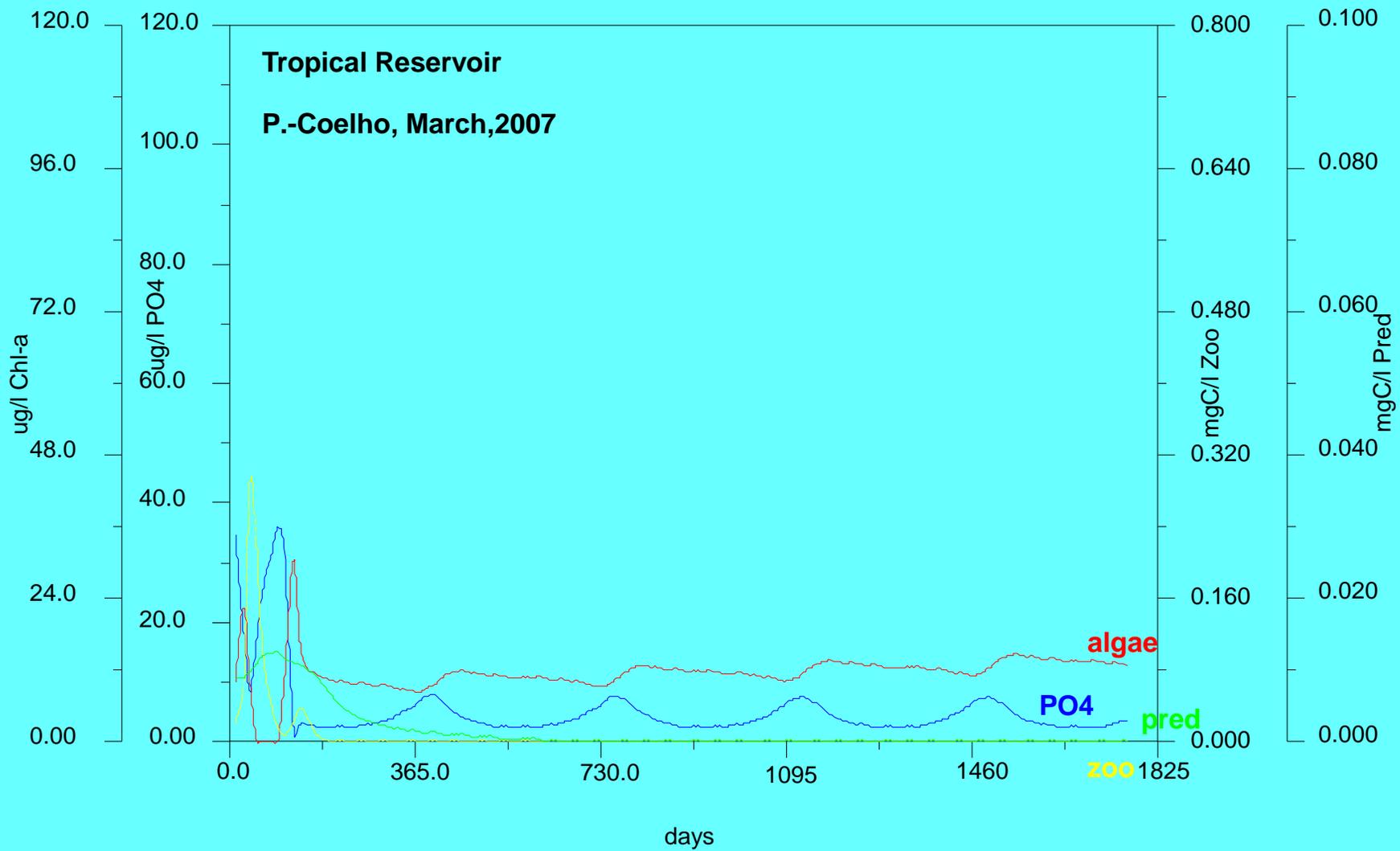


Timeret = 180

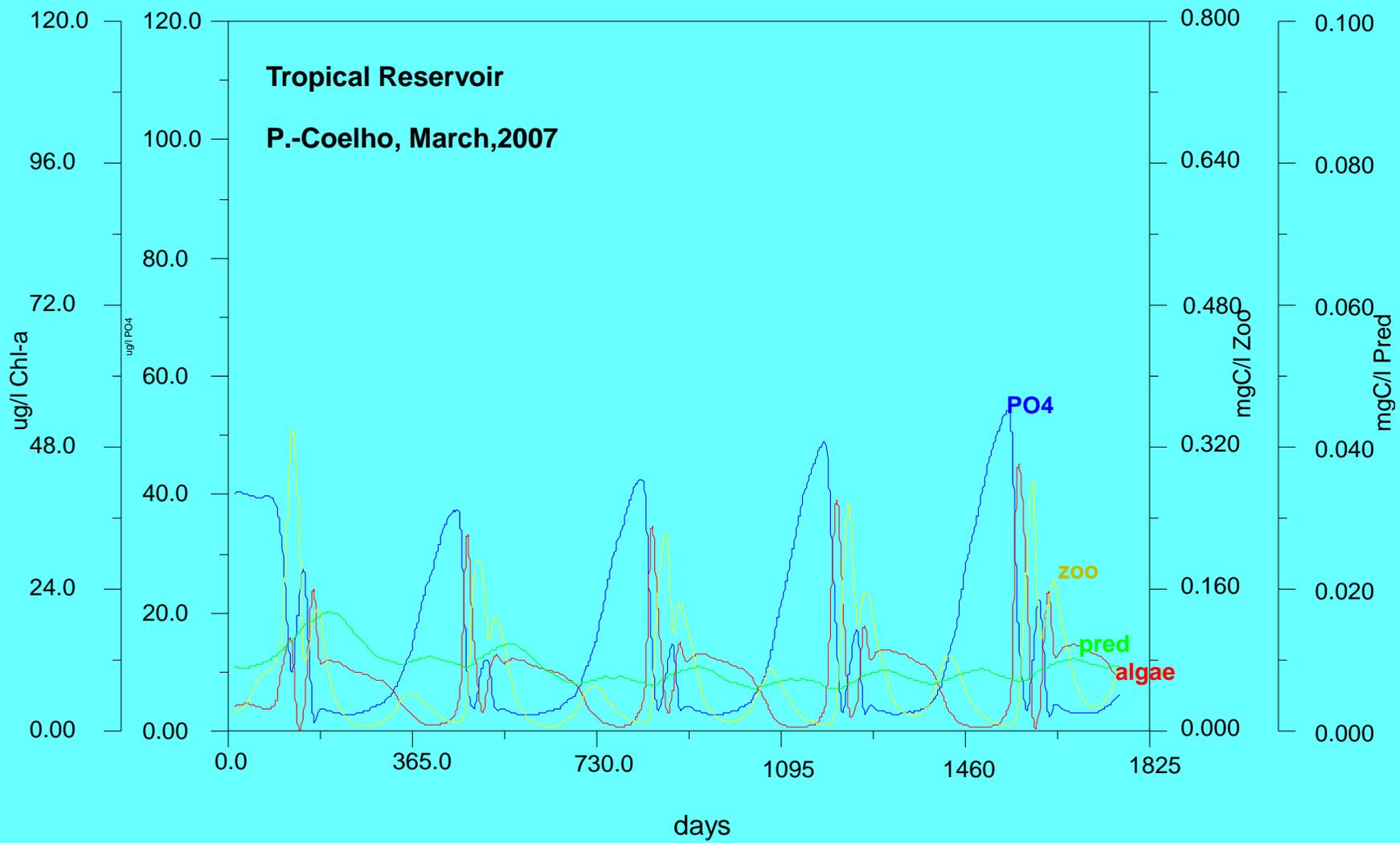


Timeret = 360

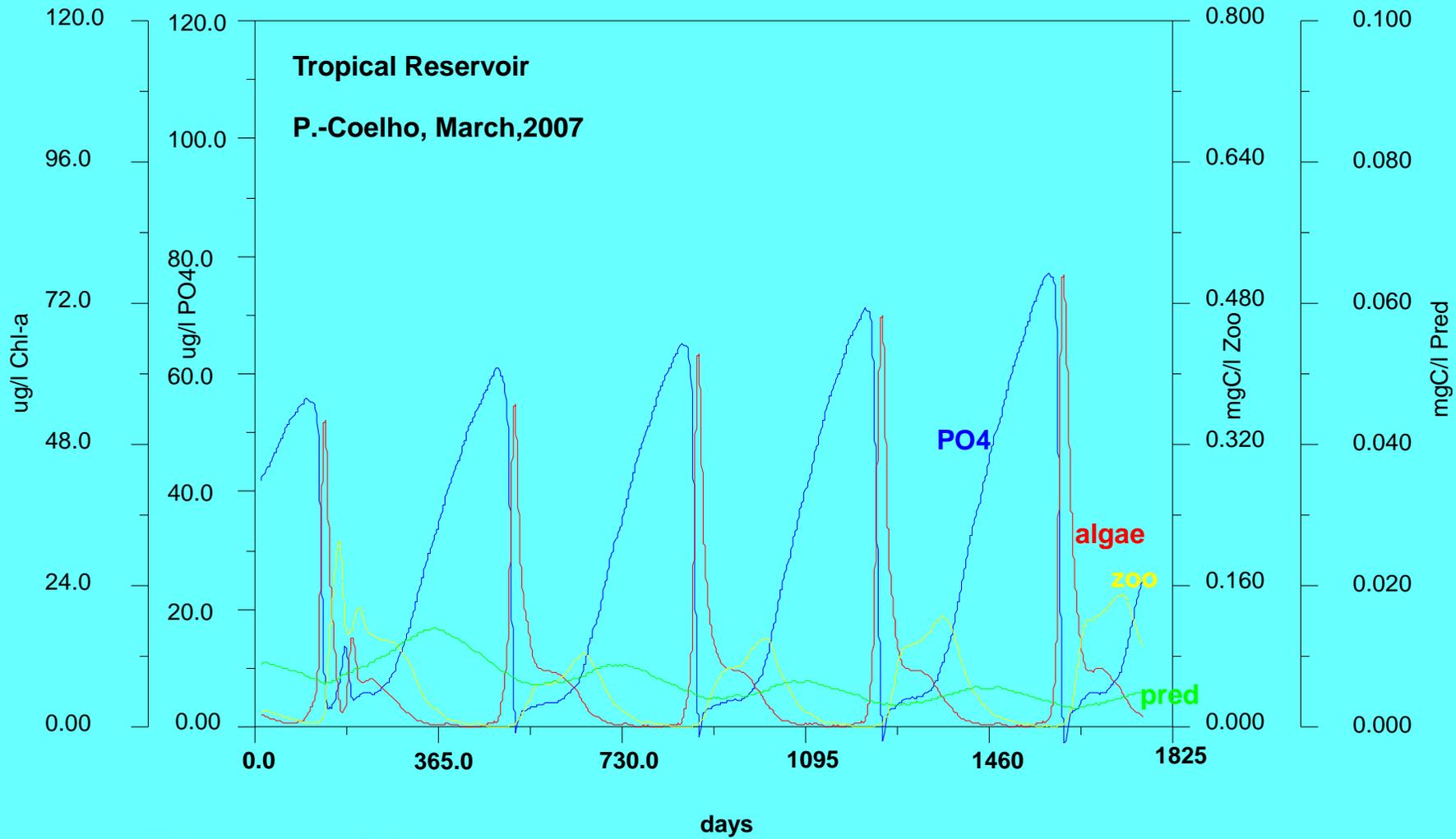
Temperatura



Tmax = 28

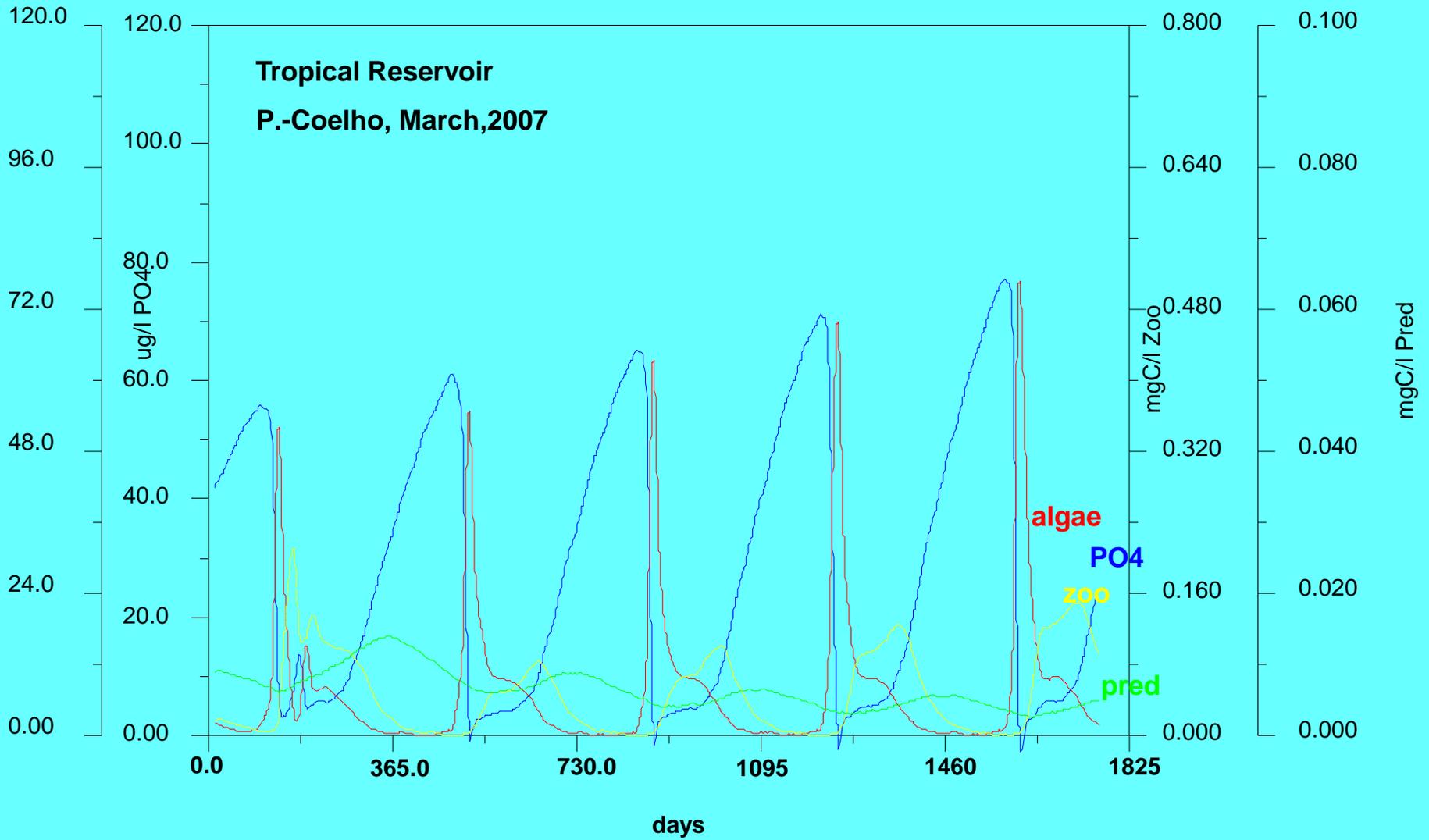


