



# AS AVES MARINHAS COMO INDICADORES ECOLÓGICOS

Jaime Albino Ramos

Departamento de Zoologia  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Coimbra

## 1. Introdução e objectivos da aula

As flutuações, quer em termos físicos, quer em termos biológicas, são uma característica intrínseca dos ecossistemas, cuja interpretação e efeito sobre os recursos vivos é essencial na sua conservação e gestão. À primeira vista pode parecer que os dados físico-químicos são mais importantes para interpretar as flutuações ambientais do que os dados biológicos. No entanto, análises de seres temporais de dados sugerem que as variáveis físico-químicas apresentam flutuações aleatórias e difíceis de interpretar em escalas temporais relativamente reduzidas (Hare & Mantua 2000). Além disso as variáveis biológicas podem fornecer informações mais relevantes acerca do verdadeiro efeito das flutuações ambientais sobre os recursos vivos e a biodiversidade em geral. Por conseguinte, indicadores biológicos que reflectem o estado ecológico dos ecossistemas são cada vez mais necessários (Rice & Rochet 2005).

A utilização de determinada variável como indicador deve preencher os seguintes critérios (Dale & Beyeler 2001): a) ser fácil de medir, b) ser sensível a factores de stress e responder de forma previsível a tais factores, c) integrar a informação proveniente de diferentes níveis, d) apresentar variabilidade reduzida e e) ser relevante em termos de gestão e relativamente fácil de interpretar por decisores e pelo público.

As aves marinhas apresentam muitas vantagens como bioindicadores: 1) são bastante visíveis, num ambiente onde a maior parte dos outros seres vivos se situam abaixo da coluna de água, 2) são fáceis de identificar, 3) a maior parte das espécies são coloniais e reproduzem-se anualmente em grandes números e em locais determinados, o que permite efectuar censos e estudar a sua ecologia reprodutora com relativa facilidade, 4) são relativamente fáceis de capturar durante a época de reprodução, o que permite obter informações sobre parâmetros demográficos, comportamentais e fisiológicos, 5) ocupam níveis tróficos superiores, o que lhes permite integrar variações que ocorrem nos níveis tróficos inferiores e 6) apresentam grande longevidade e, portanto, são sensíveis a impactos cumulativos. Em particular, dada a sua conspicuidade as aves marinhas podem ser utilizadas como “sentinelas”, dado que alterações inesperadas na sua população ou em determinado parâmetro reprodutor podem indicar um problema de poluição ou de falta de alimento (Furness & Camphuysen 1997, Sydeman et al. 2006).

Esta aula aborda o potencial das aves marinhas como bioindicadores de alterações dos ecossistemas marinhos. A aula não pretende fornecer indicações concretas para a aplicação de parâmetros reprodutores das aves marinhas como bioindicadores, mas antes reflectir de forma crítica sobre o facto de que a biologia destas espécies reflecte as variações do ecossistema marinho a várias escalas temporais e espaciais, e, por conseguinte, as aves marinhas poderão ser utilizadas como indicadores ecológicos.

De início efectua-se uma caracterização dos principais aspectos biológicos das aves marinhas, reflecte-se sobre a necessidade de considerar várias espécies, e em várias regiões do globo, de modo a entender as suas relações complexas com o meio marinho. De seguida, aborda-se o potencial das aves marinhas na biomonitorização de stocks de populações de peixes e de alterações climáticas e oceanográficas, e analisa-se em pormenor a potencialidade do grupo das andorinhas-do-mar como indicadores ecológicos em ecossistemas marinhos costeiros de zonas temperadas e tropicais. Ao longo da aula as questões são apresentadas de modo a estimular o espírito crítico, a reflexão sobre as questões que foram sendo colocadas ao longo do tempo, de que forma foram abordadas pelos investigadores e qual o estado actual do conhecimento desta

matéria, de modo a desenvolver a utilização das aves marinhas como indicadores ecológicos.

## 2. As aves marinhas como bio-indicadores

As aves marinhas podem ser definidas como “espécies de aves que vivem e sobrevivem a partir do meio ambiente marinho” (Schreiber & Burger 2001). As aves marinhas apresentam uma distribuição muito ampla, existindo em todos os habitats marinhos desde as áreas costeiras às áreas pelágicas, e desde as massas de água tropicais às massas de água polares (Hamer et al. 2001). As aves marinhas apresentam adaptações morfológicas, fisiológicas e comportamentais que lhes permitem explorar com sucesso habitats tão diversos. A maioria destas adaptações estão relacionadas com métodos de captura de alimento (que vão desde o mergulho ao simples contacto com a água, Figura 1), com a distribuição espacial das aves em termos de procura de alimento (desde as zonas costeiras às zonas pelágicas), com os padrões diários de alimentação (diurnos e nocturnos) e com a dieta (desde espécies que se alimentam de zooplâncton, peixe e lulas a espécies necrófagas, que se alimentam de animais mortos) (Nelson 1980, Shealer 2001). A maioria das espécies alimentam-se em áreas marinhas mais produtivas facilmente caracterizadas em termos oceanográficos por temperaturas da água do mar mais baixas, maior concentração de clorofila, zonas de upwelling ou convergência entre massas de água de características diferentes ou outras características físicas ou biológicas que explicam o aumento da produtividade dessas áreas (Croxall 1987, Ramos et al. 2002, Spear et al. 2001, Monticelli et al. 2007).

As aves marinhas tem sido úteis no estudo das alterações climáticas e ambientais nos ecossistemas marinhos. Um estudo importante de Aebischer et al (1990) demonstrou uma grande concordância nas tendências a longo prazo de quatro níveis tróficos diferentes: fitoplâncton, zooplâncton, peixes (arenque) e aves marinhas (gaiivota-tridáctila *Rissa tridactyla*) e a frequência de tempo vindo de oeste no mar do Norte. Este estudo contribuiu para apoiar duas hipóteses importantes: (1) Os níveis tróficos superiores das populações animais são largamente controlados por processos que ocorrem nos níveis inferiores (processos “bottom-up”) e (2) os parâmetros populacionais das aves marinhas constituem indicadores do estado do ecossistema marinho e das suas mudanças. Um outro aspecto particularmente interessante é o facto de as aves marinhas se alimentarem em associação com predadores sub-aquáticos. Tal é especialmente importante em áreas tropicais onde atuns, cetáceos e outros predadores sub-aquáticos forçam os pequenos peixes até às águas superficiais, ficando assim disponíveis para serem consumidos pelas aves marinhas (Au & Pitman 1986, Ballance & Pitman 1999, Ramos 2000, Ballance et al. 2006,).

