B. Inst. Pesca
21(único): 49 - 53, 1994

UMA TEORIA DE DECISÃO EM POLÍTICA DE PESCA

[A decision theory on fisheries policies]

Edison Pereira dos SANTOS[1,2]

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo matemático para decisões em Política de Pesca, relacionadas com o esforço ótimo, e desenvolve os conceitos: "Rendimento Social" e "Esforço Potencial e Relativo".

PALAVRAS-CHAVE: esforço, sócio-economia de pesca

ABSTRACT

This paper presents a mathematical model for decisions in fisheries policies, related to optimum effort, and develops the concepts: "Social Profit" and "Potential and Relative Effort".

KEY WORDS: effort, fisheries socio-economy

1. INTRODUÇÃO

Um dos assuntos fundamentais em Política de Pesca é o dimensionamento da frota (ou do esforço) que explora determinada população de uma espécie animal. Isto é feito através da relação entre a captura total anual, geralmente em peso, denominada PRODUÇÃO e representada por Y (yield), e uma medida da intensidade total de pesca aplicada, denominada ESFORÇO e representada por f.

2. UM MODELO

Segundo SANTOS (1992), entre Y e f existe a relação: $Y_s = Y[f, t_R, q, W(t, W_o, W\infty, K, \phi, \theta), N(t, R_t, M_t, t_r, \Omega)]$

onde: Y_s = função de rendimento sustentável,
f = esforço,
t = idade de tempo,
t_R = idade de recrutamento,
q = coeficiente de capturabilidade,
W( )= função de crescimento orgânico em peso,
W_o = peso médio dos indivíduos ao nascer,
W_∞ = peso médio máximo,
K = parâmetro relacionado com a velocidade de crescimento orgânico (dW/dt).
ϕ e θ = parâmetros da relação peso/comprimento:
$W = \phi L^\theta$ (ϕ = fator de condição)
N( ) = função da dinâmica de populações,
Rt = função de recrutamento (natalidade),
Mt = função de mortalidade natural,
tr = idade de primeira reprodução e
Ω = parâmetro de estabilidade de N( ).

Essa relação (BEVERTON & HOLT, 1957; SANTOS, 1978):
1) passa pela origem e
2) possui um ponto de máximo.

A expressão matemática mais simples de uma curva com essas características é a pará-

(1) Bolsista do CNPq junto à Divisão de Pesca Marítima - Instituto de Pesca - CPA/SAA
(2) Endereço / Address: Av. Bartholomeu de Gusmão, 192 - CEP 11030-906 - SANTOS - SP

bola:

$Y_s = af - bf^2$ (I)

onde: Y_s = produção máxima sustentável e f = esforço (medida qualquer de intensidade de pesca), muitas vezes denominada Modelo de Schaefer (SCHAEFER, 1954).

As demonstrações a seguir são válidas para qualquer que seja essa expressão.

Para (I), o esforço (f_{my}) que produz Y_{ms} (produção máxima sustentável) é:

$$f_{my} = \frac{a}{2b}$$

Seja:

α = valor econômico da unidade de biomassa capturada (geralmente tonelada) e

β = custos totais gerais por unidade de esforço.

Define-se por lucro ($L_\$$):

$L_\$ = \alpha Y_s - \beta f$

De (I) tem-se:

$L_\$ = \alpha\,[af - bf^2] - \beta f = (a\alpha - \beta)\,f - \alpha b f^2$ (II)

que, no caso, é também uma parábola e recebe o nome "Curva de Rendimento Econômico" (SANTOS & COELHO, 1974).

O esforço que maximiza (II) é:

$$f_{mL} = \frac{a}{2b} - \frac{\beta}{2b\alpha} = f_{my} - \frac{\beta}{2b\alpha} < f_{my}$$

pois: $\frac{\beta}{2b\alpha} > 0$

Fazendo $L_\$ = 0$ em (II) tem-se:

$$f_{cL} = \frac{a}{b} - \frac{\beta}{b\alpha}$$

onde: f_{cL} = esforço econômico crítico, que torna o lucro negativo (prejuízo)

Seja:

$S_\$ = N_p\, S_{a\$}$

onde: $S_\$$ = rendimento social,

N_p = número total de pescadores da frota, incluindo as tripulações dos barcos e

$S_{a\$}$ = salário anual médio.

Suponhamos que:

1) o número médio de pescadores por barco e

2) o esforço total anual médio por barco

permaneçam constantes de ano para ano.

Neste caso, o esforço total anual só varia em função do número de barcos, e N_p depende de f [$N_p(f)$].

Normalmente $S_{a\$}$ depende do lucro [$S_{a\$}(L_\$)$].

Se N_p (f) e $S_{a\$}(L_\$)$ forem lineares pela origem, tem-se:

$S_\$ = \gamma f L_\$$

De (II) resulta:

$S_\$ = \gamma\,(a\alpha - \beta)f^2 - \gamma b\alpha f^3$ (III)

que será denominada "Curva de Rendimento Social". É uma curva pela origem, com um ponto de inflexão e um de máximo.

