

## 8 MODELOS DE PROJECCÃO

As capturas futuras e os níveis da biomassa dos mananciais podem ser previstos através de modelos matemáticos similares aos que fundamentam as análises de população virtual, VPA, e análises de coortes (ver Capítulo 5). As fórmulas matemáticas usadas na VPA e na análise de coortes, que analisam a história de uma pescaria, podem ser convertidas de tal maneira que o conhecimento do passado pode ser usado para prever a biomassa e as capturas em peso futuras, considerando-se diferentes níveis de esforço de pesca. Por outras palavras, estes modelos podem ser usados para prever os efeitos do incremento de uma pescaria e das medidas de regulamentação, tais como aumento ou redução da frota pesqueira, mudanças no tamanho da malha, períodos de defeso, vedas de áreas de pesca, etc. Portanto, estes modelos constituem uma ligação directa entre a avaliação de mananciais pesqueiros e a gestão dos mesmos.

Os modelos de projecção também podem incorporar outros factores como preços e rendimentos das capturas, tornando-os aplicáveis a análises bio-económicas, onde dados biológicos e económicos são usados para prever capturas futuras, níveis da biomassa e rendimento das capturas, sob todos os tipos de simulação. Este capítulo contém apenas uma introdução básica a aspectos bio-económicos e, para um aprofundamento do assunto, recomenda-se a leitura de Sparre e Willmann (1992).

Os primeiros modelos de projecção foram desenvolvidos já na década dos trinta por Thompson e Bell (1934). No entanto, devido à enorme quantidade de cálculos requeridos, o chamado "*modelo de Thompson e Bell*" não obteve popularidade até à introdução dos computadores.

Durante este período, um modelo mais simples, baseado em suposições muito rigorosas, mas que, em compensação, requeria menos cálculos foi desenvolvido por Beverton e Holt (1957). Este modelo de "*Captura por Recruta*" foi largamente utilizado, mas actualmente vem sendo substituído pelo modelo de Thompson e Bell em locais onde a VPA e a análise de coortes são aplicadas.

O modelo de captura por recruta de Beverton e Holt pode ser considerado como uma aplicação especial do modelo de Thompson e Bell, o que significa que qualquer conclusão geral derivada do mesmo, também pode ser suportada pelo modelo de Thompson e Bell.

Embora não seja provável que o modelo de Beverton e Holt continue a ser muito utilizado no futuro, foi incorporado neste capítulo por razões históricas e didácticas. O modelo de captura em peso por recruta é adequado à utilização de calculadoras e, portanto, é muito útil para demonstrar certos aspectos da avaliação de mananciais. A segunda parte deste capítulo (Secções 8.6 a 8.8) trata do modelo de Thompson e Bell, baseado em idades e em comprimentos e de aspectos da selectividade das artes de pesca relacionados com o mesmo.

O objectivo final da utilização dos modelos de projecção é oferecer aos reponsáveis pela gestão dos recursos pesqueiros informações sobre os efeitos biológicos e/ou económicos da actividade pesqueira sobre os mananciais. A partir dos resultados obtidos espera-se que os gestores tomem as medidas que permitam a exploração dos recursos a um nível no qual se obtenha o máximo rendimento, tanto no sentido biológico como no económico, numa base sustentável, ou seja, sem causar prejuizos ao manancial de forma a afectar futuras capturas.

Os gestores devem evitar situações onde a pressão de pesca seja muito forte e venha a provocar a "*sobrepesca*" do manancial. Uma previsão exacta das capturas futuras geralmente não é possível, pois, os mananciais raramente se encontram em condições de equilíbrio, o que é um pressuposto para a aplicação dos vários modelos. Foi demonstrado (Sharp e Csirke, 1984) que a

abundância de certos mananciais, em particular pequenas espécies pelágicas que ocorrem em áreas de ressurgência, geralmente dependem muito dos factores ambientais que estão fora do controlo humano. Nestes casos, o valor previsivo dos modelos que a seguir são descritos é praticamente nulo. No entanto, no caso de algumas espécies pelágicas e para a maioria das pescarias demersais de peixes e camarões, os modelos têm se mostrado extremamente úteis.

Antes de se aprofundar estes dois modelos, vale a pena considerar primeiro um modelo mais simples e discutir o conceito de sobrepesca.

O modelo clássico que descreve uma pescaria sobre determinado manancial é apresentado por Russell (1931). O modelo é uma espécie de "caixa-preta" que representa o que Ricker (1975) definiu como "manancial utilizável", o peso de todos os peixes maiores que um certo tamanho aproveitável. Os incrementos do manancial são o peso dos novos recrutados e o crescimento dos peixes que já fazem parte do manancial. As perdas decorrem das mortes por causas naturais e das capturas em peso das pescarias.

Em um manancial virgem o total dos incrementos é, em média, igual às perdas da biomassa por mortes naturais. Quando uma população começa a ser explorada o efeito reflecte-se em todos os outros factores, resultando um maior recrutamento, um crescimento mais rápido e uma redução nas mortes naturais. Isto porque a pesca abre "espaço" para mais recrutados, remove os peixes velhos, cujo crescimento é lento, que são substituídos por peixes menores de crescimento rápido, e remove peixes antes de virem a morrer por velhice ou outras causas naturais. Portanto, desde que seja dado tempo suficiente para o manancial ajustar-se à nova situação e que a pressão da pesca não se torne muito elevada, a pesca produz um efeito estimulante à produtividade pesqueira. Por outro lado, quando ocorre a "sobrepesca", o crescimento individual dos peixes não iguala as mortes causadas pela pesca e, quando a intensidade de pesca é muito grande, também afecta o recrutamento, havendo, assim, dois tipos de sobrepesca, "sobrepesca de crescimento" e "sobrepesca de recrutamento". A sobrepesca de crescimento ocorre quando o esforço de pesca é tão alto que as capturas totais diminuem com o aumento do esforço. Os peixes são capturados antes de poderem atingir um tamanho suficiente para contribuir substancialmente para a biomassa. Em geral, é razoável dizer-se que um manancial está em sobrepesca de crescimento, no sentido biológico, quando  $F$  excede  $F_{MSY}$  (cf. Fig. 8.2.3). O termo "biológico" é usado para indicar que somente é considerada a captura em termos de biomassa, medida em unidades de peso. Assim, o rendimento e o custo da pescaria não estão sendo aqui considerados.

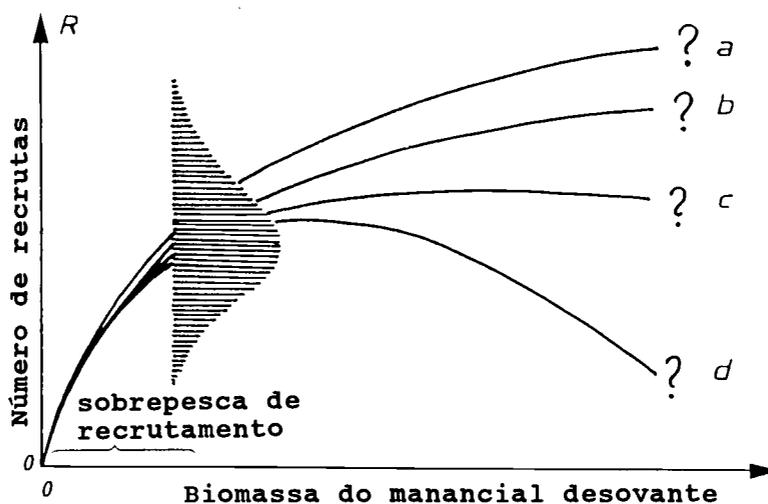


Fig. 8.0.1 Relação manancial-recrutamento em ligação com o conceito de "sobrepesca de recrutamento"

Para entender o conceito de sobrepesca de recrutamento, é necessário considerar primeiro a relação existente entre o recrutamento e a biomassa do manancial desovante, de acordo com a ilustração da Fig. 8.0.1. Conforme indicado pelos pontos de interrogação, esta relação não é bem compreendida. O único ponto conhecido com segurança é (0,0), ou seja, quando não existe manancial progenitor não pode haver desova e é razoável assumir que para níveis baixos do manancial progenitor há uma relação linear directa positiva entre o tamanho deste e o número de nascimentos ou recrutas. Sob condições normais tal relação linear directa não é observada, mas quando ocorre, significa que o manancial progenitor caiu a um nível muito baixo e, neste caso, fala-se em sobrepesca de recrutamento.

### 8.1 PRESSUPOSTOS QUE FUNDAMENTAM O MODELO DE CAPTURA POR RECRUTA DE BEVERTON E HOLT

O modelo de captura por recruta (Beverton e Holt, 1957), é, em princípio, um "modelo de condição de equilíbrio", ou seja, um modelo que descreve o estado do manancial e a captura em uma situação cujo o padrão de pesca vem sendo o mesmo durante um tempo suficientemente longo, de modo que todos os peixes vivos vêm sendo submetidos ao mesmo padrão desde que foram recrutados. Existem extensões do modelo que tratam da fase de transição após uma mudança no padrão de pesca, mas raramente são utilizadas, pois os modelos do tipo Thompson e Bell (Secções 8.6 a 8.8) fornecem descrições mais simples de situações onde não se observa o equilíbrio.

Os pressupostos que fundamentam rigorosamente o modelo de Beverton e Holt são:

1. Recrutamento constante, mesmo que não especificado
2. Todos os peixes de uma coorte nasceram na mesma data
3. O recrutamento e a selectividade são do tipo "fio-de-navalha" (ver Capítulo 6)
4. A mortalidade natural e por pesca são constantes desde o momento que se inicia a fase explorada
5. Existe uma mistura completa no manancial
6. A relação peso-comprimento (Eq. 2.6.1) tem expoente 3, ou seja,  $W = q \cdot L^3$

Um dos modelos que fundamenta o modelo de Beverton e Holt é o modelo exponencial decrescente que foi introduzido na Secção 4.2 e matematicamente é expresso pela Eq. 4.2.2. As definições e terminologia introduzidas na Secção 4.1 são também aplicáveis ao modelo de Beverton e Holt (por exemplo  $T_c, T_r, R = N(T_r)$ ).

A história da vida de uma coorte assumida no modelo de Beverton e Holt, conforme a Fig. 8.1.1, é descrita como se segue:

- 1) Na idade  $T_r$  todos os peixes pertencentes a uma determinada coorte são recrutados ao mesmo tempo às áreas de pesca: "Recrutamento fio-de-navalha".
- 2) Da idade  $T_r$  à idade  $T_c$  a coorte não está exposta a qualquer mortalidade por pesca. (Assume-se que todo o peixe com idade entre  $T_r$  e  $T_c$  escapa através das malhas, caso entre na arte de pesca). Assim, durante este período estão sujeitos apenas à mortalidade natural,  $M$ , que, supostamente, permanece constante durante toda a vida da coorte.

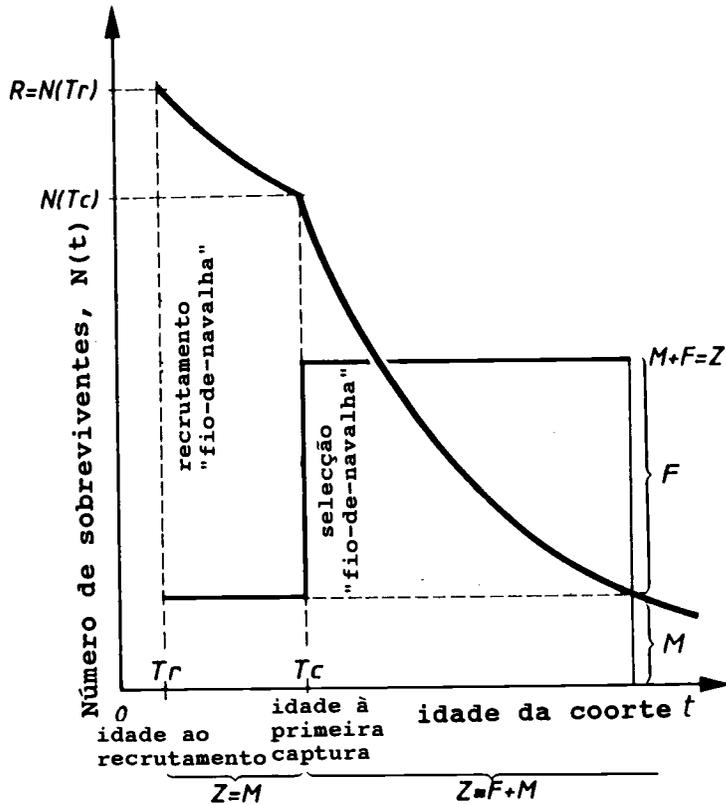


Fig. 8.1.1 A evolução de uma coorte conforme a suposição assumida pelo modelo de Beverton e Holt

- 3) Na idade  $T_c$ , a "idade de primeira captura", assume-se que toda a coorte é, repentinamente, exposta à mortalidade por pesca,  $F$ , que, supostamente permanece constante durante o resto da vida da coorte. A curva sigmóide da selectividade da arte, introduzida no Ca-pítulo 6, é aproximada pela chamada "selectividade fio-de-navalha" (ver Fig. 6.4.1.1). A captura da coorte é, portanto, assumida como zero até que a mesma atinja a idade  $T_c$ .

O número de sobreviventes à idade  $T_r$  é o recrutamento à pescaria:

$$R = N(T_r) \quad (8.1.1)$$

O número de sobreviventes à idade  $T_c$  é:

$$N(T_c) = R \cdot \exp[-M \cdot (T_c - T_r)] \quad (8.1.2)$$

O número de sobreviventes à idade  $t$ , onde  $t > T_c$ , é:

$$N(t) = N(T_c) \cdot \exp[-(M+F) \cdot (t - T_c)] = R \cdot \exp[-M \cdot (T_c - T_r) - (M+F) \cdot (t - T_c)]$$

A fracção do recrutamento total  $N(T_r)$  ou  $R$  que sobrevive até a idade  $t$  é obtida dividindo-se ambos os lados da equação por  $R$ , resultando:

$$N(t)/R = \exp[-M \cdot (T_c - T_r) - (M+F) \cdot (t - T_c)] \quad (8.1.3)$$

Isto significa que a Eq. 8.1.3 dá o número "por recruta" no tempo  $t$ , ou seja, a fracção que foi recrutada à pesca por cada recruta.

O outro modelo que fundamenta o modelo de Beverton e Holt é a "equação de captura" na forma da Eq. 4.2.10 conforme será explicado na secção seguinte.

## 8.2 MODELO DE CAPTURA POR RECRUTA DE BEVERTON E HOLT

Para calcular a expressão matemática do modelo de captura por recruta de Beverton e Holt toma-se (como de costume) um ponto de partida na equação de captura na forma da Eq. 4.2.10:

$$C(t, t+\Delta t) = \Delta t * F * N(t) \quad (8.2.1)$$

A Eq. 8.2.1 dá o número capturado de uma coorte, no período de tempo  $t$  a  $t+\Delta t$ , quando  $\Delta t$  é pequeno. Para obter a correspondente captura em peso multiplica-se este valor pelo peso individual. Se  $\Delta t$  é pequeno, então o peso do corpo permanecerá aproximadamente constante durante o período de tempo de  $t$  a  $t+\Delta t$ , e a captura em peso será:

$$Y(t, t+\Delta t) = \Delta t * F * N(t) * w(t) \quad (8.2.2)$$

onde  $w(t)$  é o peso de um peixe de idade  $t$ , conforme a definição da equação de von Bertalanffy baseada em peso (Eq. 3.1.2.1). Para obter a captura por recruta para o período de tempo  $t$  a  $t+\Delta t$ , a Eq. 8.2.2 é dividida pelo número de recrutas,  $R$ :

$$\frac{Y(t, t+\Delta t)}{R} = F * \frac{N(t)}{R} * w(t) * \Delta t \quad (8.2.3)$$

onde  $N(t)/R$  é definido pela Eq. 8.1.3.

A Eq. 8.2.3 é o "modelo de Beverton e Holt para um curto período de tempo". Para obter a captura total em peso por recruta para toda a vida da coorte,  $Y/R$ , todas as pequenas contribuições definidas pela Eq. 8.2.3 devem ser acumuladas:

$$\begin{aligned} Y/R &= Y(T_c, T_c+\Delta t)/R + Y(T_c+\Delta t, T_c+2\Delta t)/R + \\ &\quad Y(T_c+2\Delta t, T_c+3\Delta t)/R + Y(T_c+3\Delta t, T_c+4\Delta t)/R + \\ &\quad Y(T_c+4\Delta t, T_c+5\Delta t)/R + Y(T_c+5\Delta t, T_c+6\Delta t)/R + \\ &\quad \dots \\ &\quad \dots \\ &\quad + Y(T_c+(n-1)*\Delta t, T_c+n*\Delta t)/R \end{aligned}$$

onde " $n$ " é um número grande, tão grande que o número de peixes mais velhos que  $T_c+n*\Delta t$ , isto é  $N(T_c+n*\Delta t)$ , é tão pequeno que pode ser ignorado.