As aves marinhas reflectem as variações do ecossistema marinho a várias escalas temporais e espaciais. Aquando da reprodução, a actividade dos progenitores reflecte decisões diárias sobre os locais de alimentação e sobre as presas a capturar. Durante o período de incubação os progenitores necessitam apenas de manter a sua condição corporal mas, quando as crias eclodem, os progenitores necessitam de manter a sua condição corporal e de encontrar alimento suficiente para o crescimento dos pintos. A escala espacial a considerar durante a época de reprodução varia bastante conforme a espécie. Assim, a chilreta (*Sternula albifrons*) alimenta-se nas imediações da colónia até uma distância de cerca de 4 km (Fasola & Bogliani 1990), o garajau-rosado (*Sterna dougallii*) procura alimento num raio máximo de 50 km em redor da colónia (Surman & Wooller 2003), e os Procellariiformes, como por exemplo as espécies do grupo das

pardelas, utilizam uma área de centenas ou até milhares de Km em redor da colónia (Shealer 2001). No final da época de reprodução o sucesso reprodutor pode ser interpretado como a resposta dos progenitores às variações do ecossistema marinho. As interacções das aves marinhas com o meio ambiente a diferentes escalas espaciais e temporais contrasta fortemente com os organismos sésseis geralmente utilizados como bioindicadores. Numa colónia multiespecífica de aves marinhas existem espécies que se reproduzem em diferentes épocas do ano e que procuram alimento a escalas espaciais diferentes, sendo possível, para uma determinada zona geográfica, obter informações para diferentes escalas espaciais e temporais.

A mobilidade e a longevidade das aves marinhas constituem uma desvantagem na sua utilização como bio-indicadores a uma escala local restrita, mas poderão constituir também uma vantagem pois reflectem variações ambientais em escalas, e sistemas, que de outra forma seriam de difícil acesso (Burger & Gochfeld 2001). O desafio consiste em compreender as diferentes respostas das aves marinhas às variações do ecossistema marinho que ocorrem a diferentes escalas temporais e espaciais (Bost & Le Maho 1993). Por exemplo, o sucesso reprodutor integra a decisão da ave sobre o facto de se reproduzir ou não, a sua condição corporal, o tamanho e o número de ovos da postura, o número de ovos que eclodem e as taxas de crescimento dos pintos. Cada um destes componentes do sucesso reprodutor pode ser medido separadamente de modo a avaliar com mais precisão os factores ambientais responsáveis por variações no sucesso reprodutor (Tabela 1 e Tabela 2).

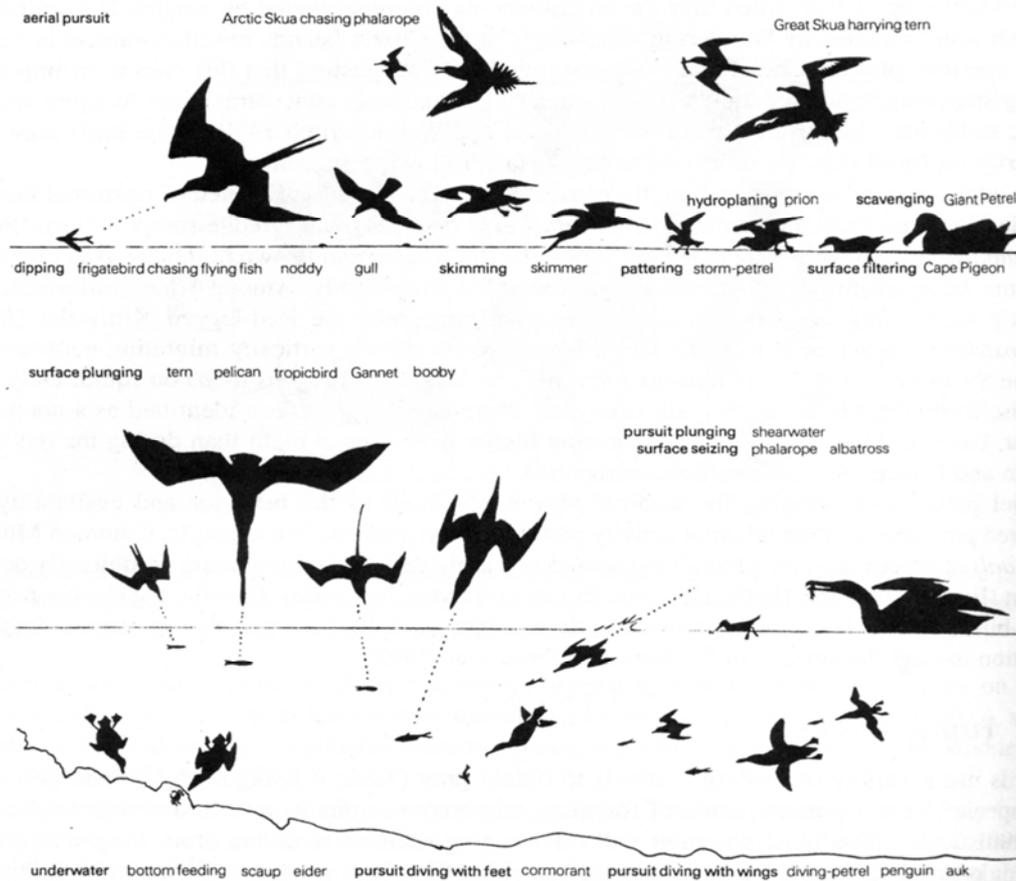


Figura 1. Métodos de alimentação das aves marinhas (Nelson 1980).

Tabela 1. Parâmetros populacionais das aves marinhas que podem ser utilizados como bioindicadores (Adaptado de Diamond & Devlin 2003).

PARÂMETROS	VARIÁVEL
<b>A. Fenologia da reprodução e sucesso reprodutor</b>	
Data de postura	Data média de postura
Dimensão dos ovos	Volume ou massa dos ovos
Dimensão da postura	Número de ovos
Sucesso de eclosão	Número de crias que eclodem
Taxa de crescimento dos pintos	Incremento da massa corporal ou do comprimento de determinada estrutura óssea por unidade de tempo
Sucesso de voo	Número de crias voadoras por cria eclodida
Produtividade	Número de crias voadoras por casal
<b>B. Condição física dos progenitores</b>	
Condição corporal	Massa corporal corrigida para o tamanho
Taxa de sobrevivência	Taxa anual de sobrevivência
<b>C. Ecologia alimentar</b>	
Dieta	Espécies e dimensão das presas ingeridas pelos progenitores e pelos pintos
Taxa de entrega de alimento aos pintos	Número de presas ingeridas por unidade de tempo
Qualidade do alimento	Proporção de gordura presente nas presas principais

Tabela 2. Relação entre as variações ambientais e as respostas (parâmetros reprodutores e demográficos) das aves marinhas (adaptado de Weimerskirch 2001).

