

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Biologia Animal



**Movimentos e actividade migratória de uma ave
pelágica: a Alma-negra (*Bulweria bulwerii*)**

Maria Saldanha Alho

Dissertação

**Mestrado em Biologia da
Conservação**

2014

Universidade de Lisboa
Faculdade de Ciências
Departamento de Biologia Animal



**Movimentos e actividade migratória de uma ave
pelágica: a Alma-negra (*Bulweria bulwerii*)**

Dissertação de mestrado orientada por

Doutora Maria Peixe Dias

Prof. Doutor Jorge Palmeirim

Maria Saldanha Alho

Mestrado em Biologia da
Conservação

2014

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha orientadora Maria Dias por me ter facultado todas as condições para o desenvolvimento desta dissertação, pela sua dedicação, optimismo e entusiasmo e por todo o apoio e ajuda prestados durante a realização desta tese. Foi para mim uma fonte de inspiração enquanto Bióloga e enquanto pessoa. Muito Obrigado.

Ao Professor Jorge Palmeirim por ter aceite ser meu orientador, pela ajuda e por se mostrar sempre disponível.

A todos os que estiveram comigo na minha visita à Selvagem, que fizeram parte de uma das melhores experiências da minha vida, sem os quais nunca teria sido a mesma: ao José Pedro Granadeiro pela paciência, por se mostrar sempre disponível a ajudar-me e pela partilha de conhecimento; à Teresa Catry por toda a ajuda, principalmente na colocação dos *geolocators* e pela excelente companhia; à Letizia pela ajuda na recolha dos *geolocators*, pelas longas conversas e por se mostrar sempre disponível, grazie; ao Prof. Rui Rebelo pela companhia, entusiasmo e pela partilha de conhecimentos, especialmente sobre a flora e os répteis da Selvagem; a todos o que ajudaram a recolher os *geolocators* nestes últimos dois anos, obrigada! À adorável cadela Selvagem, que nos acompanhou sempre nos trabalhos de campo.

Aos meus pais, no apoio incondicional que me têm dado ao longo da minha vida, que incentivaram a seguir os meus sonhos e sempre me ajudaram a concretizá-los. Obrigada por serem como são e por me acompanharem sempre.

Ao meu avô Alho, que tanto me queria ver a acabar este percurso. Ficam as saudades.

À “avó velhinha”, que desde criança me fez dar valor pela Natureza e prestar atenção ao canto das aves. Obrigada pelas memórias em Travancinha.

À Telma e ao Custódio, por serem os amigos de sempre destes últimos anos, companheiros de Biologia, pelo apoio, entusiasmo e partilha de conhecimento. Obrigada!

Ao Henrique, que se pudesse ter lido isto, tê-lo-ia achado extremamente parvo.

Aos amigos do Mestrado, que fizeram parte deste percurso até aqui. Em especial à Inês e à Miau.

Obrigada ao António pela amizade, pela excelente ilustração e por todas as sessões de anilhagem, nas quais aprendi tanto.

Aos meus grandes amigos de Torres Novas que me deram apoio ao longo de todo este tempo, obrigada por tudo. Especialmente à Sara por todo o apoio e amizade, principalmente nesta última fase. Ao Fernando, pelo apoio incondicional e por toda a ajuda nos detalhes gráficos. E ao Couto por ser um companheiro na Biologia e pelas tantas saídas pelo Boquilobo e Serra de Aire. Obrigada.

Aos restantes amigos e família, obrigada por todo o apoio.

À marinha portuguesa por se disponibilizar a transportar a equipa para a ilha e de volta para o Funchal.

Ao Serviço do Parque Natural da Madeira por autorizar a realização deste trabalho. Ao vigilante Carlos que sempre se disponibilizou a ajudar em todas as situações.

Este trabalho encontra-se integrado no projecto “Ecologia alimentar, movimentos e abundância de uma ave consumidora de presas mesopelágicas: novas técnicas e ideias para desvendar mistérios profundos” (PTDC/MAR/121071/2010), financiados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.



Resumo

As aves marinhas pertencentes à ordem dos Procellariiformes são predadores abundantes em várias áreas oceânicas um pouco por todo o mundo. Muitas destas espécies, em particular as de pequena dimensão, são predadores nocturnos que desempenham um papel importante em muitas teias tróficas marinhas como consumidores de presas mesopelágicas. No entanto, a ecologia espacial e o comportamento no mar da grande maioria destas espécies permanecem em grande parte desconhecidos.

A Alma-negra *Bulweria bulwerii* é um destes pequenos Procellariiformes, e é extremamente abundante no Arquipélago da Madeira, em particular nas ilhas Desertas e Selvagens. Aproveitando os desenvolvimentos tecnológicos recentes nas técnicas de seguimento de aves (*geolocators*), estudou-se o comportamento migratório desta espécie, em particular a sua distribuição e actividade no mar, ao longo de dois ciclos anuais (2012/2013 e 2013/2014), na colónia da ilha Selvagem Grande. Após a época de reprodução as Almas-negras migraram para o Atlântico tropical para passar o inverno em águas profundas (profundidade média de 4652 m em 2012/2013; 4359 m em 2013/2014), longe das plataformas continentais, regiões estas que são evitadas pela maioria das aves marinhas migradoras do Atlântico.

Estas aves são principalmente activas durante o período nocturno, especialmente nas áreas de invernada. As Almas-negras passaram mais tempo em voo durante a noite (mais de 85%, em média) do que qualquer outra ave marinha estudada até agora. As Almas-negras tenderam também a voar mais em noites de Lua Cheia. O ciclo lunar teve também influência na data de início da migração pós-nupcial, tendo 56% dos indivíduos saído da colónia em noites de Lua Nova.

Considerando que uma parte significativa do ciclo anual destas aves é passado nas suas áreas de invernada, as condições nestes locais vão provavelmente afectar as suas taxas de sobrevivência e reprodução. Os resultados deste estudo podem assim contribuir para o aumento do conhecimento da ecologia de aves marinhas pelágicas, muitas das quais ameaçadas de extinção, conhecimento esse que se reveste de particular importância no âmbito da identificação e gestão de áreas marinhas protegidas.

Palavras-chave: Alma-negra, actividade, Selvagem Grande, *geolocators*, migração

Abstract

Seabirds of the order Procellariiformes are abundant predators in several oceanic areas all over the world. Many of these species, particularly the ones with smaller size, are nocturnal predators that play an important role in many marine trophic webs as consumers of mesopelagic prey. However, the spatial ecology and at-sea behavior of the great majority of these species remain largely unknown.

The Bulwer's petrel *Bulweria bulwerii* is one of these small procellariiformes and it is extremely abundant in the Madeira Archipelago, especially in the Desertas and Selvagens Islands. Taking advantage of the recent technological developments in bird tracking (geolocators), we studied the migratory behaviour of this species, in particular its distribution and activity at sea, along two annual cycles (2012/2013 and 2013/2014), in the colony of Selvagem Grande Island. After the breeding season, Bulwer's petrel migrated to tropical Atlantic Ocean to overwinter in deep waters (average depth of 4652 m in 2012/2013; 4359 m in 2013/2014), away from the continental shelves, in areas avoided by the majority of other migratory seabirds of the Atlantic.

These birds are mainly active at the night time, especially during the wintering period. Bulwer's petrels have spent more time in flight during the night (> 85% on average) than any other seabird studied so far. Bulwer's petrels also tend to fly more on full moon nights. The lunar cycle also influenced the date of departure to post-nuptial migration, with 56% of the individuals leaving the colony during new moon.

Considering that these birds spend a significant proportion of their annual cycle in their wintering areas, the conditions at these locations will probably affect their survival and reproduction rate. Therefore, the results of this study can contribute to increase the knowledge of the ecology of pelagic seabirds, many of which are at risk of extinction, and be of great importance to in the identification and management of marine protected areas.

Keywords: Bulwer's petrel, activity, Selvagem Grande, geolocators, migration

Índice

Resumo	1
Abstract	2
I. Introdução Geral	4
Alma-negra (<i>Bulweria bulwerii</i>).....	6
Objectivos	8
II. Movimentos migratórios da Alma-negra	9
Introdução	9
Metodologia	10
Área de estudo.....	10
Amostragem	12
Análise dos dados de geolocalização	13
Análise estatística	14
Resultados	15
Recuperação dos geolocators.....	15
Fenologia migratória da Alma-negra	15
Distribuição da Alma-negra no mar.....	17
Caracterização das áreas de invernada.....	20
Discussão	23
III. Actividade da Alma-negra no mar	26
Introdução	26
Metodologia	28
Análise dos dados de actividade.....	28
Resultados	29
Discussão	32
IV. Considerações finais	35
Referências bibliográficas	37

I. Introdução Geral

A migração das aves é um dos fenómenos mais fascinantes da natureza. Duas vezes por ano, milhões de aves viajam milhares de quilómetros para chegarem aos seus locais de invernada ou de reprodução (Martin et al. 2007). A migração pode ser vista como um movimento regular, pelo qual as aves regressam a locais específicos todos os anos, por volta da mesma altura, onde encontram condições para permanecer durante um determinado período de tempo. Esse movimento permite a aquisição de recursos à medida que estes se vão tornando disponíveis regionalmente (Dingle & Drake 2007)

Muitas aves marinhas são migradoras de longa distância, chegando a viajar dezenas de milhares de quilómetros anualmente (Newton 2008). Um dos exemplos mais notáveis é a Gaivina do Ártico *Sterna paradisaea*, protagonista da maior migração conhecida na Terra, percorrendo cerca de 40 mil quilómetros desde a sua área de nidificação no Ártico até à zona de invernada no oceano Antártico (Egevang et al. 2010, Fijn et al. 2013).

A ordem dos Procellariiformes é um grupo muito bem adaptado ao meio marinho, estando entre as poucas ordens de aves exclusivamente marinhas, o que lhes permite ter um comportamento quase completamente pelágico (Hoyo et al. 1992). Algumas das características diagnosticantes deste grupo são a existência de narinas externas tubulares na parte inicial do bico e a fragmentação das placas córneas do bico (Warham 1990). A existência dessas narinas tubulares concede-lhes um notável sentido olfativo, que parecem usar para navegar no oceano, para procurar alimento, para reconhecimento individual e para a identificação do ninho (Nevitt 2008a).

Para além dessas características, estas aves possuem outras adaptações morfológicas e comportamentais que lhes permite viver em permanência no mar, necessitando apenas de terra firme para nidificar (Hoyo et al.1992). Para se alimentarem, efectuam longas viagens sobre o oceano onde as presas têm uma distribuição heterogénea, o que é apenas possível devido ao baixo custo energético do seu voo. De facto, são aves com uma morfologia adaptada a voos de longo alcance fazendo uso do vento para diminuir a energia despendida no batimento das asas (Furness & Bryant 1996, Pennycuick 2002). Quando viaja com um vento favorável, o gasto de energia de uma ave marinha de médio a grande porte pode ser quase tão baixo quanto o alcançado durante a incubação (Furness & Bryan 1996, Shaffer et al. 2001). Além disso, voando muito perto da superfície do oceano, os custos envolvidos na localização e captura de presas são presumivelmente inferiores aos esperados para outros migradores de longa distância (Dias et al. 2012).

À semelhança das restantes aves marinhas, a maioria dos Procellariiformes nidifica em colónias. Sendo muito selectivos na escolha dos locais de nidificação, elegem locais onde as pressões de predação e outras perturbações são pouco significativas (Hoyo et al. 1992, Hamer et al. 2002). As ilhas são, por excelência, os locais escolhidos para a sua reprodução, nidificando geralmente em locais abertos com pouca ou nenhuma vegetação, como penhascos, falésias e planaltos (Warham 1990). Os casais têm apenas um ovo por ano e, após a eclosão, ambos os progenitores vão para o mar em busca de alimento (Ricklefs 1990). A maioria das espécies aparenta ser monogâmica e filopátrica, ou seja, mantêm o seu parceiro durante toda a vida e tendem a voltar ao local onde nasceram para se reproduzirem (Warham 1990). Os estudos efectuados sugerem que as aves mais velhas regressam à colónia mais cedo e possuem taxas de sucesso mais elevadas, sugerindo que a experiência é um factor vantajoso na reprodução (Hamer et al 2002, Moreno 2003).

As aves marinhas pelágicas constituem o grupo mais ameaçado de todas as aves a nível global (Croxall et al. 2012). As populações deste grupo de aves diminuíram em todo o mundo devido à mortalidade accidental na pesca, degradação do habitat de reprodução, impactos de predadores introduzidos, sobre-exploração dos recursos marinhos, contaminação dos oceanos e, mais recentemente, os efeitos das alterações climáticas (Croxall et al. 2012, Ramírez et al. 2013). No passado, a conservação destas aves baseou-se fundamentalmente no estudo e protecção das suas colónias, devido às ameaças que muitas destas espécies sofrem no meio terrestre (Croxall et al. 2012, Block et al. 2011, Ramírez et al. 2013). Actualmente, os dados provenientes de estudos ligados ao seu seguimento no mar permitem identificar os locais mais intensivamente usados, ajudando a delimitar áreas importantes para a conservação destas aves no mar (Phillips et al. 2008, Lascelles et al. 2012, Le Corre et al. 2012).

O conhecimento sobre os movimentos que estas aves fazem na procura de alimento durante o período reprodutor aumentou consideravelmente nos últimos anos (Catry et al. 2004, Hamer et al. 2007, Phillips et al. 2008, Paiva et al. 2010). Por outro lado, muito menos é conhecido sobre o seu comportamento durante o período não reprodutor, principalmente em espécies pelágicas de pequeno porte (Guilford et al. 2009, Pinet et al 2011a, Zino et al. 2011). Para além disso, existem enormes dificuldades logísticas e, até recentemente, limitações tecnológicas ligadas ao seu estudo, monitorização e seguimento no mar (Shealer 2002).

Entre as aves migradoras marinhas, as espécies da ordem dos Procellariiformes diferem em muitos aspectos da sua ecologia e comportamento, de outros modelos frequentemente utilizados para o estudo da migração de aves (Alerstam & Hedenstrom 1998, Dias et al. 2012). Estas aves são consideradas bons indicadores ecológicos dos

ecossistemas marinhos, pela posição trófica (predadores de topo) e características ecológicas, e a sua distribuição, abundância e movimentos migratórios está condicionada pelos factores ambientais oceanográficos (Einoder 2009).

A gestão e conservação das aves marinhas depende da compreensão das dinâmicas espaciais e temporais, e de como se relacionam com os processos oceanográficos (Block et al. 2011, Ramos & González-Solís 2012, Ramírez et al. 2013). O conhecimento preciso das suas rotas migratórias e dos seus movimentos é crucial para que possamos aplicar medidas de conservação e para o planeamento e gestão de áreas marinhas protegidas (González-Solís et al. 2007, Croxall et al. 2012, Ronconi et al. 2012).

Alma-negra (*Bulweria bulwerii*)

A Alma-negra *Bulweria bulwerii* (Jardine & Selby 1828) é uma ave marinha pelágica, pertencente à família Procellariidae. Esta espécie distribui-se pelos mares tropicais e subtropicais dos oceanos Atlântico e Pacífico (Zonfrillo 1985, Dunlop et al. 1988). A sua distribuição no Oceano Pacífico vai desde a China Oriental e ilhas Bonin até ao Havai, ilhas Fénix e Marquesas (Hoyo et al. 1992). No Atlântico, esta espécie nidifica na Macaronésia, designadamente nos arquipélagos dos Açores, Madeira, Canárias e Cabo Verde (Oliveira & Menezes 2004, Equipa Atlas 2008). Em Cabo Verde a população não excede os 100 casais (Hazevoet 1995) enquanto nas Ilhas Canárias atinge os 1.000 pares (Hernández et al. 1990, Luzardo et al. 2008). No arquipélago dos Açores (limite norte da distribuição desta espécie no Atlântico) existe apenas uma colónia com cerca de 45 a 48 casais (Equipa Atlas 2008). Apesar da ausência de quantificação, no arquipélago da Madeira, e em particular nas Desertas e nas Selvagens, esta espécie é extremamente abundante, sendo actualmente os locais mais importantes de nidificação da Alma-negra no Atlântico Nordeste, representando mais de 90% da população do Atlântico (Tucker & Heath 1994).