O próximo passo é converter o somatório apresentado acima em uma fórmula que possa ser facilmente calculada. Se o número de termos,  $n$ , no somatório é grande (e deve ser grande para que a aproximação para  $w(t)$  seja razoável) será necessário muito tempo para efectuar a soma. No entanto, usando uma série de cálculos matemáticos cuja explicação foge aos objectivos deste manual, é possível demonstrar que o somatório acima pode ser escrito de uma forma mais conveniente:

$$Y/R = F * \exp[-M*(T_c - T_r)] * W_\infty * \left[ \frac{1}{Z} - \frac{3S}{Z+K} + \frac{3S^2}{Z+2K} - \frac{S^3}{Z+3K} \right] \quad (8.2.4)$$

onde:

- $S = \exp[-K*(T_c - t_0)]$
- $K =$  parâmetro de crescimento de von Bertalanffy
- $t_0 =$  parâmetro de crescimento de von Bertalanffy
- $T_c =$  idade da primeira captura
- $T_r =$  idade ao recrutamento
- $W_\infty =$  peso assintótico
- $F =$  mortalidade por pesca
- $M =$  mortalidade natural
- $Z = F+M$ , mortalidade total

A Eq. 8.2.4 é o "modelo de captura por recruta de Beverton e Holt" (1957), modelo Y/R, escrito na forma sugerida por Gulland (1969). Embora a equação pareça complicada, é bastante fácil de ser executada com uma calculadora de bolso programável.

Como Beverton e Holt expressam as capturas em uma "base por recruta", as capturas são relativas, isto é relativas ao recrutamento. Se, um recrutamento de 100 milhões de peixes fornece uma captura de 10 000 toneladas, então 200 milhões de recrutas forneceriam 20 000 toneladas, conforme o modelo. Esta suposição parece trivial, mas não é, pois, imagina-se que quanto mais abundante a espécie, piores serão as condições para cada indivíduo devido, por exemplo, à competição pelo alimento e ao canibalismo. Os resultados do modelo são expressos em unidades de captura por recruta (gramas por recruta). No exemplo acima a captura em peso será:

$$\frac{10\ 000\ 000\ 000}{100\ 000\ 000} = 100 \text{ gramas por recruta}$$

O modelo permite-nos calcular Y/R variando os valores de entrada dos diferentes parâmetros, tais como F e Tc, e então avaliar o efeito destes parâmetros sobre a captura por recruta da espécie sob investigação. É importante notar aqui que os dois parâmetros F e Tc são os que podem ser controlados pelos gestores da pesca, pois:

- 1) F é proporcional ao esforço (cf. Eq. 4.3.0.7)
- 2) Tc é uma função da selectividade da arte

Portanto, Y/R é considerado uma função de F e Tc. No entanto é mais frequente os gráficos de Y/R contra o F (ou esforço).

A Fig. 8.2.1 mostra o resultado da avaliação de uma captura com o modelo de captura por recruta. A idade de entrada à fase explorada, Tc, é mantida constante. A variável independente é o esforço expresso pelo coeficiente de mortalidade por pesca, F. A variável dependente é a captura anual por recruta, em gramas. Quando a captura anual total é conhecida em uma situação de equilíbrio, para um dado valor de F, então o número de recrutas pode ser calculado dividindo-se a captura total pela captura por recruta, em gramas.

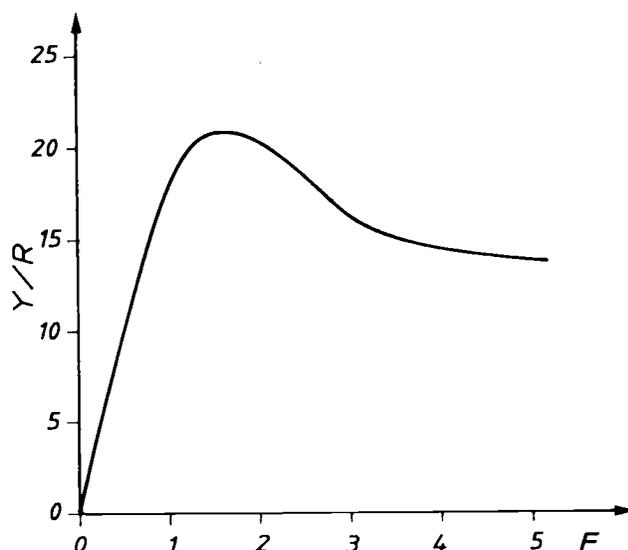
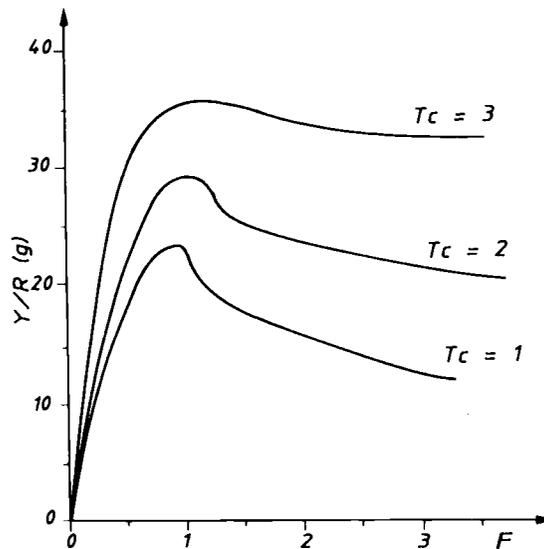


Fig. 8.2.1 Resultado de uma avaliação das capturas com o modelo de captura por recruta



**Fig. 8.2.2** Curvas de captura por recruta para diferentes idades de primeira captura ( $T_c$ )

A "curva de captura por recruta" geralmente possui um ponto máximo: a "captura máxima sustentável (MSY)". A posição do ponto máximo depende da idade à primeira captura,  $T_c$ , que por sua vez depende do tamanho da malha utilizada na pescaria.

Uma alteração no tamanho da malha, ou seja, em  $T_c$ , resultará num diferente MSY. A Fig. 8.2.2 mostra três curvas com diferentes valores de  $T_c$ . O MSY mais alto é obtido para o maior valor de  $T_c$ , com um nível de esforço,  $F$ , ligeiramente superior. A captura sustentável mais elevada, válida para uma certa combinação de  $T_c$  e  $F$ , pode ser determinada pela combinação de diferentes valores de  $T_c$  com diferentes valores de  $F$ . O termo sustentável significa que a captura pode ser mantida "para sempre", desde que as condições não mudem, contudo, supondo que nada mais se altera, capturas mais altas podem ser obtidas com um aumento acentuado do esforço, mas não podem ser mantidas, e serão obrigatoriamente seguidas por um período com capturas bem mais baixas.

O modelo  $Y/R$  é originalmente um modelo baseado em idades, mas as idades podem facilmente ser convertidas em comprimentos, usando novamente os princípios da conversão da curva de captura (ver Secções 4.4.2 e 8.5).

**Exemplo 28:  $Y/R$  como função de  $F$ , para uma espécie tropical**

Como exemplo calcula-se  $Y/R$  para *Nemipterus marginatus* como função de  $F$ , usando os seguintes parâmetros:

$K = 0.37$ por ano	$T_c = 1.0$ ano	$t_0 = -0.2$ ano
$M = 1.1$ por ano	$T_r = 0.4$ ano	$W_\infty = 286$ gramas

Começamos pelo cálculo dos termos da Eq. 8.2.4 que são independentes de  $F$ :

$$S = \exp[-K*(T_c - t_0)] = \exp[-0.37*(1.0 + 0.2)] = 0.6415$$

$$3S = 1.9244, \quad 3S^2 = 1.2344, \quad S^3 = 0.2639$$

$$M+K = 1.47, \quad M+2K = 1.84, \quad M+3K = 2.21$$

$$\exp[-M*(T_c - T_r)] * W_\infty = \exp[-1.1*(1.0 - 0.4)] * 286 = 147.8$$

**Tabela 8.2.1** Capturas por recruta e biomassa média por recruta do *Nemipterus marginatus* como função de F. Parâmetros conforme indicados na legenda da Fig. 8.2.3

F	Y/R	B/R	B/R como % de Bv	F	Y/R	B/R	B/R como % de Bv
0.0	0	22.4 = Bv	100	1.3	7.66	5.9	26
0.1	1.92	19.2	86	1.5	7.79	5.2	23
0.2	3.33	16.7	75	1.7	7.86	4.6	21
0.3	4.38	14.6	65	1.9	7.90	4.2	19
0.4	5.18	13.0	58	2.1	7.92	3.8	17
0.5	5.79	11.6	52	2.3 F(MSY)	7.93 MSY/R	3.5 MSB/R	15 MSB/Bv
0.6	6.26	10.4	46	2.5	7.92	3.2	14
0.7	6.62	9.5	42	3.0	7.88	2.6	12
0.8	6.91	8.6	38	4.0	7.77	1.9	8
0.9	7.14	7.9	35	5.0	7.66	1.5	7
1.0	7.32	7.3	33	6.0	7.57	1.3	6
1.1	7.46	6.8	30				

Substituindo estes valores na Eq. 8.2.4 obtemos:

$$Y/R = F \cdot 147.8 \cdot \left[ \frac{1}{F+1.1} - \frac{1.9244}{F+1.47} + \frac{1.2344}{F+1.84} - \frac{0.2639}{F+2.21} \right]$$

Para produzir um gráfico correspondente à Fig. 8.2.1 esta expressão deve ser calculada para uma gama de valores de F, obtendo-se um número de pontos suficientemente grande para ajustar a curva a olho.

Por exemplo, para F = 0.5:

$$Y/R = 0.5 \cdot 147.8 \cdot \left[ \frac{1}{0.5+1.1} - \frac{1.9244}{0.5+1.47} + \frac{1.2344}{0.5+1.84} - \frac{0.2639}{0.5+2.21} \right]$$

$$= 0.5 \cdot 147.8 \cdot 0.0785 = 5.8 \text{ gramas por recruta}$$

Repetindo-se estes cálculos para a gama de valores de F = 0 a F = 6.0 obtêm-se os resultados apresentados na primeira e quarta colunas da Tabela 8.2.1, que foram usados para elaboração do gráfico mostrado na Fig. 8.2.3.

Testando vários valores de F encontramos para F = 2.3 o valor máximo de Y/R, a "Captura Máxima Sustentável por Recruta" (MSY/R):

$$MSY/R = 7.9 \text{ gramas por recruta}$$

que corresponde à mortalidade por pesca ótima:

$$F_{MSY} = 2.3 \text{ por ano (ver Tabela 8.2.1 e Fig. 8.2.3).}$$

Como o modelo Y/R assume um sistema de parâmetros constante (cf. Secção 4.4.1) os resultados obtidos apenas se aplicam depois de o sistema estar estabilizado durante um certo tempo. Alterações no valor de F implicam necessariamente um certo tempo para que os valores de Y/R venham a ser previstos pela curva; o tempo necessário depende da longevidade da espécie

em questão. Da Tabela 8.2.1 e Fig. 8.2.3 parece que o nível de  $F_{MSY}$  não é determinado com grande precisão. De facto, para  $F > 1.5$  o  $Y/R$  permanece constante para uma grande gama de esforços.

A curva B na Fig. 8.2.4 é um exemplo de curva de  $Y/R$  que difere na forma da curva da Fig. 8.2.3 (que está reproduzida como curva A). A curva B tem um máximo bem pronunciado, um valor mais baixo de  $F_{MSY}$  e um valor mais alto de  $MSY/R$  quando comparada com a curva A, no entanto, a única diferença nos valores usados para determinação de ambas é o valor da taxa de mortalidade natural,  $M = 0.2$  por ano para a curva B e  $M = 1.1$  por ano para a curva A. As conclusões que podem ser obtidas das diferenças entre as duas curvas são:

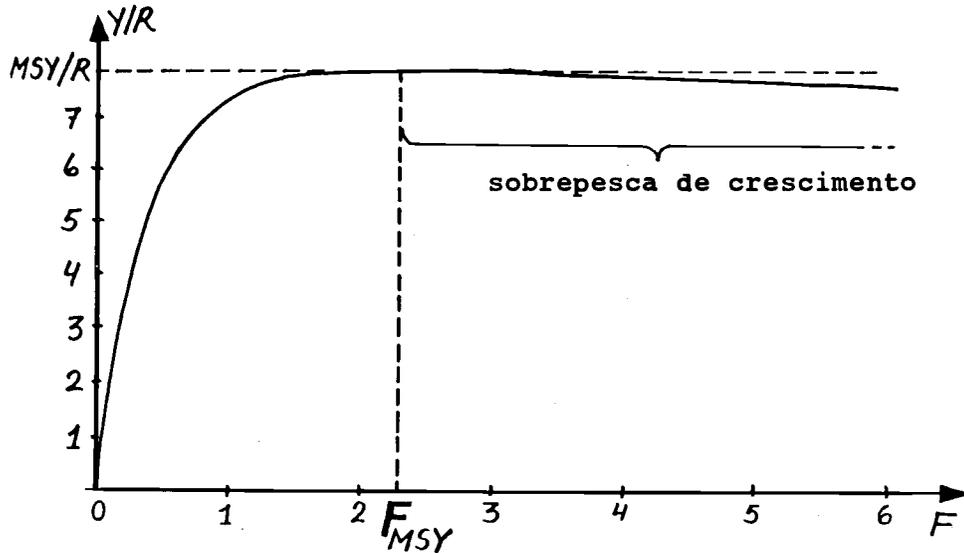


Fig. 8.2.3 Curva de captura por recruta do *Nemipterus marginatus* como função de  $F$  para os parâmetros:

$K = 0.37$  por ano       $T_c = 1.0$  ano       $t_0 = -0.2$  ano  
 $M = 1.1$  por ano       $Tr = 0.4$  ano       $W_\infty = 286$  gramas

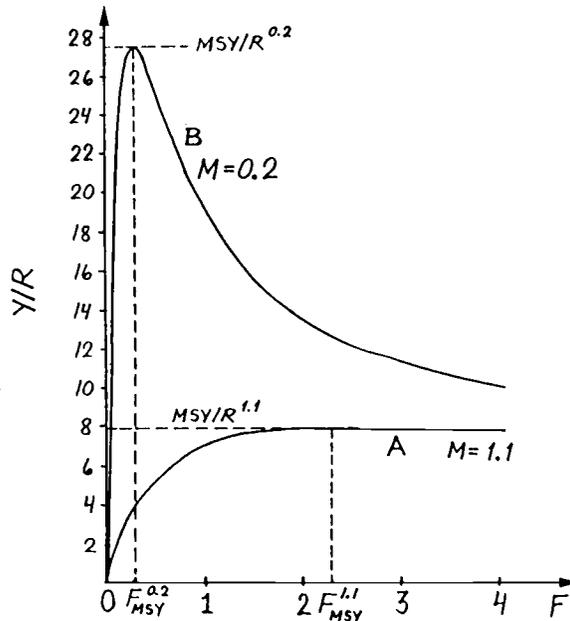


Fig. 8.2.4 Curva de captura por recruta como função de  $F$  para os parâmetros:

A:  $M = 1.1$  por ano      B:  $M = 0.2$  por ano       $t_0 = -0.2$  ano  
 $K = 0.37$  por ano       $T_c = 1.0$  ano  
 $Tr = 0.4$  ano       $W_\infty = 286$  gramas

1. Um  $M$  mais baixo produz um  $F_{MSY}$  mais baixo e um  $MSY/R$  mais elevado, enquanto que níveis de esforço de pesca acima de  $F_{MSY}$  provocam uma severa redução da captura total
2. Se  $M$  é alto, é difícil estimar  $F_{MSY}$  pela curva de  $Y/R$

Estas conclusões são as consequências lógicas do efeito do nível da mortalidade natural,  $M$ , na produção de biomassa.

Se  $M$  é alto, o peixe atingirá rapidamente a idade onde as perdas por mortalidade natural excedem o ganho em biomassa pelo crescimento somático. Portanto,  $F$  tem que ser alto de forma a capturar os peixes antes que eles morram por causas naturais.