Variação ambiental	Parâmetros	Escala temporal	Escala espacial
<b>Disponibilidade de presas</b>	Esforço de procura de alimento	Horas/dias	Reduzida (área alimentação)
	Data de postura	Dias/semanas	Reduzida (área alimentação)
	Sucesso reprodutor	Semanas/meses	Reduzida (área alimentação)
	Sobrevivência progenitores	Anos/décadas	Alargada (Rota migração)
<b>Factores metereológicos</b>	Esforço de procura de alimento	Horas/dias	Reduzida (área alimentação)
	Sucesso reprodutor	Semanas/meses	Reduzida (área alimentação)
	Sobrevivência progenitores	Anos/décadas	Elevada (Rota migração)
<b>Alterações climáticas /oceanográficas</b>	Distribuição	Anos	Alargada
	Data postura	Dias/semanas	Alargada
	Sucesso reprodutor	Semanas/meses	Alargada
	Sobrevivência progenitores	Anos /décadas	Alargada

As aves marinhas podem constituir dois tipos principais de indicadores dos ecossistemas: 1) funcionar como “sentinelas” de variações ambientais, como por exemplo níveis de poluição indicados por análises de tecidos como as penas e 2) indicadores quantitativos de elementos específicos do ecossistema, como por exemplo a abundância de determinada espécie de peixe presa (Piatt et al. 2007a). Em relação ao primeiro ponto, por exemplo o número de indivíduos petroleados da espécie airo (*Uria aalge*) encontrados mortos nas praias do mar do Norte foi adoptado como um indicador de qualidade ecológica (“ecological quality objective”) pela comissão OSPAR para a

protecção do meio ambiente marinho do Atlântico Nordeste (Rogers & Greenaway 2005). Este indicador univariado é fácil de medir e de interpretar, embora a sua sensibilidade a factores de stress e a sua capacidade em reflectir respostas do ecossistema a factores de stress naturais ou antropogénicos sejam desconhecidas.

As aves marinhas não são necessárias como indicadores de alterações atmosféricas e climáticas *per se*, pois tal é mais fácil por detecção remota utilizando, por exemplo, satélites e bóias oceanográficas. No entanto, as aves marinhas podem fornecer informações acerca dos efeitos ecológicos das alterações climáticas, que não são facilmente detectáveis com outros organismos. Em determinados casos os parâmetros biológicos são melhores indicadores de alterações do ecossistema do que os parâmetros físicos pois tendem a apresentar menores flutuações anuais. Deve-se utilizar o termo biomonitorização, em vez de bioindicação, quando se utilizam séries temporais de dados, as quais só podem ser obtidas com estudos a longo prazo (Frederiksen 2006). Os parâmetros úteis em biomonitorização são aqueles que respondem rapidamente e marcadamente a alterações dos recursos alimentares tais como o sucesso reprodutor, composição da dieta ou padrões de actividade dos progenitores. Por exemplo o sucesso reprodutor do Garajau-rosado em áreas tropicais responde rapidamente a alterações na produtividade marinha, e, conseqüentemente, a alterações nos recursos alimentares (Ramos et al. 2002, Monticelli et al. 2007). Assim, a utilização de determinado parâmetro como bioindicador requer um conhecimento pormenorizado de como esse parâmetro reprodutor ou demográfico responde a variações na densidade de presas em redor da colónia. De igual modo os poluentes podem provocar efeitos tóxicos nas aves marinhas que, por se situarem no topo das cadeias alimentares são mais apropriadas para a biomonitorização de poluentes cuja concentração se amplifica na cadeia alimentar (Monteiro et al. 1998). Esta é uma característica de poluentes solúveis nos lípidos, mas que apresentam solubilidade reduzida na água, tais como os organoclorados e os organometais. Por conseguinte as aves marinhas são mais adequadas para a monitorização da exposição das cadeias alimentares aos poluentes solúveis nos lípidos do que, por exemplo, os invertebrados aquáticos (Furness & Camphuysen 1997).

### **3. Aves marinhas e a biomonitorização de stocks de populações de peixes**

A maioria das espécies de peixes, as presas principais das aves marinhas, apresentam recrutamento muito variável de ano para ano (Cushing 1981). Por conseguinte, as populações de peixes de vida curta apresentam grandes flutuações anuais, o que implica grandes variações nos recursos alimentares das aves marinhas. As aves marinhas, como seres vivos de estratégia K, apresentam elevadas taxas de sobrevivência, baixas taxas de produtividade, levam alguns anos a atingir a maturidade sexual e, por conseguinte, o número de indivíduos das suas populações oscila pouco de ano para ano. Assim, as aves marinhas apresentam mecanismos que funcionam como efeito tampão às flutuações que ocorrem a níveis inferiores da cadeia alimentar. Tais mecanismos podem ser a ausência de reprodução em anos de recursos alimentares escassos, como por exemplo o garajau-rosado em zonas tropicais (Ramos et al. 2002, Ramos & Monticelli 2007), ou a deslocação para outras áreas de reprodução de espécies como as andorinhas-do-mar (*Sterna* sp ou *Sternula* sp), que dependem de recursos alimentares abundantes localmente (Schreiber & Burger 2001). Por conseguinte, a interpretação de relações entre alterações nos stocks de presas e respostas das aves marinhas requer um

conhecimento adequado da biologia das espécies de aves marinhas e da forma como respondem a alterações na abundância dos recursos alimentares.

Espécies diferentes de aves marinhas podem apresentar respostas muito diferentes a alterações na disponibilidade de alimento. Apresentam-se de seguida três exemplos contrastantes, como consequência da grande redução na disponibilidade de *Ammodytes marinus* que ocorreu em redor das ilhas Shetland em meados dos anos 80 (Bailey et al. 1991):

1) O número de casais reprodutores de gaivinas-do-ártico (*Sterna paradisaea*) diminuiu drasticamente, e o seu sucesso reprodutor foi praticamente nulo durante sete anos (Phillips et al. 1996). Quando a população de *Ammodytes marinus* recuperou após 1991, o número de casais reprodutores e o sucesso reprodutor de gaivina-do-ártico voltaram aos valores normais, como consequência do recrutamento de indivíduos que não se reproduziram durante sete anos devido à falta de alimento.

