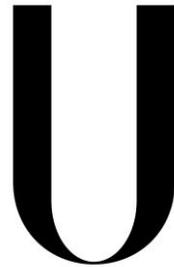


UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS

Departamento de Biologia Animal



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA

**Impacto da Temperatura na Biologia
Reprodutora e Condição Fisiológica do Francelho
e Rolieiro: Implicações para a Adaptação às
Alterações Climáticas**

Pedro Gonçalves Mousinho Vaz Patto

Dissertação

Mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental

2014

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS

Departamento de Biologia Animal



**Impacto da Temperatura na Biologia
Reprodutora e Condição Fisiológica do Francelho
e Rolieiro: Implicações para a Adaptação às
Alterações Climáticas**

Pedro Gonçalves Mousinho Vaz Patto

Dissertação

Mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental

Orientadores:

Doutora Inês Catry

Professor Doutor Jorge Palmeirim

2014

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus orientadores, Inês Catry e Jorge Palmeirim por todo o apoio prestado durante o trabalho. Agradeço especialmente à Inês Catry pela sua disponibilidade e pela paciência que teve para responder a todas as questões e para encontrar soluções para todos os problemas que surgiram ao longo do trabalho.

Agradeço ainda ao meu colega e amigo Nuno Bem pela ajuda e companhia prestada durante o trabalho de campo.

Quero ainda agradecer à minha Tia Cristina Ovídio e ao meu Pai pela ajuda na revisão ortográfica de todo o trabalho.

Por fim um agradecimento especial à minha família e amigos pelo incentivo e força que me deram ao longo desta etapa da minha vida.

Índice

Resumo	6
Abstract	7
Capítulo I – Introdução geral.....	8
1.1 - Impacto das alterações climáticas nas aves	8
1.2 - Estratégia nacional de adaptação às alterações climáticas	9
1.3 - Espécies-alvo	9
1.3.1 - Francelho.....	9
1.3.2 - Rolieiro	11
1.4 - Área de estudo	13
1.5 - Objectivos gerais	15
Capítulo II - Efeito da temperatura e tipo de ninho no crescimento e sobrevivência de crias de Francelho (<i>Falco naumanni</i>) e Rolieiro (<i>Coracias garrulus</i>)	16
2.1 - Introdução.....	16
2.2 - Métodos	17
2.2.1 - Recolha de dados	17
2.2.2 - Microclima do ninho.....	18
2.2.3 – Estimativa da mortalidade associada à temperatura.....	18
2.2.4 - Análise estatística.....	19
2.3 – Resultados.....	20
2.3.1 - Mortalidade associada à temperatura.....	20
2.3.2 - Impacto da temperatura no crescimento das crias	21
2.3.3 - Microclima dos diferentes tipos de ninhos	27
2.4 - Discussão.....	29
2.4.1 - Mortalidade associada à temperatura.....	29
2.4.2 - Impacto da temperatura no crescimento das crias	30
2.4.3 – Impacto do tipo de ninho, no microclima do ninho e crescimento das crias	31
Capítulo III - Resposta imunológica ao <i>stress</i> térmico em crias de Francelho (<i>Falco naumanni</i>).....	33
3.1 – Introdução	33
3.2 - Métodos	34
3.2.1 – Recolha de dados.....	35

3.2.2 - Preparação dos esfregaços	35
3.2.3 - Observação e contagem das células sanguíneas	35
3.2.4 - Análise estatística.....	36
3.3 - Resultados.....	38
3.3.1- Selecção do modelo que melhor explica a variação da razão de H/L.....	39
3.3.2 - Variação da temperatura nos vários tipos de ninhos.....	40
3.4 – Discussão	41
3.4.1 - Efeito da temperatura no <i>fitness</i> das crias.....	42
3.4.2 - Efeito da idade, sexo e tamanho da ninhada na razão de H/L	43
3.4.3 - Efeito do tipo de ninho no microclima do ninho	44
Capítulo IV - Considerações finais	45
Referências bibliográficas	48
Anexos.....	59

Índice de figuras e tabelas

Figura 1 – Mapa da Zona de Protecção Especial de Castro Verde.....	14
Figura 2 – Temperatura máxima diária na área de estudo entre 26 de Maio a 11 de Julho de 2014.....	20
Figura 3 – Taxa de crescimento de uma ninhada de Francelhos numa (a) caixa-ninho de madeira e (b) numa cavidade em taipa.....	21
Figura 4 – Taxa de crescimento de uma ninhada de Rolieiros numa (a) caixa-ninho de madeira e (b) numa cavidade em taipa.....	22
Figura 5 – Efeito da temperatura máxima do ninho no crescimento das crias de Rolieiro.....	24
Figura 6 – Efeito da temperatura máxima do ninho no crescimento das crias de Francelho.....	25
Figura 7 – Comparação das curvas de crescimento das crias de Rolieiro e Francelho (a-b) em cavidades de taipa e caixas-ninho.....	27
Figura 8 – Temperaturas máximas diárias registadas nas cavidades de taipa e caixas-ninho (a) durante o período de estudo e (b) em dias em que a temperatura exterior excedeu os 30 °C.....	28
Figura 9 – Temperatura por hora num ninho de taipa, numa caixa-ninho e no exterior durante o dia 14 de Maio de 2014 das 00:00 h até às 23:00 h.....	28
Figura 10 – Correlação entre a variável temperatura máxima no interior dos ninhos (TNmax) e a variável temperatura máxima no exterior (TEmax) dos ninhos para 24 horas.....	38
Figura 11 – Logaritmo da razão de H/L (a) sobre a temperatura máxima no interior do ninho 24 horas (TNmax24) antes do processo de captura (b) sobre o índice de condição corporal (ICC).....	40
Figura 12 – Percentagem de contribuição independente das variáveis explicativas mais importantes sobre a razão de H/L.....	40
Figura 13 – Temperaturas máximas 24h horas antes do processo de amostragem nos vários tipos de ninhos.....	41

Figura 14 – Temperaturas máximas e mínimas desde 1972 até 2012 para a área de estudo.....	46
Tabela 1 – Impacto da temperatura na mortalidade directa (valor absoluto e proporção) de crias de Francelho e Rolieiro em dois tipos de ninho: cavidades de taipa e caixas-ninho de madeira.....	21
Tabela 2 – Modelo aditivo generalizado misto utilizado para modelar o crescimento das crias em relação: à temperatura máxima do ninho, tipo de ninho e idade (a-c) e à temperatura máxima exterior, tipo de ninho e idade (b-d) para crias de Rolieiro e Francelho respectivamente.....	23
Tabela 3 – Primeiros quatro modelos que explicam a variabilidade da variável resposta.....	39

Resumo

Nos últimos anos, surgiram provas categóricas que demonstram o impacto das alterações climáticas na fenologia, distribuição, biologia reprodutora e dinâmica populacional das aves. No sul de Portugal, cenários climáticos prevêem para o período 2080-2100 um aumento na temperatura média máxima no Verão de 6-7 °C, um incremento significativo na ocorrência de ondas de calor e uma redução na precipitação. Este estudo pretendeu contribuir para a identificação dos impactos e riscos associados ao aumento da temperatura sobre a biologia reprodutora e condição fisiológica de crias de Francelho (*Falco naumanni*) e Rolieiro (*Coracias garrulus*), propondo algumas medidas de adaptação face às alterações previstas. O microclima do ninho desempenhou um papel fundamental na condição fisiológica e crescimento das crias de ambas as espécies. A colocação de caixas-ninho de madeira artificiais na área de estudo contribuiu nos últimos anos para o aumento da população nidificante de Francelhos e Rolieiros. No entanto este estudo demonstrou que presentemente as caixas-ninho de madeira atingem temperaturas que afectam a sobrevivência das crias de Francelho e o crescimento das crias de ambas as espécies. O estudo revelou ainda que o aumento da temperatura do ninho afecta a razão de heterófilos sobre linfócitos (H/L) em crias de Francelho. As crias de Francelho sujeitas a temperaturas mais elevadas apresentaram um índice de *stress* H/L superior às restantes. Face ao aumento da temperatura previsto nos cenários climáticos futuros para o Mediterrâneo torna-se fundamental substituir este tipo de ninho na área de estudo por outros com condições térmicas mais favoráveis ao sucesso reprodutor de ambas as espécies.

Palavras-chave: *Falco naumanni*; *Coracias garrulus*; temperatura; condição fisiológica; alterações climáticas

Abstract

In recent years, compelling evidence has been found for the impact of climate change on geographical distribution, phenology, breeding biology and population dynamics of many bird species. In Southern Portugal, climate scenarios predict an increase in average maximum summer temperature of 6-7 °C for the period 2080-2100, a significant increase in the occurrence of heat waves and a reduction in precipitation. This study aims to contribute to the identification of impacts and risks associated with the increase in temperature on the breeding biology and physiological condition of Lesser Kestrels and European Rollers chicks and to provide recommendations for management adaptation in the face of predicted global warming. The microclimate of the nest played a key role in physiological and growth of offspring of both species. In the last decade, the provisioning of artificial nest-sites in the study area lead to an increase in the breeding populations of kestrels and rollers. However, this study demonstrated that provided wooden nest-boxes reach very high temperatures that affect chick survival of lesser kestrels and chick growth of both species. The study also showed that high temperatures inside the nest impacted the physiological response to stress in lesser kestrel chicks, as measured by the heterophil/lymphocyte (H/L) ratios. The impact of high temperatures on lesser kestrels and rollers highlight a need for actions to modify and adapt conservation efforts and future planning to account for climate change. In the future, wooden-nest boxes should be avoided and new materials should be tested to reduce inside temperatures.

Key words: *Falco naumanni*; *Coracias garrulus*; temperature; physiological condition; climate change

Capítulo I – Introdução geral

A tese foi escrita em formato de artigo científico, tendo sido incluída nos capítulos principais toda a informação necessária para a sua compreensão num formato de artigo.

1.1 - Impacto das alterações climáticas nas aves

O clima da terra aqueceu aproximadamente 0.6 °C nos últimos 100 anos (IPCC, 2007). Segundo o quinto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC, 2014) prevê-se, em todos os cenários traçados, um aumento superior a 1.5 °C na temperatura superficial global para o final do século XXI. Nas regiões tropicais e subtropicais com latitudes médias estima-se um aumento da temperatura, uma diminuição na precipitação e a ocorrência de ondas de calor com maior frequência e magnitude (IPCC, 2014). O impacto causado pelas alterações climáticas nas espécies e ecossistemas é inequívoco (e.g. Walther *et al.*, 2002; Parmesan & Yohe, 2003). Altamente sensíveis às condições climáticas, as aves são indicadores pioneiros das alterações climáticas, i.e., mudanças a longo prazo nas condições meteorológicas médias (e.g. Berthold *et al.*, 2004). Nos últimos anos, provas categóricas demonstram o impacto das alterações climáticas na sua fenologia, distribuição, biologia reprodutora e dinâmica populacional (Saether *et al.*, 2003). Estudos recentes revelam que muitas espécies estão a alterar a sua área de distribuição geográfica para Norte e que as mudanças climáticas perspectivam alterações no respeitante a áreas actualmente adequadas que se tornam desadequadas no futuro (Huntley *et al.*, 2006). É previsível que haja alterações no ciclo de vida das espécies, tais como a antecipação da chegada às áreas de reprodução ou mudanças na estratégia migratória, que conduzam à dessincronização da reprodução para espécies que apresentem relações de interdependência (Visser *et al.*, 2006).

Num futuro próximo, as alterações climáticas induzidas pelo Homem tornar-se-ão na maior ameaça às populações de aves do mundo inteiro (BirdLife International, 2008). Torna-se por isso urgente identificar os impactos e respostas das aves às alterações do clima de forma a contribuir para a definição de medidas de adaptação que visem a sua conservação.

O Mediterrâneo é uma das regiões onde se espera que as mudanças climáticas e as alterações no uso do solo terão efeitos mais profundos sobre a biodiversidade nos próximos 100 anos (Sala *et al.*, 2000). No Sul de Portugal, cenários climáticos prevêem um aumento na temperatura média máxima no Verão de 6-7 °C, um incremento significativo na ocorrência de ondas de calor e uma redução na precipitação (Santos & Miranda, 2006). Estas mudanças terão certamente um grande impacto nas aves das estepes cerealíferas, um dos habitats mais importantes na Europa, e que alberga um elevado número de espécies de aves com estatuto de conservação desfavorável (Suárez *et al.*, 1997).

1.2 - Estratégia nacional de adaptação às alterações climáticas

Em resposta ao aumento do conhecimento e da consciencialização sobre alterações climáticas e sobre os impactos verificados e esperados nos sistemas naturais, nas actividades económicas e no tecido social a nível global, Portugal aprovou em 2010 a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (EN AAC) (Resolução do Conselho de Ministros nº 24/2010, DR: 1.ª série N.º 64 de 1 de Abril de 2010). Este instrumento estratégico visa identificar um conjunto de linhas de acção e de medidas de adaptação a aplicar face às alterações climáticas. Ao nível da biodiversidade, reconhece que algumas espécies e ecossistemas estão a demonstrar uma capacidade aparente para a adaptação natural, mas outras evidenciam impactos negativos, como a redução dos efectivos populacionais e disrupção do fornecimento de serviços pelos ecossistemas. Identifica a necessidade de balancear a adaptação natural das espécies e dos ecossistemas com a adaptação planeada, visando o aumento da resiliência dos ecossistemas.

1.3 - Espécies-alvo

1.3.1 - Francelho

O Francelho (*Falco naumanni*, Fleischer, 1818), também conhecido por Peneireiro-das-torres, é um pequeno falcão colonial classificado globalmente como *Pouco Preocupante (LC)* (IUCN, 2014a). É uma ave migradora, que durante o Outono e Inverno ocupa o

Hemisfério Sul, distribuindo-se por vários países da África Central e do Sul, localizando-se na Primavera e no Verão, no Hemisfério Norte, onde nidifica (Alcazar & Fragoso, 2006). Na época de nidificação distribui-se pelo Paleártico, na Europa Meridional, no Norte de África, na Ásia Meridional até à China, estendendo-se por Israel e pelo centro do Irão. Na Europa, ocorre na Península Ibérica e, de forma muito fragmentada, na região Mediterrânica e daí para Leste pela região dos Balcãs até ao Norte do mar Negro (Equipa Atlas, 2008).

Em Portugal esta espécie é estival nidificante e está classificada como *Vulnerável (VU)* (Cabral *et al.*, 2005). Apresenta uma distribuição descontínua, ocorrendo, sobretudo na Zona de Protecção Especial (ZPE) de Castro Verde, Baixo Alentejo, onde nidificam cerca de 430 casais, aproximadamente 80% da população total portuguesa (Catry *et al.*, 2009). No início do século XX, estima-se que em Portugal tivessem existido mais de 700 casais reprodutores em pequenas vilas e aldeias no Sul do País (Araújo, 1990). No entanto, até ao final do século XX, a maioria das colónias desapareceu na Europa e também em Portugal onde o censo de 1996 revelou a existência de apenas 155 a 158 casais repartidos por 10 colónias (Rocha *et al.*, 1996). Em 2001, realizou-se um novo censo onde se registaram 286 a 291 casais em 34 colónias (Rocha *et al.*, 2002). No último censo realizado, em 2007, estimou-se a população Portuguesa em 527 a 552 casais (Catry *et al.*, 2009).

O Francelho utiliza como habitat de nidificação zonas planas e abertas, com pouca vegetação arbórea e arbustiva, designando-se por “estepe”. Este tipo de habitat é característico de regiões áridas e semi-áridas. Pode alimentar-se de pequenos mamíferos, aves, répteis, mas são os artrópodes que representam mais de 85% da sua dieta (Alcazar & Fragoso, 2006). Na época de nidificação esta espécie forma colónias de nidificação de 2 a 500 casais (Cramp & Simmons, 1980), podendo partilhar a mesma colónia de nidificação com outras espécies de aves que utilizam as cavidades como local de nidificação, nas quais se inclui o Rolieiro (*Coracias garrulus* Linnaeus, 1758). O Francelho é uma espécie monogâmica que realiza posturas de 3 a 5 ovos em média, com intervalos de 2 dias. A incubação dura 28 dias, normalmente entre Abril e Junho. Após a eclosão ambos os progenitores alimentam as crias durante cerca de 37 dias (Bustamante & Negro, 1994).