Se  $M$  é baixo o ganho em biomassa devido ao crescimento será maior que as perdas causadas pela mortalidade natural para grande parte da vida da coorte. Neste caso, compensa deixar o peixe crescer para tamanhos maiores o que significa, que para um nível de exploração ótima,  $F$  deve ser baixo.

Em alguns casos (cf. Exercício 8.3) a curva  $Y/R$  nem sequer tem um máximo e os gestores sem experiência podem chegar à conclusão errada que o esforço pode ser aumentado indefinidamente. Em tais casos, que são comuns em pescarias tropicais, é recomendável considerar também a curva de biomassa por recruta ( $B/R$ ), que será introduzida na próxima secção. As duas curvas fornecem informações diferentes, sendo recomendável traçá-las sempre juntas.  $Y/R$  como função de  $T_c$ , idade à primeira captura, está estreitamente relacionada com a estimação do tamanho ótimo da malha (cf. Fig. 8.2.2, ver Exercícios 8.3 e 8.4).

### 8.3 MODELO DE BIOMASSA POR RECRUTA DE BEVERTON E HOLT

O modelo de biomassa por recruta de Beverton e Holt expressa a biomassa média de sobreviventes como função da mortalidade por pesca (ou esforço). A biomassa média está relacionada com as capturas por unidade de esforço (cf. Secção 4.3). A Eq. 4.3.0.2 expressa a relação entre  $CPUE$  e os números capturados,  $CPUE(t) = q*N(t)$ , que multiplicado pelo peso do corpo em ambos os lados resulta:

$$CPUE(t)*w(t) = q*N(t)*w(t)$$

ou, se  $N(t)*w(t)$  for substituído por  $B(t)$ , o símbolo para biomassa:

$$CPUEw(t) = q*B(t) \tag{8.3.1}$$

onde  $CPUEw$  é o "peso da captura por unidade de esforço". Assim, a biomassa deverá mostrar o mesmo declínio com o aumento do esforço de pesca, como mostra a curva da  $CPUEw$  na Fig. 8.3.1.

A captura em números por ano pode ser expressa como

$$C = F*\bar{N}$$

(cf. Eq. 4.2.8 com  $t_2-t_1 = 1$  ano). Com um argumento similar pode ser demonstrado que a captura por ano é

$$Y = F*\bar{B}$$

onde  $\bar{B}$  é a biomassa média durante um ano. Resulta que:

$$\frac{\bar{B}}{R} = \frac{Y}{R * F}$$

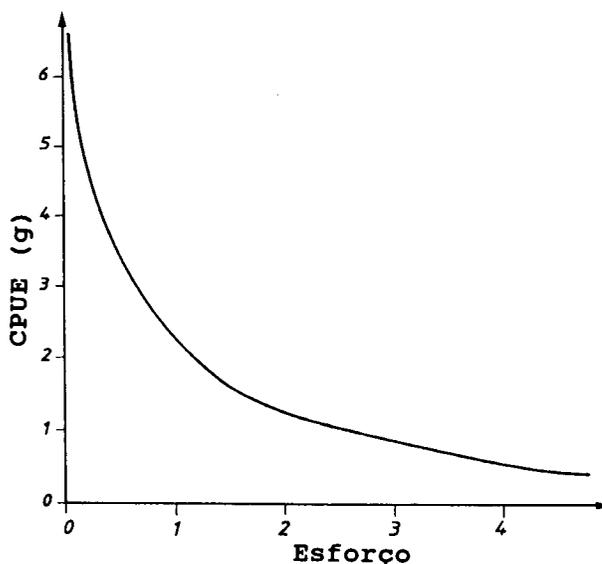


Fig. 8.3.1 Curva da CPUE (em peso) como função do esforço

Devido ao pressuposto de um sistema com parâmetros contantes (ver Secção 4.4.1) a captura de um manancial durante um ano é igual à captura de uma coorte individual durante toda sua vida.

Portanto temos a seguinte relação simples entre  $Y/R$ , (Eq. 8.2.4) e biomassa média por recruta,  $\bar{B}/R$ :

$$Y/R = F \cdot \bar{B}/R \tag{8.3.2}$$

A fórmula usada para calcular  $\bar{B}/R$  é a mesma da Eq. 8.2.4, dividida por  $F$ :

$$\bar{B}/R = \exp[-M \cdot (T_c - T_r)] \cdot W_{\infty} \cdot \left[ \frac{1}{Z} - \frac{3S}{Z+K} + \frac{3S^2}{Z+2K} - \frac{S^3}{Z+3K} \right] \tag{8.3.3}$$

É sempre recomendado calcular  $Y/R$  e  $\bar{B}/R$  juntos. A maneira mais fácil de fazer isto é começar pelo cálculo de  $\bar{B}/R$  pela Eq. 8.3.3 e então usar a Eq. 8.3.2 para calcular  $Y/R$ . No caso de  $F = 0$ , o valor de  $\bar{B}/R$  corresponde à chamada biomassa virgem por recruta,  $B_v/R$ , a biomassa de um manancial não explorado.

A biomassa média por recruta, conforme definido pelas Eq. 8.3.2 e Eq. 8.3.3, é a biomassa média da parte explorada da coorte, isto é a biomassa dos peixes de idade  $T_c$  ou acima.

Os valores de  $\bar{B}/R$  relacionados com os valores de  $Y/R$  calculados na Secção 8.2 estão apresentados na Tabela 8.2.1, onde  $\bar{B}/R$  também é dada como percentagem da biomassa virgem,  $B_v$ . Fica assim demonstrado que, para o *Nemipterus marginatus*, a biomassa correspondente ao nível óptimo biológico  $F$ ,  $F_{MSY}$ , é somente 15% da biomassa virgem,  $B_v$ . A Fig. 8.3.2 mostra a "curva da biomassa por recruta" que é sempre decrescente com o aumento do esforço de pesca. A curva é proporcional à captura por unidade de esforço com base nos pressupostos do modelo (ver Eq. 8.3.1). Isto significa que em qualquer pescaria seria esperado um decréscimo na captura por unidade de esforço e na biomassa quando o esforço (por exemplo, número de barcos) aumentasse. Portanto, um decréscimo na captura por unidade de esforço, não é per se um indicador de que um manancial está em sobrepesca, pois esta ocorre quando o esforço torna-se tão elevado que o crescimento não consegue contrabalançar com a mortalidade.

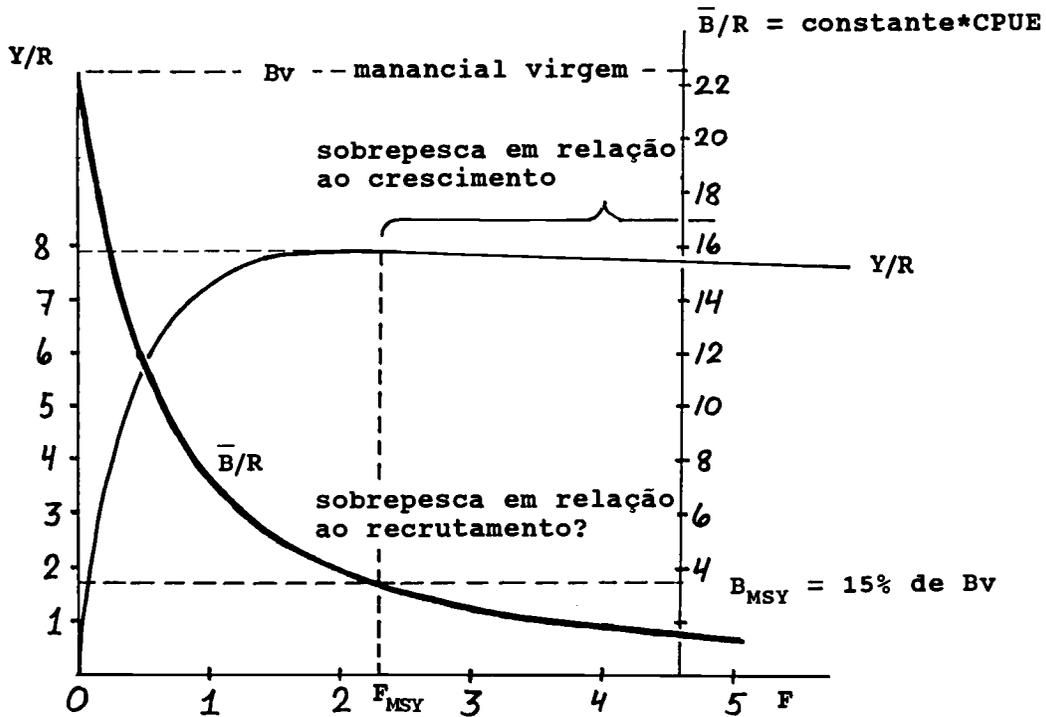


Fig. 8.3.2 Curva da biomassa por recruta do *Nemipterus marginatus* correspondente à curva de Y/R da Fig. 8.2.3 que aqui se encontra repetida

Outra maneira, às vezes mais apropriada, de usar a curva de  $\bar{B}/R$  é interpretá-la como uma curva de CPUEw. Quando se gere uma pescaria é essencial considerar a possível entrada de receitas por barco e esta quantidade, obviamente, está relacionada com as CPUEw (ver Sparre e Willmann, 1992).

(Ver Exercício(s) na Parte 2).

**Idade e tamanho médio na captura**

O modelo de Beverton e Holt pressupõe que Z seja constante a partir da idade  $T_c$  (Tr quando  $T_r > T_c$ ), facilitando assim a estimativa da idade média, do tamanho médio e do peso médio na captura anual. A idade média na captura anual é:

$$\bar{T}_y = \frac{1}{Z} + T_c \tag{8.3.4}$$

Esta equação também é aplicada em situações onde Z varia na fase explorada, mas mantém-se constante para os peixes mais velhos. A idade média dos peixes mais velhos é, assim,  $1/Z$  mais a idade a partir da qual Z se torna constante.

O comprimento médio na captura anual é:

$$\bar{L}_y = L_\infty \left(1 - \frac{Z \cdot A}{Z + K}\right) \tag{8.3.5}$$

$$S = \exp(-K \cdot (T_c - t_0)) = 1 - L_c / L_\infty$$

Tc ou Lc podem-se novamente, substituir por qualquer idade na qual os peixes têm uma mortalidade constante, obtendo-se, assim, um comprimento médio para essa parte da população.

O peso médio da captura calcula-se da mesma forma:

$$\bar{W}_y = Z * W_{\infty} * \left[ \frac{1}{Z} - \frac{3 * A}{Z + K} + \frac{3 * A^2}{Z + 2 * K} - \frac{A^3}{Z + 3 * K} \right] \quad (8.3.6)$$

onde S é igual à Eq. 8.3.5. Esta expressão pode ser aplicada para o grupo mais da VPA, substituindo-se Tc ou Lc pela idade ou comprimento no início do grupo mais, ver Eq. 5.3.16.

Um aumento do Z, com um aumento do esforço, resulta sempre na diminuição de  $\bar{T}_y$ ,  $\bar{L}_y$  e  $\bar{W}_y$ , tal como da biomassa explorada e da captura por unidade de esforço (ver Fig. 8.3.3). Esta diminuição é mais acentuada para valores baixos de F (isto é do esforço), caracterizando as primeiras fases duma pescaria, após o seu início. Tc (determinada pela malha) é um parâmetro incluído nas três equações, o que implica que uma maior malha resulta numa captura onde a idade média é mais elevada e portanto obtem-se um comprimento médio maior nas capturas.

Pescarias caracterizadas por diminuições na captura por unidade de esforço e diminuições nos tamanhos dos peixes desembarcados são geralmente consideradas como o resultado de sobrepesca, mas no entanto, as Figs. 8.3.2 e 8.3.3 mostram claramente que a diminuição deve-se, logicamente, ao aumento do esforço de pesca e é importante notar, que estas diminuições são mais acentuadas nos níveis mais baixos do esforço de pesca; o que quer dizer que após a abertura duma pescaria sobre um manancial virgem as capturas rapidamente começarão a diminuir e a consistir de peixes pequenos. Em muitos casos, estes factores não foram considerados em estudos de praticabilidade de novas pescarias.

(Ver **Exercício(s)** na Parte 2).

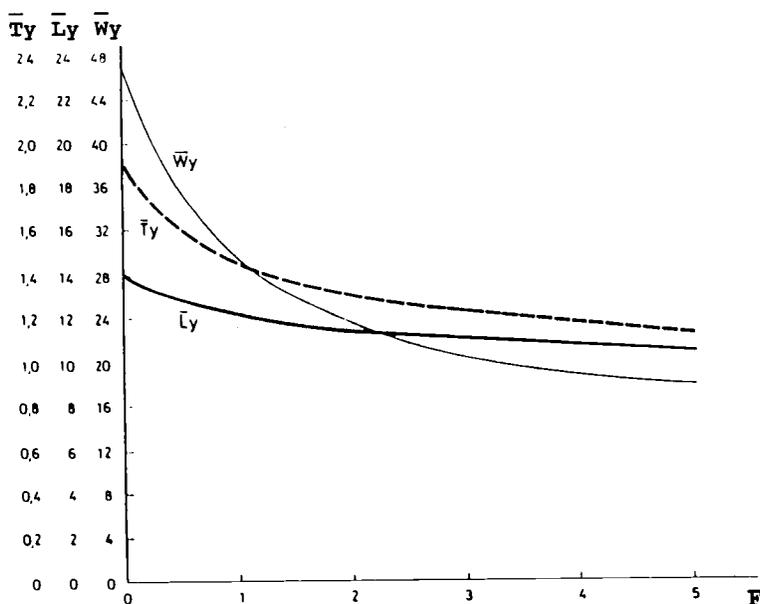


Fig. 8.3.3 Idade média ( $\bar{T}_y$ ), comprimento médio ( $\bar{L}_y$ ) e peso médio ( $\bar{W}_y$ ) na captura anual de *Nemipterus marginatus* correspondente à curva (CPUE) de biomassa da Fig. 8.3.2

**8.4 MODELO DE CAPTURA RELATIVA POR RECRUTA DE BEVERTON E HOLT**

Os valores absolutos de Y/R expressos em gramas por recruta não têm muita importância para o propósito da gestão pesqueira. Mas, é importante determinar as variações de Y/R para diferentes valores de F, por exemplo, se F aumentar em 20% a captura irá decrescer em 15%. Portanto, Beverton e Holt (1966) também desenvolveram um "modelo de captura relativa por recruta" que pode fornecer o tipo de informação necessária à gestão. Este modelo tem a grande vantagem de requerer menos parâmetros, e, ao mesmo tempo, é especialmente útil para avaliar o efeito da regulamentação do tamanho da malha. Pertence à categoria dos modelos baseados em comprimentos, porque está mais baseado em comprimentos do que em idades.

O "modelo de captura relativa por recruta de Beverton e Holt" é definido por:

$$(Y/R)' = E \cdot U^{M/K} \cdot \left[ 1 - \frac{3U}{1+m} + \frac{3U^2}{1+2m} - \frac{U^3}{1+3m} \right] \quad (8.4.1)$$

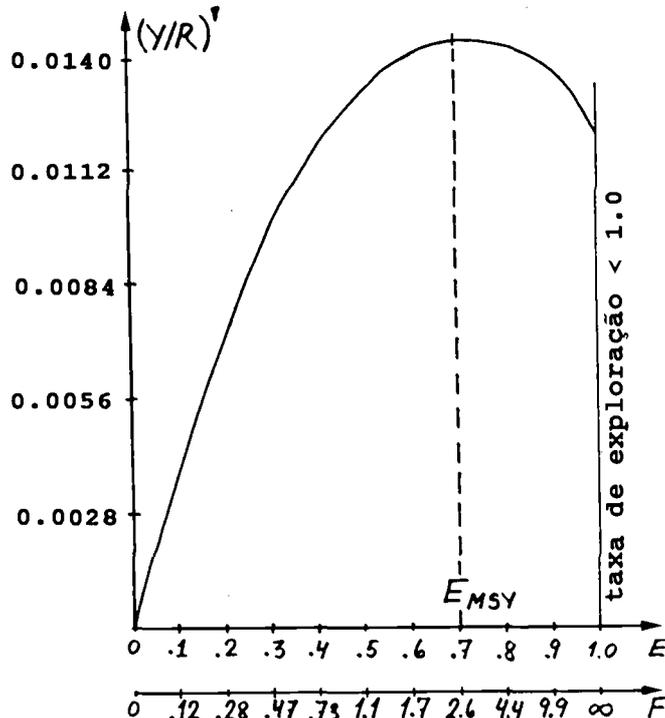
onde

$$m = \frac{1-E}{M/K} = K/Z$$

$U = 1 - L_c/L_\infty$ , a fracção de crescimento a ser completada depois de entrar para a fase explorada

$E = F/Z$ , taxa de exploração ou fracção de mortes provocadas pela pesca (cf. Secção 4.2).