2) No entanto, a população de airos não recuperou da mesma forma, embora o seu sucesso reprodutor não tivesse sido afectado (Heubeck et al. 1991). Os estudos de Monaghan (1992) e Monaghan et al. (1996) mostraram que os airos aumentaram o esforço de procura de alimento de modo a compensar a redução na sua disponibilidade. Assim, a população reprodutora de airos ou os índices de actividade dos adultos poderiam ser interpretados como um índice de abundância de *Ammodytes marinus*, mas o sucesso reprodutor não.

3) Quanto ao moleiro-grande (*Catharacta skua*) verificaram-se alterações na dieta, no crescimento das crias, no sucesso reprodutor, na sobrevivência dos adultos, no número de indivíduos não reprodutores e no índice de procura de alimento dos progenitores (Hamer et al. 1991, Klomp & Furness 1992).

Estes três exemplos mostram que diferentes parâmetros das aves marinhas respondem de forma diferente a flutuações na abundância das presas e que as respostas diferem entre espécies. Assim, é necessário cuidado na interpretação das variações dos parâmetros reprodutores das diferentes espécies de aves marinhas. Em 1987, Cairns apresentou duas hipóteses acerca das relações entre as aves marinhas e os seus recursos alimentares e estabeleceu o conceito de aves marinhas como indicadores de stocks de populações de peixes (Cairns 1987): 1) A maioria das respostas das aves marinhas às flutuações dos seus recursos alimentares é do tipo não linear. Os vários parâmetros tais como a taxa de crescimento dos pintos, o sucesso reprodutor ou a sobrevivência dos progenitores respondem a níveis diferentes da densidade de presas. 2) Espécies diferentes deverão responder de forma diferente conforme a sua dieta e capacidade de adaptação na obtenção de recursos.

Desde a publicação do artigo de Cairns têm sido efectuados vários trabalhos a relacionar a abundância de presas com os parâmetros reprodutores em aves marinhas, sobretudo utilizando correlações (Monaghan et al. 1989, 1994, Frederiksen et al. 2006), mas o primeiro estudo especialmente desenhado para testar as hipóteses de Cairns foi o de Piatt et al. (2007b). Estes autores relacionaram os parâmetros reprodutores do airo e da gaivota-tridáctila no Alasca com a abundância de presas, estimada a partir de varrimentos hidro-acústicos, em três áreas com grandes diferenças na densidade de presas. Para ambas as espécies não foi encontrada nenhuma relação linear. A maioria das relações entre os parâmetros reprodutores e a abundância de recursos alimentares foi do tipo sigmoide ou exponencial. No entanto os modelos para gaivota-tridáctila explicaram mais variância do que os modelos para o Airo. Os resultados indicam que o sucesso reprodutor e o sucesso de voo da gaivota-tridáctila, ao contrário dos do airo, estão relacionados com a densidade de presas. Outros parâmetros reprodutores tais como o tamanho de postura (número de ovos/ninho) e o sucesso de eclosão (número de

ovos eclodidos/ovos depositos) foram independentes da densidade de presas. Estes dados de Piatt et al (2007b) mostraram que a primeira hipótese de Cairns se verificou, dado que, quando se encontrou uma relação significativa entre parâmetros reprodutores e abundância de presas, tal relação foi não linear. Outros estudos tem obtido resultados semelhantes: por exemplo o sucesso reprodutor de algumas espécies apresentam uma relação curvilínea com a abundância de presas (gaivina-do-ártico, Suddaby & Ratcliffe 1997 e moleiro-pequeno, Furness & Camphuysen 1997).

O facto de muitas destas relações entre parâmetros reprodutores e abundância de recursos alimentares ser não linear demonstra que, tal como em outros vertebrados predadores (Murdoch & Oaten 1975), as aves marinhas são limitadas por factores físicos (ex: distribuição de presas) e biológicos (qualidade de presas, assimilação) no grau de eficácia de exploração dos recursos alimentares. Os constrangimentos podem ocorrer nos dois lados do espectro de abundância dos recursos alimentares, o que faz com que a resposta das parâmetros reprodutores à abundância de recursos seja suprimida a baixas densidades e apresente uma assíntota a densidades elevadas de presas (Holling 1959). Uma vez que os indicadores são úteis se forem sensíveis e apresentarem relações previsíveis com a variável ambiental em questão, em toda a gama de variação dessa variável (Dale & Beyeler 2001), a não linearidade das relações encontradas apresenta implicações práticas na utilização das aves marinhas como indicadores de stocks de populações de peixes. O estudo de Piatt et al (2007b) sugere que a maioria dos parâmetros reprodutores apresentam uma relação linear com os recursos alimentares apenas ao longo de uma pequena gama de variação dos recursos alimentares.

A maioria das espécies de aves marinhas de zonas tropicais parecem depender da presença/actividade de predadores sub-aquáticos para se alimentarem. Estudos acerca da ecologia reprodutora e alimentar da comunidade de aves marinhas em ilhas tropicais do Oceano Índico Ocidental (Ramos 2000, Le Corre 2001, Le Corre & Jaquemet 2005, Catry et al. 2009a) indicam que as espécies mais costeiras garajau-rosado, tinhas-pequena *Anous tenuirostris*, garajau-branco *Gygis alba* e tinhas-grande *Anous stolidus*) estão associadas a predadores sub-aquáticos da ordem Carangidae tais como *Selar* spp, enquanto observações no mar (Jaquemet et al. 2004) e a marcação das aves com dispositivos electrónicos (“geolocaters”, Catry et al. 2009b) permitiram afirmar que as espécies mais pelágicas (gaivina-de-dorso-preto *Sterna fuscata*, pardela-do-pacífico *Puffinus pacificus*) se alimentam em associação com atuns (*Katsuwonus pelamis* e *Thunnus albacares*). De salientar o estudo de Catry et al (2009b) que pela primeira vez utilizou “geolocaters” no Oceano Índico tropical e constatou que a distribuição de *Puffinus pacificus* no mar, largamente restrita entre 5°N e 10°S, se sobrepõe com a zona de captura de atuns (*Thunnus albacares* e *Katsuwonus pelamis*) entre 10°N e 10°S (IOTC 2005, SFA 2006). Embora praticamente não exista informação sobre tendências populacionais de Carangidae, sabe-se que as capturas de atum no Oceano Índico aumentaram drasticamente desde o início dos anos 80 (IOTC 2005). A avaliação dos stocks de atum pela comissão de peritos sugere que, se o esforço e as capturas actuais se mantiverem, as populações de atuns podem atingir níveis abaixo da captura sustentável (IOTC 2005). A possível depleção das populações de atuns poderá provocar uma diminuição da disponibilidade de presas associadas aos cardumes de atuns, com consequências negativas nos parâmetros demográficos das aves marinhas (Le Corre & Jaquemet 2005).