Como todos os membros da ordem dos Procellariiformes, a Alma-negra é uma ave marinha pelágica, isto é, vive em permanência no mar, vindo apenas a terra firme durante a reprodução, a qual decorre entre Abril e Setembro (Ramos & Trujillo 2004). Esta ave marinha de pequenas dimensões (peso médio 98 g; Figura 1) reproduz-se colonialmente em ilhas isoladas (Monteiro et al. 1996), e os seus ninhos são geralmente cavidades em muros de rochas ou buracos no solo (Ramos & Trujillo 2004, BirdLife International 2014). No Atlântico, nomeadamente nas ilhas Desertas e Selvagens e também nos Açores, a sua

biologia da reprodução foi estudada com algum detalhe (Monteiro et al. 1996, Nunes & Vicente 1998, Pinto 2013).

Os adultos chegam às colónias em finais de Abril, e têm uma postura de um único ovo no início de Junho, relativamente síncrone entre as aves da colónia (Monteiro et al. 1996, Nunes & Vicente 1998, Pinto 2013). O período de incubação de 45 dias é partilhado por ambos os progenitores em turnos que duram entre 7 a 10 dias. Os ovos eclodem em meados de Julho, e após esse período, ambos os progenitores efectuam viagens em busca de alimento (Hoyo et al. 1992), regressando apenas a terra durante a noite (Zonfrillo 1985, Mougeot & Bretagnolle 2000). No final de Setembro, as crias e os adultos abandonam a colónia (Zonfrillo 1985).



Figura 1. Adulto de Alma-negra na Selvagem Grande, Madeira

A Alma-negra é um predador essencialmente nocturno (Spear et al. 2007), com um possível pico de actividade de alimentação durante o crepúsculo (Monteiro et al. 1996). Embora a dieta desta espécie no Atlântico seja pouco conhecida, estudos recentes indicam

que é constituída essencialmente por cefalópodes e peixes mesopelágicos (sobretudo das famílias Myctophidae e Sternoptychidae) (Neves et al. 2011, Carvalho 2012).

Globalmente, a espécie é classificada como “Pouco Preocupante” (BirdLife International 2014). No entanto, a nível europeu é considerada SPEC3 e Rara, significando que é uma *Species of European Conservation Concern* que tem um estatuto de conservação desfavorável na Europa mas cuja população global não está concentrada neste continente (Tucker & Heath 1994). No arquipélago dos Açores e nas ilhas Canárias encontra-se “Em Perigo”, devido à reduzida área de ocupação e um declínio continuado da extensão e qualidade do seu habitat (Ramos & Trujillo 2004, Almeida et al. 2008). Nas Canárias, os predadores introduzidos (como os ratos e os gatos) têm um impacto negativo nas colónias (Luzardo et al. 2008); outras potenciais fontes de ameaça à espécie são a pressão turística e o desenvolvimento urbano que diminuem a disponibilidade de áreas costeiras naturais (Ramos & Trujillo 2004). Para além disso, a iluminação das áreas urbanas induz a desorientação de aves juvenis nos primeiros voos (Luzardo et al. 2008).

Embora seja localmente abundante no arquipélago da Madeira, a distribuição das populações reprodutoras de Alma-negra do Atlântico Norte durante o período não-reprodutor é praticamente desconhecida, presumindo-se apenas que possam deslocar-se até ao sudeste da costa brasileira (Zino et al. 2013, Beneharo et al. 2013).

Tal como no caso de outras aves marinhas, nas últimas décadas, a conservação desta ave baseou-se fundamentalmente no estudo e protecção das suas colónias, devido às ameaças que muitas destas espécies sofrem no meio terrestre (como a predação dos seus ninhos por espécies introduzidas pelo Homem ou perda de habitat), mas também pelas enormes dificuldades logísticas e técnicas ligadas ao seu estudo, monitorização e seguimento no mar.

Objectivos

Neste estudo, os principais objectivos foram 1) conhecer a distribuição no mar da Alma-negra *Bulweria bulwerii* durante o período não-reprodutor, 2) compreender as relações entre as condições oceanográficas e as áreas de invernada desta espécie e 3) caracterizar o comportamento da Alma-negra durante a sua viagem migratória e nos locais de invernada.

II. Movimentos migratórios da Alma-negra

Introdução

As técnicas de seguimento remoto de aves revolucionaram a compreensão dos padrões de distribuição e do comportamento no mar de várias espécies de aves marinhas pelágicas ao longo das duas últimas décadas (Burger & Shaffer 2008, Dias et al. 2012). Através destas, é possível saber como é que muitas espécies utilizam o vastíssimo ambiente marinho para encontrar alimento, e qual a influência de fenómenos oceanográficos na sua distribuição (Magalhães et al. 2008, Paiva et al. 2010). A melhoria contínua destas ferramentas tem sido fundamental para a conservação de Procellariiformes no mar, por exemplo, ao contribuir para a identificação de áreas usadas consistentemente por um elevado número de aves (*hotspots*), as quais têm sido designadas como Áreas Marinhas Protegidas (Ropert-Coudert & Wilson 2005, Phillips et al. 2007, Croxall et al. 2012).

No entanto, o peso dos dispositivos colocados nos animais tem limitado a sua utilização generalizada, e a grande maioria dos estudos têm sido focados apenas em espécies de médio ou grande porte, uma vez que o seu peso não deve representar mais do que 3% do da ave (Phillips et al. 2003, Burger & Shaffer 2008). O recente avanço na miniaturização destes aparelhos tem permitido a sua aplicação em diferentes espécies de aves marinhas, tornando possível identificar de forma precisa os percursos dos indivíduos e a sua actividade no mar (Guilford et al. 2009, Pollet et al 2014). Contudo, existem ainda muito poucos estudos sobre os movimentos migratórios, padrões de distribuição e comportamento alimentar de aves pelágicas de pequenas dimensões, como é o caso da espécie em estudo, a Alma-negra (Guilford et al. 2009, Zino et al 2013, Pollet et al 2014).

As observações já existentes sugerem claramente que a Alma-negra está entre as mais pelágicas de todas as aves marinhas nas águas da Madeira (Oliveira & Menezes 2004), sendo que os estudos sobre as rotas migratórias e movimentos da espécie no mar são escassos (Mougin & Mougin 2000, Beneharo et al. 2013, Zino et al 2013).

A heterogeneidade que o ambiente oceânico apresenta do ponto de vista físico e químico, tem efeitos directos no modo como os recursos biológicos se distribuem (Weimerskirch 2007). Na verdade, a abundância e distribuição dos seres vivos dependentes do meio marinho apresenta uma variabilidade temporal e espacial, que é influenciada por diferentes factores bióticos e abióticos (Donaghay et al. 1991, Fauchald 2009, Ramírez et al. 2013). A produtividade no meio marinho decresce latitudinalmente em direcção ao equador,

sendo os ambientes marinhos tropicais comparativamente mais pobres (Paiva et al. 2010). No entanto, no Atlântico Norte, este padrão é interrompido por fenómenos subaquáticos como frentes oceânicas (Fernández & Pingree 1996) e montes submarinos (Morato et al. 2008), que aumentam localmente a produtividade.

As aves marinhas estão entre os organismos mais móveis (Fauchald 2009, Dias et al. 2012), e os seus movimentos estão frequentemente associados a processos oceânicos específicos associados a um aumento da produtividade marinha (e.g. sistemas de *upwelling*) (Wilson et al. 2002, Weimerskirch 2007, Burger & Shaffer 2008). Combinando informações sobre a localização destas aves durante o período não-reprodutor com parâmetros oceânicos, como a temperatura da superfície do mar, a concentração de clorofila *a* e a batimetria é possível aumentar muito o conhecimento sobre os seus requisitos de habitat, e criar modelos preditivos da sua ocorrência no mar (McGowan et al. 2013, Ramírez et al. 2013, Pollet et al. 2014).

As características peculiares destas aves e o nosso conhecimento ainda relativamente escasso do meio pelágico requerem um esforço adicional de recolha de informação e de definição de critérios adequados na escolha de locais apropriados para a sua proteção no mar (González-Solís et al. 2007, Croxall et al. 2012, Ronconi et al. 2012). Desta forma, os dados de seguimento da Alma-negra serão uma contribuição fundamental para identificar *hotspots* de biodiversidade nos ecossistemas marinhos e para o planeamento de medidas de conservação, não só para a espécie em estudo, mas também para outros Procellariiformes de pequenas dimensões.

Metodologia

Área de estudo

O trabalho de campo foi efectuado na Selvagem Grande (30° 09'N, 15° 52'W) em duas épocas de nidificação (2012 e 2013). A Selvagem Grande é a maior das três ilhas que constituem o arquipélago das Ilhas Selvagens (Selvagem Grande, Selvagem Pequena e Ilhéu de Fora), parte integrante da Região Autónoma da Madeira, que se encontra a sudeste da Madeira e a norte das ilhas Canárias no Oceano Atlântico Nordeste, a aproximadamente 163 e 82 milhas náuticas destas, respectivamente (Granadeiro et al. 2006, Serviço do Parque Natural da Madeira 2014; Figura 2). Esta ilha de origem vulcânica tem cerca de 260 hectares (Granadeiro et al. 2006), e é composta por um extenso planalto rodeado por falésias (Granadeiro et al. 2006, Serviço do Parque Natural da Madeira 2014). Localiza-se

num sistema oceânico pouco produtivo, com uma temperatura da superfície do mar relativamente elevada e baixos índices de clorofila a (Paiva et al. 2010, Alonso et al. 2012). O clima subtropical da Selvagem Grande é extremamente seco e com temperaturas mais elevadas do que a ilha da Madeira (Serviço do Parque Natural da Madeira 2014).

O arquipélago das Ilhas Selvagens foi a primeira área em Portugal a ser classificada como uma Reserva Natural, em 1971 (Serviço do Parque Natural da Madeira 2014). É também classificada como

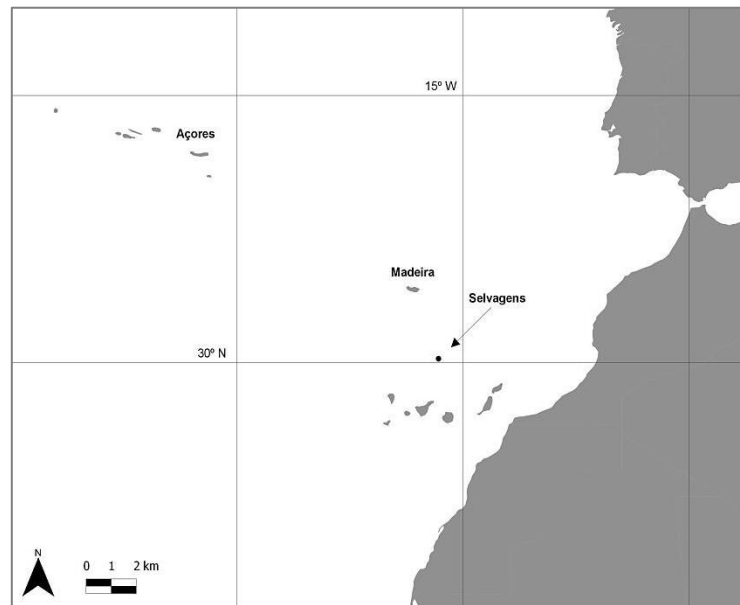


Figura 2. Localização das ilhas Selvagens

Important Bird Area (IBA) (Costa et al. 2003). Esta área pertence à Rede Natura 2000 desde 2001 (Serviço do Parque Natural da Madeira 2014), sendo classificada como uma Zona de Protecção Especial ao abrigo da Directiva Aves e como Zona Especial de Conservação ao abrigo da Directiva Habitats (Serviço do Parque Natural da Madeira 2014).

A Selvagem Grande é considerada um local de nidificação de grande importância para as aves marinhas da Macaronésia e Atlântico Norte, devido às condições únicas e peculiares que possui (Serviço do Parque Natural da Madeira 2014). Para além da espécie em estudo, conhecem-se cinco espécies da avifauna marinha nidificante: a Cagarra *Calonectris borealis*, o Calcamar *Pelagodroma marina hypoleuca*, o Roque-de-castro *Oceanodroma castro*, o Pintainho *Puffinus assimilis baroli* e a Gaivota-argêntea *Larus michahellis* (Campos & Granadeiro 1999, Serviço do Parque Natural da Madeira 2014). Esta ilha alberga a maior colónia do mundo de Cagarra, estimada em cerca de 30.000 casais (Granadeiro et al. 2006).

Este local não possui nenhuma espécie de mamíferos terrestres nativos (Serviço do Parque Natural da Madeira 2014), mas pode-se encontrar vários endemismos de flora e de fauna quer de invertebrados quer de vertebrados.

A sua localização geográfica, o isolamento e as condições de colonização muito difíceis tornam a Selvagem Grande um local com um elevado interesse de conservação (Serviço do Parque Natural da Madeira 2014).

Amostragem

Foram colocados aparelhos de geolocalização (ou *geolocators*) em 22 Almas-negras durante o mês de Agosto de 2012 e em 12 aves em Agosto de 2013, coincidindo este mês com as últimas etapas do período de reprodução. Estes aparelhos foram recuperados em Junho/Julho do ano seguinte à sua colocação, respectivamente 20 em 2013 e 8 em 2014. Apenas um dos indivíduos foi seguido nos dois anos consecutivos.

As aves foram capturadas à mão nos seus ninhos, e colocados os *geolocators* com 1.2 g (Biotrack, modelo mk5093) no tarso de cada ave, usando uma anilha de plástico e uma abraçadeira (Figura 3). O *geolocator* representa 0.9 a 1.5% da massa de um adulto, que é menor do que o limite máximo recomendado de 3% sobre a massa total da ave (Phillips et al. 2003).



Figura 3. Colocação do *geolocator* mk5093 na pata de uma Alma-negra; Escala do aparelho

O tempo de manuseamento de cada ave para colocação e recuperação do *geolocator* foi o mais curto possível, minimizando assim o stress que este pudesse causar nas aves. Estudos anteriores com outros Procellariiformes mostraram que estes dispositivos não influenciam negativamente o seu sucesso reprodutor, nem a probabilidade do seu retorno à colónia para se reproduzirem (Iguar et al. 2005, Dias et al. 2012). Todo o trabalho de campo foi aprovado pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas e do Serviço do Parque Natural da Madeira.

Análise dos dados de geolocalização

Os *geolocators* registam níveis de luz máxima em intervalos de 10 minutos, a partir dos quais é posteriormente estimado o momento do pôr do sol e do nascer do sol e calculadas as posições de cada ave duas vezes por dia, com uma precisão aproximada de 185 ± 115 km (Phillips et al. 2004, Fox 2010). A precisão dessa técnica é afetada por vários fatores, incluindo a estação do ano, a latitude, a nebulosidade, a interferência de fontes de luz artificiais, ou alterações na orientação do sensor, entre outros (Phillips et al. 2004). Além disso, para cada 2-3 semanas em torno de cada equinócio, quando a duração do dia é aproximadamente igual em todos os locais, o cálculo da latitude é pouco confiável ou mesmo impossível (a longitude não é afetada pelo equinócio) (Fox 2010).