$(Y/R)'$  é considerado uma função de U e E, e o único parâmetro é M/K. A equação dá um valor que é proporcional a Y/R conforme definido na Eq. 8.2.4 e que pode ser demonstrado por uma série de manipulações algébricas. Pode-se demonstrar que  $(Y/R)' = (Y/R) \cdot \exp[-M \cdot (Tr - t_0)] / W_\infty$ .



**Fig. 8.4.1** Curva de captura relativa por recruta  $(Y/R)'$  de Beverton e Holt correspondente à curva de Y/R da Fig. 8.2.3 ( $L_c = 10.2$  cm)

Note que não é necessária uma estimação separada de K como valor de entrada e que a Eq. 8.4.1 é baseada em comprimentos ( $L_{\infty}$  e  $L_c$  em U) em vez de idades.

$(Y/R)'$  pode ser calculado com valores de  $M/K$ ,  $L_{\infty}$  e  $L_c$ , para valores de E variando de 0 a 1, correspondendo a valores de F variando de 0 a  $\infty$ .

O gráfico de  $(Y/R)'$  contra E resulta numa curva com um valor máximo,  $E_{MSY}$ , para um dado valor de  $L_c$ . Assim, quando  $L_c$ , F e  $M/K$  são conhecidos para uma certa pescaria, a taxa de exploração actual pode ser comparada com o nível de  $E_{MSY}$  e as medidas de gestão propostas conforme as necessidades.

A Fig. 8.4.1 mostra a curva de  $(Y/R)'$  correspondente à curva de Y/R do *Nemipterus marginatus* (Fig. 8.2.3) no caso de:

$$L_c = L(T_c) = L(1.0) = 28.4 * [1 - \exp(-0.37 * (1 + 0.2))] = 10.2 \text{ cm}$$

onde  $L_{\infty} = 28.4$  cm (ver Secção 3.1.2 e Fig. 3.1.2.1).

$$U = 1 - L_c/L_{\infty} = 1 - 10.2/28.4 = 0.641$$

Como exemplo calculamos  $(Y/R)'$  para  $E = 0.5$ :

$$m = \frac{1 - 0.5}{1.1/0.37} = 0.168$$

$$(Y/R)' = 0.5 * 0.641^{2.973} * \left[ 1 - \frac{3 * 0.641}{1 + 0.168} + \frac{3 * 0.641^2}{1 + 2 * 0.168} - \frac{0.641^3}{1 + 3 * 0.168} \right] = 0.0135$$

(Ver **Exercício(s)** na Parte 2).

### 8.5 CAPTURA POR RECRUTA A PARTIR DE DADOS DE COMPRIMENTO

Praticamente os mesmos cálculos algébricos referidos na Secção 8.4 transformam a equação de Y/R (Eq. 8.2.4) num modelo baseado em comprimentos. Os parâmetros e variáveis originais são F, M,  $W_{\infty}$ , K,  $t_0$ ,  $T_r$  e  $T_c$ . No modelo transformado para crescimento temos  $L_{\infty}$ ,  $L_r$  e  $L_c$  em vez de  $t_0$ ,  $T_r$  e  $T_c$ . A nova equação é

$$Y/R = F * A * W_{\infty} * \left[ \frac{1}{Z} - \frac{3U}{Z+K} + \frac{3U^2}{Z+2K} - \frac{U^3}{Z+3K} \right] \quad (8.5.1)$$

onde  $U = 1 - L_c/L_{\infty}$  como na Eq. 8.4.1 e

$$A = \left[ \frac{L_{\infty} - L_c}{L_{\infty} - L_r} \right]^{M/K}$$

Uma vez que estão descritos nos capítulos anteriores, vários métodos de estimar parâmetros, será, também, interessante formular a Eq. 8.5.1 em termos de  $Z/K$  e  $M/K$ . Dividindo por K fora dos parênteses e multiplicando por K dentro dos parênteses, e substituindo z por  $Z/K$  obtém-se:

$$Y/R = \frac{F}{K} * A * W_{\infty} * \left[ \frac{1}{z} - \frac{3U}{z+1} + \frac{3U^2}{z+2} - \frac{U^3}{z+3} \right] \quad (8.5.2)$$

Esta equação contém  $F/K$ ,  $M/K$  (em A) e  $Z/K$  (em z) e não requer uma estimação separada de K nem faz referência à idade.

Marten (1978), usando crescimento linear em vez do modelo de von Bertalanffy apresentou um modelo similar de Y/R baseado em comprimentos.

## 8.6 MODELO DE THOMPSON E BELL BASEADO EM IDADES

Conforme já dito na introdução deste capítulo o primeiro modelo de projecção foi desenvolvido, bem antes do modelo de Beverton e Holt, por Thompson e Bell (1934). O modelo de Thompson e Bell é exactamente o oposto dos modelos discutidos no Capítulo 5, VPA e análise de coortes. É utilizado para prever os efeitos de alterações no esforço de pesca nas capturas futuras, enquanto a VPA e a análise de coortes são usadas para determinar o número de peixes que deveriam ter estado presentes no mar, para explicar uma determinada captura sustentável, e o esforço de pesca que devia ter sido aplicado em cada grupo de idade ou de comprimento para obter dada captura em número (ver Secções 5.1 e 5.2). Portanto, a VPA e a análise de coortes são chamados modelos *históricos* ou *retrospectivos*, enquanto o modelo de Thompson e Bell é de *projecção*.

O método de Thompson e Bell consiste em dois passos principais: 1) Fornecimento de dados de entrada essenciais e opcionais e 2) cálculo dos resultados na forma de previsões das futuras capturas, níveis de biomassa e até mesmo o rendimento dessas capturas.

- 1) Fornecimento dos dados de entrada: A entrada principal é a chamada "*matriz de referência de F-por-idades*", uma matriz de valores de F por grupos de idades. Em princípio, qualquer matriz-F pode ser usada como entrada, mas, é claro, não é qualquer uma que fornecerá resultados compatíveis com a situação real da pescaria. Portanto, é comum utilizar-se uma matriz-F obtida a partir de uma análise de dados históricos, em outras palavras, de uma VPA ou duma análise de coortes. No entanto, uma matriz-F de referência pode ser originada de outras fontes como é, na verdade, o caso do exemplo 29, dado abaixo.

Outro importante parâmetro de entrada é o número de recrutas, que pode ser igualmente obtido de uma VPA ou duma análise de coortes. Este parâmetro é necessário para obtenção de previsões absolutas de capturas, etc. Contudo, se este dado de entrada não estiver disponível, o modelo de Thompson e Bell pode, ainda assim, ser usado para fornecer resultados em números relativos, na forma, por exemplo, de unidades "por 1000 recrutas" (ver Exemplo 29).

O modelo requer ainda uma "*matriz de peso por idades*", os pesos individuais dos peixes por grupos de idade. Para análises económicas o modelo também requer entradas de valores monetários, geralmente na forma de preço por kg por grupos de idade. (Para o modelo de Thompson e Bell baseado em comprimentos o mesmo tipo de dados de entrada são requeridos por classe de comprimento).

- 2) Resultados: Os resultados obtidos pelo modelo, relacionados com os valores de F para cada grupo de idade, são na forma de previsões das capturas em número, do número total de mortos, das capturas em peso, da biomassa média e do rendimento, por grupo de idade. Podem ser obtidos novos valores de F multiplicando-se a matriz-F de referência, como um todo, por um certo factor, geralmente chamado X, ou aplicando-se o factor somente a uma parte da matriz-F de referência. Este último caso aplica-se, por exemplo, no caso de alterações do tamanho mínimo da malha, ou para separar o efeito das frotas com diferentes características (por exemplo artesanal e industrial) em um particular manancial. Executando uma série de cálculos com diferentes valores de X (factores-F), podem ser elaborados gráficos que ilustram claramente os efeitos de F sobre as capturas, a biomassa média e o rendimento da captura.

O modelo de Thompson e Bell é uma ferramenta muito importante para o cientista pescueiro demonstrar os efeitos que certas medidas de regulamentação, como mudanças no tamanho mínimo de malha, diminuição ou aumento do esforço de pesca, ou períodos de defeso, terão sobre a captura, a biomassa

e o rendimento da captura. Como é requerido um grande número de cálculos, é essencial o uso de computadores.

Um aspecto importante do modelo de Thompson e Bell é que ele permite a incorporação do valor da captura. Portanto, o modelo tem se tornado a base para o desenvolvimento dos chamados modelos bio-econômicos, que são extremamente úteis na formulação de previsões necessárias a decisões na gestão das pescarias.

### Programas de computadores

O pacote LFSA contém programas para executar de forma relativamente simples as análises de Thompson e Bell, tanto baseada em idades como em comprimentos, e também foram incorporados programas similares ao pacote FISAT. Uma série de programas de computadores para análise bio-econômica das pescarias têm sido desenvolvidos e publicados pela FAO, os chamados programas BEAM (Bio-Economic Analytical Model), modelos analíticos bio-econômicos, (BEAM 1 e 2, Coppola et al., 1992, BEAM 3, Cochet e Gilly, 1990 e BEAM 4, Sparre e Willmann, 1992).

### Exemplo 29: Análise de Thompson e Bell baseada em idades, camarão tropical

#### Dados de Entrada

Para ilustrar o modelo usamos dados da pescaria de camarão do Kuwait (de Garcia e van Zalinge, 1982). As colunas de A a E na Tabela 8.6.1 contêm os dados de entrada. Neste caso as mortalidades por pesca, os F's, foram estimados dos dados das capturas e as estimações da biomassa obtidas pelo método da área varrida (cf. Capítulo 13). No entanto, a matriz F poderia também ter sido estimada através de uma análise de coortes ou da VPA.

**Tabela 8.6.1 Modelo de Thompson e Bell baseado em idades, ilustrado com os dados da pescaria de camarão do Kuwait (de Garcia e van Zalinge, 1982).  $M = 3.0$  por ano para todas as idades**

ENTRADA					RESULTADO					
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
idade *)	peso médio $\bar{w}(t)$	rend. por g $\bar{v}(t)$	mort. pesc. $F(t)$	mort. total $Z(t)$	nú- mero $N(t)$	mortos $N(t)-$ $N(t+\Delta t)$	cap- tura $C(t)$	cap- tura em peso $Y(t)$	bio- massa média $B(t)$	rend. $Y\bar{v}$
t meses	g	unidade monetá- ria	por ano	por ano	na popul. *)	número	nú- mero	g	g	unidade mone- tária
1=Tr	5.7	0.73	1.20	4.20	1000.0	295.3	84.4	481	4809	351
2	9.3	0.93	1.32	4.32	704.7	213.0	65.1	605	5504	563
3	13.0	1.20	1.32	4.32	491.6	148.6	45.4	590	5367	708
4	17.6	1.45	1.44	4.44	343.0	106.1	34.4	606	5046	878
5	22.0	1.70	1.92	4.92	236.9	79.7	31.1	684	4276	1163
6	26.1	1.90	1.20	4.20	157.2	46.4	13.3	346	3463	658
7	30.3	2.08	1.56	4.56	110.8	35.0	12.0	363	2793	755
8	33.8	2.14	1.20	4.20	75.8	22.4	6.4	216	2161	462
9	37.0	2.18	1.20	4.20	53.4	15.8	4.5	167	1667	363
10	40.3	2.23	1.80	4.80	37.6	12.4	4.7	187	1250	418
11	43.1	2.24	2.76	5.76	25.2	9.6	4.6	199	863	445
12	44.7	2.27	2.52	5.52	15.6	5.8	2.6	117	559	267
13	-	-	-	-	9.9	-	-	-	-	-
Total								4561	37758	7031
Biomassa média:								37758/12 = 3146.5		

\*) No início do período

O tempo de vida do camarão *Penaeus semisulcatus* não é muito superior a um ano e por isso os grupos de idades na Coluna A da Tabela 8.6.1 são dados em meses, a espécie é recrutada à pescaria com a idade de um mês ( $Tr = 1$ ). A Coluna B apresenta o peso médio por grupos de idade. A Coluna C contém um valor relativo, proporcional ao preço por kg de cauda com casca por grupo de idade. A Coluna D contém a mortalidade por pesca, a "matriz-F-por-idades de referência", e a Coluna E a mortalidade total por ano por grupo de idade.

Na Coluna F começamos com 1000 recrutas, que têm a idade de 1 (um) mês no início do período. Em outras palavras, a população do grupo de idade 1 é 1000. Todos os cálculos subsequentes são relativos aos 1000 recrutas. Caso uma análise de coortes tivesse sido aplicada e o número real de recrutas estimado, os valores obtidos por 1000 recrutas poderiam ser convertidos em capturas e tamanho do manancial (ver Secção 5.2).

### Resultados baseados na matriz-F-por-idades de referência

Com base nos valores de entrada apresentados nas Colunas A a E e no número de recrutas (1000) na idade de 1 (um) mês, a população por grupos de idade, expressa em números existentes no início de cada mês pode ser calculada (Coluna F). Podemos também calcular o seguinte: o número de mortos por mês (Coluna G), as capturas em número, equivalente ao número de mortos devido à mortalidade por pesca (Coluna H), a captura em gramas (Coluna I), a biomassa média em gramas (Coluna J), e o rendimento expresso em unidades monetárias (Coluna K).

Os cálculos serão agora apresentados, passo a passo, usando-se como exemplo numérico os cálculos para os três primeiros grupos de idade.

**Passo 1:** Calcular o número na população no início de cada período (mês):

$$\begin{aligned} N(1) &= 1000, \text{ use} \\ N(t+\Delta t) &= N(t) \cdot \exp(-Z \cdot \Delta t), \text{ onde} \\ \Delta t &= 1 \text{ mês} = 0.08333 \text{ ano, para calcular os números subsequentes} \\ N(2) &= 1000 \cdot \exp(-4.20 \cdot 0.08333) = 704.7 \\ N(3) &= 704.7 \cdot \exp(-4.32 \cdot 0.08333) = 491.6 \end{aligned}$$

**Passo 2:** Calcular o número total de mortos em cada período:

$$\begin{aligned} \text{Número total de mortos } D(t) &= N(t) - N(t+\Delta t) \\ D(1) &= 1000 - 704.7 = 295.3 \\ D(2) &= 704.7 - 491.6 = 213.1 \\ D(3) &= 491.6 - 343.0 = 148.6 \end{aligned}$$

**Passo 3:** Calcular o número capturado em cada período:

$$\begin{aligned} C(t) &= [N(t) - N(t+\Delta t)] \cdot F(t) / Z(t) = D(t) \cdot F(t) / Z(t) \\ C(1) &= 295.3 \cdot 1.20 / 4.20 = 84.4 \\ C(2) &= 213.1 \cdot 1.32 / 4.32 = 65.1 \\ C(3) &= 148.6 \cdot 1.32 / 4.32 = 45.4 \end{aligned}$$

**Passo 4:** Calcular a captura em peso em cada período:

$$\begin{aligned} Y(t) &= C(t) \cdot \bar{w}(t) \\ Y(1) &= 84.4 \cdot 5.7 = 481 \\ Y(2) &= 65.1 \cdot 9.3 = 605 \\ Y(3) &= 45.4 \cdot 13.0 = 590 \end{aligned}$$

**Passo 5:** Calcular a biomassa média em cada período:

$$\begin{aligned} \bar{B}(t) &= Y(t) / [F(t) \cdot \Delta t] \\ \bar{B}(1) &= 481 / (1.20 \cdot 0.08333) = 4810 \\ \bar{B}(2) &= 605 / (1.32 \cdot 0.08333) = 5500 \\ \bar{B}(3) &= 591 / (1.32 \cdot 0.08333) = 5373 \end{aligned}$$

Note: Este cálculo de biomassa é derivado da Eq. 4.2.8,  $C = F \cdot \Delta t \cdot \bar{N}$ , que, multiplicada por  $\bar{w}$  em ambos os lados, resulta

$$Y = F \cdot \Delta t \cdot \bar{B} \quad \text{e} \quad \bar{B} = Y / (F \cdot \Delta t)$$

**Passo 6:** Calcular o rendimento em cada período:

$$\begin{aligned}
V(t) &= Y(t) \cdot \bar{v}(t) \\
V(1) &= 481 \cdot 0.73 = 351 \\
V(2) &= 605 \cdot 0.93 = 563 \\
V(3) &= 590 \cdot 1.20 = 708
\end{aligned}$$

**Passo 7:** Calcular a captura total, a biomassa média ao longo de todo o período e o rendimento total (ver a última coluna da Tabela 8.6.1):

A captura total é a soma de todas as capturas mensais.  
O rendimento total é a soma de todos os rendimentos mensais.