O esforço que maximiza $S_\$$ é:

$$f_{m\$} = \frac{2}{3}\left[\frac{a}{b} - \frac{\beta}{b\alpha}\right] = \frac{4}{3}\, f_{mL} > f_{mL}$$

$$f_{m\$} = \frac{4}{3}\left[f_{my} - \frac{\beta}{2b\alpha}\right]$$

$$f_{m\$} \gtreqless f_{my} \quad \text{se} \quad a\alpha \gtreqless 4\beta$$

Fazendo $S_\$ = 0$ em (III) tem-se:

$$f_{c\$} = \frac{a}{b} - \frac{\beta}{b\alpha} = f_{cL}$$

onde: $f_{c\$}$ = esforço crítico para o rendimento social.

Se, em vez da parábola, for usada a expressão matemática de uma curva assintótica à abscissa, como no caso do Modelo de Fox (FOX, 1970), os esforços críticos são definidos com base nos lucros oferecidos pelo sistema financeiro.

ESFORÇO POTENCIAL (f_p) da frota é o valor máximo possível limitado pelo tempo de manutenção, pelo número de dias no ano em que a pesca é possível, etc. ESFORÇO RELATIVO (f_r) é a razão entre f e f_p: $f_r = \frac{f}{f_p}$

Assim, o aumento do esforço total anual pode ser feito através do aumento do esforço relativo e/ou com novos barcos, com custos diferenciados.

Segundo SANTOS (1992), dependendo do tipo das funções de recrutamento (R_t) e de mortalidade natural (M_t), poderá haver um esforço crítico (f_c) que destrói a população explorada. Ele é determinado através do estudo da estabilidade dos pontos de equilíbrio da dinâmica da população $|\Omega(f_c)| = 1$.

Segundo BERVERTON & HOLT (1957), para certos valores limites de N (número de indivíduos da população) pode-se fazer:

$R_t \cong R$ e $M_t \cong M$ (constantes independentes de N)

e a função de crescimento orgânico em peso pode ser:

$W_t = W_\infty [1 - e^{-k(t+to)}]^\theta$ (BERTALANFFY, 1938)

onde: W_t = peso médio dos indivíduos com idade t.

resultando a função de rendimento:

$$Y_s = \frac{Rqf}{M+qf} W_\infty \left[1 - \frac{M+qf}{M+K+qf} e^{-K(t_o+t_R)}\right]^\theta$$

Substituindo R por $Re^{M(T_R - t_R)}$, onde T_R é o valor atual de t_R, e maximizando Y_s em função de t_R: $\frac{dY_s}{dt_R} = 0$, resulta:

$t_R = -\frac{1}{k} ln \left[\frac{M(Z+K)}{Z(M+K\theta)}\right] - t_o$ (idade mínima de captura), isto é, a produção sustentável (Y_s) será máxima se os indivíduos capturados tiverem idade $t \geq t_R$. Essa idade não preserva a população, apenas otimiza a produção.

Seja: POTENCIAL REPRODUTIVO, o número total de óvulos (ou ovos) postos por uma população, durante uma desova (se a reprodução for periódica) ou durante um certo intervalo de tempo se a reprodução for contínua), PARTICIPAÇÃO REPRODUTIVA de uma determinada classe etária nesse potencial, à fração desse potencial, produzida por essa classe, e RECRUTAS REPRODUTIVOS, os indivíduos que desovam pela primeira vez.

Suponha-se também:

$\eta = \eta_o e^{\rho c}$

onde: η = fecundidade média (número de óvulos) por fêmea, da classe c (ηo para os recrutas reprodutivos), e

c = número da classe etária em reprodução (c = 0 para esses recrutas).

Se a população estiver em equilíbrio, o número total de recrutas reprodutivos (R_o) e o coeficiente de mortalidade total (z) são constantes, assim (SANTOS, 1978):

$N_c = R_o e^{-zc}$

onde: Nc = número de indivíduos da classe c

e $\quad P_c = \frac{1}{2} R_o \eta_o e^{(\rho - z)c}$

onde: P_c = número de óvulos postos pela classe c, supondo que a proporção sexual para as fêmeas seja 1/2.

Para os recrutas reprodutivos, supondo η constante:

$$P_o = \frac{1}{2} R_o \eta_o$$

e o potencial reprodutivo (P) será:

$$P \cong \sum_{c=0}^{\infty} P_c = \frac{\frac{1}{2} R_o \eta_o}{1 - e^{\rho - z}} \text{ se } \rho < z \quad \text{(IV)}$$

A participação reprodutiva (τ_c) da classe c será:

$$\tau_c = \frac{P_c}{P} = [1 - e^{(\rho - z)}] e^{(\rho - z)c}$$

para os recrutas reprodutivos: $\tau_o = 1 - e^{(\rho - z)}$ (V)
para as demais classes: $\tau_{>o} = e^{(\rho - z)}$

$$\text{Se} \quad \begin{array}{l} \tau_o = \tau_{>o} \rightarrow \rho = z - 0{,}693 \\ \tau_o > \tau_{>o} \rightarrow \rho < z - 0{,}693 \\ \tau_o < \tau_{>o} \rightarrow z > \rho > z - 0{,}693 \end{array} \qquad \text{(VI)}$$

Entretanto, dos óvulos postos, só alguns são fecundados, e desses só alguns eclodem. Denomina-se TAXA DE ECLOSÃO (ε^*) à freqüência relativa dessas eclosões.