Numa primeira etapa, os dados recolhidos foram descarregados através do *software* “Communicate” (British Antarctic Survey [BAS], Cambridge) e posteriormente descompactados, utilizando o *software* “Decompressor” (BAS). Os dados de luz foram analisados utilizando o *software* “TransEdit2” (BAS), de modo a verificar a integridade das curvas de luz e estimar os momentos do amanhecer e do anoitecer (que se considerou ocorrerem quando a intensidade de luz foi igual a 10, numa escala arbitrária que varia entre 0 e 64; Figura 4). De seguida foi utilizado o *software* Birdtrack para estimar a latitude a partir da duração do dia, e a longitude a partir da hora do meio-dia local em relação ao meio-dia no meridiano de Greenwich (British Antarctic Survey 2008). O ângulo de elevação do sol correspondente à intensidade de luz 10 (i.e., aos momentos do nascer e pôr do sol; ver acima) foi definido para cada indivíduo com base nas posições recolhidas durante o período da reprodução (as quais são conhecidas, uma vez que os movimentos da ave se encontram relativamente limitados às proximidades da colónia), e variou entre -2 e -4.5.

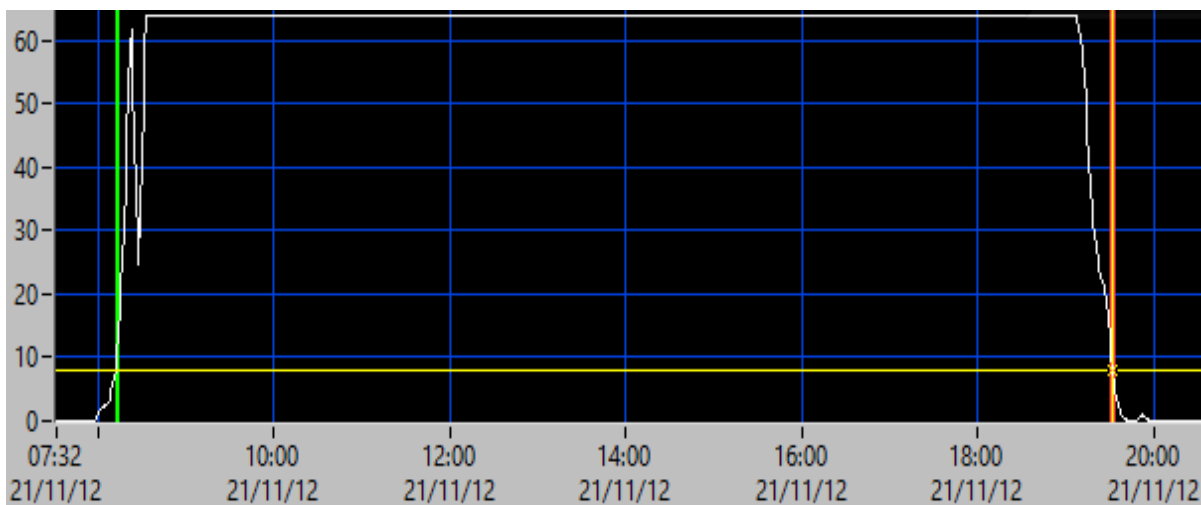


Figura 4. Exemplo do processo de análise dos dados de luz de um dia no *software* TransEdit2. O tempo está representado no eixo do xx e a intensidade da luz no eixo do yy. As linhas verticais verde e vermelha representam o nascer do sol e pôr do sol para uma intensidade de luz = 10, respectivamente

As localizações das aves foram todas inspecionadas no *software* Quantum GIS (n=7716 em 2012/2013 e n=4306 em 2013/2014); as localizações visivelmente errôneas (a maioria por terem sido recolhidas durante os equinócios, ou por derivarem de curvas de luz de má qualidade) foram removidas da amostra (Phillips et al. 2004, Fox 2010).

Foram considerados como dias de migração activa aqueles nos quais o movimento do indivíduo foi claramente direcional, registados imediatamente após a saída da colónia na migração pós-nupcial (i.e., data a partir da qual não foram detectadas mais posições num raio de 200 km em redor desta) ou antes da chegada à colónia durante a migração pré-nupcial. Quando necessário (por exemplo, por coincidirem com os períodos de equinócio), a estimativa das datas de saída/chegada à colónia e às áreas de invernada foi apenas baseada na variação da longitude, a qual não é afetada pelo equinócio (Fox 2010).

Análise estatística

Foram identificadas as áreas de invernada individuais usando mapas de distribuição de densidade de Kernel. O método de Kernel (Worton 1989) trata-se de uma técnica não paramétrica, que calcula a função densidade de probabilidade de ocorrência do animal no espaço, a partir da concentração das localizações (Powell 2000). A partir dos dados de geolocalização, construíram-se mapas de distribuição de densidade de Kernel de 50% com um parâmetro de alisamento (h) de 200 km (Powell 2000, Phillips et al. 2004, BirdLife Internacional 2010).

Para calcular a área de invernada, foi considerado apenas o período de Novembro a Janeiro, durante o qual o movimento das aves está relativamente circunscrito (i.e., não se verificaram movimentos migratórios da ou para a colónia). Foi também calculada, em dias, a duração da migração pós-nupcial, a duração da migração pré-nupcial e a duração do período de invernada. Alguns indivíduos fizeram movimentos em maior escala durante o período de invernada; nestes casos, as datas de chegada/saída às/das áreas de invernada foram consideradas como as datas de chegada à primeira área de invernada principal e a data de partida da última. Foram realizadas Análises de variância (ANOVA) de forma a perceber se o sucesso reprodutor dos indivíduos influenciou as datas de saída da colónia e chegada às áreas de invernada (apenas no ano de 2012). Os dados relativos ao sucesso reprodutor das aves estudadas em 2012/2013 foram obtidos num estudo em paralelo, nessa colónia (Pinto 2013).

Para caracterizar as condições oceanográficas nas áreas de invernada da Alma-negra, foram criados mapas que relacionam estas áreas com os seguintes parâmetros

oceanográficos: batimetria (m) e concentração de clorofila *a* (m^{-3} mg). Os valores de profundidade média do mar das áreas usadas pelas Almas-negras durante o inverno foram estimados calculando, para cada localização, o valor mais próximo de batimetria. O mesmo procedimento foi realizado para os valores médios de clorofila *a* no mar. Foram considerados 3 diferentes regimes de produtividade baseados nos valores de clorofila *a*: oligotrófico (clorofila *a* < 0.1 mg m^{-3}), mesotrófico (clorofila *a* = 0.1 to 0.3 mg m^{-3}) e eutrófico (clorofila *a* = 0.3 to 1 mg m^{-3}) (Kahru & Mitchell 2000). Os dados de batimetria foram obtidos através de <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>, com uma resolução de 1 arco-minuto, e os valores de clorofila *a* nos meses de Novembro a Janeiro através de <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni> (Aqua MODIS), com uma resolução espacial de 9 km.

Para todos os testes estatísticos foi considerado um nível de significância de 0.05 e as médias encontram-se representadas com os respectivos desvios padrões (média \pm DP). As análises foram realizadas utilizando o *software* R (R Development Core Team 2013) e o *software* de sistema de informação geográfica QuantumGis 1.8.0 (QGIS Development Team 2013).

Resultados

Recuperação dos geolocators

Dos 22 *geolocators* colocados no final da época reprodutora de 2012, 20 foram recuperados no início da época reprodutora de 2013 (taxa de recuperação de 90%). Em 2014 foram recuperados 8 *geolocators* dos 12 colocados em 2013 (taxa de recuperação de 66%). Um destes *geolocators* falhou o descarregamento (*download*) dos dados.

A média do número de localizações obtidas por indivíduo na época de 2012/2013 foi de 429 ± 158.4 e de 615 ± 31.5 para a época de 2013/2014. Os aparelhos recuperados em 2013 ($n=20$) duraram, em média, 210 dias (min: 83-máx: 324); apenas 7 dos 20 continham dados para todo o período não reprodutor (Tabela 1); um dos *geolocators* falhou ainda na colónia, não sendo considerado para a análise da migração. Os *geolocators* recuperados e descarregados em 2014 ($n=7$) duraram, em média 307 dias (min: 296-máx: 320).

Fenologia migratória da Alma-negra

Em 2012, as Almas-negras saíram da colónia entre meados de Agosto e finais de Setembro, e levaram aproximadamente 10 dias para chegar às principais áreas de

invernada (Tabela 1). Em 2013, os indivíduos estudados partiram da colônia entre meados de Agosto e Setembro, e levaram aproximadamente 13 dias a chegar às áreas de invernada (Tabela 1). Em ambos os anos (2013 e 2014), as aves deixaram as áreas de invernada em meados de Abril, e chegaram à Selvagem Grande aproximadamente 6 dias depois (Tabela 1). Os indivíduos que falharam a reprodução em 2012, deixaram a colônia e chegaram às principais áreas de invernada mais cedo que aqueles que apresentaram sucesso reprodutor no mesmo ano (ANOVA: efeito do sucesso reprodutor nas datas de saída da colônia e chegada às áreas de invernada; $F_{1,17}=39.05$, $p<0.001$ e $F_{1,18}=33.41$, $p<0.001$, respectivamente; Figura 4).

Tabela 1. Fenologia migratória da Alma-negra da Selvagem Grande, em dois ciclos anuais.

	2012/2013			2013/2014		
	Média ± SD	Min-Máx	n	Média ± SD	Min-Máx	n
Saída da colônia (todos os indivíduos)	10 Set ± 10 d	12 Ago – 24 Set	20	25 Ago ± 16 d	12 Ago – 18 Set	7
Com sucesso reprodutor	14 Set ± 5 d	4 Set – 24 Set	17	n.d.	n.d.	-
Sem sucesso reprodutor	21 Ago ± 10 d	12 Ago – 1 Set	3	n.d.	n.d.	-
Chegada à área de invernada (todos os indivíduos)	20 Set ± 12 d	17 Ago – 05 Out	19	07 Set ± 13 d	27 Ago – 29 Set	7
Com sucesso reprodutor	24 Set ± 7 d	12 Set – 05 Out	16	n.d.	n.d.	-
Sem sucesso reprodutor	29 Ago ± 11 d	17 Ago – 08 Set	3	n.d.	n.d.	-
Saída da área de invernada	16 Abr ± 5 d	11 Abr – 23 Abr	7	15 Abr ± 8 d	07 Abr – 26 Abr	7
Chegada à colônia	23 Abr ± 4 d	18 Abr – 30 Abr	7	21 Abr ± 7 d	15 Abr – 30 Abr	7
Duração da migração pós-nupcial	9.65 d ± 4.77d	5 – 23	19	13.14 d ± 5.70 d	5 – 24	7
Duração do período de invernada	209.29 d ± 10.89 d	197 – 227	7	220.57 d ± 11.34 d	204 – 236	7
Duração da migração pré-nupcial	6.43 d ± 2.51 d	4 – 10	7	6.57 d ± 1.90 d	4 – 10	7

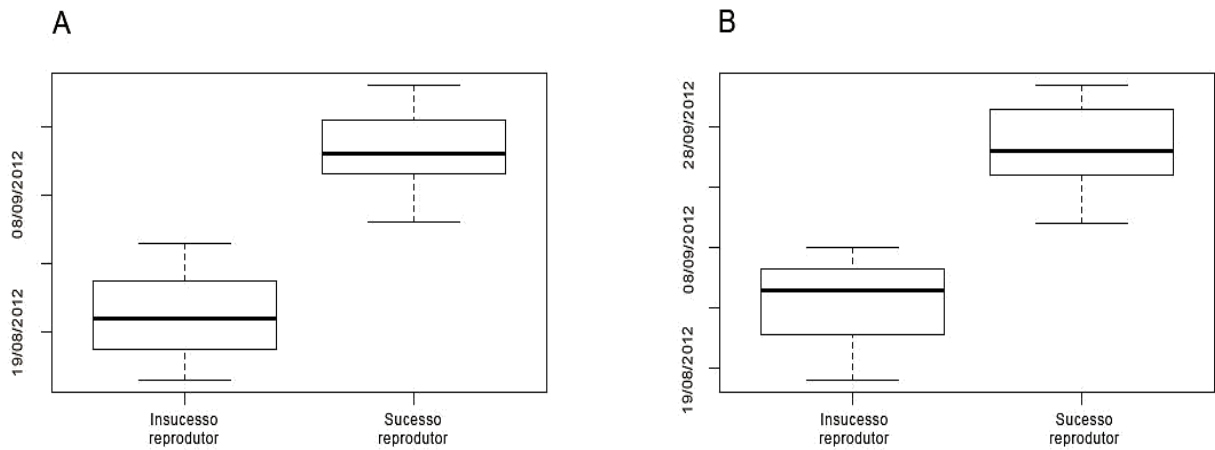


Figura 4. Diferenças nas datas de saída da colônia (A)/chegada à área de invernada (B) entre os indivíduos que apresentaram insucesso reprodutor e sucesso reprodutor

Distribuição da Alma-negra no mar

No final da época de reprodução de 2012, todas as aves migraram para sudoeste (n=19), principalmente para águas profundas no Atlântico tropical, entre as latitudes 20° N e 30° S (Figura 5).

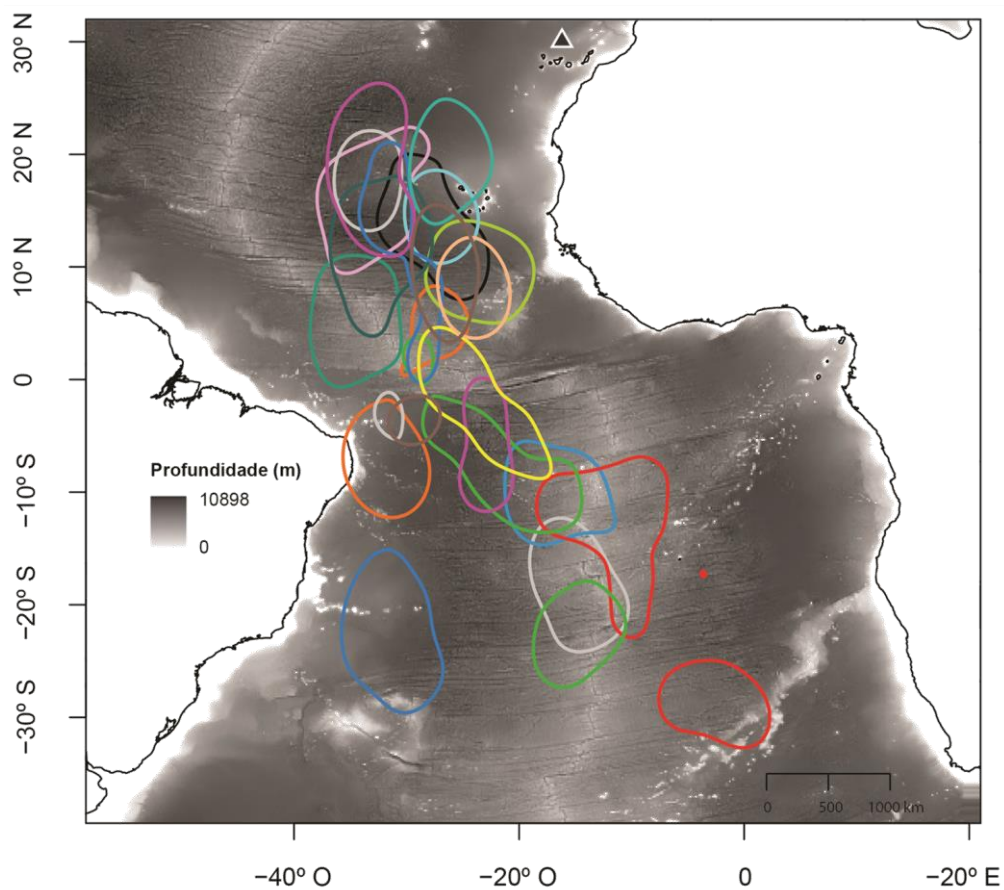


Figura 5. Distribuição de 19 indivíduos de Alma-negra da Selvagem Grande, durante o período não-reprodutor. A densidade de Kernel (50%) de cada indivíduo está representada em diferentes cores, entre os meses de Novembro e Dezembro de 2012 e Janeiro de 2013. O triângulo indica a localização da colónia.