Os estudos de dieta e ecologia alimentar sobre a comunidade de aves marinhas nas Seychelles, Oceano Índico, sugerem que a tinhas-pequena e o garajau-rosado, que se alimentam numa escala espacial reduzida e com poucas possibilidades de alterar a

dieta (Ramos 2000, Catry et al. 2009a), poderão ser bons indicadores de alterações do ecossistema marinho a uma escala local. A gaivina-de-dorso-preto e a pardela-do-pacífico, que utilizam uma escala espacial mais ampla, apresentando um comensalismo quase obrigatório com atuns, poderão ser um bom indicador de alterações do ecossistema marinho a uma escala maior, nomeadamente sobre os stocks de atuns e pequenos peixes presas a eles associados (Catry et al. 2009b).

#### **4. Aves marinhas como indicadores alterações climáticas e oceanográficas.**

A disponibilidade de alimento é o principal factor que afecta o sucesso reprodutor das aves marinhas, sobretudo o das aves marinhas pelágicas, que nidificam em ilhas isoladas e não estão sujeitos a predação. Enquanto o insucesso das aves marinhas em zonas temperadas está muito associado a sobre-exploração de recursos pesqueiros (Furness & Barrett 1991, Furness & Camphuysen 1997) ou com alterações climáticas a longo prazo (Carscadden et al. 2002, Frederiksen et al. 2004), em zonas tropicais, oscilações oceanográficas periódicas tais como as alterações induzidas pelo fenómeno El Niño, são a causa mais frequente de insucesso (Schreiber & Schreiber 1984, Ramos et al. 2002, 2005, 2006). As aves marinhas tropicais são igualmente sensíveis a pequenas flutuações temporais e espaciais na disponibilidade de alimento (Shea & Ricklefs 1996, Ramos 2000, Monticelli et al. 2007).

Os ecossistemas marinhos podem apresentar rápidas alterações como consequência da variabilidade ambiental, mas sobretudo devido a efeitos antropogénicos, tais com a sobre-pesca e as alterações climáticas (Greene & Pershing 2007). As alterações climáticas tem um impacto profundo no meio ambiente marinho como por exemplo no aumento da temperatura da água do mar, na acidificação do oceano, aumento do degelo e consequente aumento do nível médio das águas do mar, alterações da salinidade da água do mar e na circulação dos oceanos (Hobday et al. 2006, European Science Foundation 2007, Greene & Pershing 2007, MCCIP 2008). Dado que o ecossistema marinho está muito interligado através das relações presa-predador, os impactos directos das alterações oceanográficas induzidas pela alteração do clima apresentam efeitos que se propagam a toda a cadeia alimentar. Um aumento da temperatura da água do mar influencia a abundância de plâncton, que por sua vez afecta a dinâmica das populações de peixes, propagando-se também ao predadores de topo das cadeias alimentares como os cetáceos e as aves marinhas (MCCIP 2008, Frederiksen et al. 2004). Para identificar e avaliar as consequências das alterações climáticas nos ecossistemas marinhos é necessário o desenvolvimento e utilização de parâmetros biológicos e biofísicos e a continuação dos esforços de monitorização das populações de aves marinhas.

Alguns estudos recentes apresentam correlações entre as alterações climáticas e uma diminuição do sucesso reprodutor e/ou das taxas de sobrevivências dos adultos (Smithers et al. 2003, Frederiksen et al. 2004, Harris et al. 2005). As alterações climáticas podem afectar as aves marinhas de duas formas: directamente, por exemplo um aumento do nº de dias de mau tempo pode provocar inundações nos ninhos, ou indirectamente, através de alterações nos recursos alimentares. Quanto mais sensíveis forem as espécies-presa a alterações climáticas tanto mais as aves marinhas podem ser afectadas (Frederiksen 2006).

## 5. As andorinhas do mar como indicadores ecológicos em áreas costeiras

De um ponto de vista teórico Furness & Ainley (1984) sugeriram que as aves marinhas mais pequenas, tais como as andorinhas-do-mar, deverão responder mais rapidamente a uma situação de carência de alimento do que as espécies maiores, uma vez que a proporção de tempo dedicado às actividades de alimentação diminui com o aumento da massa corporal. Assim, espécies do grupo das andorinhas-do-mar, que se alimentam numa escala espacial reduzida, com um comportamento alimentar e dieta relativamente especializados deverão ser mais vulneráveis a alterações ambientais e, portanto, serão mais úteis como espécies indicadoras. A importância potencial das andorinhas-do-mar como bioindicadores tem vindo a ser estabelecida através de vários estudos em vários locais do globo:

1) Mar do Norte: durante os anos em que o stock de *Ammodytes marinus* das ilhas Shetland colapsou nos anos 80 o sucesso reprodutor da gaivina-do-ártico foi praticamente nulo (Furness & Camphuysen 1997).

2) Seychelles, Oceano Índico: Os fenómenos climáticos extremos reflectem-se sobre a reprodução do garajau-rosado em Aride, dado que os adultos não se reproduzem ou abandonam as posturas em anos de forte El Niño ou La Niña (Ramos et al. 2002, Ramos & Monticelli 2007, Monticelli et al. 2007). Determinados parâmetros reprodutores estão significativamente correlacionados com variáveis oceanográficas a larga escala (a postura é cada vez mais tardia à medida que aumenta a intensidade do El Niño), e outros parâmetros com variáveis a uma escala reduzida (correlação negativa entre o número de casais reprodutores e a temperatura da água-do-mar em redor da colónia, Ramos et al. 2002). Esta última relação coincide com o facto da probabilidade em observar indivíduos marcados em anos anteriores se reproduzirem no presente ano, diminuir se a temperatura da água do mar for mais elevada no período inter-reprodutor precedente (Monticelli et al. 2008). Dado a existência de uma correlação negativa entre a temperatura local da água do mar e a produtividade do oceano (Monticelli et al. 2007), estes dados sugerem que temperaturas mais elevadas durante o período inter-reprodutor poderão afectar a abundância de peixes presa, e possivelmente também de predadores sub-aquáticos, que os tornariam acessíveis para as aves (Ramos 2000).