Dentro dos vários factores de ameaça para espécie, destacam-se dois: as mudanças nas práticas agrícolas nos locais de reprodução (Peet & Gallo-Orsi 2000; Catry *et al.*, 2012; Catry *et al.*, 2013), e a perda do substrato de nidificação (Almeida *et*

al., 2003). O abandono dos terrenos de cultivo, a florestação, a intensificação das práticas agrícolas e o restauro de edificações antigas, que eram utilizadas como locais de nidificação, constituíram as principais causas para o declínio da espécie por toda a Europa no final do século XX.

O sucesso reprodutor desta espécie depende da manutenção de um mosaico agrícola diversificado, com cultivo extensivo de cereais em sistema de rotação (e.g. Tella *et al.* 1998; Franco *et al.*, 2004; Catry *et al.*, 2012). Em Portugal a espécie nidifica maioritariamente em paredes e telhados de edifícios rurais antigos, sobretudo em montes alentejanos. No entanto, o abandono prolongado dos montes faz com que as cavidades que acabam por surgir naturalmente também desapareçam ao longo do tempo, levando à extinção das colónias de nidificação. Em 1994 foram fornecidas caixas-ninho artificiais, e em 2001 já estavam colocados cerca de 200 ninhos artificiais nas três principais colónias existentes (Catry *et al.*, 2009). Em 2001 e 2002, realizaram-se estudos que comprovaram que em 85% das colónias de nidificação havia falta de ninhos, sugerindo-se assim que a população nidificante portuguesa estava limitada pelo número de cavidades adequadas, nas colónias existentes e pela ausência de edifícios com as características necessárias para o estabelecimento de novas colónias (Franco *et al.*, 2005). Em 2002, realizou-se um projecto europeu LIFE, “*Re-establishment of the Lesser Kestrel (Falco naumanni) in Portugal*” (LIFE2002/NAT/P/8481), com a duração de quatro anos. O principal objectivo deste projecto foi recuperar a população portuguesa desta espécie, através da protecção e ampliação dos habitats de reprodução e caça. Os resultados da realização deste projecto foram bastante positivos e a população nidificante portuguesa aumentou, desde 2001 até 2006, cerca de 54% (Henriques & Alcazar, 2006). Presentemente encontram-se distribuídos na ZPE de Castro Verde 800 ninhos artificiais, incluindo novas cavidades construídas nas paredes ou telhados de edifícios abandonados, caixas-ninho de madeira, potes de barro e paredes e torres de nidificação (Catry *et al.*, 2011a).

1.3.2 - Rolieiro

O Rolieiro é uma espécie migradora estival, estando classificada a nível global como *Quase Ameaçada (NT)* (IUCN, 2014b). Reproduz-se no Paleártico, desde o Noroeste de África e Península Ibérica a Oeste dos Himalaias, e inverte na África Subsariana (Tucker & Heath 1994).

No século passado a espécie extinguiu-se na Alemanha, Dinamarca, Suécia, Finlândia e República Checa (Avilés *et al.*, 1999; BirdLife International, 2004). As populações do Norte da Europa têm sido as que apresentam maiores declínios. Por outro lado, não existem evidências de quaisquer declínios nas populações da Ásia Central (BirdLife International, 2014). Na Europa existem cerca de 55000 a 117000 casais reprodutores, o que representa 50% a 74% da população global (Kovacs *et al.*, 2008). De acordo com os cenários climáticos futuros, as condições climáticas adequadas para a espécie irão apresentar uma contracção no Sul da Europa (Espanha, Itália e Grécia) e uma expansão no Norte e Leste (Huntley *et al.*, 2007). A Península Ibérica alberga a maior população nidificante no Oeste da Europa com 4000 a 11000 casais reprodutores (Cabral *et al.*, 2005).

Em Portugal, a espécie é estival nidificante e está classificada como *Criticamente em Perigo (CR)* (Cabral *et al.*, 2005). A sua distribuição é bastante fragmentada, destacando-se três núcleos populacionais: Castro Verde, Vila Fernando/Elvas e Beira Baixa (Cabral *et al.*, 2005). O censo nacional de 2009 realizado em dezasseis ZPEs e Áreas Importantes para as Aves (IBA), com habitat estepário no Baixo-Alentejo e Beira Baixa, revelou uma população nidificante de 57 a 62 casais, distribuídos por apenas seis das dezasseis ZPEs/IBAs prospectadas, verificando-se que a grande maioria da população se concentrou na região de Castro Verde (52-55 casais) (Catry *et al.*, 2011b).

O Rolieiro encontra-se predominantemente em terras baixas, preferindo zonas abertas e soalheiras (estepes e prados), com árvores dispersas e bem desenvolvidas - florestas de *Quercus*, em que as árvores têm cavidades, e pinhais, especialmente de *Pinus sylvestris* com clareiras e charnecas (Cramp, 1985; Samwald, 1994). Utiliza como substrato de nidificação cavidades de pica-paus abandonadas, fissuras em rochas ou bancos de areia (Cramp & Simmons 1988). Nas latitudes a Sul, nas áreas onde não existem árvores, nidifica frequentemente em construções humanas e caixas-ninho artificiais (Avilés & Sánchez, 1997). Nas áreas de Castro Verde e Vila Fernando (Elvas), o habitat do Rolieiro é caracterizado fundamentalmente por um mosaico de cerealicultura extensiva em sistema rotativo e pastagens, com árvores e habitações abandonadas dispersas, onde nidifica (obs.pess.). É uma espécie monogâmica, solitária e territorial, embora se possa concentrar em pequenos grupos nas zonas onde existem locais de nidificação (obs.pess.) Os indivíduos chegam aos locais de nidificação em Abril, permanecendo aí até Agosto (Avilés *et al.* 1999). Em Portugal, o início da

postura ocorre em Maio (Rocha, 1999; Moreira *et al.* 2003). As crias são nidícolas (Cramp, 1985). As posturas são de 4 a 5 ovos em média, sendo que a incubação começa no terceiro ovo e dura 17 a 20 dias (Avilés, 2006). As crias abandonam o ninho 20 a 24 dias após a data de nascimento (Avilés, 2006).

As principais ameaças para o Rolieiro são a perda e fragmentação do habitat e a perseguição ao longo das rotas migratórias (Tucker & Heath 1994; BirdLife International, 2014). A intensificação agrícola, florestação de terrenos agrícolas, abandono agrícola e o pastoreio extensivo, são alterações no habitat que contribuem para a redução da disponibilidade alimentar.

Em Portugal a perda do habitat de nidificação é um factor limitante para a existência da espécie uma vez que esta depende quase exclusivamente das estruturas humanas para nidificar, não dispendo e não utilizando estruturas naturais para nidificar. A conservação da espécie passa pelas seguintes medidas: manutenção das áreas agrícolas extensivas de sequeiro e das construções humanas em ruínas; criação de cavidades que favoreçam a nidificação e se necessário disponibilização de ninhos artificiais em áreas onde estes sejam um recurso limitado (Cabral *et al.*, 2005). As medidas já implementadas em Portugal para conservação do Francelho acabam por favorecer também o Rolieiro uma vez que esta espécie utiliza o mesmo habitat de nidificação e alimentação. Assim, o número de casais nidificantes tem aumentado na região de Castro Verde como resultado da implementação, em 1995, do Plano Zonal de Castro Verde, que visa manter um habitat favorável para a alimentação das aves de estepárias (Moreira *et al.*, 2007), e com as acções de disponibilização de paredes artificiais, cavidades e ninhos artificiais para o Francelho (Catry *et al.*, 2003).

1.4 - Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Zona de Protecção Especial (ZPE) de Castro Verde que abrange parcialmente os concelhos de Aljustrel, Beja, Mértola, Ourique e quase a totalidade do concelho de Castro Verde (Figura 1). Em Portugal esta é a principal área de estepes cerealíferas assumindo uma importância nacional e internacional para a conservação de muitas espécies de aves estepárias ameaçadas de extinção (Costa *et al.*, 2003). De entre as espécies nidificantes na região, e que constam no anexo I da Directiva 79/409/CEE, destacam-se, pela sua abundância e representatividade, a

Abetarda (*Otis tarda*), o Sisão (*Tetrax tetrax*), o Peneireiro-das-torres (*Falco naumanni*), o Tartaranhão-caçador (*Circus pygargus*), o Cortiçol-de-barriga-preta (*Pterocles orientalis*) e o Grou (*Grus grus*). A paisagem desta área corresponde a um mosaico espaço-temporal de campos de cereal, restolhos, pousios e campos lavrados. A variação altimétrica do concelho de Castro Verde situa-se entre 160 m e 230 m e apresenta declives suaves, em geral inferiores a 10%. Pertence à região bioclimática Mesomediterrânea com duas estações bem definidas (Rivas-Martinez, 1981). O Verão é a estação seca e quente com temperaturas máximas normalmente superiores a 40 °C. No Inverno registam-se com frequência temperaturas negativas. A temperatura média anual é de 16,2 °C (série temporal 1961-1990, Beja). As chuvas, ainda que irregulares, concentram-se especialmente de Novembro a Março. A precipitação média anual na região é 541 mm³ (série temporal 1931-2000, estação de Castro Verde), com valores mínimos entre os 250-300 mm³ e os valores máximos a aproximarem-se dos 900 mm³.

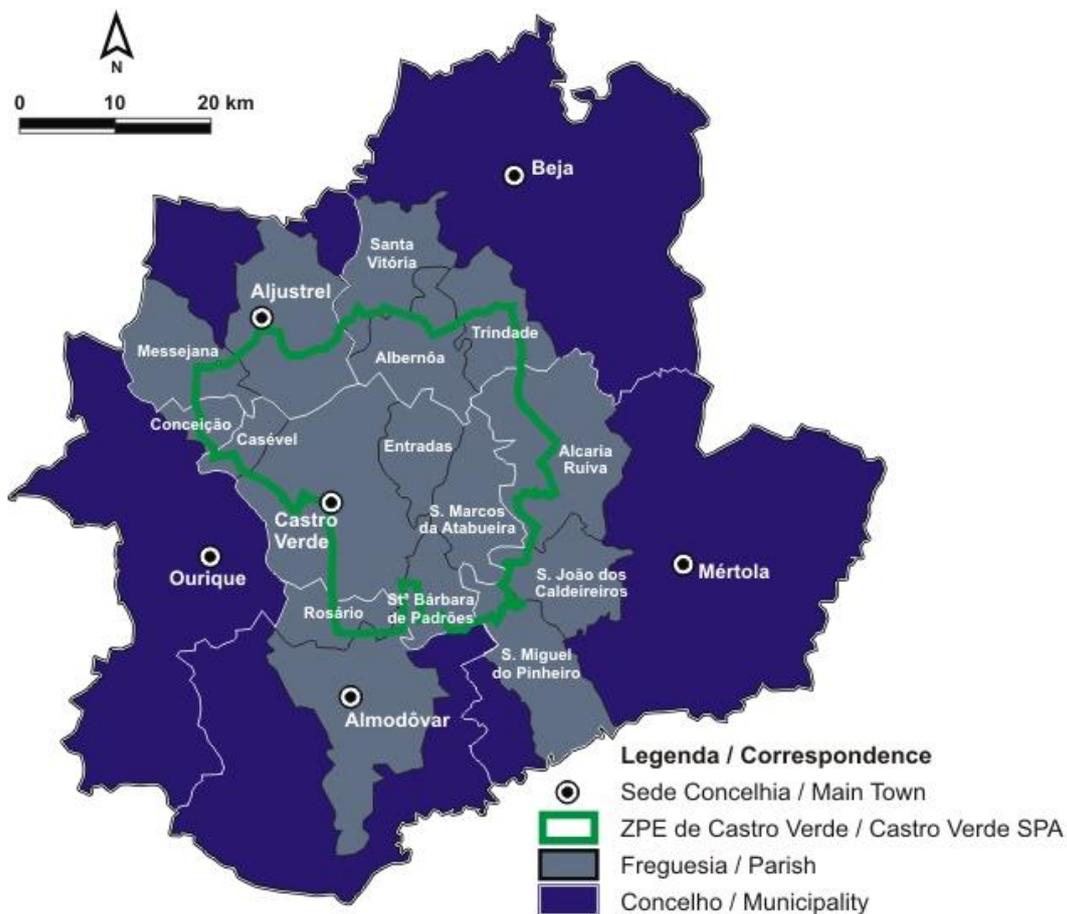


Figura 1 – Mapa da Zona de Protecção Especial de Castro Verde (Fonte: <http://www.cm-castroverde.pt/pt/769/condicionantes-e-mapas---zpe-de-castro-verde.aspx>).

1.5 - Objectivos gerais

Em resposta à Estratégia Nacional de Alterações Climáticas este estudo pretende contribuir para a identificação dos impactos e riscos associados ao aumento da temperatura sobre as espécies em estudo e propor algumas medidas de adaptação face às alterações previstas.

Os objectivos gerais desta dissertação são: (a) avaliar o impacto da temperatura máxima do ar no crescimento e sobrevivência de crias de Francelho e Rolieiro e (b) determinar, através de um indicador hematológico de *stress*, os efeitos do microclima dos ninhos na condição fisiológica de crias de Francelho e (c) propor algumas medidas de adaptação face ao aumento previsto da temperatura.

Capítulo II - Efeito da temperatura e tipo de ninho no crescimento e sobrevivência de crias de Francelho (*Falco naumanni*) e Rolieiro (*Coracias garrulus*)

2.1 - Introdução

O crescimento das crias de aves nidícolas é determinado por diversos factores, entre os quais a disponibilidade de alimento, a qualidade dos cuidados parentais, a dimensão da ninhada ou o microclima do ninho (Ricklefs, 1983). A maioria dos estudos existentes centra-se na influência da quantidade e qualidade do alimento (Cairns, 1987; Negro *et al.*, 1994; Paiva *et al.*, 2006) e do tamanho da ninhada (Emms & Verbeek, 1991; Viñuela & Bustamante, 1992), existindo poucos que abordam o efeito do microclima do ninho no crescimento e sobrevivência das crias (Dawson *et al.*, 2005; Catry *et al.*, 2011a).

A temperatura no interior do ninho é um factor determinante para a sobrevivência e crescimento das crias (Lloyd & Martin, 2004), podendo mesmo influenciar fases posteriores do ciclo de vida dos indivíduos. Sob temperaturas elevadas, a perda de energia na termorregulação faz com que as taxas de crescimento das crias sejam comprometidas (Krijgsveld *et al.*, 2003). Quando a temperatura do ninho excede a temperatura corporal, as crias libertam água por evaporação (Wolf & Walsberg, 1996), verificando-se uma alteração na sua condição corporal (Du Plesis *et al.*, 2012). Quando os limites fisiológicos são excedidos, poderá ocorrer mesmo morte por desidratação (Mckechine & Wolf, 2010; Catry *et al.*, 2011a).