Pode-se então fazer:

$$\tau_c^* = \frac{\tau_c \varepsilon_c^*}{\sum_{c=0}^{\infty} \tau_c \varepsilon_c^*}$$

onde: τ_c^* = PARTICIPAÇÃO REPRODUTIVA EFETIVA (mede a participação da classe c, na natalidade), e

ε_c^* = taxa de eclosão para a classe c.

3. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Este trabalho desenvolve o conceito "Rendimento Social" ($S_\$$), que é o produto do número total de pescadores, numa frota de pesca, pelo salário anual médio. Ele mede a quantidade de emprego relacionada com o salário médio.

O modelo matemático mostrou que:

$$f_{mL} < f_{my} \qquad f_{m\$} > f_{mL} \qquad f_{m\$} \gtrless f_{my}$$

onde: f_{my} = esforço que maximiza a produção,
f_{mL} = esforço que maximiza o lucro e
$f_{m\$}$ = esforço que maximiza o rendimento social.

Como f_{my} é de interesse do consumidor, f_{mL} do armador e $f_{m\$}$ do pescador, um esforço ótimo (f_{mo}) pode ser definido pela média ponderada:

$$f_{mo} = P_y f_{my} + P_L f_{mL} + P_\$ f_{m\$}$$

com: $P_y + P_L + P_\$ = 1$

onde: P_y, P_L e $P_\$$ = fatores de ponderação política.

A determinação dos valores adequados desses fatores depende de uma análise sócio-econômica geral da pesca; pois a diminuição de esforço para aumentar o lucro, diminui o rendimento social, isto é, diminui o número de pescadores e/ou os seus salários e por outro lado, o aumento do esforço para aumentar a produção diminui o lucro, mas pode aumentar o rendimento social.

Outra conclusão importante é:

$$f_{mo} < f_{cL} = f_{c\$}$$

onde: f_{cL} = esforço que torna o lucro nulo e
$f_{c\$}$ = esforço que torna o rendimento social nulo.

e, segundo SANTOS (1992), é necessário também: $f < f_c$

onde: f_c = esforço crítico que destrói a população (se existir).

Assim, existe um limite máximo para o esforço que, se for atingido, inviabiliza a pesca, tornando nulos o lucro e o rendimento social, e pode existir um outro limite que destrói a população explorada.

Pelos conceitos apresentados de esforço potencial e relativo, é possível determinar a viabilidade do aumento de esforço.

O tamanho mínimo de captura é definido com dois objetivos diferentes:

1) para otimizar a produção máxima sustentável e

SANTOS, E. P. dos 1994 Uma teoria de decisão em política de pesca. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, *21*(único): 49 - 53.

2) para preservar os recrutas reprodutivos.

Este segundo objetivo só tem efeito sensível se τ^*_o for grande em relação a τ^*_{∞}. Isto depende das relações entre p e z, apresentadas em (VI).

De acordo com (V), à medida que z aumenta, τ^*_o também aumenta, mas o resultado final depende de ε^*_o .

É interessante notar em (IV), que $\rho > z$, assunto relacionado com a seleção natural.

A determinação de uma idade mínima de captura, através da curva de rendimento, maximiza a produção mas não preserva a população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTALANFFY, L. von 1938 A quantitative theory of organic growth. *Human Biology, 10*(2): 181-213.

BEVERTON, R. J. H. & HOLT, S.J. 1957 On the dynamics of exploited fish populations. *U. K. Min. Agr. Fish.*, Fish. Invest. Ser. 2(19), 533p.

FOX Jr, W.W. 1970 An exponential susplus yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Amer. Fish. Soc., 99*(1): 80-8.

SANTOS, E. P. dos 1978 *Dinâmica de populações aplicada à pesca e piscicultura*. HUCITEC-EDUSP, 129p.

SANTOS, E. P. dos 1992 Um modelo matemático em dinâmica de populações *I*. *B. Inst. Pesca, 19* (único): 97-102.

_______ & COELHO, R. R. 1974 Sobre a análise econômica da pesca do pargo, *Lutjanus purpureus* Poey, no nordeste brasileiro. *Arq. Ciên. Mar, 14* (2): 129-30.

SCHAEFER, M. B. 1954 Some aspects of the dynamics of populations important to the management to the commercial marine fisheries. *Inter. Amer. Trop. Tuna Comm. Bull., 1*(2): 27-56.