3) África do Sul: Uma série temporal de 14 anos revelou uma correlação altamente significativa entre o número de casais reprodutores de *Sterna bergii* e a biomassa de *Engraulis capensis* e *Sardinops sagax* na altura da desova, isto é 2-7 meses antes da reprodução (Crawford 2003). Tal sugere que a população desta espécie pode constituir um indicador da abundância destas duas espécies de peixe.

4) Algarve e Ria de Aveiro: Os adultos de *S. albifrons* que nidificam na Ria Formosa e na Ria de Aveiro alimentam-se sobretudo de três espécies de peixes, *Atherina* spp., *Pomatoschistus* spp. e *Gobius niger*, os quais são as espécies de peixes mais abundantes nestas duas áreas (Catry et al. 2006). A variação anual na disponibilidade de presas parece ser o factor mais importante para explicar a variação anual na dieta dos adultos de chilreta (Catry et al. 2006), e sugere que esta andorinha-do-mar pode ser um bom indicador de alterações na abundância de presas em zonas estuarinas.

5) Mesmo para parâmetros supostamente pouco úteis como bio-indicadores as andorinhas-do-mar tem revelado alguma utilidade. No seu trabalho seminal para avaliar as hipóteses postuladas por Cairns, Piatt et al (2007b) dedicaram uma secção do artigo aos parâmetros que supostamente não deverão ser bons indicadores de abundância das espécies presa com base em duas espécies de aves marinhas, o airo e a gaivotatridáctila, e sugeriram que o tamanho da postura não seria um bom indicador da

disponibilidade de recursos alimentares. De facto, vários estudos em zonas temperadas têm sugerido que os recursos alimentares não são limitantes durante a época da postura, sendo o tamanho da postura geralmente maximizado. A regulação do esforço reprodutor ocorre depois, por redução da ninhada ou por deserção do ninho (Monaghan et al. 1989, Suddaby & Ratcliffe 1997). No entanto, uma série temporal com nove anos sobre os parâmetros reprodutores de garajau-rosado na ilha de Aride, Seychelles, revelou uma correlação positiva e significativa entre o tamanho da postura e o incremento da produtividade primária marinha, medida em termos de taxa de aumento da concentração de clorofila a partir de imagens de satélite (Monticelli et al. 2007). Estes dados que em áreas tropicais a disponibilidade de alimento é um factor limitante na altura da postura. Tal é também indicado pela correlação positiva que existe, para o garajau-rosado, entre a latitude e o tamanho da postura (Nisbet & Ratcliffe 2008).

## **6. O futuro das aves marinhas como indicadores ecológicos**

Actualmente os bio-indicadores são utilizados sobretudo pelo seu valor heurístico pois reflectem processos e padrões chave do ecossistema. Embora as aves marinhas constituam indicadores úteis do ecossistema é necessário uma interpretação cuidadosa da variabilidade dos parâmetros reprodutores a diferentes escalas espaciais e temporais. Por exemplo, os trabalhos de Ramos et al. (2002) e Monticelli et al (2007) demonstraram que, para uma mesma espécie, alguns parâmetros reprodutores tidos como pouco úteis em termos de bioindicação em zonas temperadas apresentam um grande potencial em zonas tropicais.

A maioria dos indicadores propostos são de natureza qualitativa, em parte devido à existência de séries temporais de dados relativamente curtas. Os modelos preditivos são, ainda, relativamente raros, embora sejam mais úteis em termos de gestão. Assim, a utilização de aves marinhas como indicadores de espécies presa, deve ser efectuado com cuidado, sendo necessário, em primeiro lugar, avaliar a forma da relação funcional entre o(s) parâmetro(s) reprodutores e a espécie presa considerada bem como as fontes de variação desta relação. Vários estudos sugerem que, pelo menos em zonas temperadas, a maioria destas relações são não lineares e que os parâmetros reprodutores não respondem a pequenas alterações ou a alterações contínuas (Reid et al. 2005, Piatt et al. 2007b). Desta forma as aves marinhas podem ser especialmente úteis como indicadores binários (Montevecchi 2007) que assinalam alterações de grande ordem de magnitude no ecossistema. No entanto, em zonas tropicais, onde os recursos são mais escassos, determinados parâmetros de algumas espécies mais sensíveis parecem responder de forma linear à variação dos recursos alimentares.

Recentemente Frederiksen et al. (2007) juntou parâmetros reprodutores de várias espécies de aves marinhas do Mar do Norte, e analisou-os utilizando análise de componentes principais. O eixo 1 da análise descreveu os parâmetros reprodutores das cinco espécies monitorizadas naquela região e apresenta um claro declínio nos últimos 20 anos, o que indica uma deterioração das condições marinhas durante a época de reprodução. Frederiksen et al. (2007) propuseram o uso desta informação como um índice preliminar de aves marinhas do Mar do Norte, salientando a sua utilidade em termos de indicar o estado geral do ecossistema, e o seu aspecto prático em termos de gestão do ecossistema marinho do Mar do Norte. Este tipo de análises multivariadas são úteis para integrar relações ecológicas complexas num só parâmetro que pode ser mais fácil de avaliar pelo seu significado ecológico e traduzir-se em conceitos que poderão ser mais fáceis de comunicar ao público e aos gestores. No entanto, os índices

univariados são necessários para calcular e interpretar os índices multivariados e para interpretar as funções biológicas individuais como por exemplo o sucesso reprodutor. Um dos principais obstáculos ao desenvolvimento de indicadores multivariados prende-se com a escassez de séries temporais de dados. No entanto, é evidente a necessidade de bio-indicadores com maior capacidade de previsão e relevância em termos de gestão.

## **Bibliografia**

Aebischer NJ, Coulson JC, Colebrook JM (1990) Parallel long-term trends across four marine trophic levels and weather. *Nature* 347: 753-755.

Au DKW, Pitman RL (1986) Seabird interactions with dolphins and tuna in the eastern tropical Pacific. *Condor* 88: 304-317.

Bailey RS, Furness RW, Gauld JA, Kunzlik PA (1991) Recent changes in the population of the sandeel (*Ammodytes marinus* Raitt) at Shetland in relation to estimates of seabird predation. *ICES Marine Science Symposia* 193: 209-216.

Ballance LT, Pitman RL (1999) Foraging ecology of tropical seabirds. In: Adams, N.J. & Slotow, R.H. (Eds.) *Proc. 22 Int. Ornithol. Congr., Durban: 2057-2071*. Johannesburg: BirdLife South Africa.

