

---

# Módulo 15

## Populações aquáticas exploradas: Introdução

As populações aquáticas exploradas pela pesca são monitorizadas regularmente, com o objectivo de avaliar o seu estado e determinar o regime de exploração que mais se adequa aos objectivos estabelecidos para a dita exploração. O termo vulgarmente utilizado para designar o conjunto de técnicas biomatemáticas usados para este fim, é “avaliação de recursos pesqueiros” ou apenas “**avaliação de recursos**” ou ainda, em inglês, “fish stock assessment”. A avaliação de recursos baseia-se em modelos hipotéticos da dinâmica das populações em causa e é, portanto, uma aplicação prática dos princípios fundamentais da Dinâmica Populacional ao estudo de recursos renováveis explorados pela pesca.

Os organismos aquáticos, peixes em particular, exibem ciclos de vida e padrões de utilização do habitat bastante complexos e diversificados. Apesar disso, podem-se tipificar os aspectos do seu ciclo de vida que maior importância têm para a avaliação do estado destas populações.

### 15.1 O ciclo de vida e a fase explorada

A grande maioria das espécies aquáticas são ovíparas. A vida de um indivíduo inicia-se quando o ovo é ligado a um substrato ou libertado na coluna de água para uma existência planctónica. Após um período de incubação, que pode variar de dias a meses, os ovos amadurecem e eclodem dando origem a uma fase embrionária que depende dos recursos energéticos do ovo. Terminada esta fase, o indivíduo passa a utilizar recursos externos e, nessa altura, entra no estado larvar. Ovos e larvas, o ictioplâncton, são em geral levados à deriva para áreas onde ocorre o desenvolvimento das larvas, as chamadas “nursery grounds”, onde são vulneráveis à captura por redes de plâncton. A fase larvar tem duração variável e termina uma vez completo o esqueleto axial, o desenvolvimento dos sistemas orgânicos e das barbatanas. Os indivíduos daí resultantes são em geral designados por **juvenis**. São muito pequenos, mas têm já movimentos autónomos e, no essencial, possuem já as características morfológicas dos adultos.

Em geral, os juvenis já conseguem evitar redes de plâncton, embora inicialmente não sejam ainda capturáveis pelas artes da pesca comercial. Efectuam deslocações mais ou menos demoradas em direcção às grandes áreas de alimentação, onde em geral a pesca actua. Irão alternar períodos de crescimento rápido (em geral Primavera-Verão nos mares temperados) com períodos de crescimento lento (em geral Inverno). A partir de determinado tamanho, os juvenis tornam-se vulneráveis à pesca. Diz-se então que foram recrutados à pescaria, e nessa altura os biólogos das pescas frequentemente designam-nos por **recrutados**. Nos mares temperados os períodos favoráveis e desfavoráveis ao crescimento estão muitas vezes associados a migrações sazonais entre habitats de Verão e habitats de Inverno. O desenvolvimento ontogénico está também frequentemente associado a mudança de habitats e de dieta – é frequente, por exemplo, os animais maiores habitarem águas mais profundas e alimentarem-se de animais maiores. A certa altura (em geral após a idade de recrutamento) os indivíduos atingem a idade em que conseguem pela primeira vez produzir células germinais – atingem a **idade de primeira maturação**. Nesta altura é comum os animais efectuarem também migrações de desova em direcção às regiões apropriadas à deposição dos ovos e ao recomeço do ciclo.

A idade de recrutamento à pescaria inicia uma fase do ciclo de vida extremamente importante na

perspectiva do biólogo das pescas - a **fase explorada** do ciclo de vida da população (Fig. 1). Esta é quase sempre a melhor conhecida, a mais fácil de estudar e, em geral, aquela cujo conhecimento envolve menores custos financeiros. A razão para isso é que a própria acção da pesca constitui um exercício repetitivo de tomada de amostras de animais da fase explorada. Estudar os peixes capturados é sempre estudar a fase explorada, não obstante se deva *questionar se estes peixes constituem uma amostra representativa* da população selvagem. Vejamos em seguida, brevemente, como é que os biólogos recolhem informação sobre esta fase do ciclo de vida.



Figura 15.1. Posicionamento das fases não-explorada e explorada dum ciclo de vida aquático.