Uma das principais consequências do aquecimento global é o aumento da frequência e magnitude de eventos climáticos extremos (Meehl & Tebaldi, 2004; IPCC, 2014). Estudos anteriores revelaram que, a estes eventos climáticos extremos (e.g. ondas de calor), estão associados elevados níveis de mortalidade em várias espécies (e.g. Welbergen *et al.*, 2008), realçando a importância de considerar os eventos climáticos extremos na previsão dos impactos das alterações climáticas nas populações de animais. Nas aves, ondas de calor extremas conduziram ocasionalmente à mortalidade de milhares de indivíduos adultos (Finlayson, 1932; Towie, 2009). As crias podem ficar particularmente afectadas por estes eventos uma vez que se encontram altamente expostas às condições térmicas e hídricas do ninho. Várias projeções climáticas indicam

que as condições climáticas na região Mediterrânica serão alteradas no futuro, prevendo-se uma diminuição na precipitação e um aumento da ocorrência de períodos com temperaturas elevadas (Sala *et al.*, 2000; Casimiro *et al.*, 2006; IPCC, 2014). Deste modo pretendeu-se neste estudo avaliar o impacto da temperatura máxima diária no crescimento e sobrevivência de crias de Francelho e Rolieiro, no Baixo Alentejo, de forma a compreender o impacto do aumento previsto da frequência de ondas de calor. No Alentejo, Francelhos e Rolieiros utilizam maioritariamente como substrato de nidificação cavidades em paredes de taipa, existentes em edifícios antigos e degradados, e ninhos artificiais, disponibilizados no âmbito de um projecto LIFE de conservação (Henriques & Alcazar, 2006; Catry *et al.*, 2012). As duas espécies partilham muitas vezes as mesmas colónias de nidificação e estão altamente dependentes da disponibilidade destes ninhos artificiais que incluem: caixas-ninho de madeira, potes-ninho de barro, paredes e torres de nidificação (construídas em taipa ou cimento). A persistência destas espécies no futuro depende da manutenção e disponibilização de ninhos artificiais, tornando urgente averiguar a adequabilidade dos ninhos face às futuras alterações nas condições climáticas, nomeadamente no que respeita ao impacto do aumento da temperatura no crescimento e sobrevivência das crias de ambas as espécies. Assim este estudo tem como objectivos: (a) comparar as taxas de crescimento e mortalidade com a temperatura máxima diária registada no interior e exterior dos ninhos; (b) comparar o crescimento e condição corporal das crias em ninhos de taipa e caixas-ninho de madeira; (c) identificar as diferenças entre os microclimas dos dois tipos de ninhos estudados e (d) recomendar medidas de gestão no que respeita à disponibilização de ninhos artificiais para as duas espécies.

2.2 - Métodos

2.2.1 - Recolha de dados

Foram visitadas, de dois em dois dias, nove colónias de nidificação, ocupadas por ambas as espécies, entre 26 de Maio e 11 de Julho de 2014, com o objectivo de determinar a taxa de crescimento das crias e avaliar a sua mortalidade.

A investigação da relação entre o crescimento e mortalidade exige a recolha de dados desde os primeiros dias de vida das crias, uma vez que é nesta fase que as crias se

encontram mais vulneráveis ao microclima do ninho e onde se concentra a maior taxa de mortalidade para a maioria das espécies de aves (Nisbet *et al.*, 1998). As crias foram pesadas de dois em dois dias sempre à mesma hora. Os ninhos dos Rolieiros foram visitados em média até aos 22 dias de idade da cria mais velha e os de Francelho até aos 31 dias para que a manipulação das crias não acelerasse a sua saída do ninho. As crias de cada ninhada foram marcadas com abraçadeiras de cores diferentes, para que fosse possível identificar cada uma individualmente, tendo sido anilhadas posteriormente. A condição corporal foi determinada com recurso a uma balança eletrónica portátil, com uma precisão de 0.1 g. Os ninhos monitorizados incluíram 7 ninhadas em cavidades de taipa e 6 em caixas-ninho de madeira para os Francelhos e 6 ninhadas em cavidades de taipa e 8 em caixas-ninho de madeira para os Rolieiros.

As ninhadas dos Francelhos variaram entre 2 e 5 crias e as dos Rolieiros entre 1 e 7 crias. Devido à morte de crias de Francelho, provocada por um período de temperaturas mais elevadas, em três caixas-ninho, foi necessário escolher outras caixas-ninho mais tardias para completar a amostra inicial. No total foram monitorizados 13 ninhos de Francelho num total de 49 crias e 14 ninhos de Rolieiro num total de 51 crias.

2.2.2 - Microclima do ninho

Para caracterizar o microclima dentro de cada ninho foram colocados *data-loggers* (micro-T DS1922L, Ecotone, UK) que registaram as temperaturas diárias a cada hora durante o período de amostragem. A temperatura exterior do ar foi registada com a colocação de cinco *loggers* no exterior, em locais à sombra. Estes dispositivos têm uma precisão de ± 0.5 °C e um alcance de -40 °C a 85 °C.

2.2.3 – Estimativa da mortalidade associada à temperatura

Durante o período de amostragem registou-se a morte de 1 cria de Rolieiro e de 22 crias de Francelho. A cria de Rolieiro encontrada morta apresentava sinais de desidratação quando foi repostada no ninho, depois de uma queda prematura, o que deverá ter conduzido à sua morte no dia seguinte. Entre as 22 crias de Francelho, quatro estavam num ninho de taipa que se encontrava infestado por ectoparasitas, o que terá provocado um enfraquecimento gradual das crias e que acabou por levar à sua morte. As restantes crias faziam parte de cinco ninhadas que se encontravam em caixas-ninho de madeira.

Em quatro das cinco ninhadas morreram a totalidade das crias, e numa delas também foi encontrada morta uma fêmea adulta. Estas 18 crias foram encontradas mortas nos dias em que se verificaram as temperaturas mais elevadas (12 a 15 de Junho). Apenas quatro das 18 crias que morreram neste período apresentaram uma perda de peso dois dias antes da sua morte. Como as 18 crias não manifestavam sinais de predação, de lesões ou de infeção parasitária, atribuiu-se a causa da morte às temperaturas extremamente elevadas.

2.2.4 - Análise estatística

Foram utilizados Modelos Aditivos Generalizados Mistos (MAGM) para descrever a relação entre o crescimento das crias de ambas as espécies em relação às temperaturas máximas registadas no interior e exterior dos ninhos. O crescimento das crias foi definido como a diferença na sua massa corporal registada entre duas visitas consecutivas. Assim, um valor positivo indica um aumento na massa corporal e um valor negativo uma perda de peso entre duas visitas consecutivas.

As crias de Francelho com idade superior a 25 dias e as crias de Rolieiro com idade superior a 17 dias foram excluídas do modelo uma vez que a partir desta idade se verifica uma oscilação na sua massa corporal, como resultado da aproximação da idade de saída do ninho (Catry *et al.*, 2011a; obs.pess.).

A temperatura máxima associada a cada pesagem refere-se à temperatura máxima registada (no interior ou exterior do ninho) nos dois dias que antecederam o momento de cada pesagem, i.e, entre pesagens consecutivas. Além das temperaturas máximas do interior do ninho foram também incluídos nos modelos outros preditores (a idade, o tipo de ninho e o tamanho da ninhada) que podem influenciar a variável resposta. O tamanho da ninhada acabou por não ser incluído nos modelos finais dado o seu efeito não significativo. A identidade de cada cria e de cada ninho foram considerados como factores aleatórios no modelo. Foi assumida uma distribuição normal e uma função de ligação identidade. A selecção do modelo foi baseada na identificação das variáveis explicativas que tiveram efeito significativo sobre a variável resposta.

As curvas de crescimento das crias foram determinadas utilizando uma regressão não linear, para ajustar uma curva de crescimento logístico, para o conjunto de dados de cada espécie (Francelho n=46 crias e Rolieiro n=51 crias). O microclima dos dois tipos

de ninhos foi comparado utilizando *t-tests*. Todas as análises estatísticas foram realizadas recorrendo ao *software* R (R Development Core Team, 2014) com a utilização dos *packages* “mgcv”, “nlme” e “lme4”.

2.3 – Resultados

2.3.1 - Mortalidade associada à temperatura

Durante o estudo foram registados dois períodos (13 a 15 de Junho e 10 a 11 de Julho) com temperaturas máximas exteriores superiores a 36 °C (Figura 2). Durante o período de 13 a 15 de Junho morreram 18 das 24 (75%) crias de Francelho que se encontravam em caixas-ninho de madeira (Tabela 1).

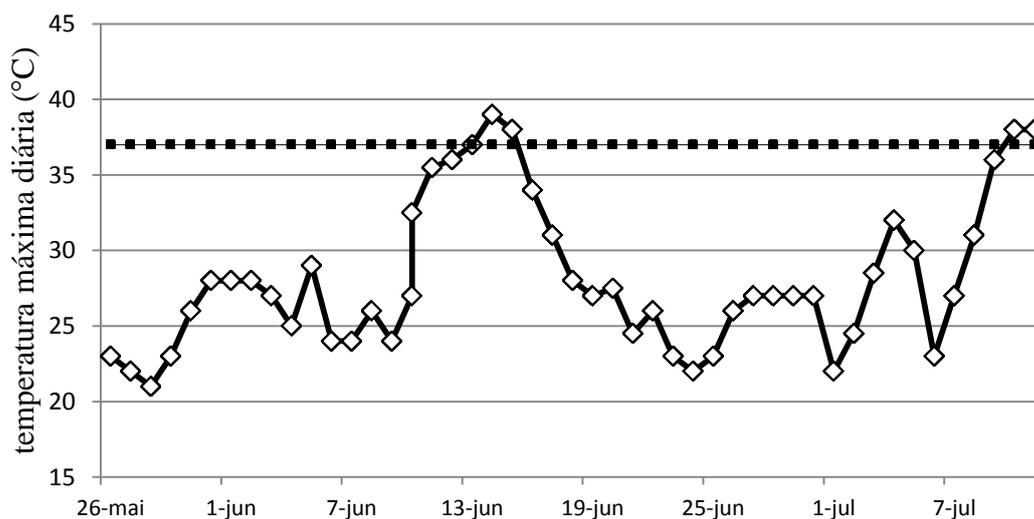


Figura 2 – Temperatura máxima diária registada na área de estudo entre 26 de Maio e 11 de Julho de 2014. Durante o estudo foram registados dois períodos (13 a 15 de Junho e 10 a 11 de Julho) com temperaturas iguais ou superiores a 36 °C (linha a tracejado).

No período de 10 a 11 de Julho não se verificou qualquer morte associada à temperatura. A mortalidade coincidiu com o período de temperaturas mais elevadas e registou-se apenas em crias nas caixas-ninho de madeira (Tabela 1).

O dia 14 de Junho foi o dia mais quente do período de amostragem, com uma temperatura máxima exterior de 39 °C, sendo também o dia em que se verificou uma maior mortalidade directa associada ao calor (morreram 11 das 18 crias de Francelho). Não se verificou qualquer morte de crias de Rolieiro associada aos períodos com temperaturas mais elevadas (Tabela 1).

Tabela 1 – Impacto da temperatura na mortalidade directa (valor absoluto e proporção) de crias de Francelho e Rolieiro em dois tipos de ninho: cavidades de taipa e caixas-ninho de madeira.

Tipo de ninho	Francelho			Rolieiro		
	Mortalidade	Número de crias	Número de ninhos	Mortalidade	Número de crias	Número de ninhos
Taipa	0.0	0	7	0.0	0	6
Caixa-Ninho	0.75	18	6	0.0	0	8
Total	0.37	18	13	0.0	0	14

2.3.2 - Impacto da temperatura no crescimento das crias

As Figuras 3 e 4 mostram o impacto do aumento da temperatura na condição corporal de crias de ambas as espécies em caixas-ninho de madeira e em cavidades em taipa.

Podemos observar na Figura 3a que da ninhada de Francelho em estudo, apenas sobreviveram duas das cinco crias, ao período com temperaturas máximas exteriores superiores a 36 °C (13 a 15 de Junho), que correspondeu a temperaturas no interior do ninho superiores a 40 °C.

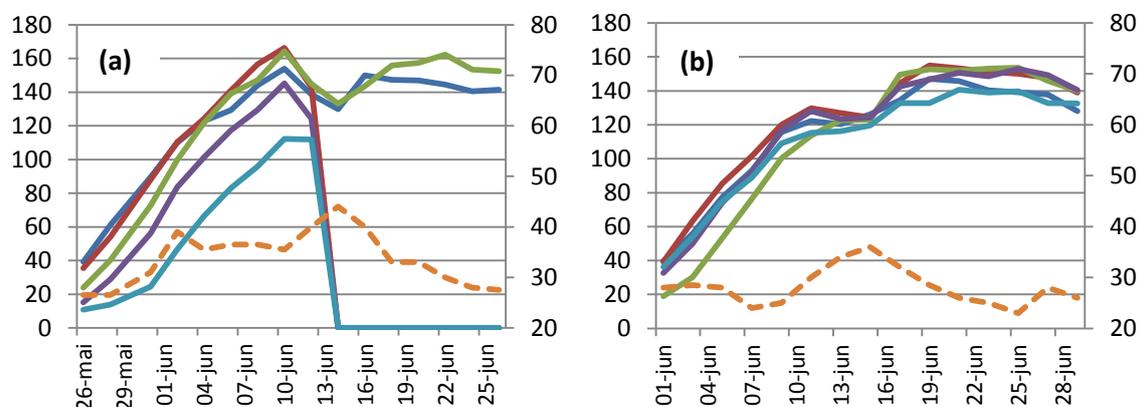


Figura 3 – Taxa de crescimento de uma ninhada de Francelhos numa (a) caixa-ninho de madeira e (b) numa cavidade em taipa. As crias foram pesadas de dois em dois dias. A temperatura máxima do interior do ninho é mostrada pela linha laranja a tracejado. Cada linha sólida de cor representa a taxa de crescimento de cada uma das crias da ninhada. O eixo dos yy à esquerda representa a massa corporal em gramas. O eixo dos yy à direita representa a temperatura em °C. As três crias que apresentam um peso corporal igual a zero entre o dia 12 e 14 de Junho morreram neste período.

Todas as crias de Francelho apresentaram uma perda de peso antes do dia em que se atingiu a temperatura máxima no interior do ninho (dia 14 de Junho, Figura 3).

As duas crias de Francelho, que sobreviveram na caixa-ninho de madeira, perderam bastante peso durante todo o período de temperaturas mais elevadas (13 a 15 de Junho), tendo voltado a ganhar peso quando a temperatura voltou a diminuir (Figura 3a). As crias de Francelho que se encontravam na cavidade em taipa também perderam peso durante o período de temperaturas mais elevadas (Figura 3b) mas não de forma tão acentuada como as crias que se encontravam na caixa-ninho de madeira (Figura 3a).

Na Figura 4 podemos observar a evolução da taxa de crescimento de duas ninhadas de Rolieiro nos dois tipos de ninhos estudados.

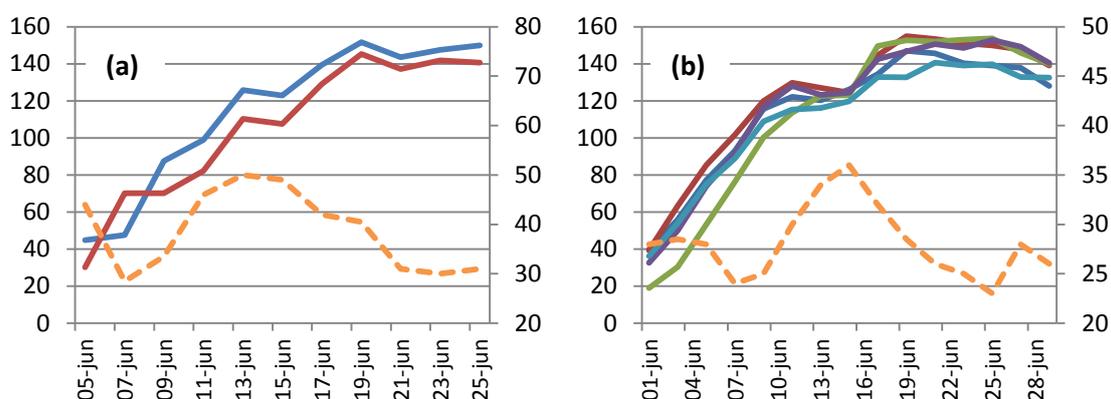


Figura 4 – Taxa de crescimento de uma ninhada de Rolieiros numa (a) caixa-ninho de madeira e (b) numa cavidade em taipa. As crias foram pesadas de dois em dois dias. A temperatura máxima do interior do ninho é mostrada pela linha laranja a tracejado. Cada linha sólida de cor representa a taxa de crescimento de cada uma das crias da ninhada. O eixo dos yy à esquerda representa a massa corporal em gramas. O eixo dos yy à direita representa a temperatura em °C.