Tmax = 29

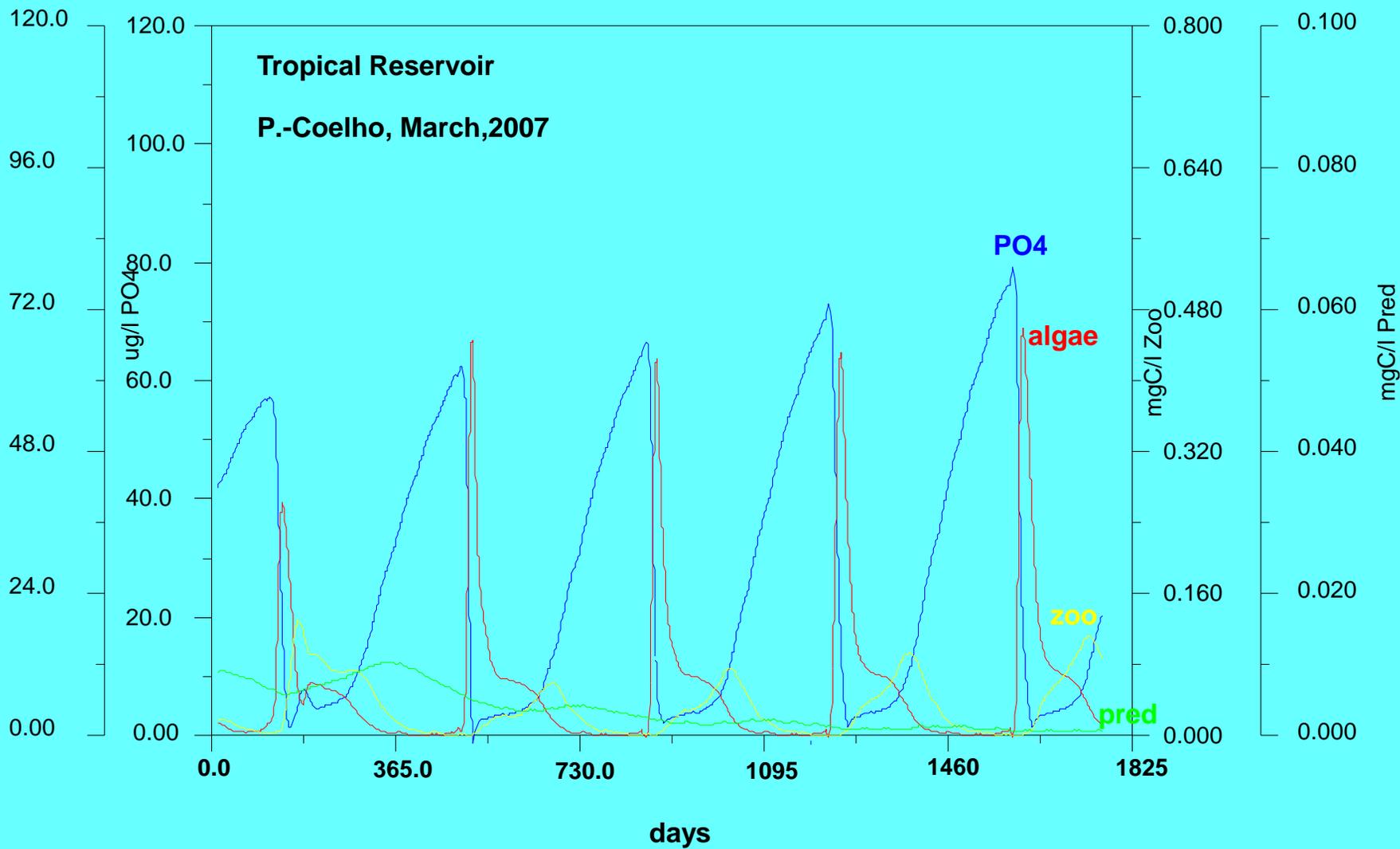


Tmax = 30

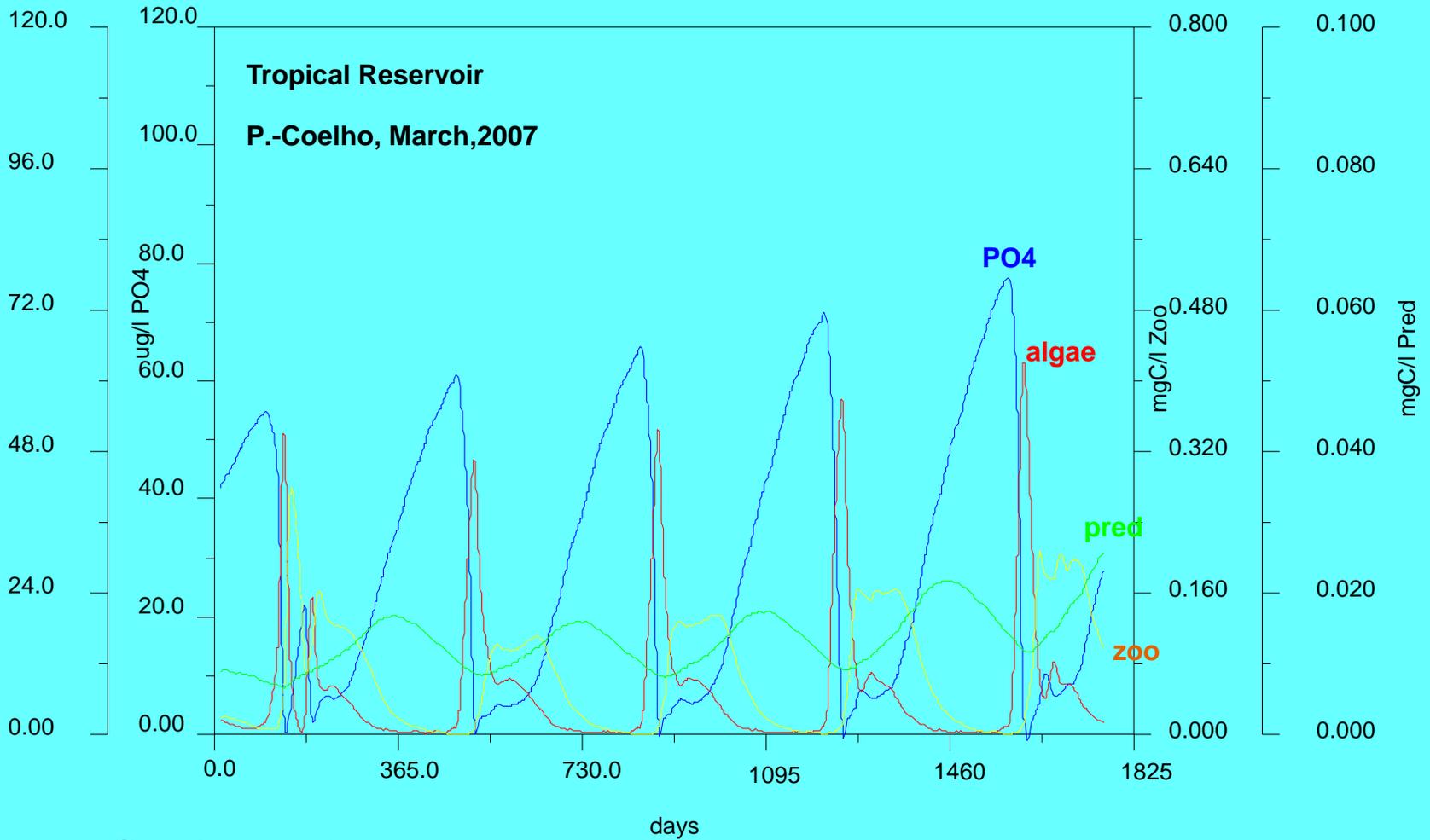
Taxa de Sedimentação



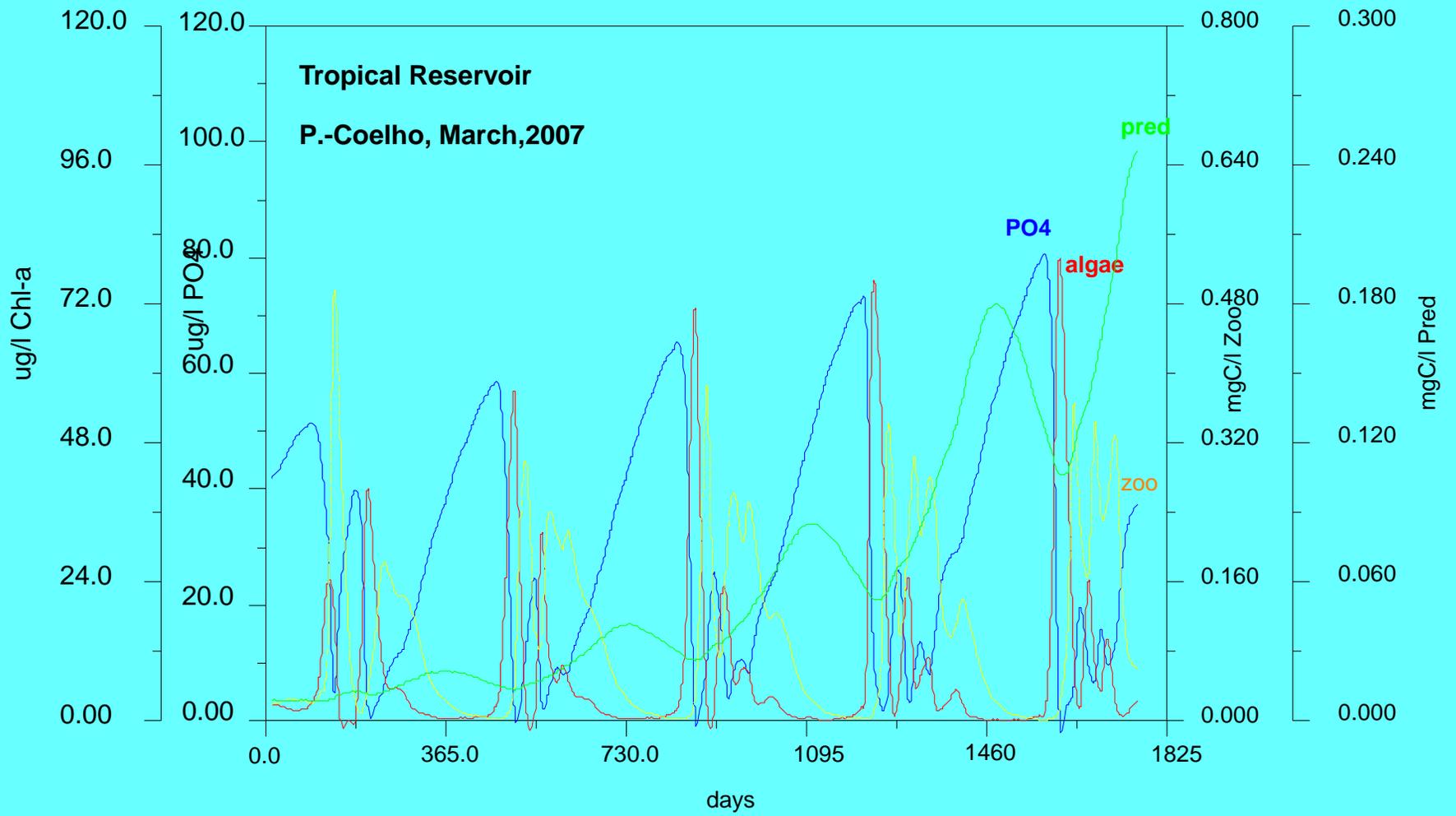
SED = 0.060



Sed = 0.065



Sed = 0.055



SED = 0.040

Conclusões

- Em todas simulações feitas, foi notável que o aumento no aporte externo de fósforo causou aumentos em todas as variáveis de estado (fósforo, clorofila-a e biomassa de zooplâncton e de peixes)
- O aumento no tempo de retenção (90, 180 e 360 dias) causou um agudo aumento em todas as variáveis de estado consideradas
- As condições ideais para o estabelecimento de cultivos intensivos de peixes seriam aquelas onde o aporte externo de fósforo não sofresse aumentos com o tempo e tempo de residência fosse baixo (< 90 dias).
- O aumento nas temperaturas máximas da água causou incrementos notáveis na disponibilidade de fósforo dissolvido e na clorofila-a, ao longo dos anos, independente dos ciclos sazonais
- A diminuição nas taxas de sedimentação causou aumentos sensíveis nas biomassas de zooplâncton e de predadores (peixes)
- As condições ideais para o estabelecimento de cultivos intensivos de peixes em tanques redes seriam aquelas onde e a temperatura máxima da água não superasse a casa dos 28 C. e a taxa de sedimentação fosse relativamente elevada (> 0.060 d⁻¹) e