## 15.2 Fontes de informação sobre a fase explorada

Os biólogos das pescas possuem várias fontes de informação sobre as populações aquáticas exploradas e o próprio regime de exploração. As mais comuns estão directamente ligadas à pescaria, como as estatísticas de desembarques e de esforço de pesca. Tem havido, contudo, uma tendência crescente para a utilização de fontes independentes da pesca comercial, como cruzeiros de investigação, experiências de marcação de peixes, ou mesmo a detecção remota dos animais.

### *Capturas e esforço de pesca*

A fonte tradicional de informação são os dados de capturas (ou, mais rigorosamente, de desembarques nos portos) e de esforço de pesca. Historicamente, estes dados têm constituído a trave mestra das avaliações de recursos marinhos no mundo inteiro. É quase impossível não ter esta informação em atenção. Pretende-se compreender como a população reage à exploração e, portanto, mal se pode começar se a história da exploração e as capturas não forem conhecidas. O estabelecimento de um sistema de amostragem nos portos de desembarque para recolher informação sobre capturas e esforço de pesca é provavelmente a prioridade número 1 no estudo de uma pescaria. Os dados de capturas (totais e por grupo etário) são usados para estimar parâmetros populacionais usados em modelos de avaliação.

O **esforço de pesca** é uma medida do conjunto dos meios de captura utilizados pelo homem para explorar uma população aquática, num determinado intervalo de tempo. Trata-se de uma tentativa de quantificar indirectamente a mortalidade infligida pela exploração. Exemplos de unidades de esforço de pesca são o número de horas de arrasto por ano (na pesca de arrasto demersal), o número de anzóis colocados na água (na pesca com aparelhos de anzol), o número de cercos efectuados por ano (na pesca de cerco), ou simplesmente o número de dias de mar (em vários tipos de pesca). Idealmente, a unidade de esforço utilizada numa pescaria deveria estar o mais linearmente possível relacionada com a mortalidade infligida na população.

A informação sobre as capturas comerciais e o esforço de pesca pode ser obtida de duas fontes

principais: 1) a partir das estatísticas oficiais de pesca e 2) a partir de observações independentes, efectuadas pelas instituições estatais de investigação, nomeadamente, colocando amostradores nos portos de desembarque da pesca, colocando observadores a bordo da frota de pesca, e a partir dos diários de bordo dos navios. A primeira fonte, em geral, é mais cómoda e menos dispendiosa, mas sub-estima as **capturas**. Primeiro, porque não contabiliza os animais que não são desembarcados na lota, segundo, porque não contabiliza os animais que são capturados (e mortos) mas em seguida são rejeitados ao mar, as chamadas “rejeições”.

### *Cruzeiros de investigação*

Um dos principais problemas dos dados de capturas e esforço da pesca comercial, é que os pescadores vão aonde pensam que o peixe está. O esforço de pesca está em geral concentrado aonde a população é mais densa e, portanto, tentativas de estimar a gama de distribuição geográfica do recurso ou a sua abundância total, sofrem em geral de enviesamentos. Os institutos de investigação de pescas tentam superar os riscos de se restringirem à informação da pesca conduzindo eles próprios cruzeiros de investigação independentes. A metodologia utilizada nestes cruzeiros procura em geral garantir que as amostras tomadas sejam representativas de toda a fase explorada da população em toda a área de distribuição. Nas últimas décadas tem-se observado em todo o mundo uma crescente desconfiança em relação aos dados comerciais e um interesse crescente no estabelecimento de programas regulares de cruzeiros de investigação, utilizando metodologias de amostragem adaptadas a cada população. O principal inconveniente dos cruzeiros é o seu custo. A operação de navios de investigação é tão cara que o número de amostras tomadas raramente satisfaz os investigadores.

Os cruzeiros de investigação usam frequentemente artes de pesca iguais às comerciais para estimar a abundância da população e amostrar as características biológicas da mesma (distribuição de comprimentos, estrutura etária, "sex ratio", estado de maturação, conteúdos estomacais etc.). Para certas populações, como as de pequenos pelágicos (e.g. sardinha, anchoveta), há vantagens em recorrer a técnicas electrónicas sofisticadas, particularmente as sondas hidroacústicas, para estimar a abundância e distribuição das populações.