A maioria dos indivíduos ($n=15$) invernaram a norte do paralelo 15° S, em zonas pelágicas do Atlântico equatorial, e apenas 4 migraram mais para sul (Figura 5).

Um padrão semelhante foi verificado para os indivíduos seguidos em 2013, em que a maioria ($n=5$) invernou a norte de 15° S de latitude, e apenas 2 aves migraram para águas mais a sul (Figura 6).

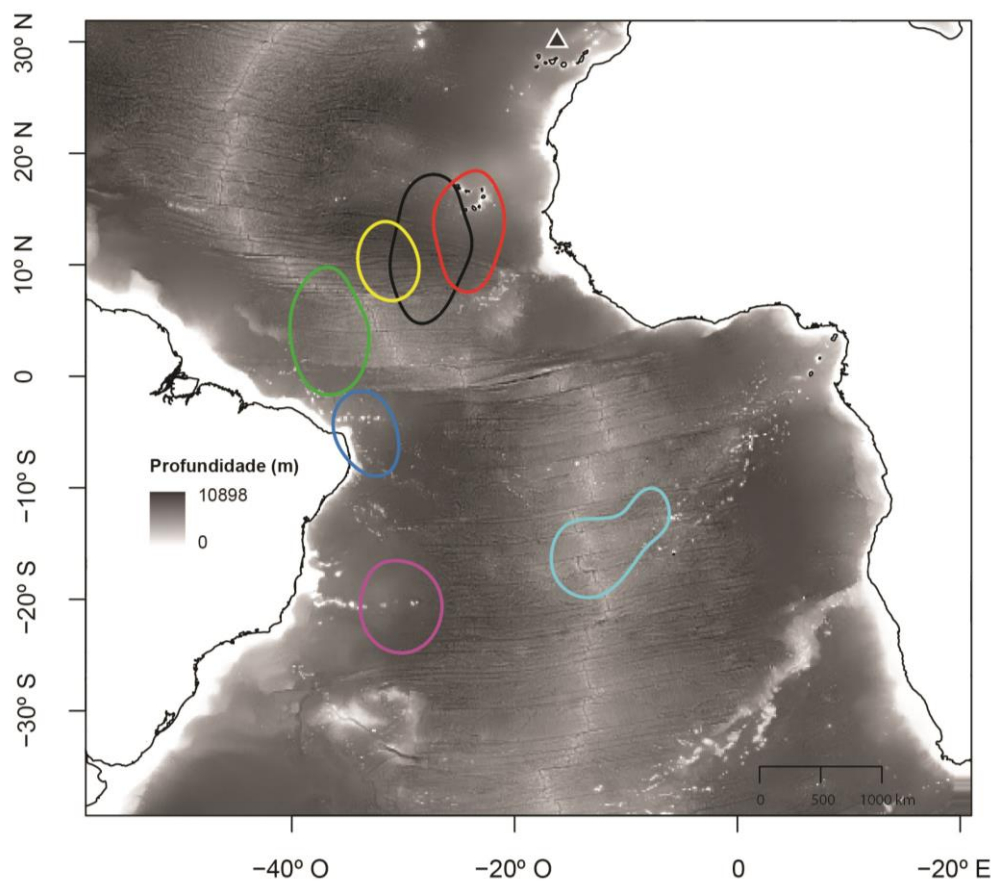


Figura 6. Distribuição de 7 indivíduos de Alma-negra da Selvagem Grande, durante o período não-reprodutor. A densidade de Kernel (50%) de cada indivíduo está representada em diferentes cores, durante os meses de Novembro e Dezembro de 2013 e Janeiro de 2014. O triângulo indica a localização da colónia.

A única ave seguida nos dois anos consecutivos invernou aproximadamente na mesma área, localizada no Atlântico equatorial (Figura 7).

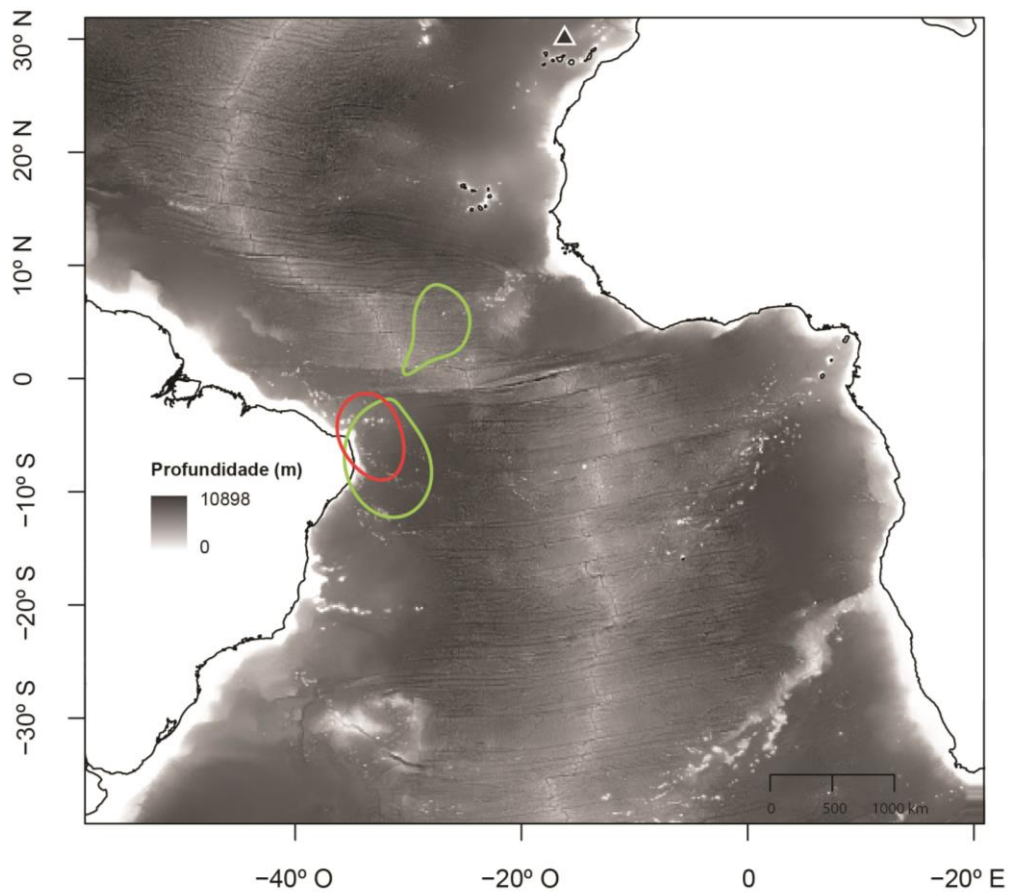


Figura 7. Distribuição de um indivíduo em dois períodos não-reprodutores. A densidade de Kernel (50%) está representada em diferentes cores para os dois períodos de invernada (o verde e vermelho correspondem ao primeiro e segundo período não-reprodutor, respectivamente). O triângulo indica a localização da colônia.

As aves marcadas em 2012 viajaram, em média, 3790 ± 1342 km (distância mínima: 2075 km-distância máxima: 6048 km) e as aves marcadas em 2013 percorreram, em média, 3896 ± 1357 km (distância mínima: 2372 km-distância máxima: 5955 km) até às principais áreas de invernada.

Caracterização das áreas de invernada

A maioria dos indivíduos invernou em zonas marinhas de profundidade elevada (Figuras 5 a 8). A média da profundidade do mar nas áreas de invernada das Alma-negras seguidas em 2012/2013 foi de 4652 ± 741 m (médias individuais variam de 3993 ± 606 m e 5179 ± 464 m). Para os indivíduos seguidos no período não-reprodutor de 2013/2014 a média da profundidade mar foi de 4359 ± 902 m (médias individuais variam de 3535 ± 426 m e 5230 ± 449 m).

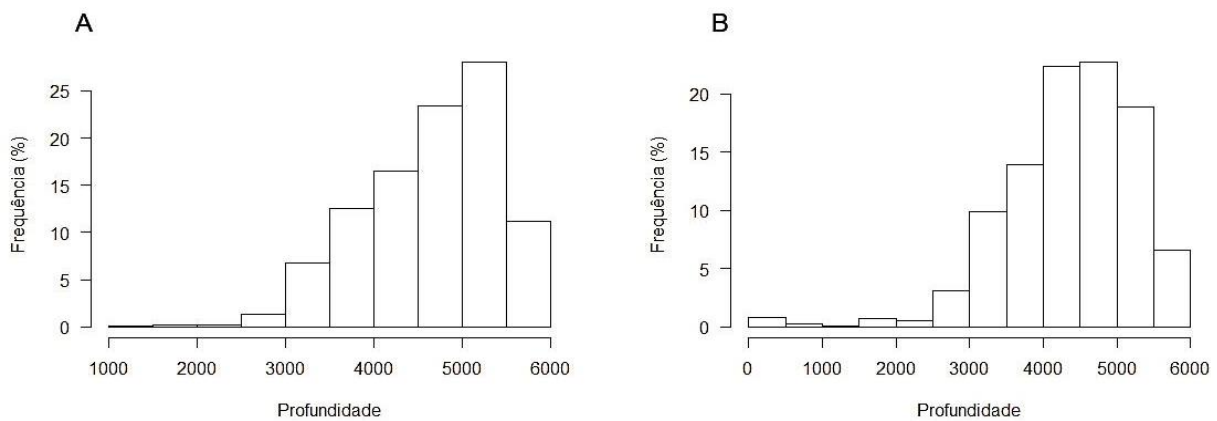


Figura 8. Profundidade (em metros) das áreas utilizadas pelas Almas-negras durante o período de invernada em 2012/2013 (A) e 2013/2014 (B)

Os indivíduos que migraram para áreas localizadas a norte do paralelo 15° S ($n=15$) invernaram em águas mesotróficas, enquanto que os que foram mais para sul passaram o inverno em áreas oligotróficas (Figuras 9 e 10).

A média da concentração de clorofila *a* nas áreas utilizadas pelas Almas-negras durante o período de invernada em 2012/2013 foi de 0.1 ± 0.06 mg m^{-3} (Figura 10; médias individuais variaram de 0.06 ± 0.02 mg m^{-3} e 0.14 ± 0.1 mg m^{-3}). Relativamente aos indivíduos seguidos no período não-reprodutor de 2013/2014 a média da concentração de clorofila *a* nas áreas de invernada foi de 0.1 ± 0.07 mg m^{-3} (médias individuais variaram entre 0.05 ± 0.02 mg m^{-3} e 0.18 ± 0.1 mg m^{-3}).

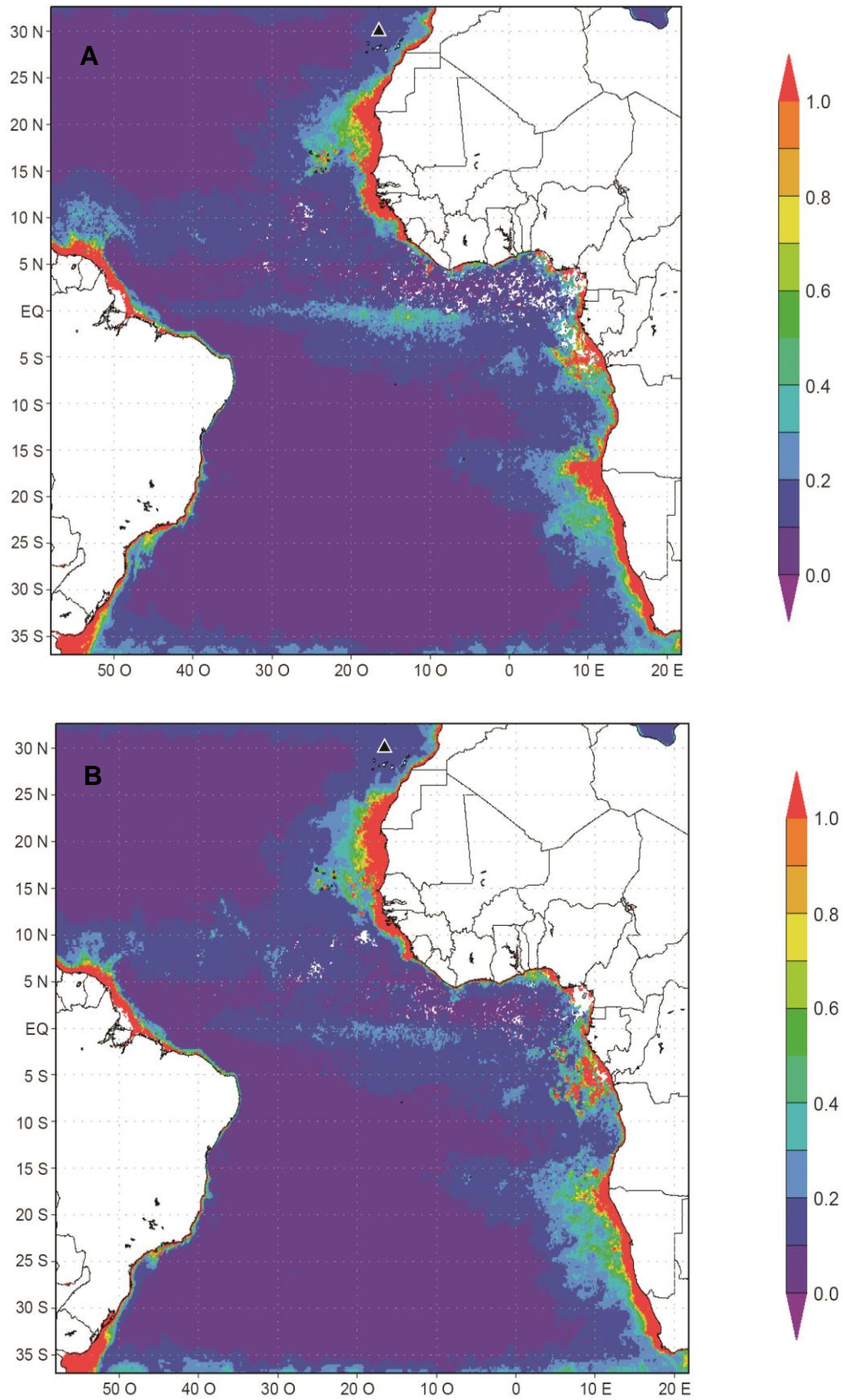


Figura 9. Concentração de clorofila a (mg m^{-3}) no oceano Atlântico tropical durante a época não-reprodutora de 2012/2014 (A) e de 2013/2014 (B)

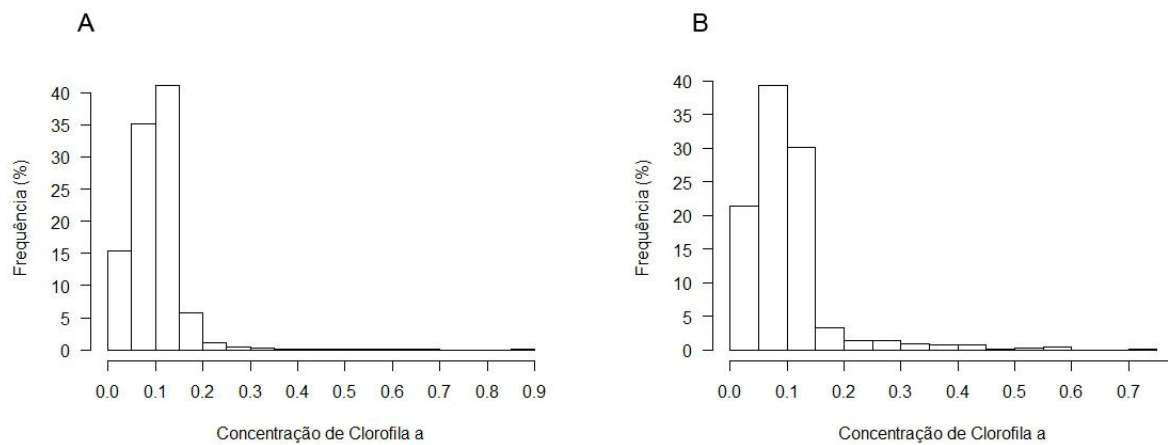


Figura 10. Concentração de clorofila *a* (mg m⁻³) nas áreas utilizadas pelas Almas-negras durante o período de invernada em 2012/2013 (A) e 2013/2014 (B)

Discussão

Os *geolocators* não parecem ter tido um impacto negativo sobre os indivíduos estudados, tendo em conta a alta taxa de retorno à colónia das aves estudadas (semelhante a outros Procellariiformes de pequeno e médio porte; e.g. Ramos et al. 2012) e o sucesso reprodutor (85% em 2012, que é semelhante aos valores registados em estudos anteriores realizados nessa colónia e em outras nas proximidades; Nunes & Vicente 1998, Pinto 2013).

