

Predição e Mecanismos Reguladores da Biomassa de Peixes em Reservatórios do Paraná e Bacias Limítrofes

PIANA, P. A.; GASPAR DA LUZ, K. D.; PELICICE, F. M.; COSTA, R. S. da; GOMES, L. C.; AGOSTINHO, A. A.

Abstract: *A set of different mechanisms and factors may regulate secondary production of ecosystems. Abiotic variables, primary production and zooplankton data were used to built a model to predict fish biomass from 29 reservoirs of Paraná State and limitrophe watershed. A multiple regression model with two variables (chlorophyll-a and zooplankton) was found to predict fish biomass ($R^2 = 0.59$). Chlorophyll-a (and index of primary production) was positively correlated (positive slope), suggesting its potential as regulator of fish biomass. But, zooplankton was negatively correlated (negative slope) to fish biomass. However, zooplankton was positively correlated to chlorophyll-a, denoting a possible grazing effect of zooplankton on phytoplankton, decreasing detritus production, and consequently, fish biomass. Therefore, an intermediary mechanism can be acting on the trophic chain, regulating fish biomass in these reservoirs.*

Key words: *Fish biomass, phytoplankton production, reservoirs, control mechanisms, detritivorous fishes.*

Resumo: *Diversos mecanismos e fatores podem atuar na regulação da produção secundária em ecossistemas. Com o objetivo de identificar as principais variáveis influenciando a biomassa de peixes em 29 reservatórios do Estado do Paraná e bacias limítrofes, dados referentes a parâmetros abióticos, produtividade primária e zooplâncton, foram utilizados na elaboração de um modelo de regressão múltipla. Apenas a clorofila-a e o zooplâncton foram retidos no modelo final ($R^2 = 0,59$). A clorofila-a correlacionou-se positivamente com a variável resposta, indicando que a produtividade primária fitoplanctônica pode atuar como reguladora da biomassa de peixes. Inversamente, o zooplâncton correlacionou-se negativamente com a biomassa de peixes e positivamente com a clorofila-a. Isto indica uma possível pastagem do*

zooplâncton sobre o fitoplâncton, diminuindo assim, a produção de detritos e conseqüentemente, a biomassa de peixes. Desta forma, sugere-se que um mecanismo intermediário esteja atuando como regulador da biomassa de peixes nestes reservatórios.

Palavras-chave: *Biomassa de peixes, produtividade fitoplanctônica, reservatórios, mecanismos controladores, peixes detritívoros.*

Introdução

Diferentes mecanismos podem regular a biomassa e as interações tróficas de comunidades aquáticas (Carpenter *et al.*, 1985; Gerking, 1994), atuando na base (produtores), meio (consumidores) ou topo da cadeia trófica (predadores). Desta forma, diversas hipóteses têm sido formuladas para explicar a biomassa de peixes e o rendimento pesqueiro em lagos e reservatórios, incluindo características físicas, químicas, produtividade primária e características das assembléias (Hanson e Legget, 1982; Downing e Plante, 1993; Gomes e Miranda, 2001). Alguns estudos destacam a produtividade primária fitoplanctônica como o principal fator limitante à produção de peixes em lagos e reservatórios (Melack, 1976; Downing *et al.* 1990; Gomes, *et al.* 2002). No entanto, considerando a bacia do rio Paraná, caracterizada por um baixo número de espécies primariamente planctívoras e muitas espécies detritívoras e piscívoras (Agostinho *et al.*, 1995; Gomes e Miranda, 2001), é provável que diferentes mecanismos reguladores podem estar atuando em conjunto, resultando em um sistema de interações mais complexo. Na tentativa de caracterizar melhor os fatores determinantes da biomassa de peixes em reservatórios, o presente trabalho procurou elaborar um modelo preditivo a partir de variáveis abióticas, dados de produtividade primária e zooplâncton, investigando inclusive, a provável mecanística reguladora da biomassa de peixes em 29 reservatórios do Estado do Paraná e bacias limítrofes.

Resultados e Discussão

As coletas foram realizadas em 29 reservatórios do Estado do Paraná e bacias limítrofes, durante o ano de 2001. Os reservatórios estudados pertencem a seis diferentes bacias (Iguaçu, Tibagi, Paranapanema, Ivaí, Piquiri e Leste). Redes de espera de diferentes malhagens foram utilizadas (variando de 2,4 a 14 cm entre nós adjacentes), expostas por um período de 24 horas na região lacustre dos reservatórios (*sensu* Thorton *et al.*, 1990). A contribuição em peso (aqui chamada biomassa) das espécies de peixes capturadas foi expressa em captura média por unidade de esforço (CPUE, Kg/1000m² de rede por 24 horas). Para os mesmos reservatórios foram obtidos dados referentes à pH, condutividade

elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), alcalinidade ($\mu\text{Eq}/\text{L}$), turbidez (NTU), transparência (profundidade do disco de Secchi), fósforo total ($\mu\text{g}/\text{L}$), orto-fosfato ($\mu\text{g}/\text{L}$), nitrogênio total ($\mu\text{g}/\text{L}$), n-nitrito ($\mu\text{g}/\text{L}$), n-amoniaco ($\mu\text{g}/\text{L}$), clorofila-*a* ($\mu\text{g}/\text{L}$), material em suspensão total (mg/L) e zooplâncton (ind./1000L, considerando somente cladóceros e copépodos, com maior abundância de jovens destes dois grupos). Estas variáveis foram utilizadas para obter um modelo de regressão múltipla, como variáveis explanatórias, tendo como variável resposta a biomassa de peixes. Para esta análise utilizou-se o protocolo de regressão múltipla do *software Statistica 5.5*, definindo-se *a priori* o método *Backward stepwise* para seleção das variáveis (F de entrada = 11; F de saída = 10). Transformações \log_{10} foram realizadas para linearizar as relações e, os pressupostos da análise de regressão foram checados através da análise de resíduos.

De acordo com o método de seleção adotado, as variáveis clorofila-*a* e zooplâncton foram significativas para o modelo de predição da biomassa de peixes, assim como o intercepto. A primeira apresentou influência positiva (coeficiente de correlação parcial = 0,76) e a segunda negativa (coeficiente de correlação parcial = -0,67) (Tab. 1). O modelo com estas variáveis, apresentado a seguir, explicou 59 % da variabilidade dos dados:

$$\text{Log}_{10}(\text{BT}) = 2,007 + 0,600 * \text{Log}_{10}(\text{Clor-}a) - 0,288 * \text{Log}_{10}(\text{Zoo})$$

onde,

BT = biomassa de peixes *Clor-a* = Clorofila-*a* *Zoo* = Zooplâncton

Tabela 1: Sumário do modelo da regressão múltipla entre a biomassa de peixes (variável resposta) e os valores de clorofila-*a* e zooplâncton (variáveis explanatórias); t corresponde ao teste t de significância dos parâmetros e, P a probabilidade de encontrar um t maior que o obtido.

	Parâmetros (β)	Correlação Parcial	t ₍₂₆₎	P-valor
Intercepto	2,007		8,740	< 0,001
Clorofila- <i>a</i>	0,600	0,763	6,030	< 0,001
Zooplâncton	-0,288	-0,673	-4,635	< 0,001

O pressuposto de linearidade foi alcançado ($F_{2,26} = 19,10$; $P < 0,05$) e a análise do resíduo padrão (Fig. 1) evidenciou distribuição normal (Shapiro-Wilk, $P > 0,05$) e a ausência de possíveis tendências, indicando que os pressupostos de normalidade e homocedasticidade também foram alcançados.

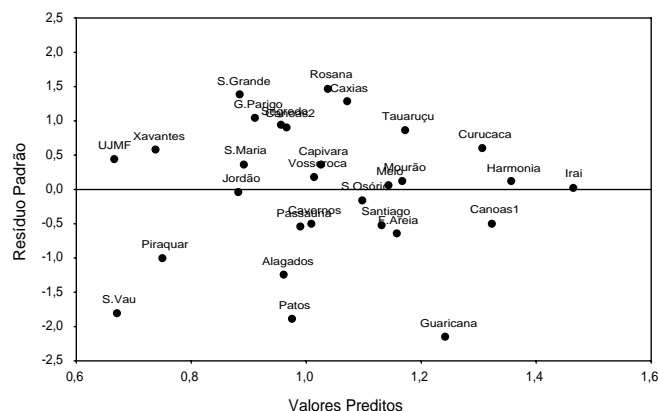


Figura 1: Gráfico de dispersão representando os valores preditos e o resíduo padrão do modelo de regressão múltipla entre a biomassa de peixes (variável resposta) e os valores de clorofila-*a* e zooplâncton (variáveis explanatórias).

A relação positiva com a clorofila-*a* pode estar associada ao fato de que, em ambientes tropicais, a biomassa de peixes e o rendimento pesqueiro são mantidos principalmente pela cadeia de detritos, em especial aqueles provenientes da decomposição das comunidades fitoplanctônicas e periféricas (Araújo-Lima *et al.*, 1986; Benedito-Cecílio *et al.*, 2000; Gomes *et al.*, 2002). Os detritos podem ser transformados em biomassa de peixes via consumo direto (peixes detritívoros) ou através do consumo de invertebrados detritívoros (Bowen, 1980; Gerking, 1994). Os resultados da alimentação natural das espécies nos reservatórios estudados (ver Hahn *et al.* neste volume) e de outros autores que estudaram a bacia do rio Paraná (Agostinho *et al.*, 1995; Gomes e Miranda, 2001), evidenciam a ausência de espécies de peixes primariamente planctívoras, sendo o recurso gerado pelo plâncton aproveitado indiretamente pela ictiofauna.