### *Marcações*

É prática corrente na investigação de pescas capturar peixes, pesá-los e medi-los, colocar-lhes marcas identificadoras de plástico ou metal, e depois devolvê-los à água na esperança de que mais tarde sejam recapturados. Se forem recapturados, dispõe-se de informação útil para estimar o crescimento destes indivíduos, a mortalidade da população e os seus movimentos migratórios. Tal prática designa-se vulgarmente por marcações (em inglês "tagging"). Os programas de marcações são conduzidos durante os cruzeiros de investigação ou por pessoal treinado colocado na frota comercial. Estes programas podem atingir proporções gigantescas e ser extremamente caros. No estudo de muitas das grandes pescarias mundiais marcam-se anualmente dezenas ou centenas de milhares de indivíduos (milhões por vezes - caso do salmão do Noroeste americano). Existe uma teoria elaborada acerca da estimação de parâmetros populacionais a partir da análise de dados de captura-recaptura de animais, alguma especializada em peixes (e.g. Ricker 1975, White *et al* 1982, Lebreton *et al* 1992, Pine *et al* 2003) mas não será abordada neste curso.

## **15.3. Conceito de stock e causas de variação da abundância.**

### *O stock*

Os biólogos das pescas utilizam com frequência o termo stock em vez de população, para se referirem à *unidade de gestão* que é o seu objecto de estudo. Um **stock** é uma unidade taxonómica hierarquicamente inferior à espécie, pode-se identificar com uma população, mas também pode compreender várias populações ou ser apenas parte de uma metapopulação. Trata-se de um conjunto de indivíduos da mesma espécie que vivem numa área geográfica mais ou menos definida, exibem um circuito migratório regular, uma área de desova também definida, e um padrão de crescimento individual semelhante. Estes

indivíduos têm em comum o facto de serem explorados pela mesma actividade pesqueira, sem que seja possível subdividi-los em unidades populacionais mais pequenas quando são capturados. Um exemplo ajuda a clarificar a ideia. Os salmões tendem a retornar ao mesmo rio onde nasceram para desovar, mantendo-se um certo grau de coerência genética em cada rio. Quando migram para o mar, os jovens provenientes de cada rio são explorados em conjunto pela pesca, sendo impossível distingui-los com facilidade nas capturas. Quando as actividades de exploração no mar mudam, todos os sub-grupos são afectados pela mudança, e não é praticável geri-los de forma independente. A unidade de gestão ou stock, portanto, é o conjunto de todos os salmões provenientes dos vários rios, embora neste caso o stock esteja provavelmente a um nível hierarquicamente acima da população.

Muitas vezes as espécies exibem uma variabilidade geográfica complexa com variações biológicas graduais e sem fronteiras óbvias entre subpopulações que podem responder de forma diferente à exploração. É importante reconhecer, portanto, que o *conceito de stock é susceptível a arbitrariedades de interpretação* por parte dos investigadores. Na prática, é em geral difícil definir um stock por meio de barreiras físicas e de padrões distintos de migração e desova, como seria desejável. Não obstante, existem razões práticas e históricas para raciocinar em termos de stocks, i.e. entidades biológicas que se assume que reagem como um todo à exploração.

Não existe uma tradução directa da palavra “stock” para português. Alguns biólogos portugueses usam por vezes o termo “manancial”, evitando assim a palavra “população” ou qualquer outra com conotações genéticas. Eu não gosto da palavra manancial, uma vez que o seu significado em português sugere um recurso muito abundante ou mesmo inesgotável, uma conotação que é cada vez menos apropriada para os recursos pesqueiros. Uma possibilidade em português é simplesmente “unidade de gestão”, contudo, pela sua simplicidade, acho preferível manter o termo stock.

#### *Variação da biomassa do stock*

A *biomassa* da fase explorável de um stock varia por quatro razões fundamentais. Aumenta, devido (1) ao **recrutamento**, i.e. a entrada de novos recrutas todos os anos e devido (2) ao **crecimento** individual em peso dos indivíduos já recrutados; e diminui, devido (3) à mortalidade natural e (4) à mortalidade pela pesca. A **mortalidade natural** é o conjunto de causas de mortalidade independentes da actividade da pesca (e.g. predação, doenças infecciosas, poluição).