Foi encontrada alguma variabilidade entre os indivíduos estudados na data de partida da colónia. A data média de saída da colónia em 2013 foi relativamente mais cedo que a data de saída em 2012. Esta diferença pode advir do facto de três dos indivíduos de 2013 terem saído mais cedo por terem falhado a reprodução. Sendo a amostra total desse ano de apenas 7 aves, os três indivíduos referidos tiveram bastante peso na análise da data média de saída da colónia. De facto, os resultados mostram que as aves que falharam a reprodução em 2012 deixaram a colónia e chegaram às áreas de invernada significativamente mais cedo do que as aves que apresentaram sucesso reprodutor, contrastando com o padrão revelado para outros Procellariiformes, como a Cagarra e Freira de Barau *Pterodroma barauí*, em que o sucesso reprodutor não influenciou o tempo de chegada às áreas de invernada (Catry et al. 2013, Pinet et al 2011a).

Em contraste, as datas relacionados com a migração pré-reprodutora parecem ser mais consistentes entre as aves, sendo que em ambos os anos as aves deixaram as áreas de invernada em meados de Abril e chegaram à Selvagem Grande aproximadamente 6 dias depois (de notar, no entanto, que o tamanho da amostra durante esta fase é bastante inferior; ver Tabela 1). Esta chegada à colónia foi cerca de seis semanas antes da data de postura, que ocorre no início de Junho (Monteiro et al. 1996, Nunes & Vicente 1998, Pinto 2013). As Almas-negras passaram um período relativamente longo distantes das águas envolventes à Selvagem Grande nos dois anos (209 e 221 dias, em média, respectivamente), especialmente quando comparadas com outras espécies de Procellariiformes desta colónia ou adjacentes, tais como a Cagarra, a Freira da Madeira *Pterodroma madeira* e a Freira do Bugio *Pterodroma deserta* (Dias et al. 2011, Zino et al. 2011, Ramírez et al. 2013).

As aves marinhas da ordem dos Procellariiformes, dependem, em grande parte, do vento para um voo eficiente, estando directamente relacionado com o custo energético envolvido na procura de alimento (Wilson 1975, Weimerskirch et al. 2000, Pennycuick 2002). Para algumas espécies de aves marinhas pelágicas, como a Cagarra, a data de partida da colónia e chegada às áreas de invernada é fortemente influenciada pelas condições de vento na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Weber & Hedenström 2000, Felicísimo

et al. 2008). As condições de ventos nessa área (latitudes entre 10° e 20° N) bloqueiam a passagem desta espécie para sul nos meses de Verão (Maio a Setembro), durante o pico da Monção Africana (Grodsky & Carton 2003, Felicísimo et al. 2008), atrasando assim a sua migração para o final de Outubro e início de Novembro (Grodsky & Carton 2001, Felicísimo et al. 2008, Dias et al. 2011, 2013). As Cagarras voam muito perto da superfície do oceano usando o vento para deslizar sobre as ondas, limitando a sua capacidade de seleccionar outras altitudes de voo com ventos mais favoráveis (Felicísimo et al. 2008). Em contraste, as Almas-negras atravessaram a ZCIT logo após a sua época de reprodução, sugerindo assim que a variação sazonal desta zona pode não ter uma forte influência para as espécies marinhas pelágicas de menores dimensões.

No final da época de reprodução, todas as Almas-negras migraram para Sul, evitando áreas de costa ou perto da plataforma costeira, passando o inverno exclusivamente em zonas oceânicas profundas. A maioria dos indivíduos estudados invernaram em águas do Atlântico equatorial, e os restantes mais a sul, perto da costa nordeste e sudeste do Brasil e a sudeste do Atlântico Tropical, mostrando variabilidade a nível populacional na escolha da área de invernada. Este padrão foi consistente nos dois anos de estudo da época não-reprodutora. A variação entre indivíduos da mesma colónia na escolha das áreas utilizadas durante o período não-reprodutor foi descrita para várias espécies de Procellariiformes (Phillips et al. 2005a, Shaffer et al. 2006, González-Sólis et al. 2007). Além disso, o indivíduo marcado nas duas épocas de reprodução subsequentes demonstrou preferência pelo mesmo local de invernada, também á semelhança do verificado em outras espécies de aves marinhas, como o Albatroz-de-sobrancelha *Thalassarche melanophrys* (Phillips et al. 2005b).

Neste estudo, todos os indivíduos estudados passaram a maior parte da época não-reprodutora em águas profundas do Atlântico Tropical, raramente em áreas com menos de 3000 m de profundidade. Isto pode estar relacionado com o facto destas aves serem predadoras de espécies de peixes e lulas que habitam a zona mesopelágica da coluna de água, a profundidades entre 200 m e 1000 m (Zonfrillo 1985, Neves et al. 2011, Carvalho 2012), as quais tendem a ser extremamente abundantes em zonas profundas longe das plataformas continentais (Salvanes & Kristoffersen 2001, Smith & Heemstra, 2003, Catul et al. 2011). Estas espécies mesopelágicas fazem migrações verticais até à superfície do oceano durante a noite, quando são presumivelmente capturadas pelas Almas-negras (Neumann 1981, Gliwicz 1986, deBruyn & Meeuwig 2001)

Muitas aves marinhas migradoras de média-longa distância foram alvo de estudos durante o seu ciclo anual no Atlântico e, entre elas, um número considerável passa a sua época não-reprodutora no Atlântico tropical e temperado, longe da costa, tal como a espécie

em estudo (Guilford et al. 2009, Dias et al. 2011, Sittler et al. 2011; Hedd et al 2012, Stenhouse et al. 2012). Todavia, com excepção da Freira da Madeira *Pterodroma madeira* (Zino et al. 2011), nenhuma selecciona as áreas usadas pelas Almas-negras durante o inverno. No geral, as áreas de invernadas escolhidas pela Alma-negra são zonas meso ou oligotróficas, apresentando portanto níveis de produtividade baixa (Ramírez et al. 2013), tendo mesmo sido referidas como uma barreira ecológica para algumas aves marinhas migradoras de longa distância (e.g. Cagarra, Dias et al. 2012). É provável que as Almas-negras possam sobreviver nesses ambientes possivelmente pelo facto da sua carga alar ser muito baixa, sendo capaz de beneficiar de ventos tropicais suaves, e da sua capacidade em localizar e capturar presas mesopelágicas (Kozlov 1995, Catul et al. 2011). Embora ocupem vastas áreas oceânicas, estas presas podem não estar disponíveis para muitas outras espécies de aves marinhas diurnas de grandes dimensões estudadas até agora (Kozlov 1995, Catul et al. 2011). As áreas de invernada em redor do arquipélago de Cabo Verde, são zonas mesotróficas, com uma produtividade um pouco mais alta que o resto dos locais de invernada escolhidos pelas Almas-negras. Na verdade, essa zona pode estar a ser influenciada pela corrente das Canárias, rica em nutrientes, o que naturalmente eleva a produtividade primária e aumenta a abundância de plâncton e peixes, cefalópodes e crustáceos o que, em última análise, atrai aves marinhas à área (Mann & Lazier 2006, Ramírez et al. 2013).

Embora este trabalho apresente novos dados sobre os locais de invernada das Almas-negras que se reproduzem na ilha Selvagem Grande, seria importante estudar a distribuição das Alma-negras provenientes das outras colónias do Atlântico, como dos arquipélagos dos Açores, Canárias e Cabo Verde, durante a época não-reprodutora. A caracterização mais detalhada das áreas de invernada seria importante de forma a compreender quais os factores de selecção dessas zonas pela Alma-negra. Por fim, seria também relevante compreender de que forma factores intrínsecos aos indivíduos, como o sexo e a idade, podem influenciar a escolha das áreas de invernada e datas de chegada e/ou saída da colónia.

III. Actividade da Alma-negra no mar

Introdução

As aves marinhas desempenham um papel importante nos oceanos, enquanto predadores de topo (Furness & Camphuysen 1997, Diamond & Devlin 2003, Weimerskirsh 2007). A distribuição no mar, para a maioria das aves marinhas, está fortemente ligada à distribuição das suas presas, que por sua vez são influenciadas por características bióticas e abióticas do meio (Donaghay et al. 1991, Ramírez et al. 2013, Pollet et al. 2014). Essas características apresentam uma distribuição heterogénea, tanto espacial como temporalmente (Donaghay et al. 1991), o que significa que as aves marinhas ajustam os seus movimentos de alimentação diariamente, sazonalmente e anualmente (Weimerskirsh 2007, Quillfeldt et al. 2010, Ramírez et al. 2013). O conhecimento da sua distribuição e comportamento no mar é fundamental para o planeamento global e cooperação internacional para a conservação dessas áreas (González-Solís et al. 2007; Croxall et al. 2012, Ronconi et al. 2012).

Os novos sistemas de seguimento remoto de animais estão a revolucionar o conhecimento dos movimentos de longa distância de muitas espécies de aves marinhas (Burger & Shaffer 2008, Dias et al. 2012). Algumas destas técnicas permitem também a recolha de dados sobre os padrões de actividade de voo, permitindo o estudo detalhado do seu comportamento em alto mar, o qual, devido aos hábitos essencialmente pelágicos destas espécies, é dificilmente estudado com recurso a outros meios mais tradicionais como a observação directa (Dias et al. 2012, Guilford et al. 2012). Através desta nova tecnologia é possível, por exemplo, registar a duração dos períodos que a ave passa em contacto com a água salgada ou a voar, o que nos permite saber quando e durante quanto tempo a ave esteve pousada na água ao longo do ciclo diário e nas diferentes fases do seu ciclo reprodutor (Phillips et al. 2003,2004; Fox 2010).

No entanto, e apesar destes avanços tecnológicos, existem ainda relativamente poucos estudos sobre a actividade no mar de Procellariiformes de pequenas dimensões (e.g. Guilford et al. 2009, 2012), principalmente durante a época não-reprodutora. As espécies mais estudadas são predadores diurnos que se alimentam sobretudo de presas epipelágicas (Ballance & Pitman 1999, Phalan et al. 2007, Wakefield et al. 2009). Até à data, não foi efectuado nenhum estudo detalhado do comportamento no mar de um Procellariiforme que se alimente de presas mesopelágicas (i.e., espécies que habitam a

região pelágica intermédia da massa de água entre a zona eufótica - até 100 m de profundidade – e a zona batipelágica localizada a mais de 1000 m) (Salvanes & Kristoffersen 2001). A Alma-negra é um pequeno Procellariiforme que se alimenta maioritariamente de cefalópodes e peixes mesopelágicos bioluminescentes, principalmente das famílias Myctophidae e Sternoptychidae (Zonfrillo 1985, Neves et al. 2011, Carvalho 2012), que por sua vez se alimentam de zooplâncton (Watanabe et al. 2002, Cherel et al. 2010, Catul et al. 2011). Estas espécies mesopelágicas são conhecidas pelas migrações verticais que realizam durante a noite até às zonas epipelágicas, tornando-as disponíveis à superfície do mar para predadores de superfície como a maioria das aves marinhas (Kinzer e Schulz 1988, Catul et al. 2011). Para além disso, estudos dos padrões de migração vertical e das suas presas de zooplâncton sugerem que esta migração é fortemente influenciada pela luz da Lua, sendo que é reduzida nas noites em que a Lua está mais visível (Cruz et al. 2013, Hernández-Leon et al. 2001). Durante as noites mais escuras, a densidade destes organismos é muito maior à superfície do oceano (Linkowski 1996, Hernández-Leon et al. 2001, Cruz et al. 2013), e a migração é mais pronunciada em baixas latitudes e em águas pelágicas, do que em águas neríticas (Cruz et al. 2013). A adaptação comportamental das aves marinhas pelágicas em relação a esta variabilidade temporal na disponibilidade das suas presas permanece ainda amplamente desconhecida, sobretudo em aves voadoras que não mergulham a grandes profundidades, como é o caso da Alma-negra.

A Lua pode também afectar o comportamento no mar de várias espécies de aves marinhas, em diferentes fases do seu ciclo anual (Yamamoto et al. 2008, Regular et al. 2011, Dias et al. 2012, Cruz et al. 2013). Até à data, muitos dos estudos realizados mostraram uma correlação positiva entre a actividade de voo nocturno e a visibilidade da Lua, o que sugere que o ciclo lunar pode influenciar a disponibilidade e/ou detecção das presas (Phalan et al. 2007, Regular et al. 2011, Dias et al. 2012, Cruz et al. 2013). De facto, algumas aves marinhas podem usar o luar para auxiliar a detecção de presas através de pistas visuais, especialmente durante as fases em que a Lua se encontra mais visível (Regular et al. 2011, Cruz et al. 2013).

A Alma-negra é uma ave que realiza mergulhos relativamente pouco profundos - até aos 3 metros de profundidade (Mougin e Mougin 2000), alimentando-se provavelmente quando as suas presas alcançam as camadas superficiais da água durante a noite. É de esperar, então, que nas noites de Lua Cheia, quando a disponibilidade de presas é presumivelmente menor, o sucesso de captura seja também menor, e que isso tenha influência no seu comportamento, sobretudo durante o período não reprodutor (quando a sua actividade diária não está tão limitada pela necessidade de incubar o ovo ou alimentar a cria).

Neste estudo foi analisado em detalhe a actividade no mar da Alma-negra durante a sua migração e período de invernada, e a sua relação com os ciclos diário e lunar. Pelos motivos acima referidos, é de esperar que os padrões encontrados sejam diferentes dos observados nas outras espécies de aves marinhas estudadas até ao momento.