Ballance LT, Pitman RL, Fiedler PC (2006) Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69: 360-390.

Bost CA, LeMaho Y (1993) Seabirds as bio-indicators of changing marine ecosystems: new perspectives. *Acta Oecologica* 14: 463-470.

Burger J, Gochfeld M (2001) Effects of chemicals and pollutants on seabirds. Pp 485-525 In Schreiber, EA & Burger J, eds. *Biology of marine birds*. CRC Press, Boca Raton.

Cairns DK (1987) Seabirds as indicators of marine food supplies. *Biological Oceanography* 5: 261-271.

Carscadden JE, Montevecchi WA, Davoren GK, Nakashima BS (2002) Trophic relationship among capelin (*Mallotus villosus*) and seabirds in a changing ecosystem. *ICES Journal of Marine Science* 59: 1027-1033.

Catry T, Ramos JA, Martins J, Peste F, Trigo S, Paiva VH, Almeida A, Luís A, Palma J, Andrade P (2006). Inter-colony and annual differences in the diet and feeding ecology of Little Tern adults and chicks in Portugal. *Condor* 108: 366-376

Catry T, Ramos JA, Jaquemet S, Faulquier L, Berlincourt M, Hauselmann A, Pinet P, Le Corre M (2009a). Comparative foraging ecology of a tropical seabird community of Seychelles, western Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 374: 259-272.

Catry T, Ramos JA, Le Corre M, Phillips RA (2009b). Movements, at-sea distribution and behaviour of a tropical pelagic seabird: the wedge-tailed shearwater in the western Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series*. In press

Crawford RJM (2003) Influence of food on numbers breeding, colony size and fidelity to localities of swift terns in South Africa's western cape, 1987-2000. *Waterbirds* 26: 44-53.

Croxall JP (1987) *Seabirds: feeding ecology and role in marine ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.

Cushing DH (1981) *Fisheries biology: a study in population dynamics*. University Wisconsin Press, Madison, WI.

Dale VH, Beyeler SC (2001). Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological indicators* 1: 3-10.

Diamond AW, Devlin CM (2003) Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: ecological monitoring on Machias Seal island. *Environmental Monitoring and Assessment* 88: 153-175.

European Science Foundation (2007, March 5). Climate Changes Brews Trouble For Marine Life In European Seas. *ScienceDaily*. Retrieved March 1, 2008, from <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/03/070305100300.htm>

Fasola M, Bogliani G (1990) Foraging ranges of an assemblage of Mediterranean seabirds. *Colonial Waterbirds* 13: 72-74.

Frederiksen M (2006) Impacts of Climate Change on Seabirds In: Buckley PJ, Dye SR, Baxter JM (Eds) *Marine Climate Change Impacts Annual Report Card 2006*. Online Summary Reports, MCCIP, Lowestoft, [www.mccip.org.uk](http://www.mccip.org.uk)

Frederiksen M, Harris MP, Daunt F, Rothery P, Wanless S (2004) Scale-dependent climate signals drive breeding phenology of three seabird species. *Global Change Biology* 10: 1214-1221.

Frederiksen M, Edwards M, Richardson AJ, Halliday NC, Wanless S (2006) From plankton to top predators: bottom up control of a marine food web across four trophic levels. *Journal of Animal Ecology* 75: 1259-1268.

Frederiksen M, Mavor RA, Wanless S (2007) Seabirds as environmental indicators: the advantages of combining data sets. *Marine Ecology Progress Series* 352: 205-211.

Furness RW, Ainley DG (1984) Threats to seabird populations presented by commercial fisheries. *ICBP Technical Report 2*: 701-708.

Furness RW, Barrett RT (1991) Ecological responses of seabirds to reductions in fish stocks in North Norway and Shetland. In: Furness RW, Nettleship DN (eds) *Seabirds as monitors of changing marine environments*. Acta XX Congressus Internationalis Ornithologici. New Zealand Ornithological Congress Trust Board.

Furness RW, Camphuysen CJ (1997) Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science* 54: 726-737.

Greene CH, Pershing AJ (2007) Climate drives sea change. *Science* 315: 1084-1085.

Hamer KC, Furness RW, Caldow RWG (1991) The effects of changes in food availability on the breeding ecology of great skuas *Catharacta skua* in Shetland. *Journal of Zoology, London* 223: 175-188.

Hamer KC, Schreiber EA, Burger J (2001) Breeding biology, life histories, and life history-environment interactions in seabirds. Pp 217-262 In: *Biology of Marine Birds* (Schreiber EA & Burger J, Ed.). CRC Press, Florida.

Hare ST, Mantua NJ (2000) Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1997 and 1989. *Progresses in Oceanography* 47: 103-145.

Harris MP, Anker-Nilssen T, McCleery RH, Erikstad KE, Shaw DN, Grosbois V (2005) Effect of wintering area and climate on the survival of adult Atlantic puffins *Fratercula arctica* in the eastern Atlantic. *Marine Ecology Progress Series* 297: 283-296.

Heubeck M, Harvey PV, Okill JD (1991) Changes in the shetland guillemot *Uria aalge* population and the pattern of recoveries of ringed birds, 1959-1990. *Seabird* 13: 3-21.

Hobday AJ, Okey TA, Poloczanska ES, Kunz TJ, Richardson AJ (eds) (2006) CSIRO Marine and Atmospheric Research report to the Australia Greenhouse office, Canberra, Australia. September 2006.

Holling CS (1959) The components of predation as revealed by a study of small mammal predation of the european pine sawfly. *Canadian Entomologist* 91: 293-320.

IOTC (2005) Report of the eighth session of the Scientific Committee. Indian Ocean Tuna Commission. Victoria, Seychelles.

Klomp NI, Furness RW (1992) Non-breeders as a buffer against environmental stress: declines in numbers of great skuas on Foula, Shetland, and prediction of future recruitment. *Journal of Applied Ecology* 29: 341-348.

Jaquemet S, Le Corre M, Weimerskirch H (2004) Seabird community structure in a coastal tropical environment: importance of associations with sub-surface predators and of Fish Aggregating Devices (FADs). *Marine Ecology Progress Series* 268: 281-292.

Le Corre M (2001) Breeding seasons of seabirds at Europa Island (southern Mozambique Channel) in relation to seasonal changes in the marine environment. *Journal of Zoology, London* 254: 239-249.

Le Corre M, Jaquemet S (2005) Assessment of the seabird community of the Mozambique Channel and its potential use as an indicator of tuna abundance. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 63: 421-428.