A **mortalidade por pesca** é causada pela actividade de exploração e, como veremos adiante, pode ser definida em termos mais rigorosos pelo ‘regime de exploração’. A exploração introduz uma fonte adicional de mortalidade que, se demasiado forte, pode-se sobrepôr de tal forma ao efeito do recrutamento e do crescimento que conduz o stock ao colapso. É de esperar, contudo, que uma diminuição *não excessiva* da abundância diminua os efeitos da competição intraespecífica, provocando uma diminuição da mortalidade natural, um aumento do crescimento, e até mesmo um aumento do recrutamento (por exemplo devido a menor canibalismo – um fenómeno muito frequente em meio aquático). Compreender e prever as reacções de um stock à exploração, implica portanto compreender não só como actua cada uma das quatro causas de variação, mas também o seu efeito conjunto.

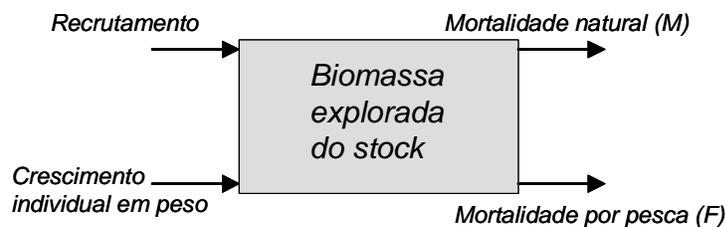


Figura 15.2 Causas de variação da biomassa explorada de um stock (adaptado de Ricker 1975).

### 15.4 Evolução de uma coorte explorada

Retome-se momentaneamente o ciclo de vida da espécie que compõe o stock em estudo, a fim de introduzir simbologia básica que será utilizada mais tarde nos modelos de avaliação de recursos. Esta simbologia está resumida no esquema da Fig 15.3 e refere-se às idades importantes que uma coorte atravessa:



Figura 15.3 Fases do ciclo de vida de uma espécie aquática explorada ao longo do tempo. A idade  $t_c$  assinala o recrutamento dos juvenis à exploração pesqueira. Normalmente esta ocorre antes da idade de 1ª maturação,  $t_m$ , a qual inicia a fase adulta da coorte.

Após o desenvolvimento larvar e a fase juvenil os indivíduos entram na área de pesca numa idade média simbolizada por  $t_r$ . Por vezes são tão pequenos que não são ainda vulneráveis à pesca, designando-se então por pré-recrutadas. Contudo, a partir de certa idade - a idade de recrutamento ou de primeira captura, simbolizada por  $t_c$  (definida formalmente quando adiante discutirmos a selectividade) - começam a ser capturados dando início à fase explorada da sua vida. Frequentemente  $t_r = t_c$ . A idade média em que os indivíduos pela primeira vez são capazes de se reproduzir, a idade de primeira maturação, é simbolizada por  $t_m$ . Frequentemente  $t_m > t_c$ . A longevidade dos indivíduos simboliza-se por  $t_{máx}$ . Normalmente assume-se que  $t_{máx}$  é a idade do indivíduo mais velho alguma vez visto nas capturas e, em geral, podem-se negligenciar (raros) indivíduos que possam existir mais velhos do que essa idade.

Há certas espécies aquáticas em que é muito difícil determinar a idade dos indivíduos ou em que o estado da investigação ainda não permitiu conhecer as idades médias em que ocorrem os acontecimentos acima descritos. Nestes casos, contudo, é frequente conhecer o *comprimento médio* dos indivíduos quando estes acontecimentos ocorrem e a avaliação do stock é baseada em modelos que utilizam sómente comprimentos, em vez de idades. Para representar os comprimentos em que os acontecimentos ocorrem utiliza-se a letra "l" (de length) com os mesmos subscritos indicados acima. Assim, por exemplo, o comprimento médio de recrutamento à pesca será representado por  $l_c$ , e o de primeira maturação por  $l_m$ .