Metodologia

Análise dos dados de actividade

A recolha dos dados dos padrões de actividade das Almas-negras foi feita com recurso a *geolocators* e decorreu na Selvagem Grande (a metodologia de amostragem encontra-se descrita em detalhe no Capítulo II).

Os *geolocators*, para além de recolherem dados que permitem estimar a posição das aves duas vezes por dia, também registam a duração dos períodos que a ave passa em contacto com a água salgada ou a voar (Phillips et al. 2004). Isto é conseguido através da medição de condutividade, sendo que o registo do período imerso só é efectuado se a água for salgada. Os dispositivos registam o número de eventos de imersão (a cada 3 segundos) em blocos de 10 minutos, sendo que o valor de cada bloco varia de 0 (ave sempre em voo) a 200 (*geolocator* imerso permanentemente).

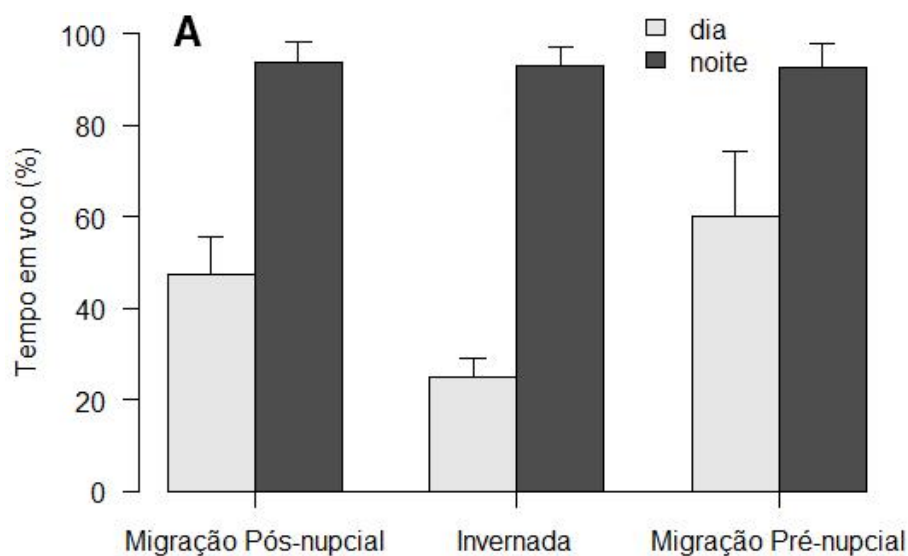
Em cada dia, e para cada ave, estimou-se a percentagem de tempo que cada indivíduo passou a voar durante o dia e durante a noite (nascer e por do sol de cada dia resultantes da análise dos dados luz - ver Capítulo II). Foram consideradas, separadamente, três fases do ciclo anual das Almas-negras: migração pós-nupcial, invernada e migração pré-nupcial. Para comparar padrões de actividade nocturna e diurna (% de tempo em voo) e analisar a influência do ciclo lunar na actividade nocturna durante as três fases do ciclo anual foram realizados teste ANOVA de dois factores, usando a identidade da ave como um factor aleatório. Para estudar a influência da Lua, tanto nas datas de saída e chegada à colónia, como às áreas de invernada, utilizaram-se testes Qui-quadrado. Para todos os testes estatísticos, um nível de significância de 0.05 foi considerado. As médias são representadas com os respectivos erros padrões (média \pm EP).

Os dados da fracção da Lua iluminada à meia-noite para cada dia foram obtidos de <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/MoonFraction.php> e agrupados em três fases: Lua Nova (menos de 30% da Lua iluminada), Quartos (30-70% da Lua iluminada) e Lua Cheia (mais de 70% da Lua iluminada).

Os dados de luz dos *geolocators* foram analisados com o *software* Transedit e Birdtracker (British Antarctic Survey, Cambridge, Reino Unido), e todas as restantes análises foram realizadas utilizando o *software* R (R Core Team 2012).

Resultados

As Almas-negras estudadas em 2012/2013 passaram significativamente mais tempo a voar durante a noite que durante o dia (Fig. 11A; ANOVA; efeito do dia vs. noite, $F_{1,84}=1515.09$; $p<0.001$). O mesmo resultado se verificou para as aves estudadas em 2013/2014 (Figura 11B; ANOVA; efeito do dia vs. noite, $F_{1,36}=87.561$; $p<0.001$). Mais de 80% do tempo nocturno foi passado a voar durante as diferentes fases do período não reprodutor. A diferença entre o tempo em voo durante a noite e durante o dia foi particularmente alta no Inverno de 2012/2013 (Figura 11A; ANOVA; efeito da fase do ciclo anual, $F_{2,84}=48.90$; $p<0.001$, e interacção entre as fases do ciclo anual e os factores dia/noite: $F_{2,84}=47.88$; $p<0.001$) e na de 2013/2014 (Figura 11B, ANOVA; efeito da fase do ciclo anual, $F_{2,36}=5.725$; $p<0.01$, e interacção entre as fases do ciclo anual e os factores dia/noite: $F_{2,36}=13.354$; $p<0.001$).



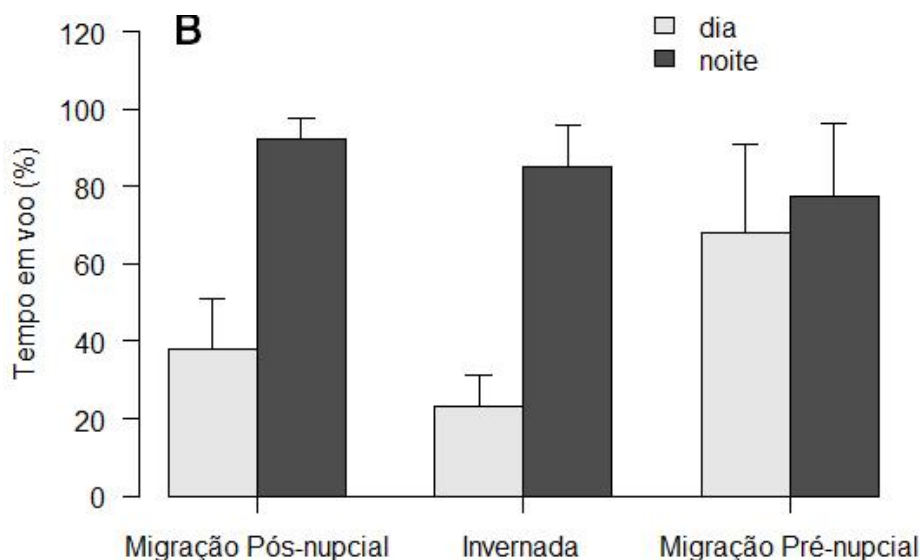
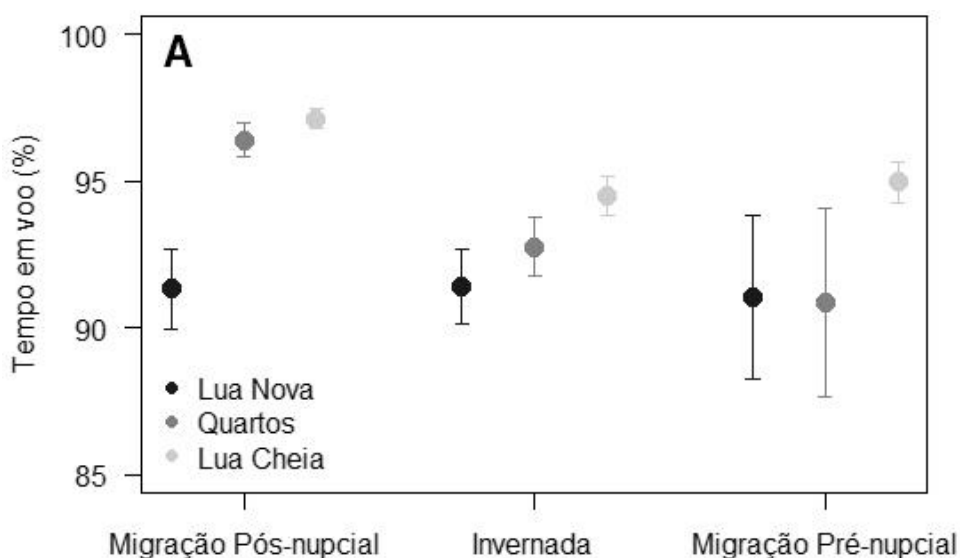


Figura 11. Percentagem do tempo em voo durante o dia e noite nas diferentes fases do período não reprodutor em 2012/2013 (A) e 2013/2014 (B).

O efeito da fase da Lua nos padrões de actividade foi mais pronunciado durante os períodos migratórios do que durante a época de invernada (Fig. 12). Em 2012/2013 a fase da Lua teve um efeito significativo na percentagem do tempo em voo durante a noite (Figura 12A; ANOVA; $F_{2,104}=8.413$, $p<0.001$), sendo que as Almas-negras passaram mais tempo a voar durante as noites de Lua Cheia nas três fases do ciclo anual estudadas. O mesmo não se verificou em 2013/2014, em que a fase da Lua não mostrou ter um efeito significativo na percentagem do tempo em voo durante a noite (Figura 12B; ANOVA; $F_{2,37}=0.762$, $p=0.4737$), embora se veja um padrão semelhante ao de 2012/2013 na migração pós-nupcial e no inverno.



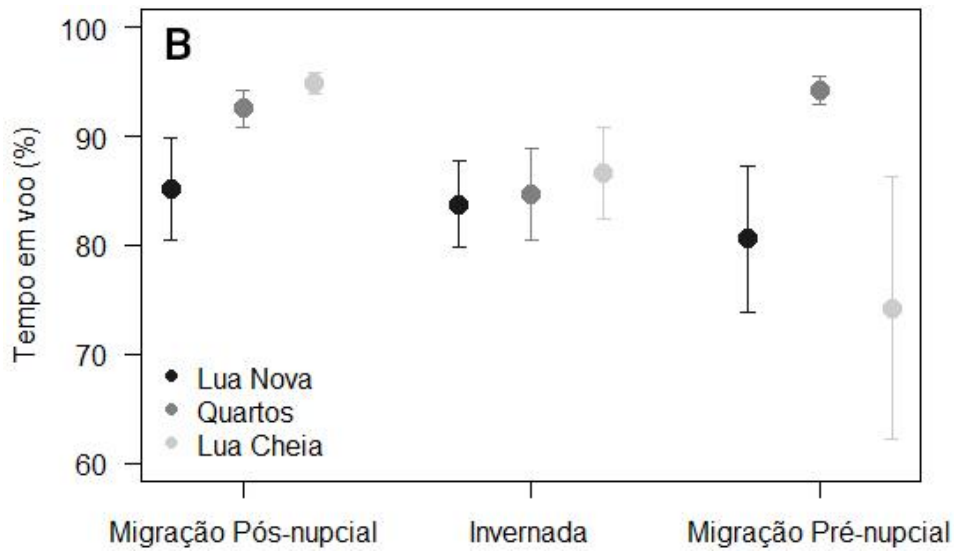


Figura 12. Percentagem de tempo em voo noturno nas diferentes fases da Lua durante as várias fases do período não reprodutor em 2012/2013 (A) e 2013/2014 (B).

A fase da Lua influenciou a data de saída das Almas-negras da colónia ($\chi^2 = 7.302$; g.l.= 2; $p=0.025$; $n=27$), sendo que 56% dos indivíduos saíram da colónia em Lua Nova, 33% durante os quartos e apenas 11% em Lua Cheia. Por outro lado, as datas de chegada ($\chi^2 = 0.113$; g.l.= 2; $p=0.945$; $n=27$) e saída da área de invernada ($\chi^2 = 2.119$; g.l.= 2; $p=0.347$; $n=14$) e de chegada à colónia ($\chi^2 = 2.952$; g.l.= 2; $p=0.229$; $n=14$) não foram influenciadas pela fase da Lua.

Discussão

A maioria das aves marinhas são mais activas durante o dia, presumivelmente devido a uma redução da eficiência na procura de alimento durante a noite (Del Hoyo et al. 1992, McNeil et al. 1993, Catry et al. 2004, Phalan et al. 2007). No entanto, outros migradores de longa distância, como algumas espécies de passeriformes, aumentam a sua atividade nocturna drasticamente durante os períodos migratórios (Newton 2008). As Almas-negras revelaram uma actividade de voo notável durante a escuridão, tendo gasto mais de 90% do seu tempo no mar em 2012/2013 e mais de 80% em 2013/2014, a voar, durante todo o período não-reprodutor do seu ciclo anual. Outras espécies de Procellariiformes são também conhecidas por serem mais activas durante o período nocturno (Rayner et al. 2012, Ramírez et al. 2013), mas até agora nenhuma demonstrou passar tanto tempo a voar durante a noite, especialmente nas áreas de invernada (70% para a Freira das Chatham *Pterodroma magentae*, 60% para Freira do Bugio; Rayner et al. 2012; Ramírez et al. 2013). Durante a migração (tanto a pós como a pré-nupcial), as Almas-negras aumentaram o tempo em voo passando mais tempo a voar durante o dia, pois dificilmente poderiam aumentar o tempo de voo nocturno. Este facto contrasta com o que é observado em aves marinhas diurnas, que tendem a aumentar o voo nocturno durante o período migratório (Dias et al. 2012).

O ciclo lunar tem um efeito evidente sobre a actividade nocturna no mar de outras espécies de Procellariiformes (Phalan et al. 2007, Yamamoto et al. 2008, Dias et al. 2012). Contudo, as principais razões para este efeito não são ainda totalmente compreendidas. Todas as espécies de aves marinhas pelágicas estudadas até agora revelaram um aumento no tempo em voo nas noites em torno da Lua Cheia do que em noites de Lua Nova, quando a visibilidade nocturna é menor (Phalan et al. 2007, Yamamoto et al. 2008, Mackley et al. 2011, Dias et al. 2012, Cruz et al. 2013). Este padrão, que também se verifica nas Almas-negras seguidas em 2012/2013, pode estar relacionado com o aumento da visibilidade associada ao luar, o qual provavelmente influencia a capacidade de detecção das presas. Neste caso, o aumento do tempo em voo pode reflectir um maior investimento de tempo a capturar presas quando estas são mais fáceis de detectar (i.e., nas noites de Lua Cheia). Por outro lado, o luar pode também influenciar a disponibilidade superficial de presas mesopelágicas (Phalan et al. 2007, Pinet et al. 2011a), que são as mais representadas na dieta da espécie em estudo (Carvalho 2012).

Em sistemas marinhos, a fase lunar é conhecida por influenciar a migração vertical de zooplâncton, cefalópodes e peixes, presas potenciais que se alimentam à superfície do oceano à noite (Neumann 1981, Gliwicz 1986, Pinet et al. 2011b). A extensão da migração

vertical diária varia ao longo o ciclo lunar: nas noites de Lua Cheia as presas não se aproximam tanto da superfície como nas de Lua Nova (Gliwicz 1986, deBruyn & Meeuwig 2001). Durante as noites escuras, a densidades de presas à superfície pode ser até mil vezes superior ao que acontece durante o dia; essa migração vertical na coluna de água pelas espécies mesopelágicas é mais pronunciada em baixas latitudes e em águas pelágicas do que em águas neríticas (Brinton 1967). Esta redução da disponibilidade de presas à superfície pode ter influência no comportamento nocturno da Alma-negra, uma vez que esta espécie não consegue mergulhar a grandes profundidades (Mougin & Mougin 2000) - o facto da disponibilidade de alimento ser menor poderá obrigar as Almas-negras a terem de voar mais para encontrar alimento. Apenas foi possível detectar um efeito significativo da Lua durante um dos anos de estudo (2012/13), possivelmente pelo reduzido tamanho da amostra na época seguinte. No entanto, durante as duas primeiras fases do período não reprodutor (migração pós-nupcial e invernada) o padrão observado foi relativamente semelhante nos dois anos. De notar também que em ambos os anos, e independentemente da fase da Lua e do ciclo anual, as Almas-negras passaram a grande maioria do seu tempo nocturno a voar (quase sempre mais de 85%; figura 12), o que sugere que esta espécie é uma ave nocturna altamente especializada, provavelmente muito bem adaptada para localizar e capturar as presas mesmo em condições com visibilidade praticamente nula. Para além disso, os Procellariiformes também dependem do sentido olfactivo, que é altamente desenvolvido, para localizar as presas (Bang 1968, Hutchison & Wenzel 1987, Nevitt 2008a).