Durante o período em que se verificaram as temperaturas mais elevadas, as crias de Rolieiro que se encontram na caixa-ninho de madeira acabaram por perder peso (Figura 4a). Por outro lado, as crias que se encontravam na cavidade em taipa não apresentaram qualquer perda de peso associada às temperaturas mais elevadas (Figura 4b). Além disso, as crias que se encontravam na caixa-ninho de madeira apresentaram uma taxa de crescimento muito mais irregular que as que se encontravam na cavidade em taipa (Figura 4). Todas as crias apresentaram uma taxa de crescimento bastante irregular nos últimos dias antes da data em que foram pesadas pela última vez (Figura 3; Figura 4).

Os resultados do MAGM mostram um impacto significativo da temperatura máxima do ar e do microclima dos ninhos no crescimento das crias de Rolieiro (Tabela 2 a-b). Ao contrário do que se verificou nas cavidades em taipa, as caixas-ninho de

madeira apresentaram um efeito significativo sobre a taxa de crescimento das crias de Rolieiro (Tabela 2 a-b). Como esperado, a idade também tem um efeito significativo no crescimento das crias. Na Figura 5 (a-b) podemos observar o impacto da temperatura máxima diária do ar e da temperatura máxima diária do ninho no crescimento das crias

Tabela 2 – Modelo aditivo generalizado misto utilizado para modelar o crescimento das crias em relação: à temperatura máxima do ninho, tipo de ninho e idade (a-c) e à temperatura máxima exterior, tipo de ninho e idade (b-d) para crias de Rolieiro e Francelho respectivamente. As estimativas dos coeficientes β são dadas com os erros-padrão (\pm SE); s (...) indica os preditores não-paramétricos escolhidos para o modelo; *edf* mostra os graus de liberdade; *F-value* e *t-value* são usados para testar a significância dos termos não-paramétricos e paramétricos; n.s. significa não significativo; R^2 ajustado indica a escala e n o tamanho da amostra.

Rolieiro				
(a) Preditores	β (\pm SE)	<i>edf</i>	<i>F-value/t-value</i>	P
s(temp. max. ninho)		2.46	12.39	<0.001
s(temp.max. ninho): taipa		1.00	0.414	n.s.
s(max. temp. ninho):caixa-ninho		1.99	15.49	<0.001
s(idade)		4.11	47.27	<0.001
Tipo de ninho:				
<i>Intercept</i>	16.69 \pm		20.40	<0.001
Cavidades taipa	0.91 \pm		0.86	n.s.
Adj $R^2 = 0.44$ Scale est. = 58.35 n = 357				
(b) Preditores	β (\pm SE)	<i>edf</i>	<i>F-value/t-value</i>	P
s(temp. max. ar)		2.74	12.53	<0.001
s(temp.max. ar): taipa		1.00	0.217	n.s.
s(max. temp. ar): caixa-ninho		3.02	19.84	<0.001
s(idade)		3.99	37.85	<0.001
Tipo de ninho:				
<i>Intercept</i>	17.29 \pm		24.77	<0.001
Cavidades taipa	0.73 \pm		0.81	n.s.
Adj $R^2 = 0.45$ Scale est. = 73.24 n = 387				
Francelho				
(c) Preditores	β (\pm SE)	<i>edf</i>	<i>F-value/t-value</i>	P
s(temp. max. ninho)		1.53	24.87	< 0.001
s(temp.max. ninho): taipa		1.00	19.76	< 0.001
s(max. temp. ninho): caixa-ninho		2.53	14.77	< 0.001
s(idade)		4.86	32.03	< 0.001
Tipo de ninho:				
<i>Intercept</i>	11.19 \pm		15.98	< 0.001
Caixas-ninho	1.84 \pm		0.68	n.s.
Adj $R^2 = 0.43$ Scale est. = 86.0 n = 286				
(d) Preditores	β (\pm SE)	<i>edf</i>	<i>F-value/t-value</i>	P
s(temp. max. ar)		2.01	16.79	< 0.001
s(temp.max. ar): taipa		1.00	13.85	< 0.001
s(max. temp. ar): caixa-ninho		3.15	12.95	< 0.001
s(idade)		4.61	30.78	< 0.001
Tipo de ninho:				
<i>Intercept</i>	13.11 \pm		21.12	< 0.001
Caixas-ninho	- 2.59 \pm		-2.03	< 0.05
Adj $R^2 = 0.44$ Scale est. = 81.66 n = 306				

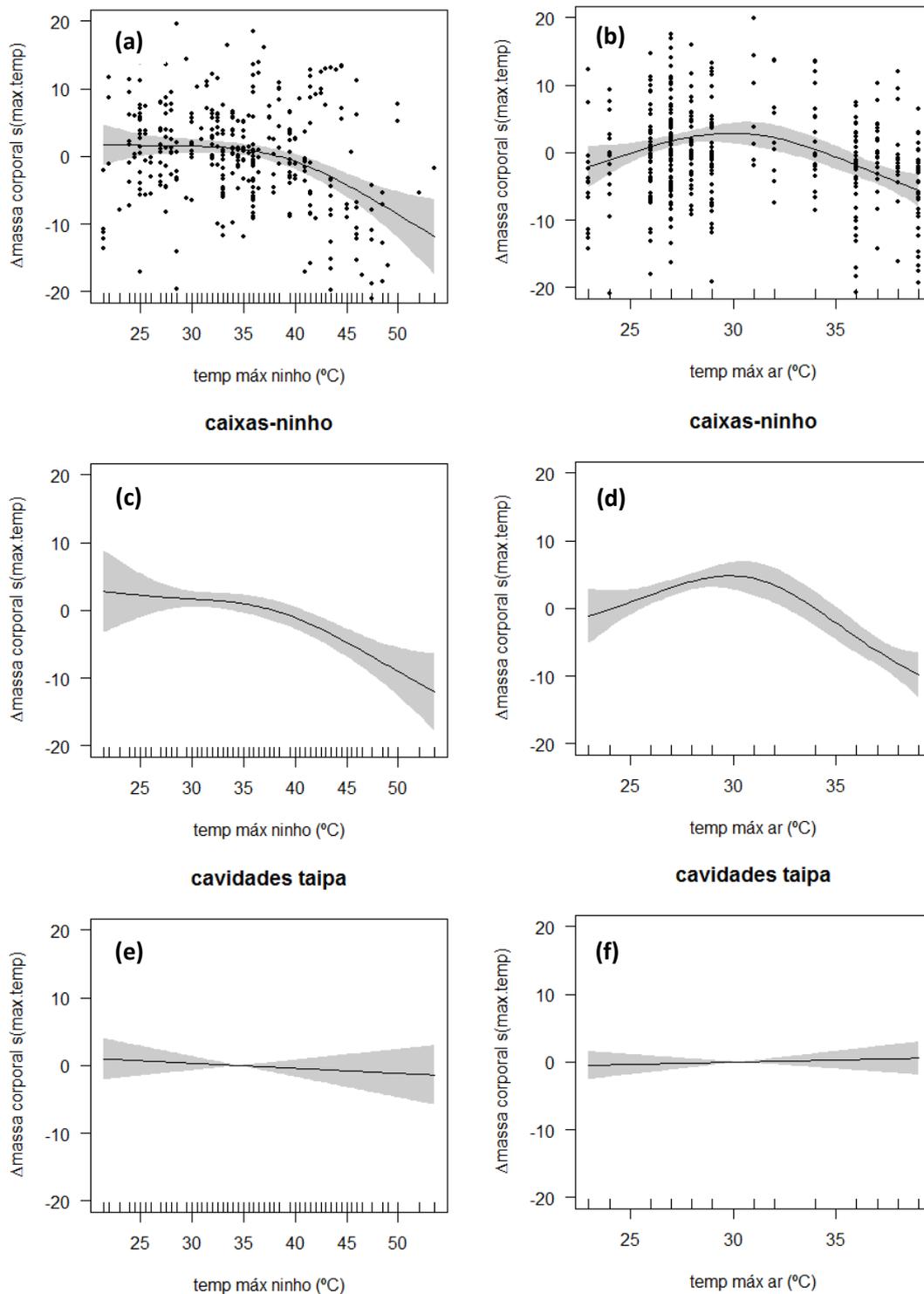


Figura 5 – Efeito da temperatura máxima do ninho no crescimento: (a) da totalidade das crias de Rolieiro, nas crias (c) em caixas-ninho de madeira e (e) em cavidades em taipa. Efeito da temperatura máxima do ar no crescimento: (b) da totalidade das crias de Rolieiro, das crias (d) em caixas-ninho de madeira e (f) em cavidades em taipa. O eixo dos yy mostra a contribuição dos preditores para a variável resposta (massa corporal). Os traços no eixo dos xx indicam a localização das observações. Os pontos representam os resíduos parciais e as linhas sólidas a cinza os intervalos de confiança.

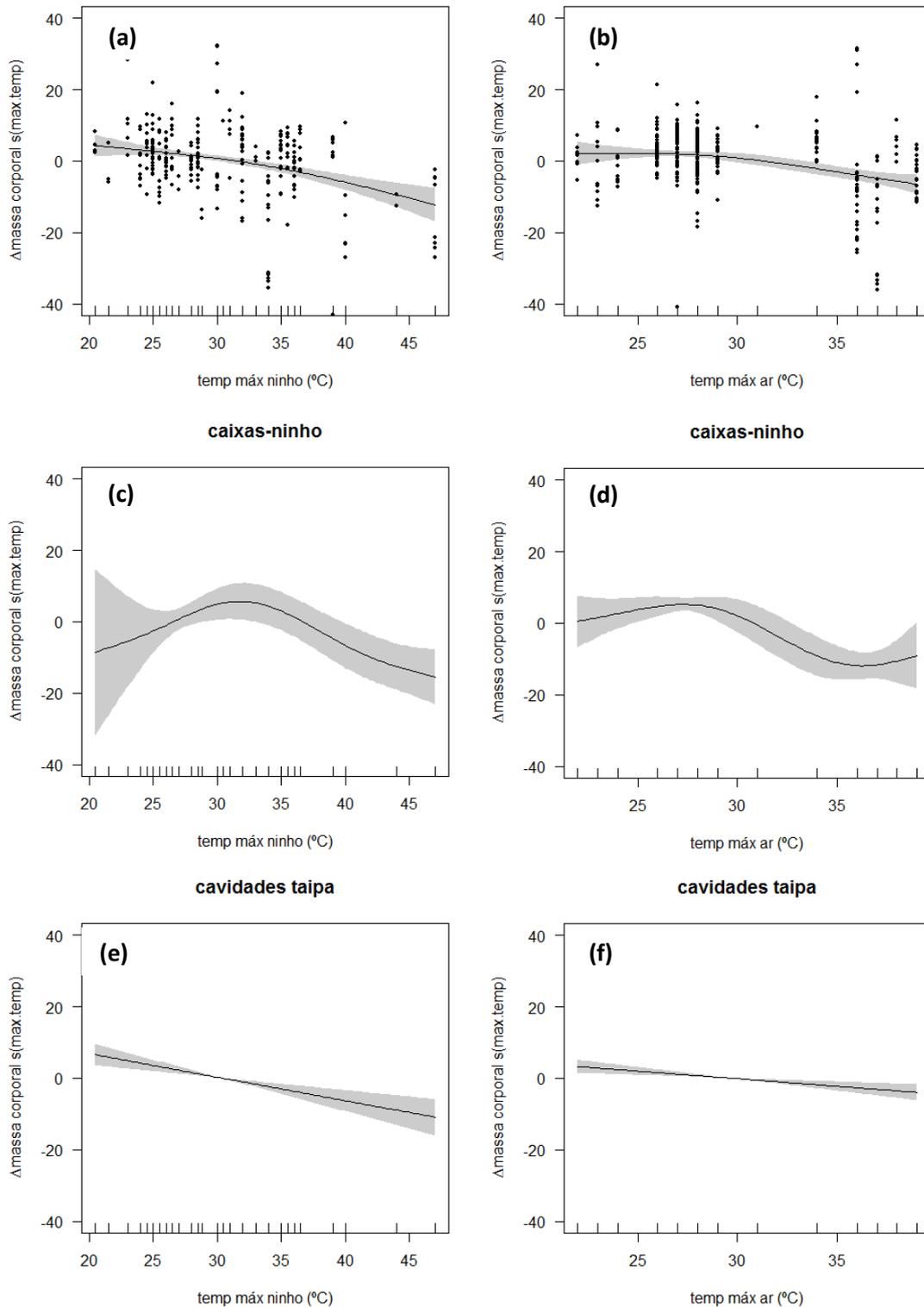


Figura 6 - Efeito da temperatura máxima do ninho no crescimento: (a) da totalidade das crias de Francelho, nas crias (c) em caixas-ninho de madeira e (e) em cavidades em taipa. Efeito da temperatura máxima do ar no crescimento: (b) da totalidade das crias de Francelho, das crias em (d) caixas-ninho de madeira e (f) em cavidades em taipa. O eixo dos yy mostra a contribuição dos preditores para a variável resposta (massa corporal). Os traços no eixo dos xx indicam a localização das observações. Os pontos representam os resíduos parciais e as linhas sólidas a cinza os intervalos de confiança.

de Rolieiro. Verifica-se que, quando a temperatura máxima no interior do ninho (Figura 5a) ultrapassa os 40 °C, ou a temperatura máxima exterior ultrapassa os 34 °C (Figura 5b), as crias perdem peso.

As curvas da Figura 5 (c-d) mostram que um aumento na temperatura máxima está associado a uma perda significativa de peso nas crias que se encontram nas caixas-ninho de madeira (Tabela 2). Por outro lado, um aumento da temperatura máxima não afecta significativamente a condição corporal das crias que se encontram nas cavidades de taipa, não existindo qualquer perda de peso associada (Figura 5 e-f; Tabela 2).

Os resultados do MAGM para os Francelhos mostram um efeito significativo da temperatura máxima diária do ninho, da temperatura máxima diária do exterior, dos dois tipos de ninho e da idade no crescimento das crias (Tabela 2).

A Figura 6 a-b mostra a influência das temperaturas máximas diárias do interior e do exterior dos ninhos na condição corporal das crias de Francelho (Tabela 2 c-d). Quando as temperaturas máximas diárias no interior do ninho são superiores 36 °C, ou quando as temperaturas máximas diárias exteriores excedem os 31 °C, as crias de Francelho apresentam uma diminuição no peso corporal (Figura 6 a-b). Analisando a evolução da condição corporal das crias nas caixas-ninho de madeira, constata-se que quando a temperatura máxima diária do interior dos ninhos ultrapassa os 36 °C e a temperatura máxima diária exterior os 31 °C, existe uma diminuição na condição corporal das crias de Francelho. No caso da temperatura máxima diária exterior, esta diminuição na condição corporal verifica-se apenas até aos 35 °C, existindo, de seguida, um ligeiro aumento (Figura 6d). Ao contrário do que acontece com as crias de Rolieiro, as crias de Francelho apresentam uma diminuição na condição corporal, quando a temperatura máxima nas cavidades em taipa ultrapassa os 31 °C (Figura 6e).

A comparação das curvas de crescimento para as crias de ambas as espécies nos dois tipos de ninho é mostrada na Figura 7. Podemos observar que a taxa de crescimento das crias de Rolieiro nas cavidades em taipa foi na maioria dos casos coincidente ou superior à média da taxa de crescimento (Figura 7a). Por outro lado as crias que apresentam uma menor condição corporal são as que se encontram nas caixas-ninho de madeira (Figura 7a). Ao analisar a curva de crescimento média para as crias de Francelho, verifica-se que os resíduos mais altos são de crias de caixas-ninho de madeira, ou seja, estas crias apresentam um peso menor relativamente ao peso esperado para a sua idade (Figura 7b). Tal como na curva de crescimento dos Rolieiros, as crias em cavidades de taipa apresentam taxas de crescimento, na maioria dos casos, ou

coincidentes ou superiores à média da taxa de crescimento, até mais ao menos aos 27 dias de idade. A partir dos 27 dias de idade, existem bastantes crias nas cavidades em taipa, com uma taxa de crescimento inferior à média (Figura 7b). Ao contrário do que seria esperado, as taxas de crescimento das crias de Francelho em caixas-ninho de madeira são em muitos casos superiores à média da taxa de crescimento (Figura 7b). Podemos observar ainda em ambas as curvas que as crias que apresentam uma massa corporal muito inferior à média da taxa de crescimento encontram-se sempre em caixas-ninho de madeira (Figura 7).