MCCIP (2008) Marine Climate Change Impacts Annual Report Card 2007-2008 (EDS. Baxter JM, Wallace CJ). Summary report. MCCIP, Lowestoft, 8pp.

Monaghan P (1992) Seabirds and sandeels: the conflict between exploitation and conservation in the northern North Sea. *Biodiversity and Conservation* 1: 98-111.

Monaghan P, Uttley JD, Burns MS, Thane C, Blackwood J(1989) The relationships between food supply, reproductive effort, and breeding success in Arctic terns *Sterna paradisea*. *Journal of Animal Ecology* 58: 261-274.

Monaghan P, Walton P, Wanless S, Uttley JD, Burns MS (1994) Effects of prey abundance on the foraging behaviour, diving efficiency and time allocation of breeding guillemots *Uria aalge*. *Ibis* 136: 214-222.

Monaghan P, Wright PJ, Bailey MC, Uttley JD, Walton P, Burns MS (1996) The influence of changes in food abundance on diving and surface feeding seabirds. In studies of high latitude 4: trophic relationships and energetics of endotherms in cold oceanic systems, pp 10-19. Ed. By Montevecchi WA. Canadian Wildlife Service Occasional Paper, N° 91, Ottawa.

Monteiro L.R., Granadeiro J.P., Furness R.W. 1998. Relationship between mercury levels and diet in Azores seabirds. *Marine Ecology Progress Series* 166: 259-265.

Montevecchi WA (2007) Binary dietary responses of northern gannets *Sula bassana* indicate changing food web and oceanographic conditions. *Marine Ecology Progress Series* 352: 213-220.

Monticelli D, Ramos JA, Quartly GD (2007) Effects of annual changes in primary productivity and ocean indices on the breeding performance of tropical roseate terns in the western Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 351: 273-286

Monticelli D, Ramos JA, Guerreiro-Milheiras SA, Doucet JL (2008) Modelling annual adult survival of tropical Roseate Terns breeding on Aride Island, Seychelles, Western Indian Ocean. *Waterbirds* 31: 330-337

Murdoch WW, Oaten A (1975) Predation and population stability. *Advances Ecological Research* 9: 1-131.

Nelson JB (1980) *Seabirds: their biology and ecology*. Hamlyn, London, UK.

Nisbet ICT, Ratcliffe N (2008) Comparative demographics of tropical and temperate Roseate Terns. *Waterbirds* 31: 346-356.

Phillips RA, Caldow RWG, Furness RW (1996) The influence of food availability on the breeding effort and reproductive success of Arctic skuas *Stercorarius parasiticus*. *Ibis* 138: 410-419.

Piatt JF, Sydeman WJ, Wiese F (2007a) Introduction: a modern role for seabirds as indicators. *Marine Ecology Progress Series* 352: 199-204.

Piatt JF, Harding AMA, Shultz M, Speckman SG, van Pelt TI, Drew GS, Kettle AB (2007b) Seabirds as indicators of marine food supplies: Cairns revisited. *Marine Ecology Progress Series* 352: 221-234.

Ramos JA (2000) Characteristics of foraging habitats and chick food provisioning by tropical roseate terns. *Condor* 102: 795-803

Ramos JA, Maul AM, Ayrton V, Bullock I, Hunter J, Bowler J, Castle G, Mileto R, Pacheco C (2002). The influence of local and large scale weather events and timing of breeding on tropical Roseate Tern reproductive parameters. *Marine Ecology Progress Series* 243: 271-279.

Ramos JA, Bowler J, Betts M, Pacheco C, Agombar J, Bullock I, Monticelli D (2005) Productivity of White-tailed tropicbird on Aride Island, Seychelles. *Waterbirds* 28: 405-410.

Ramos JA, Maul AM, Bowler J, Wood L, Threadgold R, Johnson S, Birch D, Walker S (2006) Annual variation in laying date and breeding success of Brown Noddies on Aride Island, Seychelles. *Emu* 106: 81-86.

Ramos JA, Monticelli D (2007) Long-term studies on productivity of Roseate Terns and Lesser Noddies on Aride Island, Seychelles. *Ostrich* 78: 443-447

Rogers SI, Greenaway B (2005) A UK perspective on the development of marine ecosystem indicators. *Marine Pollution Bulletin* 50: 9-19.

Reid K, Croxall JP, Briggs DR, Murphy EJ (2005) Antarctic ecosystem monitoring: quantifying the response of ecosystem indicators to variability in Antarctic krill. *ICES Journal of Marine Science* 62: 366-373.

Schreiber EA, Burger J (2001) *Biology of Marine Birds*. CRC Press. Florida.

Schreiber RW, Schreiber EA (1984) Central Pacific seabirds and the El Niño Southern Oscillation: 1982 to 1983 perspectives. *Science* 225: 713-716.

Seychelles Fishing Authority (2006) Annual report. Seychelles Fishing Authority. Victoria, Seychelles.

Shea RE, Ricklefs RE (1996) Temporal variation in growth performance in six species of tropical, pelagic seabirds. *Journal of Animal Ecology* 65: 29-42.

Shealer D (2001) Foraging behavior and food of seabirds. In: Schreiber EA, Burger J (Eds) *Biology of Marine Birds*. CRC Press. Florida.

Smithers BV, Peck DR, Krockenberger AK, Congdon BC (2003) Elevated sea-surface temperature, reduced provisioning and reproductive failure of wedge-tailed shearwaters (*Puffinus pacificus*) in the southern Great Barrier Reef, Australia. *Marine and Freshwater Research* 54: 973-977.

Spear LB, Ballance LT, Ainley DG (2001) Response of seabirds to thermal boundaries in the tropical Pacific: the thermocline versus the Equatorial Front. *Marine Ecology Progress Series* 219: 275-289

Suddaby D, Ratcliffe D (1997) The effects of fluctuating food availability on breeding Arctic terns (*Sterna paradisaea*). *Auk* 114: 524-530.

Surman CA, Wooller RD (2003) Comparative foraging ecology of five sympatric terns at a sub-tropical island in the eastern Indian Ocean. *Journal of Zoology London* 259: 219-230.

Sydeman WJ, Brodeur RD, Bychkov A, Grimes C, McKinnell S (2006) Marine habitat “hotspots” and their use by migratory species and top predators in the North Pacific Ocean: introduction. *Deep Sea Research II* 53: 247-249.

Weimerskirck H (2001) Seabird demography and its relationships with the marine environment. In: Schreiber EA, Burger J (Eds) *Biology of Marine Birds*. CRC Press. Florida.