O olfacto é extremamente importante para que as aves encontrem presas em grandes escalas espaciais e, para que se orientem até às áreas onde o fitoplâncton se acumula, e onde as presas animais são provavelmente abundantes. Para além disso, espécies de aves marinhas de grandes dimensões, como os albatrozes, adaptam-se melhor na exploração de recursos em grandes áreas no mar com a combinação dos sentidos da visão e o olfacto (Bang 1968, Hutchison & Wenzel 1987, Nevitt 2008b). O mesmo não acontece com muitas aves marinhas pelágicas de pequenas dimensões, que dependem quase exclusivamente do olfacto e que estão adaptadas a procurar áreas pequenas ou com menor concentração de presas (Nevitt et al. 2004, Nevitt & Bonadonna 2005).

A Lua teve também um efeito significativo na data de saída da colónia, sendo que a maioria das aves estudadas abandonaram a Selvagem Grande em noites de Lua Nova. Este padrão pode estar relacionado com a diminuição da probabilidade das Almas-negras serem predadas durante a Lua Nova (Imber 1975, Watanuki 1986, Pinet et al. 2011a), possivelmente pela Gaivota-argêntea (Campos and Granadeiro 1999), a qual pode predar várias espécies de aves marinhas na Selvagem Grande, incluindo a Alma-negra (Matias &

Catry 2010), ou, como referido anteriormente, com o aumento da disponibilidade de alimento (presas mesopelágicas) nesta fase da Lua.

A maioria dos Procellariiformes de pequenas dimensões, que representam cerca de 40% de todas as espécies desta ordem (Harrison 1983), são, tal como a Alma-negra, predadores de espécies mesopelágicas e presumivelmente nocturnos. Algumas destas espécies, em particular as do género *Pterodroma*, encontram-se entre as mais ameaçadas de extinção em todo o mundo (Rayner et al. 2012, Ramírez et al. 2013). Os resultados aqui apresentados podem assim representar um importante avanço no estudo da ecologia destas espécies, a partir do qual se poderão começar a delinear estratégias para a sua conservação durante as fases menos conhecidas do seu ciclo anual, como é o período não-reprodutor.

IV. Considerações finais

Este estudo apresenta novos dados sobre o comportamento e distribuição no mar de uma ave marinha pelágica de pequenas dimensões, predadora de espécies mesopelágicas - a Alma-negra.

As aves marinhas nocturnas de pequenas dimensões são abundantes em muitas áreas pelágicas em todo o mundo e são, por isso, um componente importante nas teias tróficas marinhas (Guinet et al. 1996). O seu comportamento no mar e distribuição claramente contrastam com as espécies de Procellariiformes de maiores dimensões que estão também melhores estudadas (Wakefield et al. 2009). Considerando que uma quantidade significativa do ciclo anual destas aves é passado nas suas áreas de invernada, as condições que enfrentam nestes locais vão muito provavelmente afectar a sua taxa de sobrevivência e de reprodução (Daunt et al. 2006).

Até agora, a maioria dos estudos que tiveram como objectivo identificar áreas marinhas protegidas foram feitos a partir de dados da distribuição no mar de espécies de médio-grande porte (BirdLife Internacional 2010). Esta falta de conhecimento sobre a distribuição das aves marinhas pelágicas de pequenas dimensões é particularmente crítica porque a mortalidade destas espécies ocorre sobretudo no inverno, quando há menor disponibilidade de recursos e as condições meteorológicas são geralmente piores, ou mesmo extremas (Daunt et al. 2006). Para além disso, as mudanças ambientais resultantes de actividades humanas, tais como a poluição, o turismo, a pesca, entre outros, têm aumentado ao longo dos anos, afectando as populações de aves marinhas (Thompson & Ollason 2001, Croxall et al 2012). A flexibilidade comportamental pode ser considerada como uma vantagem adaptativa no contexto das alterações causadas pelo homem nos ecossistemas marinhos (Grémillet & Boulinier 2009), tendo implicações importantes a nível da conservação de aves marinhas. Torna-se, assim, necessário um conhecimento mais profundo sobre a forma como as espécies podem reagir face a estas mudanças, não só para compreender o futuro das populações, mas também nas decisões de gestão e conservação do meio marinho.

Muitas das pequenas espécies de Procellariiformes (e.g. Freira da Madeira), estão entre as espécies mais ameaçadas, exigindo medidas de conservação urgentes. Para isso, é necessária uma compreensão da ecologia e comportamento destas espécies em todo o seu ciclo de vida (Stenseth et al. 2004), reforçando assim a importância dos resultados apresentados neste estudo.

Estudos como este podem assim representar um contributo importante para a identificação e gestão de áreas protegidas marinhas, ao fornecer dados de base acerca da distribuição e actividade no mar de espécies cuja ecologia é ainda relativamente pouco conhecida.

Referências bibliográficas

- Alerstam T, Hedenstrom A (1998) The development of bird migration theory. *Journal of Avian Biology* 29: 343-369.
- Almeida J, Catry P, Encarnação V, Franco C, Granadeiro JP, Lopes R, Moreira F, Oliveira P, Onorfe N, Pacheco C, Pinto M, Pitta Groz MJ, Ramos J, Silva L (2008) *Bulweria bulwerii* Alma-negra Pp 149-150 In Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (Cabral MJ, Almeida J, Almeida PR, Dellinger T, Ferrand de Almeida N, Oliveira ME, Palmeirim JM, Queiroz AI, Rogado L, Santos-Reis M (eds.). 3ª ed. Instituto da Conservação da Natureza/ Assírio & Alvim. Lisboa.
- Alonso H, Granadeiro JP, Paiva VH, Dias AS, Ramos JA, Catry P (2012) Parent–offspring dietary segregation of Cory's shearwaters breeding in contrasting environments. *Marine Biology* 159: 1197-1207.
- Ballance L, Pitman R (1999) Foraging ecology of tropical seabirds. In: Adams, NJ, Slotow, RH (eds) Proc. 22 Int. Ornithol. Congr. Durban: 2057-2071.
- Bang BG, Cobb S (1968) The size of the olfactory bulb in 180 species of birds. *Auk* 85: 55-61.
- Beneharo R, Juan B, Juan MM, Airam R, Asunción R, José MA (2013) Satellite tracking of Bulwer's Petrels *Bulweria bulwerii* in the Canary Islands. *Bird Study* 60: 270-274.
- BirdLife International (2010) Marine Important Bird Areas Toolkit: Standardized Techniques for Identifying Priority Sites for the Conservation of Seabirds at Sea. BirdLife International, Cambridge. <http://www.birdlife.org/eu/pdfs/Marinetoolkitnew.pdf>
- BirdLife International (2014) Species factsheet: *Bulweria bulwerii*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 24/03/2014.
- Block BA, Jonsen ID, Jorgensen SJ, Winship AJ (2011) Tracking apex marine predator movements in a dynamic ocean. *Nature* 475: 86-90.
- Brinton E (1967) Vertical migration and avoidance capability of euphausiids in the California Current. *Limnology and Oceanography* 12: 451-483.
- Burger AE, Shaffer SA (2008) Application of tracking and data–logging technology in research and conservation of seabirds. *Auk* 125:253-264.

- Campos AR, Granadeiro JP (1999) Breeding Biology of the White-faced Storm-Petrel on Selvagem Grande Island, North-East Atlantic. *Waterbirds* 22: 199-206.
- Carvalho AT (2012) Ecologia alimentar de duas aves pelágicas das Ilhas Selvagens. Master thesis. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa
- Catry P, Phillips RA, Phalan B, Silk JRD, Croxall JP (2004) Foraging strategies of grey-headed albatrosses *Thalassarche chrysostoma*: integration of movements, activity and feeding events. *Marine Ecology Progress Series* 280: 261-273.
- Catry P, Dias MP, Phillips RA, Granadeiro, JP (2013) Carry-over effects from breeding modulate the annual cycle of a long-distance migrant: an experimental demonstration. *Ecology* 94: 1230-1235.
- Catul V, Gauns M, Karuppasamy PK (2011) A review on mesopelagic fishes belonging to family Myctophidae. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 21: 339-354.
- Costa LT, Nunes M, Geraldés P, Costa H (2003) Zonas importantes para as Aves em Portugal. SPEA, Lisboa.
- Cherel Y, Fontaine C, Richard P, Labat JP (2010) Isotopic niches and trophic levels of myctophid fishes and their predators in the Southern Ocean. *Limnology and Oceanography* 55: 315-323.
- Croxall JP, Butchart SHM, Lascelles B, Stattersfield AJ, Sullivan B, Symes A, Taylor P (2012) Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation International* 22: 1-34
- Cruz SM, Hooten M, Huyvaert KP, Proaño CB, Anderson DJ, Afanasyev V, Wikelski M (2013) At-Sea Behavior Varies with Lunar Phase in a Nocturnal Pelagic Seabird, the Swallow-Tailed Gull. *PLoS ONE* 8(2):e56889.
- Daunt F, Afanasyev V, Silk JRD, Wanless S (2006) Extrinsic and intrinsic determinants of winter foraging and breeding phenology in a temperate seabird. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 59: 381-388.
- deBruyn AMH, Meeuwig JJ (2001) Detecting lunar cycles in marine ecology: periodic regression versus categorical ANOVA. *Marine Ecology Progress Series* 214: 307-310.

Del Hoyo J, Elliot A, Sargatal J (1992) Handbook of the Birds of the World. Vol. 1. Ostrich to Ducks. – Lynx Editions, Barcelona.

Diamond AW, Devlin CM (2003) Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: ecological monitoring on Machias Seal Island. *Environmental Monitoring and Assessment* 88(1-3): 153-181.

Dias MP, Granadeiro JP, Phillips RA, Alonso H, Catry P (2011) Breaking the routine: individual Cory's shearwaters shift winter destinations between hemispheres and across ocean basins. *Proceedings of the Royal Society B* 278: 1786-1793.

Dias MP, Granadeiro JP, Catry P (2012) Do Seabirds Differ from Other Migrants in Their Travel Arrangements? On Route Strategies of Cory's Shearwater during Its Trans-Equatorial Journey. *PLoS ONE* 7.

Dingle V, Drake VA (2007) What is migration? *Bioscience* 57: 113-121.

Donaghay PL, Liss PS, Duce RA, Kester DR, Hanson AK, Villareal T, Tindale NW, Gifford DJ (1991) The role of episodic atmospheric nutrient inputs in the chemical and biological dynamics of oceanic ecosystems. *Oceanography* 4: 62-70.

Dunlop JN, Wooller RD, Cheshire NG (1988) Distribution and abundance of marine birds in the Eastern Indian Ocean. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 39: 661-669.

Einoder LD (2009) A review of the use of seabirds as indicators in fisheries and ecosystem management. *Fisheries Research* 95: 6-13.

Egevang C, Stenhouse IJ, Phillips RA, Petersen A, Fox JW, et al. (2010) Tracking of Arctic terns *Sterna paradisaea* reveals longest animal migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107: 2078-2081.

Equipa Atlas (2008) Atlas das Aves Nidificantes em Portugal (1999-2005). Assírio & Alvim. Lisboa.

Fauchald P (2009) Spatial interaction between seabirds and prey: review and synthesis. *Marine Ecology Progress Series* 391: 139-151

Felicísimo ÁM, Muñoz J, González-Solis J (2008) Ocean Surface Winds Drive Dynamics of Transoceanic Aerial Movements. *PLoS ONE* 3(8): e2928.

Fijn RC, Hiemstra D, Phillips RA, van der Winden J (2013) Arctic Terns *Sterna paradisaea* from The Netherlands migrate record distances across three oceans to Wilkes Land, East Antarctica. *Ardea* 101: 3-12.

Fox (2010) Geolocator manual v8 (March 2010) www.birdtracker.co.uk.

Furness RW, Bryant DM (1996) Effect of wind on field metabolic rates of breeding northern fulmars. *Ecology* 77: 1181-1188.

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

González-Solís J, Croxall JP, Oro D, Ruiz X (2007) Trans-equatorial migration and mixing in the wintering areas of a pelagic seabird. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5:297-301.

Gliwicz MZ (1986) Predation and the evolution of vertical migration in zooplankton. *Nature* 320: 746-748.

Granadeiro JP, Dias MP, Rebelo R, Santos CD, Catry P (2006) Numbers and Population Trends of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* at Selvagem Grande. Northeast Atlantic. *Waterbirds* 29: 56-60.

Grémillet D, Boulinier T (2009) Spatial ecology and conservation of seabirds facing global climate changes: a review. *Marine Ecology Progress Series* 391: 121-137.

Grodsky SA, Carton JA (2001) Coupled land/atmosphere interactions in the West African monsoon. *Geophysical Research Letters* 28: 1503-1506.

Grodsky SA, Carton JA (2003) The Intertropical Convergence Zone in the South Atlantic and the Equatorial Cold Tongue. *Journal of Climate* 16: 723-733.

Guilford T, Meade J, Willis J, Phillips RA, Boyle D, Roberst S, Collett M, Freeman R, Perrins CM (2009) Migration and stopover in a small pelagic seabird, the Manx shearwater *Puffinus puffinus*: insights from machine learning. *Proceedings of the Royal Society B* 276: 1215-1223.

Guilford T, Wynn R, McMinn M, Rodríguez A, Fayet A, Maurice L, Jones A, Meier R (2012) Geolocators reveal migration and pre-breeding behaviour of the critically endangered Balearic shearwater *Puffinus mauretanicus*. *PLoS One* 7: e33753.

Guinet C, Cherel Y, Ridoux V, Jouventin P (1996) Consumption of marine resources by seabirds and seals in Crozet and Kerguelen waters - changes in relation to consumer biomass. *Antarctic Science* 284 8: 23-30.

Hamer, K., Schreiber, EA, Burger, J (2002) Life Histories, and Life History - Environment Interactions in Seabirds. *Biology of Marine Birds* 217-261.

Hamer KC, Humphreys EM, Garthe S, Hennicke J, Peters G, Phillips RA, Harris MP, Wanless S (2007) Annual variation in diets, feeding locations and foraging behaviour of gannets in the North Sea: Flexibility, consistency and constraint. *Marine Ecology Progress Series* 338: 295-305.

Harrison P (1983) *Seabirds, an Identification Guide*. Houghton Mifflin, Boston.

Hazevoet CJ (1995). *The birds of the Cape Verde Islands*. British Ornithologists Union, Tring.

Hedd A, Montevecchi WA, Otley H, Phillips RA, Fifield D (2012) Trans-equatorial migration and habitat use by sooty shearwaters *Puffinus griseus* from the South Atlantic during the nonbreeding season. *Mar Ecol Prog Ser* 449: 277-290.

Hernández E, Martín A, Nogales M, Quillis V, Delgado G, Trujillo O (1990) Distribution and status of Bulwer's Petrel (*Bulweria bulwerii* Jardine & Selby, 1828) in the Canary Islands. *Boletim do Museu Municipal Funchal* 42: 5-16.