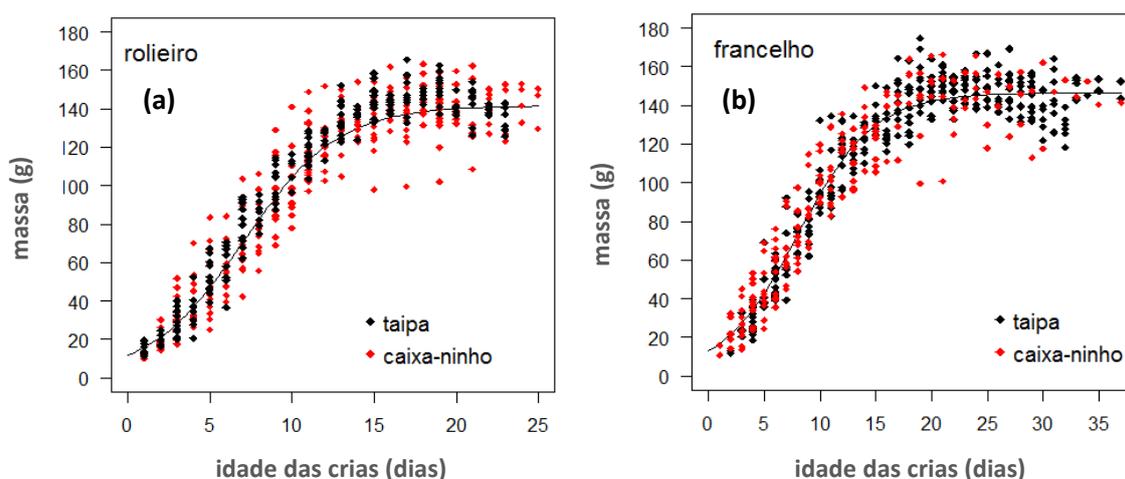


Figura 7 – Comparação das curvas de crescimento das crias de Rolieiro e Francelho (a-b) em cavidades de taipa e caixas-ninho. A curva logística para cada espécie representa a média das taxas de crescimento observadas nos dois tipos de ninho.

2.3.3 - Microclima dos diferentes tipos de ninhos

Ao comparar as temperaturas máximas registadas nos dois tipos de ninho com as temperaturas máximas registadas no exterior, verifica-se que as caixas-ninho de madeira atingem temperaturas máximas mais altas do que as cavidades em taipa (Figura 8a). Por outro lado, as cavidades em taipa registam temperaturas máximas pouco diferentes das temperaturas máximas registadas no exterior (Figura 8a). A temperatura máxima dentro das caixas-ninho de madeira é significativamente mais alta do que as temperaturas máximas registadas nas cavidades em taipa ($t = -13.3$, $df = 44$, $p\text{-value} < 0.001$).

A Figura 8b permite comparar a temperatura máxima nos dois tipos de ninho em dias em que a temperatura máxima do ar excedeu 30 °C. Em dias com temperaturas elevadas (>30 °C), as cavidades em taipa atingiram uma temperatura máxima média mais baixa do que a temperatura máxima média exterior e a temperatura máxima média

nas caixas-ninho de madeira ultrapassou os 40 °C (Figura 8b) ($t = -9.3$, $df = 11$, $p\text{-value} < 0.001$).

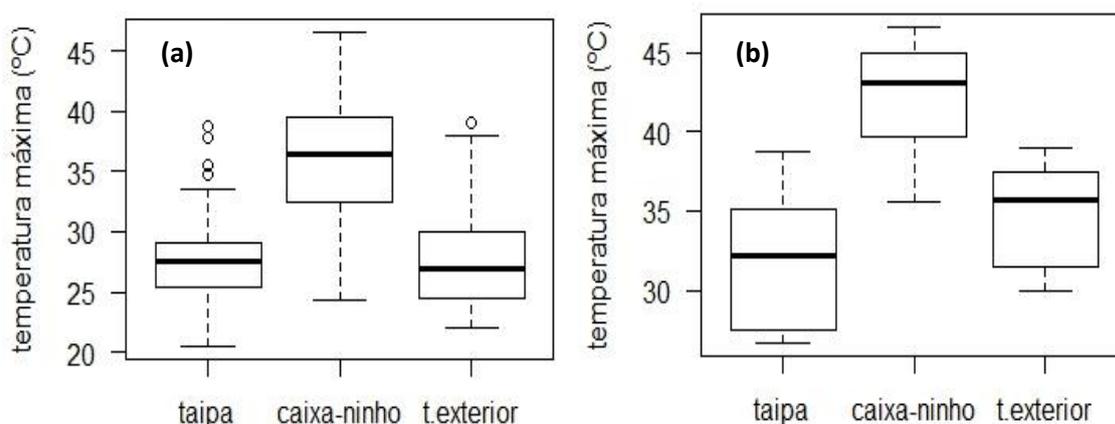


Figura 8 - Temperaturas máximas diárias registadas nas cavidades de taipa e caixas-ninho (a) durante o período de estudo e (b) em dias em que a temperatura exterior excedeu os 30 °C. A temperatura máxima exterior é mostrada para comparação. São representadas a mediana, o alcance e o limite superior e inferior da caixa-de-bigodes.

Analisando as temperaturas registadas ao longo do dia 14 de Junho em dois ninhos de cada tipo, constata-se que a cavidade em taipa apresenta temperaturas mais homogéneas do que a caixa-ninho de madeira (Figura 9). A cavidade em taipa apresenta uma amplitude térmica de apenas 7.5 °C ao longo do dia, por outro lado a caixa-ninho

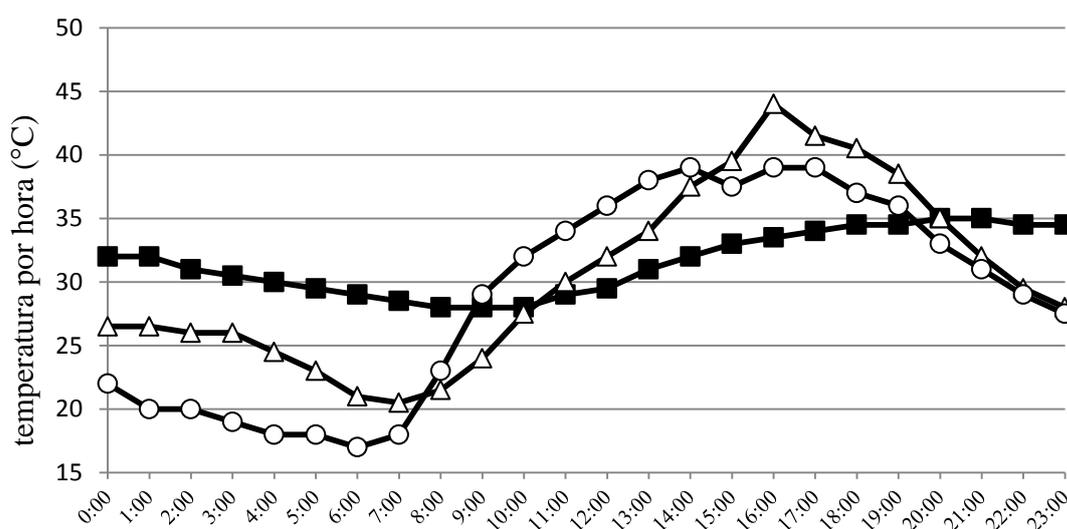


Figura 9 – Temperatura por hora num ninho de taipa, numa caixa-ninho e no exterior durante o dia 14 de Maio de 2014 das 00:00 h até às 23:00 h. A linha sólida com quadrados representa a temperatura numa cavidade em taipa, com círculos a temperatura exterior e com triângulos a temperatura numa caixa-ninho de madeira.

de madeira apresenta uma amplitude térmica de 21 °C. Quando a temperatura exterior atinge o máximo (39 °C) às 14 horas, a caixa-ninho de madeira atinge a temperatura máxima diária passadas duas horas, contrariamente a cavidade em taipa aumenta a temperatura gradualmente atingindo a temperatura máxima diária às 21 horas (Figura 9).

2.4 - Discussão

2.4.1 - Mortalidade associada à temperatura

A maior mortalidade associada à temperatura ocorreu quando se registaram as temperaturas mais elevadas e apenas se verificou em caixas-ninho de madeira, tal como foi registado por Catry *et al.*, (2011a), num estudo onde avaliou o impacto da temperatura no crescimento e sobrevivência em crias de Francelho. Quando as temperaturas dentro do ninho excedem os limites fisiológicos, as crias tornaram-se incapazes de manter a temperatura corporal dentro dos limites toleráveis, acabando por morrer por desidratação (Lloyd & Martin, 2004). Apesar de se terem verificado dois períodos de temperaturas bastante elevados durante o período de estudo, apenas se registou a morte de crias de Francelho no primeiro. Este resultado poderá dever-se à diferença de massa corporal das crias no momento em que se registaram as temperaturas mais elevadas, uma vez que as crias mais novas apresentam uma maior perda de água, devido às reduzidas dimensões, e conseqüentemente uma maior probabilidade de morte por desidratação (Mckechine & Wolf, 2010; Sarà *et al.*, 2012). Apenas se registou a morte devido ao aumento da temperatura em crias de Francelho. Este facto demonstra que as crias de Rolieiro são muito mais resistentes ao calor, apresentando uma temperatura limite tolerável muito superior à temperatura tolerada pelas crias de Francelho. As crias de Francelho morrem com temperaturas do interior do ninho superiores aos 44 °C. Torna-se difícil estabelecer o limite fisiológico para a espécie, uma vez que este deverá variar consoante a dimensão das crias e o número de dias seguidos com temperaturas superiores a 36 °C, temperatura do ninho a partir da qual as crias começam a perder peso.

Em relação aos Rolieiros o limite fisiológico será superior ao dos Francelhos e não se aproxima das condições a que as crias estiveram sujeitas durante o estudo uma vez que não se verificou qualquer morte associada à temperatura.

2.4.2 - Impacto da temperatura no crescimento das crias

As temperaturas elevadas afectaram significativamente a condição corporal das crias de Francelho e Rolieiro nas caixas-ninho de madeira e também das crias de Francelhos nas cavidades em taipa. À semelhança do que foi demonstrado noutros estudos sobre o impacto da temperatura do ninho no crescimento em crias de aves altriciais (Lloyd & Martin, 2004; Catry *et al.*, 2011a; Cunningham *et al.*, 2013), este estudo demonstra que em resposta às temperaturas elevadas no interior dos ninhos as crias canalizam os recursos que seriam usados no crescimento para diminuírem a sua temperatura corporal, levando a que a sua condição corporal seja alterada. A diminuição do peso corporal poderia ser atribuída a uma menor entrega de presas por parte dos progenitores, quando a temperatura era mais elevada, mas o facto de as crias não perderem peso nos ninhos que mantiveram temperaturas mais baixas, mesmo quando a temperatura exterior era elevada, mostra que a perda de peso é uma consequência directa do aumento da temperatura. Além disso, Catry *et al.*, (2011a) mostrou para os Francelhos, que as entregas de presas pelos progenitores não variam significativamente dos dias mais quentes para os mais frios. Esta diminuição da condição corporal em resposta às temperaturas elevadas pode ter consequências importantes no *fitness* e sobrevivência futura das crias (Lloyd & Martin, 2004).

As taxas de crescimento irregulares que se verificaram nos últimos dias de amostragem nas crias de ambas as espécies, nos quatro ninhos representados, verificam-se quando se aproxima a idade de saída do ninho, não podendo por isso ser atribuídas à temperatura.

As crias de Rolieiro apenas começaram a perder peso quando a temperatura máxima do ninho ultrapassou os 40 °C. Por outro lado, as crias de Francelho começaram a perder peso logo a partir dos 36 °C, tal como Catry *et al.*, (2011a) registou para a mesma espécie. Esta diferença na resposta fisiológica ao aumento da temperatura mostra que as crias de Rolieiro estão mais adaptadas às temperaturas altas e conseguem termorregular, sem que a sua condição corporal seja afectada, até 4 °C a mais que as crias de Francelho. No caso dos Francelhos, verificou-se um aumento na condição corporal a partir dos 37 °C, nas crias existentes em caixas-ninho de madeira (Figura 6d). Seria esperado que as crias continuassem a perder peso com o aumento da temperatura. Este resultado pode dever-se ao facto de terem sido incluídas poucas crias de Francelho no modelo, uma vez que a maioria acabou por morrer neste tipo de ninho quando

ocorreu o primeiro período com temperaturas mais elevadas. Os custos directos do aumento da temperatura foram maiores nas crias mais novas, tal como tem sido sugerido noutros estudos (Mckechine & Wolf, 2010; Catry *et al.*, 2011a; Sarà *et al.*, 2012). As crias mais novas apresentam uma maior vulnerabilidade aos efeitos da temperatura e como se encontram numa fase em que a taxa de crescimento é maior torna-se mais fácil determinar os efeitos directos da temperatura na sua condição corporal (Cunningham *et al.*, 2013).

O crescimento das crias de Francelho nas caixas-ninho de madeira foi em muitos casos superior à média da taxa de crescimento. Visto que nas caixas-ninho de madeira se atingem temperaturas superiores à temperatura a partir da qual os Francelhos começam a perder peso, seria esperado que as taxas de crescimento neste tipo de ninho fossem inferiores à média da taxa de crescimento. Este resultado poderá ter a ver com o facto de não terem sido incluídas nas curvas de crescimento as crias que morreram nas caixas-ninho de madeira e por terem sido consideradas as crias que perderam peso nas cavidades em taipa.

2.4.3 – Impacto do tipo de ninho, no microclima do ninho e crescimento das crias

O microclima dos ninhos pode desempenhar um papel fundamental no sucesso reprodutor de algumas espécies de aves (Wiebe, 2001; Lloyd & Martin, 2004; Butler *et al.*, 2009).

Os resultados deste estudo mostram que as caixas-ninho de madeira atingem temperaturas internas muito mais elevadas do que as cavidades em taipa. Além disso, manifestam uma grande variação térmica ao longo do dia. Nos dias mais quentes a temperatura média registada nas caixas-ninho de madeira é muito superior à temperatura exterior. As caixas-ninho de madeira atingem temperaturas extremamente elevadas quando expostas ao sol. Isto deve-se, não só à natureza do material que as compõe, mas também ao tamanho da sua entrada que impossibilita a existência de ventilação (Catry *et al.*, 2011a). Estas características explicam a grande mortalidade de crias de Francelho observada neste tipo de ninho (75%) e a existência de crias de ambas as espécies, com uma condição corporal inferior à observada nas cavidades em taipa. Apesar de se verificar uma diminuição na condição corporal das crias de Rolieiro em caixa-ninho de madeira, estas parecem adaptar-se melhor que as crias de Francelho ao microclima deste tipo de ninho, havendo crias que sobreviveram a temperaturas

superiores a 50 °C. Tal como Catry *et al.*, (2011a) tinha verificado nos dias em que se registaram temperaturas exteriores mais elevadas, as cavidades em taipa apresentaram temperaturas médias e máximas inferiores às temperaturas exteriores. Este estudo mostra ainda que se verifica uma variação térmica muito reduzida ao longo do dia neste tipo de ninho. Além disso, não se verificou qualquer tipo de morte associada à temperatura neste tipo de ninho o que indica que este deverá ser o tipo de ninho mais adequado para as espécies em estudo.

O facto dos Francelhos perderem peso nos ninhos em taipa mostra que terão que ser feitas alterações neste tipo de ninho para que o crescimento das crias não seja comprometido. A construção de cavidades de maiores dimensões permitirá que as temperaturas no interior do ninho se mantenham relativamente baixas mesmo quando a temperatura exterior é elevada, desta forma o crescimento das crias não será afectado, mesmo no caso das ninhadas com quatro ou cinco crias. Alternativamente às cavidades em taipa deverão ser testados outros tipos de materiais e tipos de ninhos para disponibilizar no futuro, uma vez que a manutenção das populações de ambas as espécies está muito dependente da disponibilização de ninhos artificiais.