#### *Evolução do número de indivíduos com e sem exploração*

O decréscimo do número de indivíduos de uma coorte,  $N$ , é representado recorrendo a equações familiares. Vou recordá-las, utilizando simbologia usada pelos biólogos das pescas. Se os indivíduos da idade  $x$  morrerem apenas por causas naturais, representando por  $M_x$  a taxa instantânea de mortalidade natural, tem-se,

$$\frac{dN}{dx} = -M_x N_x \quad [15.1]$$

Ao fim de  $x+\Delta x$  anos o número de indivíduos na coorte é,

$$N_{x+\Delta x} = N_x e^{-M_x \Delta x} \quad [15.2]$$

A taxa de sobrevivência da idade  $x$ , e o número médio de indivíduos com  $x$  anos são, respectivamente,

$$S_x = \frac{N_{x+1}}{N_x} = e^{-M_x}, \quad \bar{N}_x = \frac{N_x}{M_x} (1 - e^{-M_x}),$$

Considere-se agora a situação em que a coorte é explorada a partir da idade  $t_c$ . Se assim fôr, existe

uma fonte adicional de mortalidade a partir de  $t_c$ , a mortalidade por pesca, e pode-se pensar nela em termos de mortalidade instantânea, exactamente como se pensa em mortalidade instantânea natural. A **taxa instantânea de mortalidade por pesca** da idade  $x$  é representada por  $F_x$ . Uma das principais vantagens de se representar mortalidade em termos de taxas instantâneas, é poder-se representar o efeito combinado de duas taxas instantâneas independentes pela simples adição das mesmas. A **taxa instantânea de mortalidade total** a que a idade  $x$  está sujeita é simplesmente  $Z_x = M_x + F_x$ . A evolução do número de indivíduos da coorte a partir de  $t_c$  é então dada por [15.1] e [15.2] substituindo  $M$  por  $Z$  nas mesmas. O número de indivíduos entre  $x$  e  $x + \Delta x$  decresce ainda segundo uma exponencial negativa, mas fá-lo mais rapidamente a partir de  $t_c$  devido à acção de  $F_x$ . A taxa de sobrevivência,  $S_x$ , é evidentemente,

$$S_x = \frac{N_{x+1}}{N_x} = e^{-Z_x} = e^{-(F_x + M_x)} \quad [15.3]$$

e o número médio de indivíduos da coorte com  $x$  anos de idade, é representado por,

$$\bar{N}_x = \frac{N_x}{Z_x} (1 - e^{-Z_x}) \quad [15.4]$$

O número de mortes com idade  $x$  durante 1 ano é dado por,

$$D_x = N_x - N_{x+1} = Z_x \bar{N}_x \quad [15.5]$$

*Exercício:* demonstrar [15.5]

Um aspecto importante a reter desde já é que uma *parte destas mortes são as capturas* de indivíduos com idade  $x$ , devidas à acção da exploração, as restantes mortes são os indivíduos que faleceram por causas naturais. Retomarei o assunto das capturas mais adiante.

#### *Evolução da biomassa*

Quando se lida com populações exploradas, o valor comercial dos indivíduos é muitas vezes uma função do seu peso  $w$ , por isso, há interesse em saber converter resultados em números em termos de resultados em peso. A evolução em peso da coorte, i.e. da sua biomassa, tem de ter em atenção o crescimento individual dos indivíduos sobreviventes. No caso dos peixes, a maior parte das equações que têm sido utilizadas para representar matematicamente o seu crescimento em peso (e.g. Ricker 1975, King 1995, Haddon 2001) pressupõem que esse crescimento é bem descrito por uma curva do tipo sigmóide (Fig. 15.3). A biomassa da coorte, num determinado instante de tempo, obtém-se multiplicando o número de indivíduos sobreviventes nesse instante pelo peso médio individual destes indivíduos. Assim, a biomassa da coorte no início da idade  $x$ ,  $B_x$ , é dada por:

$$B_x = N_x w_x \quad [15.6]$$

onde  $w_x$  é o peso médio individual no *início* da idade  $x$ . Para calcular a biomassa *média* da coorte na idade  $x$ ,  $\bar{B}_x$ , o cálculo é efectuado utilizando o número médio de indivíduos na idade  $x$  e o peso médio na idade  $x$ , ou seja,

$$\bar{B}_x = \bar{N}_x \bar{w}_x \quad [15.7]$$

A evolução da biomassa da coorte toma o aspecto da curva da biomassa na Fig. 15.3. Observa-se uma fase inicial de aumento da biomassa, quando o crescimento individual supera o efeito da mortalidade natural. A biomassa atinge um valor máximo em determinada idade - a chamada **idade crítica** da coorte - e depois decresce, quando o efeito da mortalidade natural supera o efeito do crescimento em peso individual. A curva da biomassa na Fig. 15.3 foi traçada pressupondo que a coorte não foi sujeita a qualquer exploração no decorrer da sua vida e por isso é designada por **curva da biomassa virgem**. Note-se que se a coorte

puдesse ser capturada num determinado instante de tempo - situação geralmente só possível em aquacultura - a idade crítica forneceria uma indicação da idade ideal de captura, caso o objectivo fosse a maximização da captura em peso.