Hernández-Leon S, Almeida C, Yebra L, Aristegui J, Puelles MLF, García-Braun J (2001) Zooplankton abundance in subtropical waters: Is there a lunar cycle? *Scientia Marina* 65: 59-63.

Hoyo JD, Elliott A, Sargatal J, Cabot J (1992) *Handbook of the birds of the world*. Lynx Edicions. Barcelona.

Hutchison LV, Wenzel BM (1987) Olfactory guidance in foraging by procellariiforms. *Condor* 82: 314-319.

Igual JM, Forero MG, Tavecchia G, González-Solis J, Martínez-Abraín A (2005) Short-term effects of data-loggers on Cory's shearwater (*Calonectris diomedea*). *Marine Biology* 146: 619-624.

Imber MJ (1975) Behaviour of petrels in relation to the moon and artificial lights. *Notornis* 22: 302-306.

- Kahru, M, Mitchell BG (2000) Influence of the 1997-98 El Niño on the surface chlorophyll in the California Current. *Geophysical Research Letters* 27(18): 2937-2940.
- Kinzer J, Schulz K (1988) Vertical distribution and feeding patterns of midwater fish in the central equatorial Atlantic II. Sternoptychidae. *Marine Biology* 99(2): 261-269.
- Kozlov AN (1995) A review of the trophic role of mesopelagic fish of the family Myctophidae in the Southern Ocean ecosystem. *CCAMLR Science* 2: 71–77.
- Lascelles BG, Langham GM, Ronconi RA, Reid JB (2012) From hotspots to site protection: Identifying Marine Protected Areas for seabirds around the globe. *Biological Conservation* 156: 5–14.
- Le Corre M, Ollivier A, Ribes S, Jouventin P (2002) Lightinduced mortality of petrels: a 4-year study from Réunion Island (Indian Ocean). *Biological Conservation* 105: 93-102.
- Le Corre M, Jaeger A, Pinet P, Kappes M, Weimerskirch H, Catry T, Ramos J, Russell J, Shah N, Jaquemet S (2012) Tracking seabirds to identify potential Marine Protected Areas in the tropical western Indian Ocean. *Biological Conservation* 156: 83-93.
- Linkowski TB (1996) Lunar rhythms of vertical migrations coded in otolith microstructure of North Atlantic lanternfishes, genus *Hygophum* (Myctophidae). *Marine Biology* 124(4): 495-508.
- Luzardo J, López-Darias M, Suárez V, Calabuig P, García EA, Martín C (2008) First breeding population of Bulwer's Petrel *Bulweria bulwerii* recorded on Gran Canaria (Canary Islands) population size and morphometric data. *Marine Ornithology* 36: 159-162.
- Mackley EK, Phillips RA, Silk JRD, Wakefield ED, Afanasyev V, Furness RW (2011) At-sea activity patterns of breeding and nonbreeding white-chinned petrels *Procellaria aequinoctialis* from South Georgia. *Marine Biology* 158: 429-438.
- Magalhães MC, Santos RS, Hamer KC (2008) Dual-foraging of Cory's shearwaters in the Azores: feeding locations, behaviour at sea and implications for food provisioning of chicks. *Marine Ecology Progress Series* 359: 283-293.
- Mann K, Lazier J (2006) Dynamics of marine ecosystems: biological–physical interactions in the oceans. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Martin TG, Chadés I, Arcese P, Marra HP (2007) Optimal Conservation of migratory species. *Plos ONE* 2: e751.

- Matias R, Catry P (2010) The diet of Atlantic Yellow-legged Gulls (*Larus michahellis atlantis*) at an oceanic seabird colony: estimating predatory impact upon breeding petrels. *European Journal of Wildlife Research* 56(6): 861-869.
- McGowan J, Hines E, Elliott M, Howar J, Dransfield A, Nur N, Jahncke J (2013) Using seabird habitat modeling to inform marine spatial planning in central California's national marine sanctuaries. *PLoS One* 8: e71406.
- McNeil R, Drapeau P, Pierrotti R (1993) Nocturnality in colonial waterbirds: occurrence, special adaptations and suspected benefits. – In: Power, D. M. (ed.), *Current Ornithology*. Plenum Press, New York 10: 187-246.
- Monteiro LR, Ramos JA, Furness RW, Nevo AJ (1996) Movements, morphology, moult, diet and feeding of seabirds in the Azores. *Colonial Waterbirds* 19:82-97.
- Morato T, Hoyle SD, Allain V (2008) Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107(21): 9707-9711.
- Moreno J (2003) Lifetime reproductive success in seabirds: interindividual differences and implications for conservation. *Mediterranean seabirds and their conservation*. *Scientia Marina* 67: 7-12.
- Mougeot F, Bretagnolle V (2000) Predation risk and moonlight avoidance in nocturnal seabirds. *Journal of Avian Biology* 31(3): 376-386.
- Mougin JL, Mougin MC (2000) Maximum diving depths for feeding attained by Bulwer's petrels (*Bulweria bulwerii*) during the incubation period. *Journal of Zoology* 250: 75–77.
- Neves VC, Nolf D, Clarke MR (2011) Diet of Bulwer's Petrel (*Bulweria bulwerii*) in the Azores, NE Atlantic. *Waterbirds* 34(3): 357-362.
- Nevitt GA, Reid K, Trathan P (2004) Testing olfactory foraging strategies in an Antarctic seabird assemblage. *The Journal of Experimental Biology* 207: 3537-3544.
- Nevitt GA (2008a) Sensory ecology on the high seas: the odor world of the procellariiform seabirds. *The Journal of Experimental Biology* 211: 1706-1713.

- Nevitt GA, Losekoot M, Weimerskirch H (2008b) Evidence for olfactory search in wandering albatross, *Diomedea exulans*. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 105: 45766-81.
- Nevitt GA, Bonadonna F (2005) Sensitivity to dimethyl sulphide suggests a mechanism for olfactory navigation by seabirds. Biology Letters 1: 303-305.
- Newton I (2008) The Migration Ecology of Birds. London: Academic Press.
- Neumann D (1981) Tidal and lunar rhythms. In: Aschoff J, ed. Handbook of behavioral neurobiology Plenum 351-380.
- Nunes M, Vicente L (1998) Breeding cycle and nestling growth of Bulwer's Petrel on the Desertas Islands, Portugal. Colonial Waterbirds 21: 198-204.
- Oliveira P, Menezes D (2004) Birds of the Archipelago of Madeira. Serviço do Parque Natural da Madeira; Arquipélago Verde produtos promocionais, lda. Funchal.
- Paiva VH, Geraldes P, Ramírez I, Meirinho A, Garthe S, Ramos JA (2010) Oceanographic characteristics of areas used by Cory's shearwaters during short and long foraging trips in the North Atlantic. Marine Biology 157: 1385-1399.
- Pennyquick CJ (2002) Gust soaring as a basis for the flight of petrels and albatrosses (Procellariiformes). Avian Science 2: 1-12.
- Phalan B, Phillips RA, Silk JR, Afanasyev V, Fukuda A, Fox J, Catry P, Higuchi H, Croxall JP (2007) Foraging behaviour of four albatross species by night and day. Marine Ecology Progress Series 340: 271-286.
- Phillips RA, Xavier JC, Croxall JP, Burger A (2003) Effects of satellite transmitters on albatrosses and petrels. Auk 120: 1082-1090.
- Phillips R, Silk J, Croxall J, Afanasyev V, Briggs D (2004) Accuracy of geolocation estimates for flying seabirds. Marine Ecology Progress Series 266: 265-272.
- Phillips RA, Silk JRD, Croxall JP (2005a) Foraging and provisioning strategies of the light-mantled sooty albatross at South Georgia: competition and coexistence with sympatric pelagic predators. Marine Ecology Progress Series 285: 259-270.
- Phillips RA, Silk JRD, Croxall JP, Afanasyev V, Bennett VJ (2005b) Summer distribution and migration of nonbreeding albatrosses: individual consistencies and implications for conservation. Ecology 86: 2386-2396

Phillips RA, Croxall JP, Silk JRD, Briggs DR (2007) Foraging ecology of albatrosses and petrels from South Georgia: two decades of insights from tracking technologies. *Aquatic Conservation* 17: S6-S21.

Phillips RA, Croxall JP, Silk JRD, Briggs DR (2008) Foraging ecology of albatrosses and petrels from South Georgia: two decades of insights from tracking technologies. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 17: S6-S21.

Pinet P, Jaquemet S, Pinaud D, Weimerskirch H, Phillips R, Le Corre M (2011a) Migration, wintering distribution and habitat use of an endangered tropical seabird, Barau's petrel *Pterodroma baraui*. *Marine Ecology Progress Series* 423: 291-302.

Pinet P, Jaeger A, Cordier E, Potin G, Le Corre M (2011b) Celestial Moderation of Tropical Seabird Behavior. *PLoS ONE* 6(11): e27663.

Pinto M (2013) Brooding behaviour and influence of moon cycle on chick provisioning in a pelagic seabird, the Bulwer's Petrel (*Bulweria bulwerii*). Master thesis. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa.

Pollet IL, Ronconi RA, Jonsen ID, Leonard ML, Taylor PD, Shutler MD (2014) Foraging movements of Leach's storm-petrels *Oceanodroma leucorhoa* during incubation. *Journal of Avian Biology* 45: 305-314.

Powell RA (2000) Animal home ranges and territories and home range estimators. *Research Techniques in Animal Ecology: Controversies and Consequences* 65-110.

QGIS Development Team (2013) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

Quillfeldt P, Masello JF, McGill RAR, Adams M, Furness RW (2010) Moving polewards in winter: a recent change in migratory strategy of a seabird. *Frontiers in Zoology* 7: 15.

Ramírez I, Paiva VH, Menezes D, Silva I, Phillips RA, Ramos JA, Garthe S (2013) Year-round distribution and habitat preferences of the Bugio petrel. *Marine Ecology Progress Series* 476:269-284.

Ramos JJ, Trujillo D (2004) Petrel de Bulwer, *Bulweria bulwerii*. In Libro Rojo de las Aves de España (Madroño A, Gonzáles C, Atienza JC). Dirección General para la Biodiversidad-SEO/Birdlife. Madrid.

Ramos R & González-Solís J. (2012) Trace me if you can: the use of intrinsic biogeochemical markers in marine top predators. *Frontiers in Ecology and Environment* 10: 258-266.

Rayner MJ, Taylor GA, Gummer HD, Phillips RA, Sagar PM, Shaffer SA, Thompson DR (2012) The breeding cycle, year-round distribution and activity patterns of the endangered Chatham Petrel (*Pterodroma axillaris*). *Emu* 112: 107-116.

R Development Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Regular PM, Hedd A, Montevecchi WA (2011) Fishing in the dark: a pursuit-diving seabird modifies foraging behavior in response to nocturnal light levels. *PLoS ONE* 6(10): e26763

Ricklefs RE (1990) Seabird life histories and the marine environment: some speculations. *Colonial Waterbirds* 13(1): 1-6.

Ronconi RA, Lascelles BG, Langham GH, Reid JB, Oro D (2012) The role of seabirds in Marine Protected Area identification, delineation, and monitoring: introduction and synthesis. *Biological Conservation* 156: 1-4.

Ropert-Coudert Y, Wilson RP (2005) Trends and perspectives in animal-attached remote sensing. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3: 437-444.

Salvanes AGV, Kristoffersen JB (2001). Mesopelagic Fish (life histories, behaviour, adaptation). In: *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Steele J.H., Thorpe S.A. & K.K. Turekian (eds), Academic Press Ltd, London.

Serviço do Parque Natural da Madeira (2014) Acedido em Maio de 2014 no sítio http://www.pnm.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=19&lang=pt.

Shaffer SA, Costa DP, Weimerskirch H (2001) Behavioural factors affecting foraging effort of breeding wandering albatrosses. *Journal of Animal Ecology* 70: 684-874.

Shaffer SA, Tremblay Y, Weimerskirch H, Scott D and others (2006) Migratory shearwaters integrate oceanic resources across the Pacific Ocean in an endless summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 12799-12802.

Shealer DA (2002) Foraging behavior and food of seabirds. *Biology of marine birds* 137-177.

- Smith M.M. & P.C. Heemstra (2003) *Smiths' Sea Fishes*. Struik Publishers. South Africa.
- Spear LB, Ainley DG, Walker WA (2007) Foraging dynamics of seabirds in the tropical Pacific Ocean. *Studies in Avian Biology* 35: 1-99.
- Stenhouse IJ, Egevang C, Phillips RA (2012) Trans-equatorial migration, staging sites and wintering area of Sabine's Gulls *Larus sabini* in the Atlantic Ocean. *Ibis* 154: 42-51.
- Stenseth NC, Ottersen G, Hurrell JW, Belgrano, A (2004) *Marine Ecosystems and Climate Variation: The North Atlantic*. New York: Oxford University Press.
- Thompson PM, Ollason JC (2001) Lagged effects of ocean climate change on fulmar population dynamics. *Nature* 413(6854): 417-420.
- Tucker GM, Heath MF (1994) *Birds in Europe: their conservation status*. BirdLife International, Cambridge.
- Wakefield ED, Phillips RA, Matthiopoulos J (2009) Quantifying habitat use and preferences of pelagic seabirds using individual movement data: a review. *Marine Ecology Progress Series* 391: 165-182.
- Warham. J (1990) *The Petrels - Their Ecology and Breeding Systems*. Academic Press, London. Hardback. 452pp.
- Watanabe H, Kawaguchi K, Hayashi A (2002) Feeding habits of juvenile surface-migratory myctophid fishes (family Myctophidae) in the Kuroshio region of the western North Pacific. *Marine Ecology Progress Series* 236: 263-272.
- Watanuki Y (1986) Moonlight avoidance behavior in Leach's storm-petrels as a defense against Slaty-backed gulls. *Auk* 103: 14-22.
- Weber TP, Hedenström A (2000) Optimal stopover decisions under wind influence: the effects of correlated winds. *Journal of Theoretical Biology* 205: 95-104.
- Weimerskirch H, Guionnet T, Martin J, Shaffer SA, Costa DP (2000) Fast and fuel efficient? Optimal use of wind by flying albatrosses. *Proceedings of the Royal Society of London* 1869-1874.
- Weimerskirch H (2007) Are seabirds foraging for unpredictable resources? *Deep-Sea Research II* 54: 211-223.
- Wilson JA (1975) Sweeping flight and soaring by albatrosses. *Nature* 257: 307-308.

Wilson RP, Grémillet D, Syder J, Kierspel MAM, Garthe S, Weimerskirch H, Schäfer-Neth C, Scolaro JA, Bost CA, Plötz J, Nel D (2002). Remote-sensing systems and seabirds: their use, abuse and potential for measuring marine environmental variables. *Marine Ecology Progress Series* 228: 241-261.

Yamamoto T, Takahashi A, Yoda K, Katsumata N (2008) The lunar cycle affects at-sea behaviour in a pelagic seabird, the streaked shearwater, *Calonectris leucomelas*. *Animal Behaviour* 76: 1647-1652.

Zonfrillo B (1985) Diet of Bulwer's Petrel *Bulweria bulwerii* in the Madeiran Archipelago. *Ibis* 128: 570-572.

Zino F, Phillips R, Biscoito M (2011) Zino's petrel movements at sea—a preliminary analysis of datalogger results. *Birding World* 24: 216-219.

Zino F, Phillips R, Biscoito M (2013) Bulwer's Petrel movements at sea - a preliminary analysis of datalogger results from Selvagem Grande. *Birding World* 26(2): 79-81.