Capítulo III - Resposta imunológica ao *stress* térmico em crias de Francelho (*Falco naumanni*)

3.1 – Introdução

O clima é um factor determinante no sucesso reprodutor das aves (Saether *et al.* 2003; Lloyd & Martin, 2004; Catry *et al.* 2011a). A temperatura registada durante o período de nidificação pode ter efeitos directos nos progenitores e principalmente nos ovos e crias, mais vulneráveis às condições térmicas e hídricas no interior dos ninhos (Webb, 1987; Lloyd & Martin, 2004; Ardia, 2013). Um aumento da temperatura do ar pode levar a que os limites fisiológicos das crias sejam excedidos (McKechnie & Wolf, 2010), conduzindo mesmo à morte por desidratação (Lloyd & Martin, 2004; Catry *et al.*, 2011a). Além disso, a exposição a agentes de *stress* crónicos (e.g. altas temperaturas), durante o desenvolvimento, pode ter consequências tardias no ciclo de vida, reduzindo componentes importantes de *fitness*, tais como a sobrevivência e futura capacidade reprodutora (Merino *et al.*, 2006; Catry *et al.* 2011a).

A resposta primária dos animais a um *stress* ambiental é rápida e conduz a alterações fisiológicas, como o aumento da pressão sanguínea, dos níveis de glicemia, da frequência respiratória, do tônus muscular e dos glucocorticóides circulantes (Sapolsky, 1992). A reacção ao *stress* é adaptativa, sendo ajustadas funções fisiológicas para compensar perturbações na homeostase (Bradshaw, 2003). Nas aves, em caso de *stress* fisiológico o número de heterófilos e linfócitos no sangue é afectado em direcções opostas, havendo um aumento no número de heterófilos e uma diminuição no número de linfócitos em circulação.

A resposta relativamente lenta dos leucócitos ao *stress* permite obter valores momentâneos do estado fisiológico do indivíduo sem que estes sejam alterados pelo processo de captura para recolha de amostras sanguíneas (Cirule *et al.*, 2012). A razão de H/L constitui assim um método de avaliação de *stress* amplamente utilizado em populações de aves (Gross & Siegel, 1983; Ots *et al.*, 1998; Davis *et al.*, 2008). Estudos prévios usaram o índice H/L para avaliar o *stress* associado à escassez de alimento, a longas distâncias percorridas durante a migração, a infecções por parasitismo, a contaminação radioactiva, à qualidade do território, às temperaturas extremas e à

condição física de cada indivíduo (Ruiz *et al.*, 2002; Davis *et al.*, 2004 Sanz *et al.*, 2004; Davis *et al.*, 2008; Quillfeldt *et al.*, 2008).

A relação directa entre as temperaturas dos ninhos e o *fitness* das aves é ambígua e poucos estudos investigaram o impacto directo da variação do microclima dos ninhos no sucesso reprodutor e *fitness* das crias. Assim, neste trabalho pretendeu-se avaliar a resposta fisiológica de crias de Francelho ao *stress* térmico, consequência das temperaturas elevadas registadas durante a época de reprodução da espécie.

O Francelho utiliza como substrato de nidificação diversas tipologias de ninhos naturais e artificiais com microclimas diferentes, sendo os mais comuns: as cavidades em paredes ou telhados, os potes de barro e as caixas-ninho de madeira. No capítulo anterior foi demonstrado, tal como Catry *et al.*, (2011a), que as temperaturas excepcionalmente altas e o tipo de ninho têm um impacto negativo no crescimento e sobrevivência de crias desta espécie. Estes resultados são de grande relevância, uma vez que cenários climáticos futuros prevêem um aumento na temperatura máxima de Verão de 6 a 7 °C no Mediterrâneo para o período de 2080-2100, bem como um aumento significativo na ocorrência de ondas de calor (Casimiro *et al.*, 2006). Desta forma, a monitorização da resposta das populações de aves aos eventos climáticos é fundamental para o planeamento e implementação de medidas de conservação e de adaptação face às alterações climáticas.

O objectivo deste trabalho consiste na determinação dos efeitos do microclima dos ninhos na fisiologia das crias de Francelho, usando a razão entre heterófilos e linfócitos, como um indicador hematológico de *stress*. Diferentes ninhos apresentam diferentes microclimas, simulando por isso diferentes condições climáticas que, por sua vez, afectam diferencialmente a fisiologia da espécie (Catry *et al.*, 2011a). Pretende-se investigar a resposta fisiológica das crias ao *stress* térmico, através da relação entre as temperaturas registadas no interior e exterior de cada ninho, e a razão de H/L no sangue. Pretende-se ainda analisar se a razão de H/L é afectada por outros factores, como o tamanho da ninhada, idade, condição corporal, sexo e tipo de ninho. Espera-se que exista um padrão entre a temperatura exterior, a temperatura no interior do ninho e a razão de H/L e que temperaturas mais elevadas conduzam a valores de HL mais elevados.

3.2 - Métodos

3.2.1 – Recolha de dados

Entre 31 de Maio e 23 de Junho de 2013, foram amostradas 63 crias de Francelho em três tipos de ninhos diferentes, obtendo-se um total de 121 amostras sanguíneas. Amostraram-se 25 crias em cavidades de cimento, 24 em caixas-ninho de madeira e 14 em potes-ninho de barro. As crias foram amostradas em dias com temperaturas variáveis (incluindo dias mais quentes), com o intuito de determinar se o aumento da temperatura afecta a condição fisiológica dos indivíduos. Para cada cria amostrada procedeu-se ao registo do sexo, do peso (g), do comprimento da asa (mm), do tamanho da ninhada e do tipo de ninho em que se encontrava. O processo de captura para recolha de amostras sanguíneas não demorou mais que 20 minutos, tendo sido recolhidos cerca 25 µL (metade de um capilar heparinizado) de sangue de cada indivíduo através da punção da veia alar. Para registo das temperaturas do interior dos ninhos colocou-se um *data logger* dentro de cada ninho monitorizado. A temperatura exterior foi estimada pela média dos registos obtidos em três *data loggers*, colocados no exterior dos ninhos, à sombra.

3.2.2 - Preparação dos esfregaços

Os esfregaços foram preparados segundo o método *two slide “wedge”* (Clark *et al.*, 2009). Para produzir os esfregaços, colocou-se uma lâmina de microscópio numa superfície plana, de seguida colocou-se uma gota de sangue na metade direita da referida lâmina e com a ajuda de outra lâmina em posição de cunha (cerca de 45 graus em relação à primeira lâmina) espalhou-se ligeiramente a gota de sangue da esquerda para a direita e depois da direita para a esquerda até se obter uma monocamada de células. Após a etapa inicial de preparação, os esfregaços foram fixados em etanol a 96% durante 3 minutos. Para a coloração foi utilizada uma solução de Giemsa diluída, numa proporção de 1.5 ml de solução para 10 ml de água destilada. Logo a seguir os esfregaços foram mergulhados durante 1 hora nesta solução, tendo sido posteriormente lavados em água corrente para retirar os restos da coloração. Por fim, foram postos a secar ao ar durante cerca de 24 horas.

3.2.3 - Observação e contagem das células sanguíneas

A observação dos esfregaços ao microscópio realizou-se primeiro focando nas objectivas de menor ampliação até à objectiva de imersão de maior ampliação (100 vezes). O sangue de todas as aves contém eritrócitos, leucócitos e plaquetas. Ao microscópio os eritrócitos são células ovóides com um núcleo ovóide composto por cromatina muito densa e um citoplasma eosinofílico (Clark *et al.*, 2009). Existem cinco tipos de leucócitos: os heterófilos, os eosinófilos, os basófilos, os linfócitos e os monócitos. Os heterófilos e linfócitos representam cerca 80% dos leucócitos existentes (Rupley, 1997). Os heterófilos, os eosinófilos e os basófilos designam-se por granulócitos por possuírem grânulos no seu citoplasma, característica que se encontra ausente nas restantes tipologias de leucócitos (Clark *et al.*, 2009). Os heterófilos são os granulócitos mais encontrados nas aves, têm uma forma redonda irregular, o citoplasma é composto por uma grande quantidade de grânulos fusiformes de cor vermelho-tijolo a castanho opaco. Por fim, o núcleo é composto por lóbulos, sendo por vezes obscuro em algumas células (Clark *et al.*, 2009). As espécies do género *Falco* apresentam eosinófilos com alguns grânulos no citoplasma azul pálido (Lind *et al.*, 1990) ou alguns pequenos grânulos eosinofílicos (Wernery *et al.* 2004). Os basófilos são células tipicamente redondas, possuem grandes densidades de grânulos basofílicos que, por vezes, obscurecem o núcleo e o citoplasma (Clark *et al.*, 2009). Os linfócitos são o tipo de leucócito mais encontrado no sangue das aves, apresentam diversos tamanhos, sendo a cromatina do núcleo densa. Quanto ao citoplasma, é basofílico e apresenta normalmente a forma de um rim incompleto (Clark *et al.*, 2009).

A contagem do número de leucócitos em 10 000 eritrócitos permite calcular o o índice H/L que resulta do número de heterófilos sobre o número de linfócitos em 100 leucócitos. Para a contagem do número de leucócitos em 10 000 eritrócitos foram observados aleatoriamente 36 campos do microscópio em cada lâmina com a objectiva de imersão de 100 vezes, considerando que em cada campo se encontravam aproximadamente 280 células sanguíneas. Para calcular o índice H/L sempre que o número de leucócitos era inferior a 100 foram observados mais campos até que a soma do número total de leucócitos fosse igual a 100.

3.2.4 - Análise estatística

Para cada indivíduo amostrado, calcularam-se as temperaturas máximas e médias dentro (TNmax e TNmed) e fora (TEmax e TEmed) do respectivo ninho, para três períodos

temporais (6h, 24h, 48h), que antecederam o processo de amostragem. Obtiveram-se assim seis variáveis de temperatura exterior e seis para o interior do ninho. Foi calculado o índice da condição corporal $ICC = 1 - (MO \text{ residual}) / MT$ (Le Corre *et al.*, 2003), onde MO significa massa observada (g), MT é a massa teórica (g), calculada com uma regressão não-linear entre a massa e a idade, e a MO residual é a diferença entre a MO e a MT. Um ICC igual a 1 significa que a massa do indivíduo se encontra normal para a sua idade; se o ICC for inferior a 1 o indivíduo apresenta uma fraca condição corporal e se o ICC for superior o indivíduo possui uma massa corporal melhor do que a expectável para a sua idade. Usaram-se modelos lineares generalizados mistos (MLGMs com distribuição normal e função de ligação identidade) para investigar o efeito da temperatura e restantes preditores (idade, ICC, sexo, dimensão da ninhada e tipo de ninho), na resposta imunológica das crias (razão de H/L). A identidade de cada indivíduo e de cada ninho foram considerados como factores aleatórios.

Os MLGMs permitem analisar dados não normalizados em que a variável resposta é determinada por efeitos aleatórios e fixos. Ao observar os resíduos da variável resposta, verificou-se que estes não apresentavam uma distribuição normal. Para tal, procedeu-se a uma transformação logarítmica da variável resposta. Para avaliar a existência de colinearidade entre as variáveis foi gerada uma matriz de correlação de Spearman; sempre que, para um par de variáveis, o coeficiente da correlação excedeu > 0.5 , a variável com o maior valor de AIC nos modelos univariados foi removida. Os modelos foram comparados através do critério de informação de Akaike (AIC, Burnham & Anderson, 2002). Este valor foi corrigido (AICc) para amostras de dimensão reduzida, uma vez que a razão entre o número de observações e parâmetros (n/k) é < 40 . Para cada modelo foi ainda calculado o $\Delta AICc$, correspondente à diferença dos valores de AICc entre um dado modelo e o modelo com menor valor de AICc. Anderson & Burnham (2002) sugerem que modelos para os quais $\Delta AICc \leq 2$, têm uma importância substancial e devem ser considerados na realização da inferência. Modelos com $\Delta AICc$ entre 4 e 7 têm consideravelmente menor suporte, enquanto que modelos com $\Delta AICc > 10$ são relativamente pobres e deverão ser omitidos em considerações posteriores ou, pelo menos, estes modelos falham na explicação de parte substancial da variação dos dados. Para cada modelo, calculou-se ainda o seu peso (w_i) que representa a probabilidade do modelo i ser seleccionado como melhor modelo se os dados fossem novamente recolhidos em circunstâncias semelhantes (Burnham & Anderson, 2002).

Foram analisados os resíduos de todos os modelos obtidos, garantindo que os

pressupostos do modelo foram cumpridos. Realizaram-se duas abordagens diferentes, numa foram testadas as variáveis de temperatura para o interior dos ninhos e na outra as variáveis de temperatura para o exterior do ninho. Com o intuito de determinar se existiam diferenças significativas entre as temperaturas registadas nos vários tipos de ninhos, realizou-se uma *one way* ANOVA. As análises estatísticas foram realizadas recorrendo ao *software* R (R Development Core Team, 2014), utilizando os *packages* “lme4”, “MuMIn” e “hiert.part”. Os MLGs podem ser afectados por problemas de multicolinearidade entre as variáveis explicativas (Graham, 2003). Para tal, procedeu-se a uma *Hierarchical Partitioning (HP)* com o objectivo de reduzir os problemas de colinearidade, tendo sido determinada a contribuição conjunta, resultante da correlação com outras variáveis, e independente de cada variável explicativa sobre a variável resposta.

3.3 - Resultados

As correlações mais importantes entre pares de variáveis temperatura do ninho foram as seguintes: TNmax24 e TNmax6 ($r=0.967$); TNmax24 e TNmax48 ($r=0.996$); TNmed48 e TNmed24 ($r=0.987$) e TNmed6 e TNmed6 ($r=0.962$).

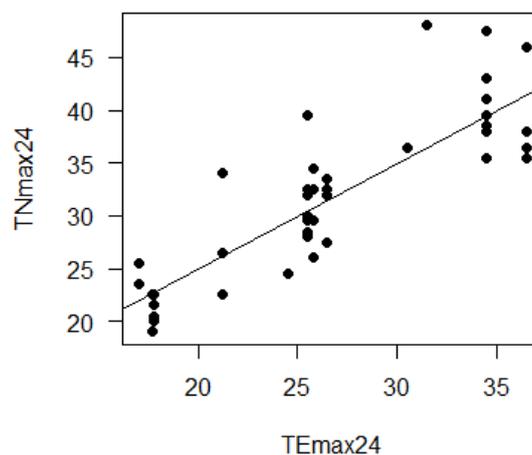


Figura 10 – Correlação entre a variável temperatura máxima no interior dos ninhos (TNmax) e a variável temperatura máxima no exterior (TEmax) dos ninhos para 24 horas antes do processo de amostragem.

Para reduzir o efeito da multicolinearidade, removeram-se (com base nas comparações de AIC dos modelos univariados) todas as variáveis com excepção da variável TNmax24 (temperatura máxima no interior do ninho nas 24h que antecederam

a amostragem). A variável temperatura exterior dos ninhos mais importante é a TEmax24. Esta está altamente correlacionada com a variável TNmax24 ($r=0.891$, Figura 10).

3.3.1- Selecção do modelo que melhor explica a variação da razão de H/L

Os quatro primeiros modelos obtidos (Tabela 3) apresentam um $\Delta AICc$ menor que 7, sugerindo assim que estes modelos se aproximam com uma confiança de 95% do melhor modelo (Burnham & Anderson, 2002).

Tabela 3 – Primeiros quatro modelos que explicam a variabilidade da variável resposta. A identidade de cada ninho e de cada indivíduo são considerados factores aleatórios em todos os modelos. Os modelos são classificados de acordo com o critério de informação de Akaike (AICc). O $\Delta AICc$ indica a diferença entre um dos modelos candidatos para o melhor modelo. Os pesos de Akaike (W_i) indicam a contribuição de cada modelo para a média total de todos os modelos candidatos. O Dev é o valor total de desvio explicado por cada modelo.