A biomassa média aproximada é (cf. Fig. 4.2.3):

$$\bar{B} = \frac{\sum_{t=1}^{12} (\bar{B}(t) \cdot \Delta t)}{\sum_{t=1}^{12} \Delta t}$$

Como  $\Delta t = 1/12$  e o período total é de 12 meses, neste caso

$$\bar{B} = \frac{\sum \bar{B}(t)}{12} = \frac{37758}{12} = 3146.5$$

O conceito de biomassa média no caso mais complicado, onde  $\Delta t$  não permanece constante, é discutido na Secção 5.3.

As seguintes equações resumem, de uma maneira geral, as fórmulas para o modelo de Thompson e Bell baseado em idades, incluindo X (factor-F). O índice i refere-se ao intervalo de idades ( $t_i, t_i + \Delta t$ ). O índice  $t_i$  refere-se ao início do intervalo e o índice  $t_i + \Delta t$  ao final.

intervalo de idade:  $i = (t_i, t_i + \Delta t)$

$$\begin{aligned}
Z_i &= M + X \cdot F_i \\
N(t_i + \Delta t) &= N(t_i) \cdot \exp(-Z_i \cdot \Delta t) \\
C_i &= [N(t_i) - N(t_i + \Delta t)] \cdot X \cdot F_i / Z_i \\
\bar{w}_i &= w(t_i + \Delta t / 2) \\
Y_i &= C_i \cdot \bar{w}_i \\
\bar{B}_i &= Y_i / [F_i \cdot \Delta t \cdot X] \\
V_i &= Y_i \cdot \bar{v}_i
\end{aligned}
\tag{8.6.1}$$

**Thompson e Bell usando um grupo-mais**

A última linha do grupo de idade na Tabela 8.6.1 (exemplo 29), idade 13, contém somente o número de sobreviventes e nenhuma das outras entradas, devido ao número de sobreviventes com idade superior a 12 meses ter sido considerado insignificante e, portanto, ignorado.

Em casos onde o número é significativo existe uma maneira de explicá-los, mesmo quando levamos em conta apenas 12 grupos de idade. Tratando o grupo 12 como um "grupo-mais", isto é, substituindo o número de mortos entre as idades 12 e 13,  $N(12) - N(13)$ , pelo total de mortos depois da idade 12, e, como todos os indivíduos morrerão, este número é no Exemplo 29,  $N(12) = N(12+) = 15.6$ .

Assumindo ainda que os grupos mais velhos têm a mesma mortalidade que o grupo 12, o número de camarões capturados do grupo-mais será

$$C(12+) = \frac{F(12)}{Z(12)} * N(12)$$

$$C(12+) = (2.52/5.52) * 15.6 = 7.1$$

Assim, deixando de fora o grupo-mais na Tabela 8.6.1 uma captura de 7.1 - 2.6 = 4.5 foi ignorada.

Se o crescimento tivesse parado na idade 12 então  $\bar{w}(12)$  seria o peso máximo e a captura correspondente a  $C(12+)$  seria  $44.7 * 4.5 = 201$  g. Esta captura corresponde ao rendimento de  $201 * 2.27 = 456$  unidades monetárias, que representam algo em torno de 6% do total - uma quantidade significativa. Portanto, para estar seguro de que capturas significativas não estão sendo ignoradas, é melhor tratar sempre o último grupo como um "grupo-mais".

### **Previsões, resultados baseados em diferentes matrizes-F**

Com os resultados baseados na matriz-F de referência calculados acima, ficam disponíveis os dados básicos para a previsão dos efeitos de aumentos ou diminuições no esforço de pesca ou mortalidade por pesca. Novos valores para a captura total, biomassa média total e rendimento total podem ser obtidos ponderando-se a mortalidade por pesca na Coluna D da Tabela 8.6.1 por uma certa percentagem. A matriz F apresentada na Tabela 8.6.1, chamada matriz-F de referência, é então substituída por uma nova, pela sua multiplicação, ou parte dela, por um factor  $X = (\text{novos } F) / (F \text{ de referência})$ .

Se, por exemplo, o esforço aumentasse em 20 %, a nova mortalidade por pesca na Coluna D seria

$$1.20 * 1.20 = 1.44, \quad 1.32 * 1.20 = 1.58, \quad \text{etc.}$$

Executando novamente todo o cálculo, usando os novos F's, a correspondente captura total, biomassa média total e rendimento total são obtidos.

Um exemplo de resultados de uma série de cálculos deste tipo com  $X =$  factores-F variando de 0 a 3.0 é apresentado na Tabela 8.6.2. A matriz-F de referência, onde  $X = 1.0$  fornece um rendimento total de 4560, uma biomassa média total de 3146 e um valor total de 7029. (Estes valores foram obtidos com os mesmos dados de entrada utilizados na Tabela 8.6.1, no entanto existem pequenas diferenças dos resultados da tabela devido ao facto do programa de computador usado para calcular a Tabela 8.6.2 utilizar o número máximo de dígitos em todas as operações. Estas pequenas e, sob o ponto de vista da avaliação de mananciais, insignificantes diferenças podem também ser observadas em outros cálculos apresentados neste manual).

Na Fig. 8.6.1 a captura total, a biomassa média total e o rendimento total correspondentes à Tabela 8.6.2 foram marcados contra  $X$  (factor-F) e as respectivas curvas traçadas. Notar que a curva de rendimentos possui um ponto máximo, o que não ocorre com a curva de capturas no intervalo de variação dos factores-F ( $X$ ) considerados. Quando o preço por kg varia com o tamanho dos camarões as duas curvas terão os seus máximos em diferentes níveis de F.

Recordar que a biomassa é proporcional à captura por unidade de esforço (Secções 4.3 e 8.3). A Fig. 8.6.1 ilustra o sério conflito entre o desejo de maximizar a captura total de uma pescaria, em peso ou em valor, e a necessidade de permitir que pescadores e armadores obtenham receitas suficientes. A captura por barco diminui constantemente quando o esforço aumenta e pode, na prática, ficar tão pequena que torna a pescaria inviável economicamente, mesmo para níveis de esforço menores que os correspondentes ao máximo na curva de rendimento total da captura.

Tabela 8.6.2 Captura, rendimento da captura e biomassa para vários níveis de F. A matriz-F de referência é dada na coluna D da Tabela 8.6.1 (compare com a Fig. 8.6.1)

factor-F X	captura total	biomassa média total	rendi- mento total
0	0	5382	0
0.4	2549	4271	4209
0.8	4055	3466	6396
1.0	4561*)	3146*)	7031*)
1.2	4954	2870	7465
1.5	5383	2522	7842
2.0	5814	2075	8025
3.0	6138	1497	7683

\*) cf. Tabela 8.6.1

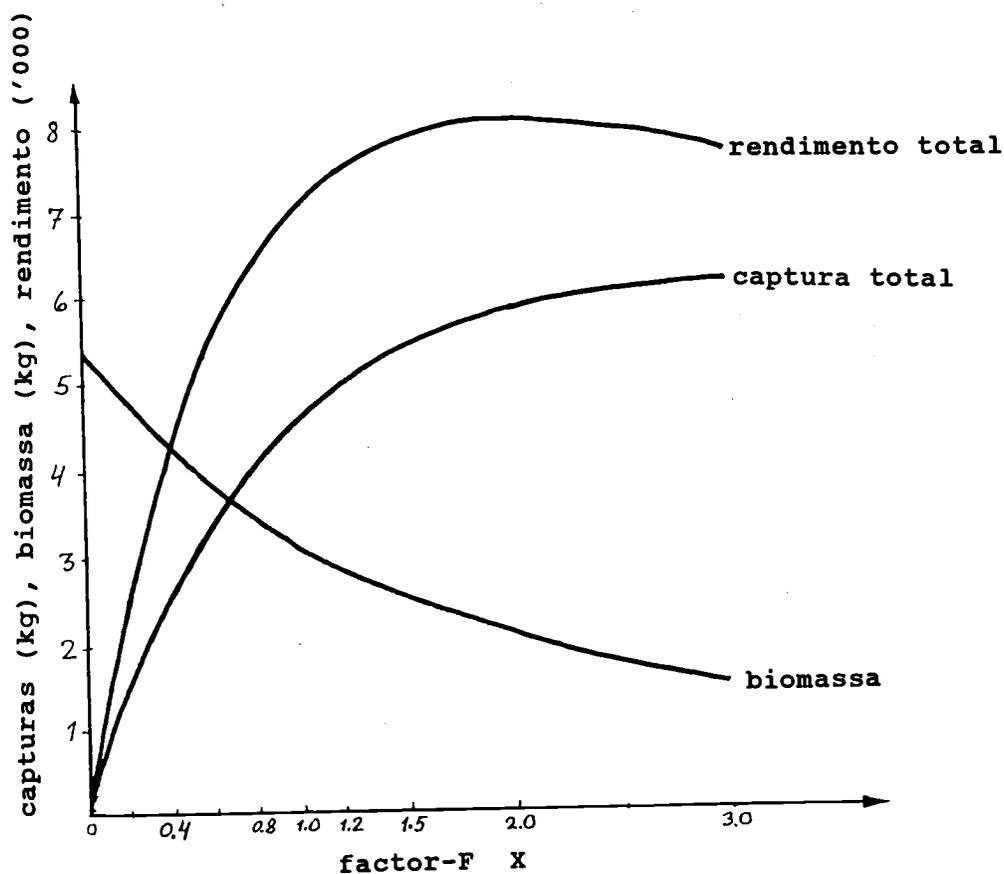


Fig. 8.6.1 Captura, biomassa e rendimento da captura por 1000 camarões calculados pelo modelo de Thompson e Bell baseado em idades. Baseado nos dados da Tabela 8.6.2

### Previsão por frota

A pesca de camarões nas águas do Kuwait é composta de um "segmento artesanal" e um "segmento industrial". A Tabela 8.6.3 mostra os resultados de uma divisão da mortalidade por pesca total dada na Tabela 8.6.1 em uma componente artesanal e uma industrial (de Garcia e van Zalinge, 1982). Este tipo de divisão, da mortalidade por pesca causada por diferentes frotas, está baseado, normalmente, na proporção do número de indivíduos (camarões ou peixes) capturados por cada frota.

**Tabela 8.6.3** Divisão da mortalidade por pesca total, na pesca de camarão do Kuwait, em componentes artesanal e industrial (de Garcia e van Zalinge, 1982)

idade (meses)	artesanal F <sub>A</sub>	industrial F <sub>I</sub>	total F total
1	0.720	0.480	1.20
2	0.960	0.360	1.32
3	0.840	0.480	1.32
4	0.480	0.960	1.44
5	0.600	1.320	1.92
6	0.480	0.720	1.20
7	1.080	0.480	1.56
8	0.480	0.720	1.20
9	0.084	1.116	1.20
10	0.120	1.680	1.80
11	0.240	2.520	2.76
12	0.240	2.280	2.52

**Tabela 8.6.4** Divisão de capturas e rendimentos, da Tabela 8.6.1, em componentes artesanal e industrial (de Garcia e van Zalinge, 1982). Os factores-X são como na Tabela 8.6.2 ( $X_A = X_I$ ) (ver Fig. 8.6.2)

captura total	rendimento total	frota artesanal			frota industrial		
		factor-F $X_A$	captura	rendimento	factor-F $X_I$	captura	rendimento
0	0	0	0	0	0	0	0
2549	4209	0.4	1048	1531	0.4	1501	2678
4055	6396	0.8	1773	2486	0.8	2284	3910
4560	7029	1.0	2048	2815	1.0	2512	4216
4954	7465	1.2	2281	3073	1.2	2673	4392
5383	7842	1.5	2563	3354	1.5	2819	4488
5814	8025	2.0	2903	3627	2.0	2910	4398
6138	7683	3.0	3291	3783	3.0	2847	3900

**Tabela 8.6.5** Avaliação do efeito da variação do esforço industrial ( $X_I$ ) com a manutenção do esforço artesanal constante ( $X_A = 1.0$ ) (ver Fig. 8.6.3)

captura total	rendimento total	frota artesanal			frota industrial		
		factor-F $X_A$	captura	rendimento	factor-F $X_I$	captura	rendimento
2479	3603	1.0	2479	3603	0	0	0
3522	5403	1.0	2289	3250	0.4	1234	2154
4270	6598	1.0	2124	2950	0.8	2146	3648
4560	7029	1.0	2048	2815	1.0	2512	4216
4811	7383	1.0	1979	2691	1.2	2832	4692
5120	7783	1.0	1883	2520	1.5	3237	5263
5501	8203	1.0	1740	2271	2.0	3761	5932
5951	8499	1.0	1510	1880	3.0	4441	6619

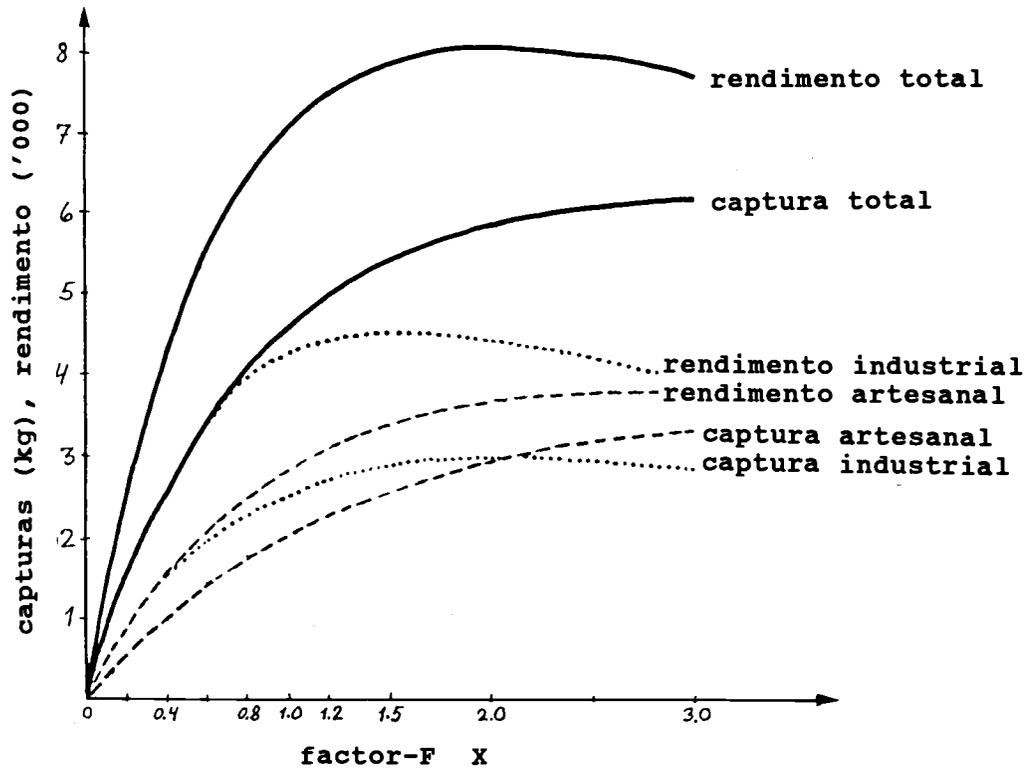


Fig. 8.6.2 Captura total e rendimento total da captura da Fig. 8.6.1 separados em componentes artesanal e industrial (cf. Tabela 8.6.4)

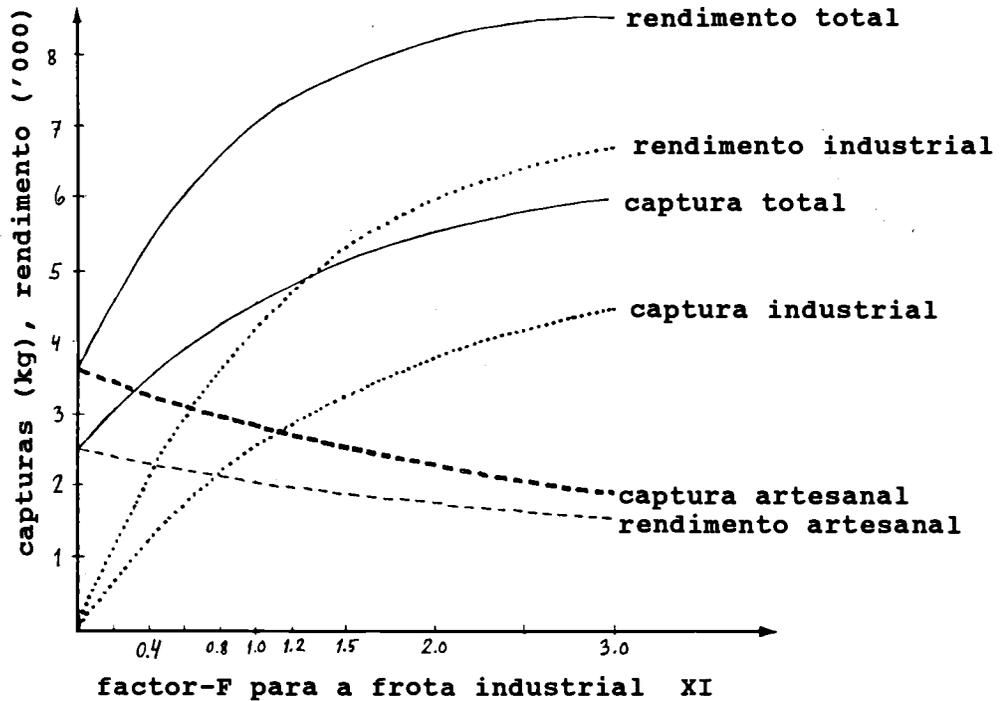


Fig. 8.6.3 Avaliação do efeito duma alteração na pescaria industrial mantendo a pesca artesanal a um nível constante (cf. Tabela 8.6.5)

A mortalidade por pesca exercida por uma frota, nº  $i$ ,  $F(i)$ , é

$$F(i) = F_{\text{total}} * C(i) / C_{\text{total}} \quad (8.6.2)$$

onde  $C(i)$  é o número de camarões (ou peixes) capturados pela frota nº  $i$ , e  $F(\text{total})$  e  $C(\text{total})$  são, respectivamente, a mortalidade por pesca e o número capturado por todas as frotas.  $F(\text{total})$  pode ser derivado de uma análise de coortes. A divisão da captura (coluna H na Tabela 8.6.1) em componentes da frota é obtida por:

$$C(i) = C_{\text{total}} * F(i) / F_{\text{total}} \quad (8.6.3)$$

Assim, a captura e o rendimento são facilmente separados em componentes da frota. A Tabela 8.6.4 mostra a divisão, entre as duas frotas, da captura total e do rendimento dados na Tabela 8.6.2.