No entanto, o zooplâncton correlacionou-se negativamente com a biomassa total de peixes (inclinação negativa = -0,288). Este resultado pode ser devido a dois fatores. Primeiro, pode estar ocorrendo multicolinearidade entre as variáveis independentes, que apresentaram-se altamente correlacionadas (R^2 de 0,77), sendo esta relação apresentada na Figura 2 (para maiores detalhes ver Lansac-Tôha, neste volume). Um dos efeitos da colinearidade nos resultados de regressão múltipla é a inversão de sinais nas inclinações (Zar, 1999), já que esperava-se uma relação positiva entre o zooplâncton e a biomassa de peixes. Uma análise mais detalhada do efeito da colinearidade na estimativa dos parâmetros, através do fator de inflação da variância (VIF), percebe-se que ela

não é grave (VIF = 4,33; que é menor que o limite recomendado por Myers, 1990, de 10, quando a colinearidade é grave). Assim, a colinearidade não sendo grave, a relação negativa do zooplâncton com a biomassa de peixes não parece ser espúria e, portanto, deve ser interpretada. De fato, correlação simples entre o zooplâncton e a biomassa de peixes não foi significativa ($R^2 = 0,028$; $P > 0,05$), o que indica efeito indireto através da clorofila-*a*.

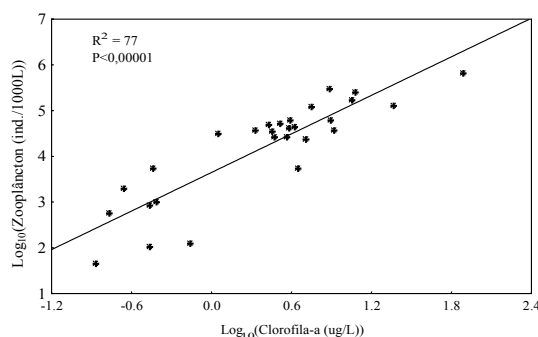


Figura 2: Relação entre os valores de clorofila-*a* e zooplâncton em 29 reservatórios do Estado do Paraná e bacias limitrofes.

Desta maneira, parece que o zooplâncton realmente contribui de forma negativa para o modelo. Neste caso, o efeito negativo pode ser um resultado indireto de pastagem sobre o fitoplâncton, aumentando a perda de carbono e/ou energia com o aumento de um nível trófico, diminuindo a contribuição para os detritos a partir do fitoplâncton e conseqüentemente, a biomassa de peixes. Como mencionado acima, os detritos de origem fitoplanctônica são a principal fonte de carbono para a biomassa de peixes (Fig. 3).

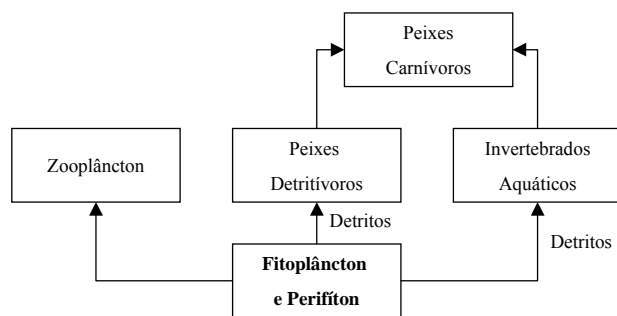


Figura 3: Modelo conceitual evidenciando a possível mecânica pela qual o zooplâncton afeta negativamente a biomassa de peixes.

De acordo com esta hipótese, reservatórios que apresentarem uma maior razão zooplâncton/clorofila-*a*, a biomassa de peixes seria menor, o que realmente foi verificado (Fig. 4). Além disso, foi observado uma ampla variabilidade nos valores de biomassa de peixes para as razões Zoo/Clor-*a* inferiores a 15000 ind./mg. Acima deste limite, a biomassa de peixes diminui abruptamente, podendo ser um indicativo da influência indireta do zooplâncton.