Modelo	Dev	AICc	$\Delta AICc$	W_i
ICC + TNmax24	147.19	307.1	0.00	0.704
Idade + ICC + TNmax24	148.18	311.4	4.23	0.085
ICC + Tipo de ninho + TNmax24	147.32	311.9	4.81	0.064
ICC + Tamanho da ninhada + TNmax24	148.70	312.4	5.28	0.050

Os modelos sugerem que a temperatura no interior dos ninhos e a condição corporal (ICC) são as variáveis que mais influenciam a razão de H/L (Tabela 3). O modelo que inclui estes dois preditores tem um peso de 0.704 (Tabela 3). A temperatura máxima no interior do ninhos (Tnmax24) apresenta uma associação positiva com a razão de H/L (Figura 11a), entrando nos melhores modelos com uma grande probabilidade de selecção ($\sum w_i = 0.95$, Tabela 3). A condição corporal das crias (ICC) está associada negativamente com a razão de H/L (Figura 11b), apresentando uma grande probabilidade de selecção ($\sum w_i = 0.98$, Tabela 3), fazendo por isso também parte dos melhores modelos. Apesar da idade surgir no segundo modelo, esta variável apresenta uma probabilidade de selecção muito baixa ($\sum w_i = 0.10$, Tabela 3), indicando que esta variável tem uma importância reduzida na explicação da variabilidade da variável resposta.

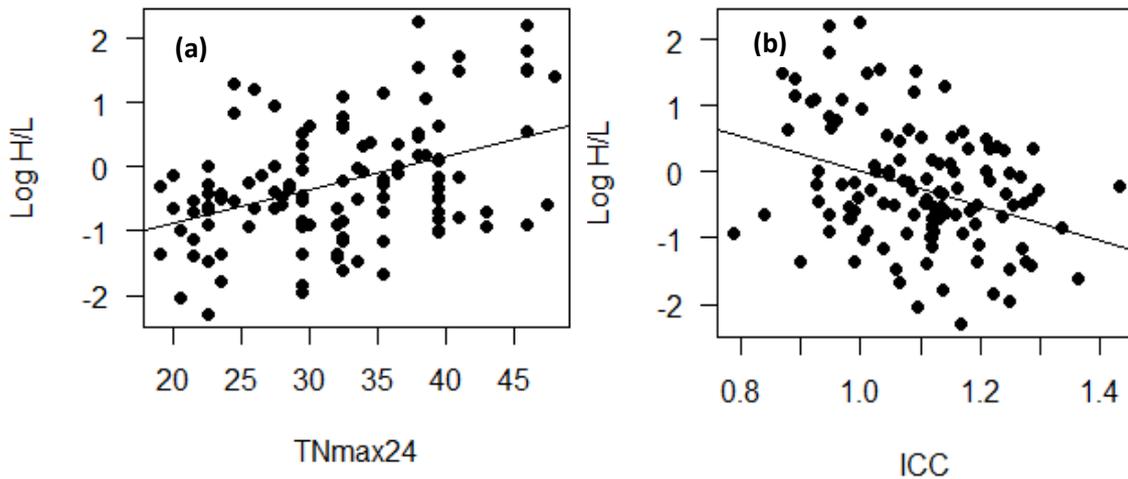


Figura 11 – Efeito da (a) temperatura máxima no interior do ninho 24 horas (TNmax24) antes do processo de captura e do (b) índice de condição corporal (ICC) sobre o logaritmo da razão de H/L.

Os resultados obtidos na *Hierarchical Partitioning* mostram que as variáveis com maior efeito independente sobre a variável resposta são o ICC (27.44%) e a TNmax24 (48.0%) (Figura 12).

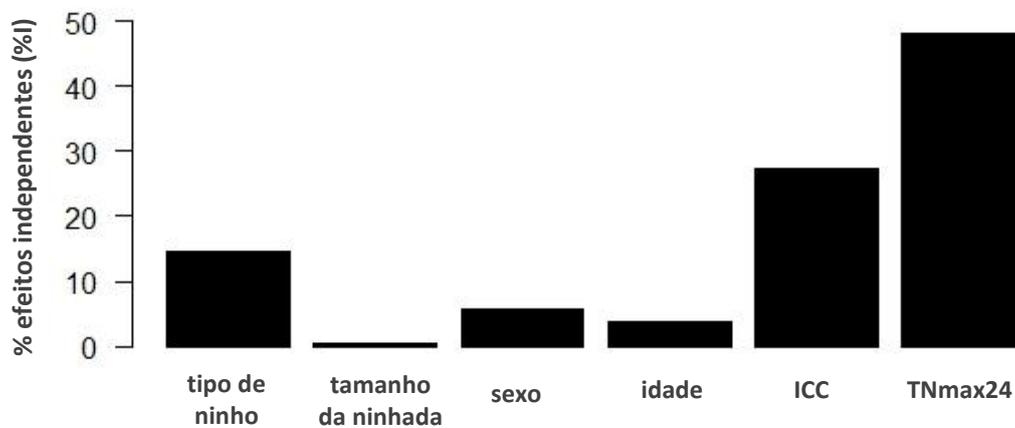


Figura 12 – Percentagem de contribuição independente das variáveis explicativas mais importantes sobre a razão de H/L.

3.3.2 - Variação da temperatura nos vários tipos de ninhos

Através da análise da caixa-de-bigodes, para os três tipos de ninho, verificou-se que os potes de barro são os que atingem temperaturas mais baixas nas 24 horas que antecederam o processo de amostragem (Figura 13). No entanto, as diferenças entre as

temperaturas máximas e os vários tipos de ninho não são significativas ($F_{2,665} = 135.7, P = 0.07$).

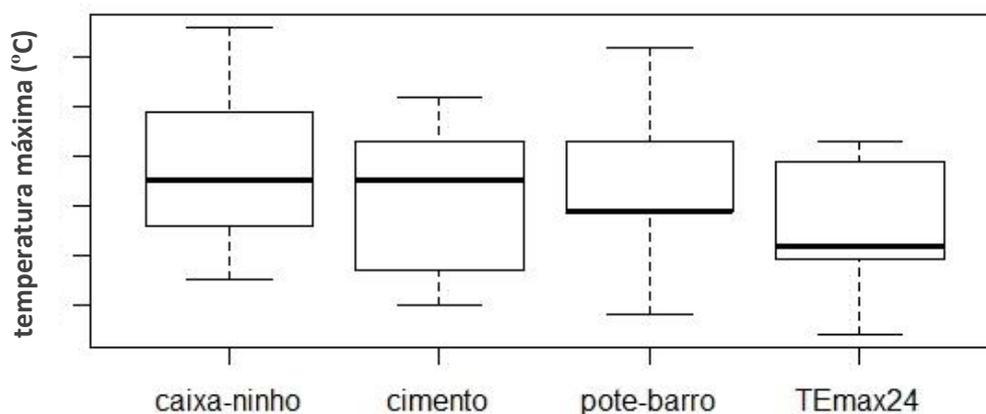


Figura 13 - Temperaturas máximas 24h horas antes do processo de amostragem nos vários tipos de ninhos. A temperatura máxima exterior é mostrada para comparação. São representados a mediana, o alcance e o limite superior e inferior da caixa-de-bigodes.

3.4 – Discussão

O meio ambiente é um factor determinante na relação entre o sistema imunitário e a condição geral dos indivíduos. Os factores de *stress* que afectam o sistema imunitário de um individuo são variáveis (Ewenson *et al.*, 2001).

As alterações na razão de H/L dependem das mudanças na quantidade de dois tipos de células em circulação, envolvidos na resposta imunológica, os heterófilos, fagócitos envolvidos na defesa inata, e os linfócitos envolvidos na defesa adquirida (Campbell, 1995; Davis *et al.*, 2008). A ocorrência de um *stress* induz um aumento no número de glucocorticóides em circulação, estes, por sua vez, provocam alterações no “tráfego” ou redistribuição dos linfócitos por outros compartimentos corporais ou tecidos, levando a uma redução no número de linfócitos em circulação (Dhabhar, 2002). Em contraste, os glucocorticoides, em caso de *stress*, estimulam o fluxo de heterófilos da medula óssea para o sangue e atenuam a saída de heterófilos do sangue para os compartimentos corporais (Bishop *et al.*, 1968), fazendo com que exista um aumento de heterófilos em circulação.

Este trabalho demonstrou que o aumento da temperatura afecta o índice de *stress* H/L em crias de Francelho. As crias sujeitas a temperaturas mais elevadas apresentaram uma razão de H/L superior às restantes.

3.4.1 - Efeito da temperatura no *fitness* das crias

Nas aves existem vários factores ambientais responsáveis por um aumento na razão de H/L, tais como a subnutrição (Krams *et al.*, 2011), a doença (Davis *et al.*, 2004), a falta de qualidade do habitat (Mazerolle & Hobson, 2002). Além destes, estão identificados outros factores extrínsecos, como o parasitismo (Davis *et al.*, 2004; Lobato *et al.*, 2005), o tamanho da ninhada (Ilmonen *et al.*, 2003; Parejo *et al.*, 2007), a temperatura (Krams *et al.*, 2011) e a contaminação radioactiva (Camplani *et al.*, 1999).

Os resultados sugerem que as variáveis que melhor explicam a variabilidade da razão H/L foram: a temperatura máxima no interior do ninho 24h antes do processo de amostragem (TN_{max24}) e o índice de condição corporal (ICC). Verificou-se uma associação negativa entre o ICC e a resposta imunológica, tal como foi encontrado noutras espécies de aves (Suorsa *et al.*, 2004; Lobato *et al.*, 2005). Esta diferença poderia dever-se a uma menor quantidade de alimentos fornecidos pelos progenitores, visto que as crias são altriciais. No entanto, Catry *et al.*, (2011a), refere que a frequência de entrega de presas às crias de Francelho não variou significativamente, dos dias mais quentes para os dias com uma temperatura mais moderada. Logo, a temperatura diminuiu directamente o ICC, fazendo com que as crias invistam mais energia na termorregulação.

As crias em desenvolvimento, têm uma capacidade limitada para regular a temperatura corporal (Dawson, 1958; Quintero-Filho *et al.*, 2010), apresentando, por isso, uma resposta imunológica mais elevada quando a temperatura aumenta. Uma das consequências da nidificação em caixas-ninho de madeira, são as mudanças no balanço hídrico, provocadas pelas altas temperaturas, que podem influenciar o *fitness* dos indivíduos (Catry *et al.*, 2011a, ver segundo capítulo). Dawson (1958) descobriu que, quando a temperatura corporal excede os 33°C, a principal forma de perda de calor é por evaporação. Sendo que quando a temperatura corporal ultrapassa os 35°C ou 36°C pode significar um custo energético (Yalçin *et al.*, 2008; Quintero-Filho *et al.*, 2010). Neste estudo foram registadas várias temperaturas no interior dos ninhos superiores a 40°C, sendo que a temperatura mais elevada foi de 48°C. Os custos energéticos investidos na termorregulação foram reflectidos nos valores do índice de *stress*, e à semelhança do que aconteceu noutros estudos os indivíduos que foram sujeitos a um maior *stress* (Gross & Siegel, 1983; Ots *et al.*, 1998; Davis *et al.*, 2008), provocado pelas altas temperaturas, apresentaram uma resposta imunológica mais elevada.

Os resultados obtidos na *Hierarchical Partitioning* foram consistentes com os obtidos no MLGM seleccionado. As variáveis ICC e TNmax24 foram as únicas variáveis explicativas com efeito significativo, entre seis variáveis seleccionadas, explicando a variância da razão de H/L.

3.4.2 - Efeito da idade, sexo e tamanho da ninhada na razão de H/L

As características intrínsecas de cada indivíduo também podem influenciar a resposta fisiológica ao *stress*, dentro destas destacam-se o sexo (e.g. Ots *et al.*, 1998), a idade (e.g. Quillfeldt *et al.*, 2008), o estado fenológico e a diversidade genética individual (Ortego *et al.*, 2009).

O sistema imunológico desenvolve-se ao longo do crescimento de um organismo, por isso a idade deve ser incluída na avaliação da razão de H/L, particularmente quando se estudam crias (Dehnhard *et al.*, 2011). A idade apresentou uma importância residual na explicação da variabilidade da resposta imunológica, ao contrário do descrito para outra espécie. Foi descoberto para a espécie *Pachyptila belcheri*, que incuba apenas um ovo, que a razão de H/L aumentou com a idade das crias, independentemente da condição corporal e do tamanho da ninhada (Quillfeldt *et al.*, 2008). Por outro lado, o Francelho apresenta uma eclosão assíncrona, portanto seria expectável que a razão de H/L aumentasse ao longo do desenvolvimento de cada cria e que as crias mais velhas apresentassem uma resposta imunológica mais elevada relativamente às crias mais novas (e.g. Fairbrother & O'Loughlin 1990; Parejo *et al.*, 2007). No entanto, como a perda de água por evaporação diminuiu com o aumento da massa corporal (McKechnie & Wolf, 2010), as crias mais velhas compensam melhor um eventual aumento na razão de H/L, em resposta ao *stress* térmico, levando a que se obtenham respostas imunológicas idênticas entre as crias mais velhas e as mais novas.

Neste estudo não se verificou qualquer diferença na resposta fisiológica entre os dois sexos, ao contrário do registado por Ortego *et al.*, (2009), para a mesma espécie. Apesar da maioria dos estudos em que se avaliou a resposta fisiológica de crias não referirem diferenças entre sexos (Parejo *et al.*, 2007; Quillfeldt *et al.*, 2008; Jakubas *et al.*, 2011), estas poderão estar relacionadas com diferenças na resistência ao *stress* de machos e fêmeas (Ortego *et al.*, 2009).

É expectável que a temperatura no interior do ninho aumente com o número de crias (Catry *et al.* 2011a), conduzindo a um maior *stress* térmico para as crias (e.g.

Ilmonen *et al.*, 2003; Suorsa *et al.*, 2004; Banbura *et al.*, 2008). No entanto, o tamanho da ninhada não afectou significativamente a resposta imunológica de cada cria, sugerindo que o aumento da temperatura nos ninhos com maior número de crias, não deverá ser significativo.

3.4.3 - Efeito do tipo de ninho no microclima do ninho

Ao contrário do que Catry *et al.*, (2011a) constatou, não se verificaram diferenças significativas entre as temperaturas atingidas no interior dos vários tipos de ninhos. Seria de prever que materiais diferentes apresentassem condutividades diferentes e que os caixas-ninho de madeira, devido às suas características, apresentassem temperaturas internas mais elevadas que os potes de barro e as cavidades de cimento (Catry *et al.*, 2011a). Este resultado pode dever-se, à não consideração de algumas variáveis associadas aos ninhos, que condicionam a sua temperatura interior, tais como: a orientação, a dimensão dos ninhos, o tamanho da sua abertura e o número de crias (Wiebe, 2001; Butler *et al.*, 2009).

Capítulo IV - Considerações finais

As crias das aves altriciais estão sujeitas à influência de vários factores abióticos e bióticos, que tornam difícil identificar qual a resposta fisiológica de cada indivíduo ao aumento da temperatura. Nesta dissertação foram obtidos resultados importantes sobre o impacto das temperaturas elevadas na resposta fisiológica e biologia reprodutora do Francelho e do Rolieiro.

O microclima do ninho desempenhou um papel fundamental na condição fisiológica e crescimento das crias de ambas as espécies, sendo por isso importante considerar a influência deste factor no sucesso reprodutor de outras espécies de aves altriciais, que utilizam cavidades para nidificar. Apesar das duas espécies-alvo possuírem uma biologia reprodutora muito semelhante, apresentaram tolerâncias diferentes ao aumento da temperatura, por conseguinte é importante estudar individualmente a resposta de cada população às mudanças directas e indirectas provocadas pelo aumento da temperatura, bem como a sua interacção com os diversos componentes dos ecossistemas. Este estudo demonstrou ainda que o aumento da temperatura do ninho afecta o índice de *stress* H/L em crias de Francelho. As crias de Francelho sujeitas a temperaturas mais elevadas apresentaram uma razão de H/L superior às restantes. O índice de *stress* H/L poderá assim ser utilizado como uma ferramenta importante para avaliação da condição fisiológica em resposta ao *stress* térmico noutras espécies de aves. A colocação de caixas-ninho de madeira artificiais na área de estudo no âmbito de um projecto LIFE (Catry *et al.*, 2009), contribuiu nos últimos anos para o aumento da população nidificante de Francelhos e Rolieiros. No entanto, este estudo demonstrou que as caixas-ninho de madeira atingem temperaturas que afectam a sobrevivência das crias de Francelho e o crescimento das crias de ambas as espécies.