Neste caso os mesmos factores,  $X_A = X_I$ , são aplicados para valores- $F$  das duas frotas, isto é no exercício apresentado na Tabela 8.6.4 foi assumido que o esforço da frota artesanal é sempre a mesma proporção do esforço total. A Fig. 8.6.2 mostra o gráfico correspondente à Tabela 8.6.4.

A Tabela 8.6.5 e a Fig. 8.6.3 mostram um exemplo onde o factor  $X_A$ , para a frota artesanal é mantido constante enquanto o factor  $X_I$ , para a frota industrial é alterado. Isto corresponde à situação onde a frota industrial está mudando, e a frota artesanal permanece no mesmo nível. Notar que a frota artesanal obtém uma menor porção da captura total à medida que se eleva o nível de esforço da frota industrial. Ou seja quando há um aumento no esforço da frota industrial o manancial reduz-se de modo que a frota artesanal fica com uma parte menor.

É possível avaliar de maneira semelhante o efeito de qualquer medida de regulamentação para uma das componentes da frota desde que seja possível converter o esforço regulamentado na mortalidade por pesca apropriada. Por exemplo, Garcia e van Zalinge (1982) usaram o modelo de Thompson e Bell para avaliar o efeito de um tempo de defeso.

O modelo de Thompson e Bell pode ser também utilizado para avaliar o efeito de uma alteração no tamanho da malha. Neste caso a curva de selectividade para a pescaria corrente poderia ser estimada usando-se um dos métodos descritos no Capítulo 6. O método será discutido na Secção 8.8.

A aplicação do modelo de Thompson e Bell acima descrito (incluindo a avaliação das malhas abaixo descrita) é, essencialmente, o método utilizado hoje em dia para a previsão das capturas e estabelecimento de quotas de pesca na área do ICES (Atlântico Nordeste) e em muitas outras áreas.

(Ver **Exercício(s)** na Parte 2).

#### **Exemplo 29a: Previsões a curto e a longo prazo**

Imediatamente a seguir a uma alteração do esforço ou do tamanho da malha, ocorre uma alteração nas capturas que só é sentida após todos os grupos de idade da população estarem sujeitos a esse novo esforço ou à nova malha. O exemplo 29 lida apenas com a estimativa do novo estado de equilíbrio.

Para calcular as capturas ano após ano depois duma alteração do esforço ( $F$ ), continua-se com a análise de coortes ou VPA para os anos futuros, utilizando os números estimados, em cada grupo de idade, no final de cada período com o esforço antigo e o novo valor de  $F$  depois da alteração. Os cálculos iniciam-se com o grupo de idade mais novo e prosseguem para baixo na tabela, no sentido oposto à análise de coortes e VPA. O recrutamento não pode ser previsto e, portanto, é assumido como constante.

Voltando aos dados do badejo da análise de coortes baseada em idades, Secção 5.2, Exemplo 19a, usa-se o recrutamento médio, de 2849 milhões para o ano de 1974-79, ver Tabela 5.2.2. Poderemos estudar o efeito em duplicar o esforço. Assim o factor X do Exemplo 29 toma o valor de 2:

$$F(\text{novo}, t, t+1) = F(1980, t, t+1) * 2$$

No entanto os valores de F para 1980 são "F terminais" ou seja são valores supostos. Na verdade, o valor de F estimado para a classe anual 1974 foi usado no exemplo 19a. A Tabela 5.2.2 mostra que não há nenhuma alteração do esforço durante o período de amostragem, conseqüentemente pode-se substituir o valor do F terminal pela média dos F estimados durante a amostragem de 1974-79, tal como dado na última coluna da Tabela 5.2.2. adoptando, assim, este valor como F(1980, t, t+1).

Alterando o valor de F terminal para 1980 é necessário também uma recalculação do número de indivíduos na população no início de 1980 e novamente a expressão do Exemplo 19 para o N terminal é usada:

$$N(1980, t) = \frac{C(1980, t, t+1)}{(F/Z) * (1 - \exp(-Z))}$$

onde  $F = F(1980, t, t+1)$ ,  $Z = F + M$ , com  $M = 0.2$ . Os resultados estão na primeira coluna da Tabela 8.6.6.

Assume-se que a duplicação do esforço ocorre em 1 de Janeiro de 1981. Para se poder prever o efeito desta duplicação os números  $N(1981, t)$  têm que ser calculados dos F antigos e utilizados como ponto de partida. Assim:

$$N(1981, t+1) = N(1980, t) * \exp[-(F(1980, t, t+1) + M)]$$

como por exemplo:

$$N(1981, 4) = 412 * \exp[-1.02 + 0.2] = 122$$

Ver Tabela 8.6.6. Para  $N(1981, 0)$ , utiliza-se o recrutamento médio de 1974-79, 2849 milhões da Tabela 5.2.2. Com um factor de X de 2 substitui-se os novos números em

$$N(1982, t+1) = N(1981, t) * \exp[-(X * F(1980, t, t+1) + M)]$$

de modo que:

$$N(1982, 5) = 122 * \exp[-2 * 0.91 + 0.2] = 16$$

e igualmente para os restantes anos. Mantendo o factor X e o recrutamento constantes, a população acaba por estabilizar gradualmente à medida que a classe anual de 1980 vai desaparecendo. Em 1987 os números nos grupos de idade 0-6 anos estão todos estáveis e representam a projecção a longo prazo do efeito da duplicação do esforço.

Calculos similares, Tabela 8.6.7, são feitos para as capturas usando a Eq. 4.2.7:

$$C(y, t, t+1) = N(y, t) * [1 - \exp(-Z)] * X * F(1980, t, t+1) / Z$$

onde:

$$Z = X * F(1980, t, t+1) + M$$

Assim, para a idade 4 no ano 1981:

$$Z = 2 * 0.91 + 0.2 = 2.02$$

$$C(1981, 4, 5) = 122 * [1 - \exp(-2.02)] * 2 * 0.91 / 2.02 = 95.$$

O peso da captura anual, mostrado na Fig. 8.6.5, é determinado multiplicando a captura pelo peso individual em cada grupo de idade. As capturas no primeiro ano depois do aumento do esforço são grandes devido ao manancial estar adaptado à situação anterior de esforço menor. No final do estado de equilíbrio (1987 e seguintes) as capturas de peixes com idade superior a 4 anos são praticamente negligíveis, tal como se vê na Tabela 8.6.7.

Os resultados são influenciados pela data da alteração, 1 de Janeiro de 1981. A mesma alteração efectuada noutro ano daria resultados diferentes a curto prazo, dependendo da distribuição de idades do manancial nessa altura, no entanto as projecções a longo prazo seriam as mesmas. Para generalizar os efeitos de um aumento no esforço tem que se analisar a situação desde um estado de equilíbrio até ao outro. A Fig. 8.6.4 mostra tal efeito no arenque do Mar do Norte, neste caso o esforço aumentou e o tamanho da malha reduziu ao mesmo tempo. Alterações deste tipo ocorrem normalmente quando uma pescaria se desenvolve não estando regulamentada e já existe um nível de esforço próximo do MSY.

O efeito é um aumento imediato no número de capturas por peso (Fig. 8.6.4, C e A) seguido de um rápido declínio para um novo nível. A biomassa e o comprimento médio dos peixes diminuem permanentemente até um novo estado de equilíbrio ser alcançado (Fig. 8.6.4. B e D). Assim sendo, a tentação de aumentar o esforço, por exemplo melhorando a eficiência da arte e de reduzir o tamanho da malha, é óbvia pois o efeito observável imediato é um aumento das capturas.

**Tabela 8.6.6** Projecções a curto e a longo prazo do número de indivíduos (milhões) após um aumentado esforço ( $F_{\text{novo}} = 2 * F_{\text{antigo}}$ ), para o Badejo do Mar do Norte, das Tabelas 4.4.3.1 e 5.2.2. O recrutamento é constante.  $M = 0.2$ . Os peixes acima dos 7 anos foram desprezados. As capturas estão na Tabela 8.6.7

					número de indivíduos no início dos sucessivos anos				
grupo idade	1 ano anterior à alteração	durante o ano anterior à alteração	1ºJan. do ano da alteração	novo F					alteração a longo prazo
t	N(1980,t)	F(1980,t,t+1)	N(1981,t)	F(t,t+1)	N(1982,t)	N(1983,t)	N(1984,t)	...	N(1987,t)
0	1700	0.24	2849	0.48	2849	2849	2849		2849
1	801	0.50	1095	1.00	1443	1443	1443		1443
2	614	0.85	398	1.70	330	435	435		435
3	412	1.02	215	2.04	60	49	65		65
4	146	0.91	122	1.82	23	6	5		7
5	75	0.60	48	1.20	16	3	1		1
6	22	0.50	34	1.00	12	4	1		0

**Tabela 8.6.7** Projecções a curto e a longo prazo das capturas (milhões) após uma alteração do esforço, para o Badejo do Mar do Norte. O número de indivíduos da população estão na Tabela 8.6.6

após a alteração do esforço						
grupo idade	ano anterior à alteração	1º ano	2º ano	3º ano	...	alteração a longo prazo
t	C(1980,t,t+1)	C(1981,t,t+1)	C(1982,t,t+1)	C(1983,t,t+1)		C(1987,t,t+1)
0	330	992	992	992		992
1	288	638	841	841		841
2	323	303	251	331		331
3	243	175	49	40		53
4	80	95	18	5		5
5	31	31	10	2		1
6	9	20	7	2		0

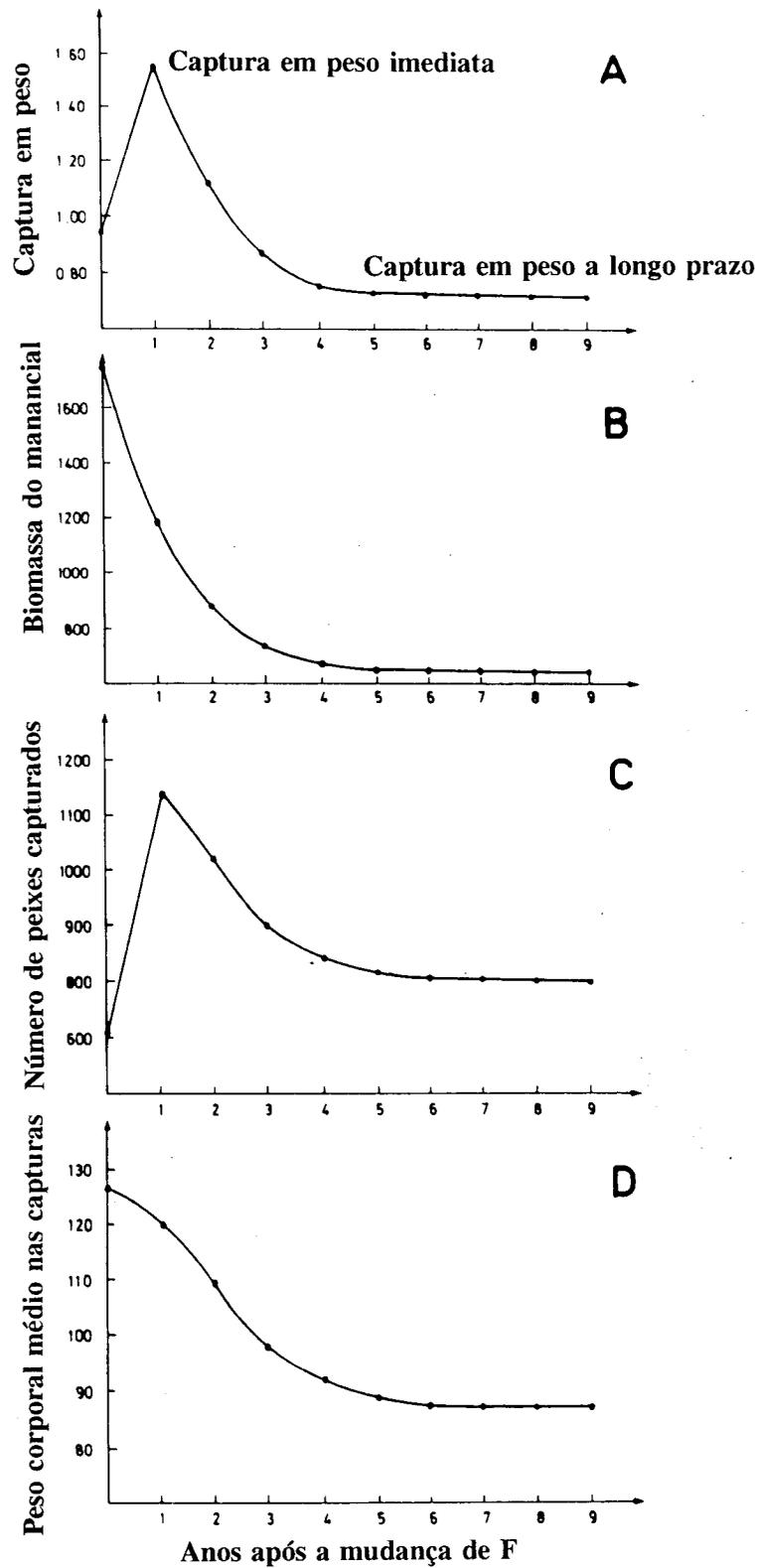


Fig. 8.6.4 Efeitos imediatos e a longo prazo devido ao aumento do esforço e redução do tamanho da malha, simultaneamente. Transição de um estado de equilíbrio para outro durante um período de 9 anos. Arenque do Mar do Norte (*Clupea harengus*). Adaptado de Beyer e Sparre (1983)

Voltando ao exemplo do badejo e examinando o efeito de reduzir a mortalidade por pesca (Tabela 8.6.6, coluna 3) para metade do valor presente, i. e.  $X = 0.5$ , é observado um aumento considerável de peixes mais velhos nas capturas de tal modo que não é aconselhável negligenciar os peixes do grupo 7 e mais. O grupo de idade 6 é portanto substituído pelo grupo mais, 6+. Isto não afecta os calculos para determinar o número,  $N(t)$  devido ao número no grupo de 6 anos no primeiro dia do ano ser a quantidade necessária. As capturas no grupo mais são definidas pela Eq. 5.1.7:

$$C(6+) = N(6) * F(6+) / Z(6+)$$

onde a mortalidade é definida pelo "F terminal" da VPA multiplicado pelo factor  $X$ , que é 0.5.