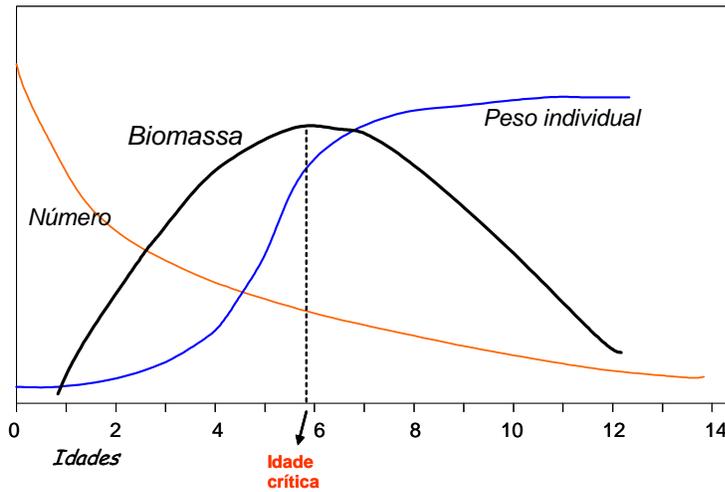


Figura 15.3. Curva do decréscimo do número de indivíduos de uma coorte não explorada, assumindo uma taxa de mortalidade ( $M$ ) constante durante todo o tempo de vida da coorte, curva de crescimento individual em peso e evolução da biomassa da coorte, ilustrando o efeito combinado das duas curvas anteriores.

#### Biomassa desovante

O conceito de biomassa média em cada idade da coorte,  $\bar{B}_x$ , é evidentemente extensível ao stock. O somatório dos valores de  $\bar{B}_x$  de todas as idades num determinado ano, é a biomassa média do stock nesse ano. Existe um grupo de idades particularmente importante quando se pensa em biomassa do stock. Trata-se das idades reprodutoras ( $x > t_m$ ). O somatório da biomassa média de todas as idades maduras no stock designa-se por biomassa desovante do stock:

$$\sum_{x=t_m} \bar{B}_x$$

Um cálculo mais rigoroso da biomassa desovante, deve tomar em consideração que, todos os anos, só uma percentagem dos animais com idade superior a  $t_m$  chega efectivamente a amadurecer e desovar. A percentagem de animais de cada idade que se apresentam maduros na época de reprodução, em função da idade, é a **ogiva de maturação** do stock – simbólicamente  $O_x$ . A construção da ogiva de maturação pode ser feita através da tomada de uma amostra representativa de animais de todas as idades seguida de inspecção laboratorial das suas gónadas. Sendo então  $O_x$  a percentagem de animais com idade  $x$  que amadurecem num determinado ano, a **biomassa desovante** (BD) média nesse ano pode ser obtida por,

$$BD = \sum_0 \bar{B}_x O_x$$

O somatório inicia-se em  $x=0$  sem problemas, pois o valor de  $O_x$  deve estar próximo de zero nas idades inferiores a  $t_m$ .

#### Literatura citada

Haddon, M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall

King, M. 1995. *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Fishing News Books, Blackwell.

Lebreton, J-D, KP Burnham, J Clobert, and DR Anderson. 1992. Modeling survival and testing biological hypothesis using marked animals: a unified approach with case studies. *Ecol. Monogr.* **62**:67-118

Pine, W, KH Pollock, JE Hightower, TJ Kwak, and JA Rice. 2003 A review of tagging methods for estimating fish population size and components of mortality. *Fisheries* **28**(10):10-23

Ricker, WE. 1975. Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* **191**:382 pp.

White, GC, DR Anderson, KP Burnham, and DL Otis. 1982. *Capture-recapture and Removal Methods for Sampling Closed Populations*. Los Alamos National Lab, New Mexico, USA, LA-8787-NERP.