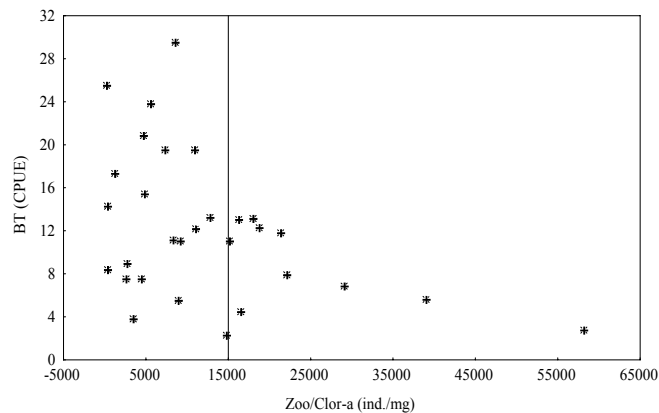


Figura 4: Relação entre a razão zooplâncton/clorofila-*a* (Zôo/Clor-*a*) e a biomassa (captura por unidade de esforço - CPUE) de peixes (BT) em 29 reservatórios do Estado do Paraná e bacias limítrofes.

Miranda e Gu (1998) evidenciaram um complexo mecanismo influenciando as relações tróficas em um reservatório de ambiente temperado, onde a regulação da comunidade ocorreu pelo meio da cadeia trófica. Considerando isto, as relações observadas no presente trabalho parecem ser reguladas por um mecanismo semelhante, ou seja, a biomassa total de peixes é mantida principalmente por detritos gerados pela produtividade primária fitoplanctônica, que é influenciada pela predação zooplanctônica, podendo refletir negativamente na biomassa dos peixes. Porém, cabe ressaltar que o zooplâncton é um importante item na dieta de larvas e juvenis de peixes, além de ser potencialmente consumido por espécies de pequeno porte, podendo inclusive ser aproveitado indiretamente na forma de detritos. Assim, pode-se concluir que a produtividade primária do fitoplâncton (indexada pela clorofila-*a*), juntamente com o zooplâncton, foram os melhores preditores da biomassa de peixes. A mecanística mais razoável parece ser a de que o zooplâncton estaria influenciando negativamente a biomassa de peixes, de maneira indireta, através

do fitoplâncton. Assim, aparentemente, a biomassa de peixes para regiões lacustres destes reservatórios é determinada, de maneira discreta, por processo *bottom-up* (correlação significativa com a clorofila-*a*). Porém, os processos *middle-out* (Stein *et al.*, 1995; controle a partir do zooplâncton, identificado neste trabalho) e *top down* (Pelicice *et al.*, neste volume) parecem ser os mais efetivos.

Referências

- AGOSTINHO, A.A. *et al.* The High River Paraná basin: limnological and ichthyological aspects. 1995. In: TUNDISI, J.G.; BICUDO, C.E.M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (Ed.). *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro: ABC/SBL, p. 59-103, 1995.
- ARAUJO-LIMA, C.A.R.M. *et al.* Energy sources for detritivorous fishes in the amazon. *Science*, v.234, p. 1256-1258, 1986.
- BENEDITO-CECILIO, E. *et al.* Carbon sources of amazonian fisheries. *Fisheries Management and Ecology*, v. 7, p. 305-315, 2000.
- CARPENTER, S.R. *et al.* Cascading trophic interactions and lake ecosystem productivity. *Bioscience*, v. 35, p. 635-639, 1985.
- DOWNING, J.A.; PLANTE, C. Production of fish populations in lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v. 50, p. 110-120, 1992.
- DOWNING, J.A. *et al.* Fish production correlated with primary productivity, not the morphoedaphic index. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v. 47, p. 1929-1936, 1990.
- GERKING, S.D. *Feeding ecology of fish*. New York: Academic Press, 1984.
- GOMES, L.C.; MIRANDA, L.E. Reverine characteristics dictate composition of fish assemblages and limit fisheries in reservoirs of the upper Paraná river basin. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* v. 17, p. 67-76, 2001.
- GOMES, L.C. *et al.* Fisheries yield relative to chlorophyll *a* in reservoirs of the upper Paraná river, Brazil. *Fisheries Research*, v. 55, n.1, p. 335-340, 2002.
- HANSON, J.M.; LEGGET, W.C. Empirical prediction of fish biomass and yield. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v. 39, p. 257-263, 1982.
- MELACK, J.M. Primary productivity and fish yields in tropical lakes. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 105, n. 5, p. 575-580, 1976.
- MIRANDA, L.E.; GU, H. Dietary shifts of a dominant reservoir planktivore during life stages. *Hydrobiologia*, v. 377, p. 73-83, 1998.
- MYERS, R.H. *Classical and modern regression with applications*. 2^a ed., Belmont: Duxbury Press, 1990.
- STEIN *et al.* Food-web regulation by a planktivore: exploring the generality of the trophic cascade hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v. 52, p. 2518-2526, 1995.
- THORNTON, K.W. *et al.* *Reservoir limnology: ecological perspectives*. New York: Wiley-Interscience Publication, 1990.
- ZAR, J.H. *Biostatistical analysis*. 4^a ed., New Jersey: Prentice Hall, 1999.
-
-