Se o número médio de todos os grupos de idade do grupo mais é necessário, este é dado pela Eq.:

$$N(6+) = N(6) / Z(6+)$$

O número de todas as idades no grupo mais no primeiro dia do ano pode ser encontrado pela soma da progressão geométrica do primeiro termo =  $N(6)$  e do quociente de  $\exp(-Z(6+))$ :

$$N(6+) = N(6) / [1 - \exp(-Z(6+))] \quad (8.6.3)$$

Qualquer tratamento com o grupo mais é uma aproximação. A expressão acima assume que todas as classes anuais no grupo mais têm uma evolução idêntica: tiveram o mesmo recrutamento e a mesma mortalidade nos grupos de idade que ainda não pertenciam ao grupo mais. O efeito subsequente é um novo estado de equilíbrio ser alcançado para uma classe anual que nasceu antes da alteração do esforço actuar no grupo mais. Se o grupo mais fosse definido com 7+, em vez de 6+, isto aconteceria um ano depois, em 1988. Adoptando o grupo 8+, seria em 1989, etc. Usando o grupo 6+, como no exemplo, significa que se reconhece a necessidade de considerar peixes com 7 anos e mais, mas também à necessidade de tratar rapidamente dos dados.

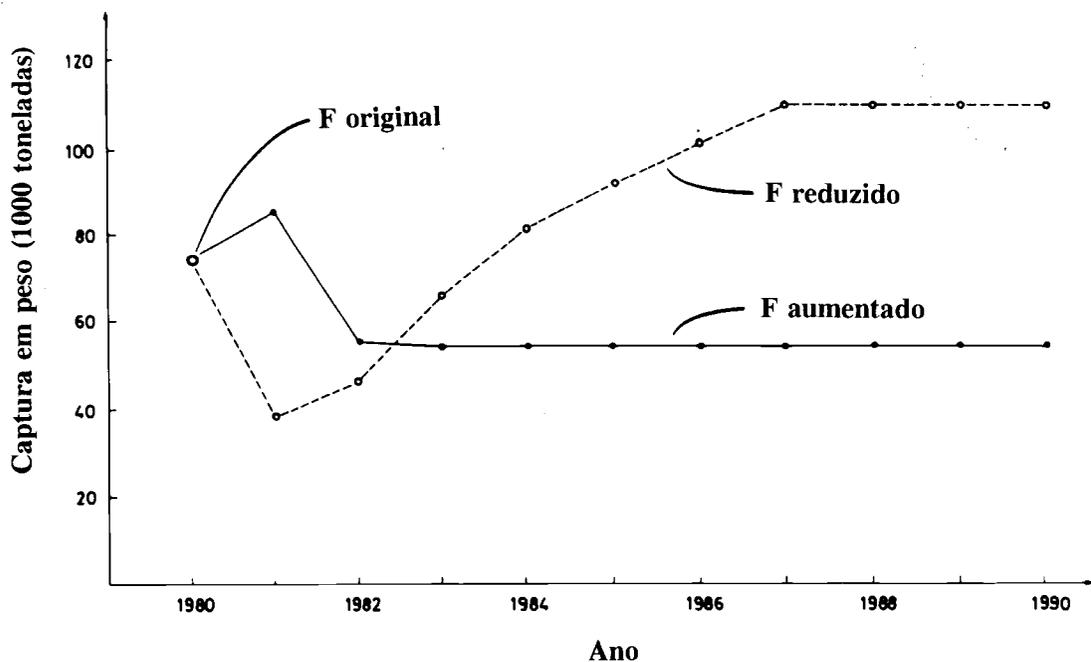


Fig. 8.6.5 Fase de transição depois duma alteração do esforço, badejo do mar do Norte. Capturas em 1000 de toneladas

**Tabela 8.6.8** Projecções a curto e a longo prazo dos números do manancial e das capturas depois duma diminuição do esforço ( $F_{\text{novo}} = 0.5 \cdot F_{\text{antigo}}$ ). Badejo do mar do Norte. Peixes com mais de 6 anos estão no grupo mais. (Cf. Tabelas 8.6.6 e 8.6.7)

grupo idade	novo	numero no início dos anos sucessivos					capturas					
		altura da alter.	N(1981)	N(1982)	N(1983)	.....	alter. longo prazo N(1987)	último ano antes da alter. C(1980)	depois da alteração do esforço			
									1º ano C(1981)	2º ano C(1982)	.....	longo prazo C(1987)
t	F	N(1981)	N(1982)	N(1983)	.....	N(1987)	C(1980)	C(1981)	C(1982)	.....	C(1987)	
0	0.120	2849	2849	2849		2849	330	293	293		293	
1	0.250	1095	2069	2069		2069	288	220	417		417	
2	0.425	398	698	1319		1319	323	126	221		417	
3	0.510	215	213	374		706	243	79	78		258	
4	0.455	122	106	105		347	80	41	35		116	
5	0.300	48	64	55		180	31	11	15		42	
6+	0.250	34	29	39		109	9	19	16		61	

A Tabela 8.6.8 dá os números do manancial em 1 de Janeiro e as capturas anuais depois da redução da mortalidade por pesca para metade do seu valor original. Depois duma queda, as capturas dos peixes maiores aumentam acentuadamente. A linha a tracejado na Fig. 8.6.5 ilustra o desenvolvimento das capturas em peso obtidas multiplicando as capturas em número pelo peso médio em cada grupo de idade. As capturas caem para metade no primeiro ano e depois aumentam para valores próximos do valor inicial. A indústria pesqueira sofre uma falta imediata que pode influenciar o preço. Como a alteração afectará os navios de pesca individualmente, depende como a redução do esforço for realizada. Se a frota for reduzida para metade do tamanho, as capturas serão repartidas apenas por essa metade e a queda imediata será de metade da do ano anterior (de 76 000 toneladas para 38 000 toneladas) de tal modo que as capturas por unidade de esforço permanecerão constantes no primeiro ano, e aumentarão nos anos seguintes. Se por outro lado a redução do esforço for realizada através da proibição duma arte bastante eficiente ou por o estabelecimento duma época de veda, haverá na mesma, o mesmo número de barcos para partilhar as capturas reduzidas do primeiro ano de redução da mortalidade por pesca. Somente depois de uns poucos de anos as capturas atingirão o seu valor inicial ou ficarão maiores.

Sendo assim, quando na avaliação de mananciais é considerada uma redução do esforço é necessário olhar para o problema como se estivesse num período de transição, pois o dono das embarcações de pesca, com um capital pequeno, não se sustenta com a prospectiva de aumentar os rendimentos nos anos seguintes, se no primeiro ano ele for à falência.

### 8.7 MODELO DE THOMPSON E BELL BASEADO EM COMPRIMENTOS

Os dados de entrada para o "modelo de Thompson e Bell baseado em comprimentos" são obtidos de uma análise de coortes baseada em comprimentos. Os dados de entrada consistem na mortalidade por pesca para cada classe de comprimento, a matriz F por comprimentos, o número na menor classe, e o factor de mortalidade natural H por classe, que devem ser iguais aos utilizados na análise de coortes. Os dados de entrada adicionais são os parâmetros da relação peso-comprimento (ou o peso individual médio por classe de comprimento) e o preço médio por kg para cada classe de comprimento.

Os resultados são os mesmos do modelo baseado em idades, e consistem em: para cada classe de comprimento, o número no limite inferior da classe,  $N(L_1)$ , a captura em número, a captura em peso, a biomassa multiplicada por  $\Delta t$ , isto é o tempo requerido para um indivíduo crescer do limite inferior ao

limite superior da classe e o rendimento. Finalmente, são obtidos os totais capturados, captura em peso, biomassa média \* Δt e rendimento. Os cálculos são repetidos para uma gama de valores X (F-factor) e os resultados finais (totais) são marcados em gráficos. O princípio é o mesmo para os modelos baseados em idades acima descritos, somente as fórmulas são ligeiramente diferentes e podem ser derivadas das usadas na análise de coortes de Jones baseada em comprimentos, Eqs. 5.3.4 e 5.3.7 como se segue:

Primeiro a Eq. 5.3.7 é rearranjada:

$$C(L1,L2) = [N(L1)-N(L2)] * \frac{F(L1,L2)}{Z(L1,L2)} \quad (8.7.1)$$

é, então, substituída na Eq. 5.3.4 que resulta:

$$N(L1) = \left[ N(L2) * H(L1,L2) + \frac{N(L1)-N(L2)}{Z(L1,L2)} * F(L1,L2) \right] * H(L1,L2)$$

onde

$$H(L1,L2) = \left[ \frac{L^\infty - L1}{L^\infty - L2} \right]^{M/2K}$$

que é o mesmo factor usado na análise de coortes de Jones baseada em comprimentos (Eq. 5.3.3).

Resolvendo a equação em relação a N(L2) obtem-se:

$$N(L2) = N(L1) * \frac{1/H(L1,L2) - F(L1,L2)/Z(L1,L2)}{H(L1,L2) - F(L1,L2)/Z(L1,L2)} \quad (8.7.2)$$

Para calcular a captura em peso por classe de comprimento, tem que se multiplicar a captura C (em números) pelo peso médio da classe,  $\bar{w}(L1,L2)$ , que é obtido da Eq. 5.3.11 da seguinte maneira:

$$\bar{w}(L1,L2) = q * [(L1+L2)/2]^b$$

onde q e b são os parâmetros da relação peso-comprimento.

A captura desta classe de comprimento é então dada por

$$Y(L1,L2) = C(L1,L2) * \bar{w}(L1,L2) \quad (8.7.3)$$

O rendimento é dado por:

$$V(L1,L2) = Y(L1,L2) * \bar{v}(L1,L2) \quad (8.7.4)$$

onde  $\bar{v}(L1,L2)$  é o preço médio por kg entre os comprimentos L1 e L2.

Durante o tempo Δt(L1,L2) que a coorte leva para crescer de L1 a L2, o número de sobreviventes decresce de N(L1) a N(L2). O número médio de sobreviventes daquela classe de comprimento é calculado da seguinte maneira:

$$\bar{N}(L1,L2) * \Delta t(L1,L2) = [N(L1)-N(L2)]/Z(L1,L2) \quad (8.7.5)$$

A correspondente biomassa média \* Δt é:

$$\bar{B}(L1,L2) * \Delta t(L1,L2) = \bar{N}(L1,L2) * \Delta t(L1,L2) * \bar{w}(L1,L2) \quad (8.7.6)$$

A captura anual é simplesmente a soma da captura de todas as classes:

$$Y = \Sigma Y_i$$

O rendimento anual é, de forma semelhante, a soma dos rendimentos de todas as classes:

$$V = \sum V_i$$

Conforme discutido na Secção 5.3

$$\bar{B} = \sum \bar{B}_i * \Delta t_i$$

é a biomassa média estimada durante o tempo de vida de uma coorte, ou de todas as coortes durante um ano. No método baseado em idades, Secção 8.6, não foi necessário multiplicar cada biomassa pelo  $\Delta t$  porque este era uma constante e igual a 1/12 do ano, ou um mês, mas neste caso  $\Delta t$  é variável.

As Eqs. 8.7.1 a 8.7.6 têm sido apresentadas para uma classe de comprimento específica ( $L_1, L_2$ ). Tal como na versão baseada em idades, o seguinte bloco de equações sumariza, de forma geral, as fórmulas para o modelo de Thompson e Bell baseado em comprimentos, incluindo X (factor-F). O índice i refere-se aqui, ao intervalo de comprimento ( $L_i, L_{i+1}$ ). O índice  $L_i$  refere-se ao limite inferior daquele intervalo de comprimento, enquanto o índice  $L_{i+1}$  refere-se ao limite superior.

intervalo de comprimento:  $i = (L_i, L_{i+1})$

$$Z_i = M + X * F_i$$

$$N(L_{i+1}) = N(L_i) * \frac{1/H_i - X * F_i / Z_i}{H_i - X * F_i / Z_i} \quad \text{onde}$$

$$H_i = \left[ \frac{L_\infty - L_i}{L_\infty - L_{i+1}} \right]^{M/2K}$$

$$C_i = [N(L_i) - N(L_{i+1})] * X * F_i / Z_i \quad (8.7.7)$$

$$\bar{w}_i = q * [(L_i + L_{i+1}) / 2]^b$$

$$Y_i = C_i * \bar{w}_i$$

$$V_i = Y_i * \bar{v}_i$$

$$\bar{N}_i * \Delta t_i = [N(L_i) - N(L_{i+1})] / Z_i$$

$$\bar{B}_i * \Delta t_i = \bar{N}_i * \Delta t_i * \bar{w}_i$$

#### Aspectos básicos da análise de Thompson e Bell baseada em comprimentos

Como a análise de Thompson e Bell baseada em comprimentos é derivada da análise de coortes de Jones baseada em comprimentos (Secção 5.3) que por sua vez é baseada na análise de Pope baseada em idades (Secção 5.2), o método de Thompson e Bell baseado em comprimentos tem as mesmas limitações da análise de coortes de Pope baseada em idades. A aproximação com a VPA no modo previsivo é válida para valores de  $F * \Delta t$  até 1.2 e de  $M * \Delta t$  até 0.3 (Pope, 1972). Se os F's são altos, serão obtidos resultados sem sentido, tais como números negativos do manancial. Se este for o caso, será necessário a utilização de classes de comprimento menores e, portanto, menores valores de  $\Delta t$ .

No entanto, a aproximação não é necessária, pois a versão exposta da VPA não envolve uma solução iterativa para o F (Eq. 5.1.3). Usando a técnica VPA no modelo de Thompson e Bell necessitamos de substituir a segunda e terceira fórmula da Eq. 8.7.7 pela Eq. 4.2.6 e Eq. 4.4.5.1:

$$N(L_{i+1}) = N(L_i) * \exp(-Z_i * \Delta t_i) \quad (8.7.8)$$

onde:

$$\Delta t_i = \frac{1}{K} * \ln \frac{L_\infty - L_i}{L_\infty - L_{i+1}}$$

O peso médio da classe mais é dado pela Eq. 5.3.16.

**Exemplo 30: Análise de Thompson e Bell baseada em comprimentos, pescada, Senegal**

Como exemplo para a análise de Thompson e Bell baseada em comprimentos usamos os dados da Tabela 5.3.3 para a pescada (*Merluccius merluccius*) capturada nas águas do Senegal. São utilizados os seguintes parâmetros iniciais (cf. Secção 5.3):

$L_\infty = 130$  cm,  $K = 0.1$  por ano,  $M = 0.28$  por ano,  $q = 0.00001$  kg/cm<sup>3</sup>,  $b = 3$ ,  $N$  (primeira classe de comprimento) =  $N(6) = 98919.3$

Usando os valores-F e os factores de mortalidade natural, H, da Tabela 5.3.3 e os pesos calculados de  $\bar{w}_i = q * [(L_i + L_{i+1}) / 2]^b$ , a relação peso-comprimento, e alguns (neste caso seleccionados arbitrariamente) preços por kg para a pescada, os dados de entrada podem ser resumidos na Tabela 8.7.1.

**Tabela 8.7.1 Dados iniciais para a análise de Thompson e Bell baseada em comprimentos, pescada, Senegal**

classe compr. ( $L_i, L_{i+1}$ )	$F(L_i, L_{i+1})$	$H(L_i, L_{i+1})$	$\bar{w}(L_i, L_{i+1})$ kg	$\bar{v}(L_i, L_{i+1})$ preços/kg
6-12	0.04	1.0719	0.0073	1.0
12-18	0.39	1.0758	0.0338	1.0
18-24	1.07	1.0801	0.0926	1.0
24-30	0.65	1.0850	0.196	1.5
30-36	0.49	1.0905	0.359	1.5
36-42	0.59	1.0967	0.593	2.0
42-48	0.65	1.1039	0.911	2.0
48-54	0.39	1.1122	1.33	2.5
54-60	0.29	1.1220	1.85	2.5
60-66	0.31	1.1337	2.50	2.5
66-72	0.40	1.1478	3.29	3.0
72-78	0.39	1.1652	4.22	3.0
78-84	0.11	1.1873	5.31	3.0
84-∞	0.28	-	12.25	3.0

Usando as Eqs. 8.7.7 com  $X = 1$  e os dados iniciais da Tabela 8.7.1 podemos calcular os números nas classes de comprimento subsequentes, a captura em número e em peso, a biomassa média \*  $\Delta t$  e o rendimento, conforme apresentado no seguinte exemplo:

$$\begin{aligned} N(12) &= N(6) * [1/H(6,12) - F(6,12)/Z(6,12)] / [H(6,12) - F(6,12)/Z(6,12)] \\ &= 98919.3 * [1/1.0719 - 0.04/0.32] / [1.0719 - 0.04/0.32] \\ &= 84400.8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C(6,12) &= [N(6) - N(12)] * X * F(6,12) / Z(6,12) \\ &= [98919.3 - 84400.8] * 1 * 0.04 / 0.32 = 1814.8 \end{aligned}$$

$$\bar{w}(6,12) = q * [(6+12)/2]^b$$

$$= 0.00001*93 = 0.007290$$

$$Y(6,12) = C(6,12) * \bar{w}(6,12)$$

$$= 1814.8 * 0.007290 = 13.23$$

$$\bar{B}(6,12) * \Delta t(6,12) = [(N(6) - N(12)) / Z(6,12)] * \bar{w}(6,12)$$

$$= [(98919.3 - 84400.8) / 0.32] * 0.007290 = 330.7$$

$$V(6,12) = Y(6,12) * \bar{v}(6,12) = 13.23 * 1.0 = 13.23$$

Estes cálculos repetem-se até se atingir a última classe de comprimento e como esta é a chamada "classe mais" têm que ser feitas algumas suposições adicionais:  $N(\infty) = 0$  e  $\bar{w}(84, \infty) = \bar{w}(84, 90)$ . Os resultados são:

$$C(84, \infty) = [N(84) - N(\infty)] * F(84, \infty) / Z(84, \infty)$$

$$= [92 - 0] * 0.28 / 0.56 = 46$$

$$\bar{w}(84, \infty) = \bar{w}(84, 130) = q * [(84 + 130) / 2]^b$$

$$= 0.00001 * 107^3 = 12.25$$

$$Y(84, \infty) = C(84, \infty) * \bar{w}(84, \infty)$$

$$= 46 * 12.25 = 563.5$$

$$\bar{B}(84, \infty) * \Delta t(84, \infty) = [(N(84) - N(\infty)) / Z(84, \infty)] * \bar{w}(84, \infty)$$

$$= [(92 - 0) / 0.56] * 12.25$$

$$= 2012.5$$

$$V(84, \infty) = Y(84, \infty) * \bar{v}(84, \infty)$$

$$= 563.5 * 3.0 = 1690.5$$

Seguindo estes cálculos o resultado final encontra-se na Tabela 8.7.2. No entanto, deve ser notado que existem diferenças entre os resultados apresentados acima, calculados com uma calculadora de bolso, e os da Tabela 8.7.2, efectuados com 8 dígitos significativos em todas as etapas.

Notar que os valores de  $N(L_i)$ ,  $C(L_i, L_{i+1})$  e o rendimento  $(L_i, L_{i+1})$  são exactamente os mesmos que os da Tabela 5.3.3, calculados pela análise de coortes de Jones baseada em comprimentos.

Estes cálculos podem agora ser repetidos para diferentes valores de X.

A Tabela 8.7.3 mostra os resultados correspondentes à Tabela 8.7.2 mas com factor- $F$   $X = 2.0$ , isto é a captura em peso, biomassa média \*  $\Delta t$  e rendimento prevista sob o pressuposto de uma duplicação do esforço de pesca. Neste caso o efeito de duplicar o esforço seria uma queda dramática nas capturas em peso e no rendimento.

A Tabela 8.7.4 mostra os resultados para 16 diferentes factores- $F$  (X). Cada linha está baseada em cálculos como os ilustrados nas Tabelas 8.7.2 e 8.7.3. A captura total, a biomassa média e o rendimento dados nas últimas linhas destas duas tabelas podem ser encontrados também na Tabela 8.7.4. As duas últimas linhas da Tabela 8.7.4 mostram a captura máxima sustentável (MSY) e o rendimento económico máximo sustentável (MSE) junto com o correspondente factor- $F$  e a biomassa do manancial. Quando os preços por kg diferem de uma classe de comprimento para outra, o factor- $F$  que corresponde ao MSY usualmente difere do factor- $F$  que corresponde ao MSE. As Tabelas 8.7.2 a 8.7.4 foram calculadas pelo programa "MIXFISH" do pacote LFSA (Sparre, 1987), no qual calcula MSY e MSE através de uma técnica iterativa.

**Tabela 8.7.2 Resultados da análise de Thompson e Bell baseada em comprimentos, pescada do Senegal, usando o factor-F X = 1.0. Pesos em toneladas (cf. Tabela 5.3.4)**

Classe comprimento ( $L_i, L_{i+1}$ )	F ( $L_i, L_{i+1}$ ) X = 1.0	N( $L_i$ )  '000	C ( $L_i, L_{i+1}$ )  '000	captura em peso ( $L_i, L_{i+1}$ )  tonneladas	biomassa média $\frac{* \Delta t}{B * \Delta t}$  tonneladas	rendimento ( $L_i, L_{i+1}$ )  '000 unidades monetárias
6-12	0.04	98919.3	1823	13.3	330.7	13.3
12-18	0.39	84392.7	14463	488.1	1260.1	488.1
18-24	1.07	59475.8	25277	2336.3	2191.5	2336.3
24-30	0.65	27623.0	8143	1601.0	2475.2	2401.5
30-36	0.49	15967.8	3889	1397.6	2845.9	2096.4
36-42	0.59	9861.5	2959	1755.2	2970.1	3510.5
42-48	0.65	5500.5	1871	1704.9	2638.4	3409.9
48-54	0.39	2818.8	653	866.2	2247.1	2165.5
54-60	0.29	1691.5	322	596.3	2069.4	1490.8
60-66	0.31	1056.6	228	570.1	1853.8	1710.3
66-72	0.40	621.0	181	594.6	1481.9	1783.8
72-78	0.39	313.7	96	405.0	1040.1	1215.0
78-84	0.11	148.7	16	85.0	772.0	255.1
84-∞	0.28	92.0	46	563.5	2012.6	1690.6
Total			59908	12977.3	26189.0	24567.1

**Tabela 8.7.3 Resultados da análise de Thompson e Bell baseada em comprimentos, pescada do Senegal, usando o factor-F X = 2.0. (cf. Tabela 8.7.2)**

classe comprimento $L_i, L_{i+1}$	F ( $L_i, L_{i+1}$ ) X = 2.0	N( $L_i$ )  '000	C ( $L_i, L_{i+1}$ )  '000	captura em peso ( $L_i, L_{i+1}$ )  tonneladas	biomassa media $\frac{* \Delta t}{B * \Delta t}$  tonneladas	rendimento ( $L_i, L_{i+1}$ )  '000 unidades monetárias
6-12	0.08	98919.3	3611.6	26.3	327.6	26.3
12-18	0.77	82724.1	26041.2	878.9	1134.4	878.9
18-24	2.13	47271.6	32863.1	3043.4	1427.4	3043.4
24-30	1.29	10092.9	5154.2	1014.5	784.2	1521.7
30-36	0.98	3823.1	1652.3	593.8	604.6	890.7
36-42	1.18	1699.7	881.6	523.0	442.5	1046.0
42-48	1.29	609.2	351.7	320.5	248.0	640.9
48-54	0.77	181.3	74.9	99.3	128.8	248.3
54-60	0.58	79.3	27.4	50.8	88.1	126.9
60-66	0.62	38.5	14.9	37.3	60.6	111.9
66-72	0.80	16.8	8.5	27.9	34.7	83.6
72-78	0.78	5.4	2.8	11.9	15.3	35.8
78-84	0.22	1.5	0.3	1.7	7.5	5.0
84-∞	0.56	0.8	0.5	6.7	12.0	20.2
Total			70685.0	6636.0	5315.9	8679.7

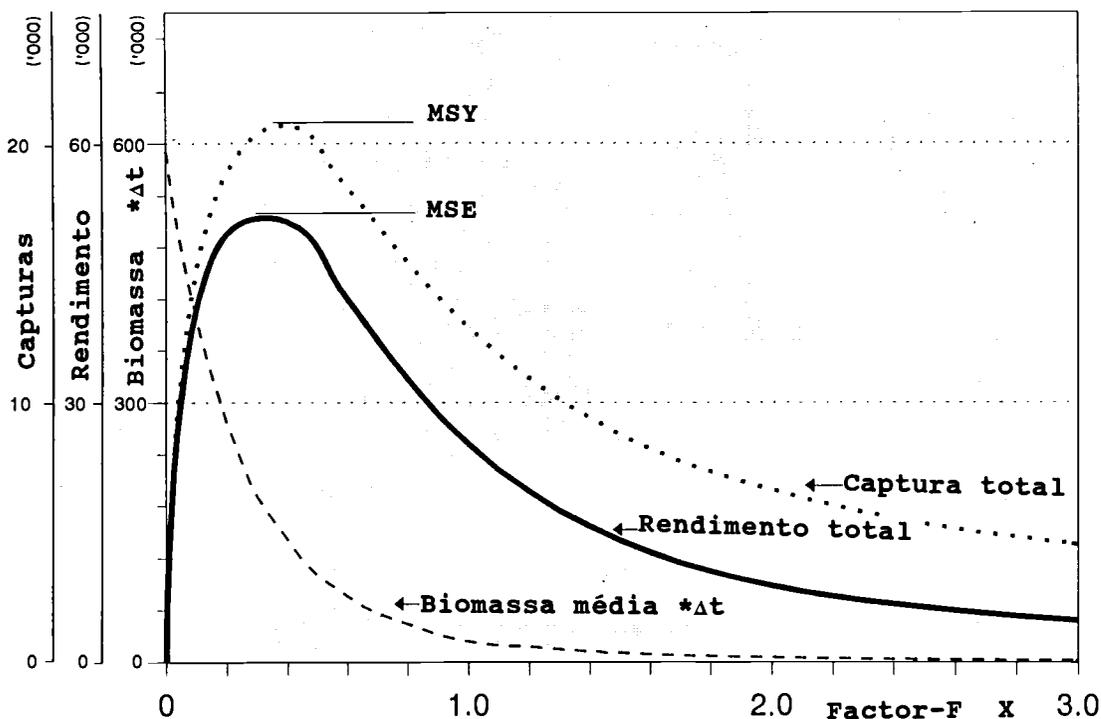
Os resultados da Tabela 8.7.4 foram traçados na Fig. 8.7.1. Os gráficos mostram claramente que o nível actual do esforço de pesca é bem acima daquele que fornece a captura máxima sustentável e a conclusão a ser tirada desta análise é que o manancial está sobrepesado já que uma redução no esforço resultaria numa maior captura.

**Tabela 8.7.4** Resultados da análise da Thompson e Bell baseada em comprimentos, pescada do Senegal. MSY = Captura Máxima Sustentável. MSE = Rendimento Económico Máximo Sustentável (valor) (cf. Fig. 8.7.1)

A	B	C	D
factor-F	captura total	biomassa média total	rendimento total
X	toneladas	* $\Delta t$ toneladas	unidades monetárias
0.0	0	571297	0
0.2	18903	268193	48329
0.4	20717	135343	49701
0.6	18360	73209	40925
0.8	15474	42376	31836
1.0*)	12977*)	26189*)	24567*)
1.2	10999	17216	19168
1.4	9470	11976	15236
1.6	8287	8761	12370
1.8	7365	6697	10259
2.0**)	6636**)	5316**)	8680**)
2.2	6053	4357	7480
2.4	5580	3670	6554
2.6	5191	3163	5829
2.8	4868	2780	5253
3.0	4596	2484	4790

MSY = 20919 para factor-F X = 0.343    Biomassa no MSY = 163296  
MSE = 51544 para factor-F X = 0.301    Biomassa no MSE = 188207

\*) cf. Tabela 8.7.2    \*\*) cf. Tabela 8.7.3



**Fig. 8.7.1** Representação gráfica dos resultados da análise de Thompson e Bell baseada em comprimentos, pescada do Senegal (cf. Tabela 8.7.4)

No caso de interacção económica, onde várias frotas exploram um recurso as capturas previstas pela análise de Thompson e Bell baseada em comprimentos podem ser particionadas exactamente da mesma maneira mostrada na Secção 8.6 (cf. Tabelas 8.6.3 a 8.6.5).

O pressuposto que fundamenta a análise de Thompson e Bell baseada em comprimentos (e a análise de coortes de Jones baseada em comprimentos) é que o manancial permanece em um estado de equilíbrio, com todos os parâmetros (por exemplo recrutamento) constantes. Assim, obtemos uma previsão da "captura média a longo prazo". Desvios na captura prevista são portanto prováveis em anos isolados.

(Ver **Exercício(s)** na Parte 2).

### 8.8 PREVISÃO DOS EFEITOS DE ALTERAÇÕES NO TAMANHO DAS MALHAS ATRAVÉS DO MÉTODO DE THOMPSON E BELL

A regulamentação do tamanho das malhas é uma importante ferramenta de gestão para muitas pescarias. É, portanto, importante estar em condições de prever o resultado de possíveis alterações no tamanho da malha. Como uma alteração no tamanho da malha provocará alterações no padrão de pesca, ou seja na matriz de valores-F, podemos utilizar as fórmulas apresentadas na Secção 6.6.1 e 6.6.2 para chegarmos a uma previsão. Em outras palavras, usamos a situação "actual" para prever uma nova situação.

Podemos expressar a mortalidade por pesca actual pelo modelo baseado em idades ou em comprimentos (cf. Eq. 6.6.1.1):

$$F_t^{\text{actual}} = F_m * S_t^{\text{actual}} \quad (8.8.1)$$

e

$$F_L^{\text{actual}} = F_m * S_L^{\text{actual}} \quad (8.8.2)$$

onde  $F_m$  é a mortalidade por pesca máxima e  $S_t^{\text{actual}}$  ou  $S_L^{\text{actual}}$  a curva de selectividade para a arte de pesca actual, por exemplo, se é uma ogiva de selectividade da do tipo de arrasto:

$$S_t^{\text{actual}} = 1/[1 + \exp(T1 - T2*t)] \quad (8.8.3)$$

e

$$S_L^{\text{actual}} = 1/[1 + \exp(S1 - S2*L)] \quad (8.8.4)$$

Os parâmetros  $T1$  e  $T2$  são definidos pelas Eqs. 6.4.3.4 e 6.4.3.5 respectivamente, enquanto  $S1$  e  $S2$  são definidos pelas Eqs. 6.1.6 e 6.1.7 respectivamente.

Os parâmetros  $t_{50\%}$  e  $t_{75\%}$  são as idades onde 50% e 75%, dos peixes são retidos pela arte. Usualmente conhecemos os comprimentos  $L_{50\%}$  e  $L_{75\%}$  que correspondem a  $t_{50\%}$  e  $t_{75\%}$  respectivamente.

Com os parâmetros  $L_{50\%}$  e  $L_{75\%}$  conhecidos para a arte de pesca actualmente em uso estamos em condições de calcular uma nova curva de selectividade baseada em idades ou em comprimentos para os novos valores de  $L_{50\%}$  e  $L_{75\%}$  (ou  $t_{50\%}$  e  $t_{75\%}$ ). Desta nova ogiva de selectividade, e do  $F_m$  da pescaria actual, podemos calcular uma nova matriz de mortalidade por pesca usando a Eq. 6.6.1.1:

$$F_t^{\text{novo}} = F_m * S_t^{\text{novo}} \quad (8.8.5)$$

e

$$F_L^{\text{novo}} = F_m * S_L^{\text{novo}} \quad (8.8.6)$$

Os novos  $F$ 's são então usados como entrada para o modelo de Thompson e Bell, e os resultados para os  $F$ 's padrões alternativos,  $F(\text{actual})$  e  $F(\text{novo})$ , podem ser comparados (Hoydal et al., 1980 e 1982). Este método é uma generalização dos métodos sugeridos por Gulland (1961), Jones (1961) e Kimura (1977).

**Programas de computadores**

O programa "MIXFISH" no pacote LFSA (Sparre, 1987) contém uma opção para avaliação das malhas, correspondente aos cálculos acima descritos. O resultado final apresenta-se sob a forma de uma tabela mostrando a captura total para várias combinações do esforço e L50%.

		Esforço Relativo				
		- 20%	- 10%	sem alterar	+ 10%	+ 20%
Valor rela- tivo de L50%	- 30%					
	- 15%					
	sem alter.			CAPTURA		
	+ 15%					
	+ 30%					

O MIXFISH assume que L75% é proporcional a L50%. O MIXFISH permite testar todas as combinações entre o L50% e o esforço, possibilitando, desta forma, determinar a combinação óptima do L50% e do esforço. O quadrado central (marcado com "CAPTURA") corresponde ao regime de pesca actual.

Um programa similar foi, também, incorporado no FISAT.