As condições climáticas estão a mudar na nossa área de estudo como demonstram os padrões de temperaturas observados nas últimas décadas (Figura 14). A média das temperaturas máximas e mínimas de Primavera e Verão tem aumentado nos últimos anos assim como o número de dias quentes (temperaturas superiores a 37 °C) (Figura 14). Estes resultados estão de acordo com os cenários climáticos previstos para a região (Santos & Miranda, 2006), que também prevêem o aumento da frequência e magnitude dos eventos climáticos extremos como as ondas de calor e as secas (Casimiro

et al., 2006). Assim, torna-se fundamental substituir as caixas-ninho de madeira, na área de estudo, por outros com condições térmicas mais favoráveis ao sucesso reprodutor de ambas as espécies. As cavidades em taipa parecem ser o tipo de ninho mais favorável,

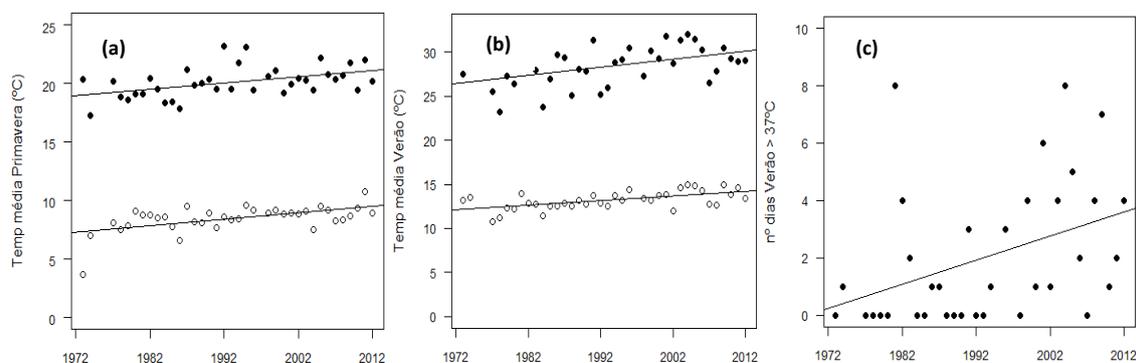


Figura 14 – Temperaturas máximas e mínimas para a (a) Primavera e (b) Verão, e (c) número de dias com temperaturas superiores a 37 °C, desde 1972 até 2012. Para cada ano foi calculada a média da temperatura máxima e mínima. As temperaturas foram obtidas a partir de uma estação meteorológica localizada a 40 Km da área de estudo (disponível em <http://www.ncdc.noaa.gov>). As linhas sólidas representam uma regressão significativa para o conjunto dos dados ($p < 0.05$). Em (a) e (b) os pontos pretos e brancos representam respectivamente as temperaturas máximas e mínimas.

uma vez que apresentam uma variação térmica bastante reduzida ao longo de todo o dia, não tendo sido encontrada qualquer morte associada às temperaturas elevadas. Apesar disso, as crias de Francelho acabaram por perder peso neste tipo de ninho, quando as temperaturas internas excedem os 31 °C. Sugere-se então a construção de cavidades de maiores dimensões o que permitirá que as temperaturas do interior do ninho se mantenham relativamente baixas mesmo quando a temperatura exterior se encontra elevada. Desta forma, o crescimento das crias não será afectado mesmo no caso das ninhadas com quatro ou cinco crias. Uma vez que as espécies estão dependentes da disponibilização de ninhos artificiais para manutenção das suas populações torna-se fundamental estudar e testar outros tipos de ninhos e materiais para que se possam disponibilizar no futuro.

A assimetria que se verifica na resposta das populações e das espécies ao aumento da temperatura dificulta as previsões das respostas ecológicas, ao nível da comunidade ou do ecossistema. A compreensão das relações que se estabelecem entre a temperatura, alimentação e o sucesso reprodutor nas aves, será importante para que se

possa avaliar a resposta das populações aos modelos e cenários climáticos previstos, antecipando, desta forma, o comportamento das populações a longo prazo. O conhecimento da evolução das populações permitirá adoptar medidas de conservação adequadas para que o futuro das espécies em causa não seja comprometido.

Referências bibliográficas

- Alcazar R, Fragoso S (2006) Na grande rota do Peneireiro-das-Torres. Castro Verde: LPN - Liga para a Protecção da Natureza 75, [1] p
- Almeida J, Cardoso AC, Claro JC, Cruz CM, Pinto M, Rocha P, Silva JP (2003) Plano de acção para a conservação das aves dependentes da estepe cerealífera. 1ª fase: Abetarda, Sisão, Cortiçol-de-barriga-negra, Tartaranhão-caçador, Peneireiro, Grou. Instituto da Conservação da Natureza, Lisboa. Relatório interno.
- Araújo A (1990) Dados sobre a evolução das populações de Peneireiro-das-torres *Falco naumanni* em Portugal, com especial incidência sobre o período de 1975 a 1990. Serviço Nacional de Parques, Reservas e Conservação da Natureza (ICN), Lisboa
- Ardia DR (2013) The effects of nestbox thermal environment on fledging success and haematocrit in tree swallows. *Avian Biology Research* 6:1-6
- Avilés JM, Sánchez A (1997) Evolución del número de parejas reproductoras de carraca *Coracias garrulus* en cinco hábitats de Extremadura. *Butlletí del Grup Catalá d'Anellament* 14:25-29
- Avilés JM, Sánchez A, Parejo D (1999) Breeding biology of the roller *Coracias garrulus* in farming areas of the southwest Iberian Peninsula. *Bird Study*, 46: 217-223
- Avilés JM (2006) Carraca europea– *Coracias garrulus*. En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Carrascal, L. M., Salvador, A. (eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales. Disponível em: <http://www.vertebradosibericos.org/aves/corgar.html>. Consultado em 04/03/14
- Banbura J, Skwarska J, Kalinski A, Wawrzyniak J, Słomczynski R, *et al.* (2008) Effect of brood size manipulation on physiological condition of nestling Blue Tits *Cyanistes caeruleus*. *Acta Ornithologica* 43:129–138
- Berthold P, Møller AP, Fiedler W (2004) Preface. In: Møller A, Berthold P, Fiedler W (eds.). *Birds and climate change*. Advances in ecological research 35. Elsevier Academic Press. Pp. vii
- Bishop CR, Athens JW, Boggs DR, Warner HR, Cartwright Ge, Wintrobe MM (1968) Leukokinetic Studies 13. A non-steady-state kinetic evaluation of mechanism of cortisone-induced granulocytosis. *Journal of Clinical Investigation* 47:249–60. doi: 10.1172/JCI105721

- BirdLife International (2004) *Birds in Europe: population estimates, trends and conservation Status*. BirdLife Conservation Series No 12. BirdLife International, Cambridge
- BirdLife International (2008) *State of the world's birds: indicators for our changing world*. BirdLife International, Cambridge
- BirdLife International (2014) Species factsheet: *Coracias garrulus*. Disponível em: [http:// www.birdlife.org](http://www.birdlife.org). Consultado em 27/04/14
- Bradshaw D (2003) *Vertebrate Ecophysiology – An introduction to its principles and applications*. Cambridge: Cambridge University Press
- Burnham KP, Anderson DR (2002) *Model Selection and multimodel inference: a practical information – Theoretic Approach, second edition*. Springer, New York, USA
- Bustamante J, Negro JJ (1994) The post fledgling dependence period of the lesser kestrel in southwestern Spain. *The Journal of Raptor Research* 28:158–163
- Butler MW, Whitman BA, Dufty Jr AM (2009) Nest box temperature and hatching success of the American Kestrels varies with nest box orientation. *Wilson Journal of Ornithology* 121:778–782
- Cabral MJ, (coord.), J Almeida PR, Almeida T, Dellinger N, Ferrand de Almeida ME, Oliveira JM, Palmeirim AL, Queiroz L, Rogado M, Santos-Reis (eds.) (2005) *Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal*. Instituto da Conservação da Natureza, Lisboa, 660 pp
- Cairns DK (1987) The ecology and energetics of chick provisioning by black guillemots. *The Condor* 89:627-635
- Campbell TW (1995) *Avian hematology and cytology, second edition*. Ames: Iowa State University Press
- Camplani A, Saino N, Moller AP (1999) Carotenoids, sexual signals and immune function in barn swallows from Chernobyl. *Proceedings of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences* 266:1111–1116
- Casimiro E, Calheiros J, Santos FD, Kovats S (2006) National assessment of human health effects of climate change in Portugal: approach and key findings. *Environmental Health Perspectives* 114:1950–1956. doi: 10.1289/ehp.8431

- Catry I, Reis S, Alcazar R, Cordeiro A, Rocha P, Franco A (2003). Será o aumento da disponibilidade de locais de nidificação uma medida de gestão eficaz para a recuperação do Peneireiro-das-torres em Portugal? Actas do IV Congresso de Ornitologia da Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves. Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves, Aveiro
- Catry I, Alcazar R, Franco AMA, Sutherland WJ (2009) Identifying the effectiveness and constraints of conservation interventions: A case study of the endangered Lesser kestrel. *Biological Conservation* 142:2782-2791. doi: 10.1016/j.biocon.2009.07.011
- Catry I, Franco AMA, Sutherland WJ (2011a) Adapting conservation efforts to face climate change: Modifying nest-site provisioning for lesser Kestrels. *Biological Conservation*, 144:1111-1119. doi: 10.1016/j.biocon.2010.12.030
- Catry *et al.* (2011b) Distribution and population trends of the european roller in pseudo-steppe areas of Portugal: results from a census in sixteen SPAs and IBAs. *Airo* 21:3-14
- Catry I, Amano T, Franco AMA, Sutherland WJ (2012) Influence of spatial and temporal dynamics of agricultural practices on the lesser kestrel. *Journal of Applied Ecology* 49:99-108. doi: 10.1111/j.1365-2664.2011.02071.x
- Catry I, Franco AMA, Rocha P, Alcazar R, Reis S, Cordeiro A, Ventim R, Teodósio J, Moreira F (2013) Foraging habitat quality constrains effectiveness of artificial nest site provisioning in reversing population declines in a colonial cavity nester. *PLoS ONE* 8:e58320. doi: 10.1371/journal.pone.0058320
- Circule D, Krama T, Vrublevska J, Rantala MJ, Krams I (2012) A rapid effect of handling on counts of white blood cells in a wintering passerine bird: a more practical measure of stress? *Journal of Ornithology* 153:161-166. doi: 10.1007/s10336-011-0719-9
- Clark P, Boardman W, Raidal S (2009) *Atlas of clinical avian hematology*. Wiley-Blackwell publishing, West-Sussex
- Costa LT, Nunes M, Geraldés P, Costa H (2003) Zonas Importantes para as Aves em Portugal. Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves, Lisboa
- Cramp S (ed.) (1985) *The birds of the Western Palearctic*. Vol IV. *Terns to Woodpeckers*. Oxford University Press, Oxford

- Cramp S, Simmons KEL (eds.) (1980) *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa, (Hawks to Bustards)*, Vol. II. Oxford University Press, Oxford
- Cramp S, Simmons KEL (1988) *The birds of the Western Palearctic*, Vol.V. Oxford University Press, Oxford
- Cunningham SJ, Martin RO, Hojem CL, Hockey AR (2013) Temperatures in excess of critical thresholds threaten nestling growth and survival in a rapidly-warming arid savan: a study of common fiscals. *PLoS ONE* 8(9):e74613. doi: 10.1371/journal.pone.0074613
- Davis AK, Cook KC, Altizer S (2004) Leukocyte profiles of house finches with and without mycoplasmal conjunctivitis, a recently emerged bacterial disease. *Ecohealth* 1:362–373. doi: 10.1007/s10393-004-0134-2
- Davis AK, Maney DL, Maerz JC (2008) The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists. *Functional Ecology* 22:760–772. doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x
- Dawson WR (1958) Relation of oxygen consumption and evaporative water loss to temperature in the cardinal. *Physiological Zoology* 31:37-48
- Dawson RD, Lawrie CC, O'Brien EL (2005) The importance of microclimate variation in determining size growth and survival of avian offspring: experimental evidence from cavity nesting passerine. *Oecologia* 144:499-507. doi: 10.1007/s00442-005-0075-7
- Dehnhard N, Quillfeldt P, Hennicke JC (2011) Leucocyte profiles and H/L ratios in chicks of red-tailed tropicbirds reflect the ontogeny of the immune system. *Journal of Comparative Physiology B* 181:641–648. doi: 10.1007/s00360-010-0548-9
- Dhabhar FS (2002) A hassle a day may keep the doctor away: stress and the augmentation of immune function. *Integrative and Comparative Biology* 42:556–564. doi: 10.1093/icb/42.3.556
- Du Plessis KL, Martin RO, Hockey PAR, Cunningham SJ, Ridley AR (2012) The costs of keeping cool in a warming world: implications of high temperatures for foraging, thermoregulation and body condition of an arid-zone bird. *Global Change Biology* 18:3063–3070. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02778.x
- Emms SK, Verbeek NAM (1991) Brood size, food provisioning and chick growth in the pigeon guillemot *Cephus Columba*. *The Condor* 93:943-951

- Equipa Atlas (2008) Atlas das Aves Nidificantes em Portugal (1999-2005). Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade, Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves, Parque Natural da Madeira e Secretaria Regional do Ambiente e do Mar. Assírio & Alvim, Lisboa
- Ewenson EL, Zann RA, Flannery GR (2001) Body condition and immune response in wild zebra finches: effects of capture, confinement and captive-rearing. *Naturwissenschaften* 88:391–394. doi: 10.1007/s001140100250
- Fairbrother A, O’Loughlin D (1990) Differential white blood cell values of the mallard (*Anas platyrhynchos*) across different ages and reproductive states. *Journal of Wildlife Disease* 26:78-82
- Finlayson HH (1932) Heat in the interior of South Australia: holocaust of bird life. *South Australian Ornithologist* 11:158–160
- Franco AMA, Sutherland WJ (2004) Modelling the foraging habitat selection of lesser kestrels: conservation implications of European agricultural policies. *Biological Conservation* 120:63–74. doi: 10.1016/j.biocon.2004.01.026
- Franco AMA, Marques JT, Sutherland WJ (2005) Is nest-site availability limiting lesser kestrel populations? A multiple scale approach. *Ibis* 147:657–666. doi: 10.1111/j.1474-919x.2005.00437.x
- Graham MH (2003) Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology* 84:2809–2815. doi: 10.1890/02-3114
- Gross WB, Siegel HS (1983) Evaluation of the heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chickens. *Avian Diseases* 27:972–979
- Henriques I, Alcazar R (2006) Um olhar sobre o Peneireiro-das-torres. Relatório Layman (não técnico) do Projecto LIFE-Natureza Peneireiro-das-torres - “Recuperação do Peneireiro-das-torres (*Falco naumanni*) em Portugal”. LPN, Lisboa, Portugal
- Huntley B, Collingham YC, Green RE, Hilton GM, Rahbek C, Willis S (2006) Potential impacts of climate change upon geographical distributions of birds. *Ibis* 148:8-28
- Huntley B, Green RE, Collingham YC, Willis SG (2007) *A climatic atlas of European breeding birds*. Durham, Sandy, U.K. e Barcelona, Spain: Durham University, RSPB & Lynx Edicions

- Ilmonen P, Hasselquist D, Langefors A, Wiehn J (2003) Stress, immunocompetence and leukocyte profiles of pied flycatchers in relation to brood size manipulation. *Oecologia* 136:148-154. doi: 10.1007/s00442-003-1243-2
- IPCC (2007) *Climate change 2007: fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge
- IPPC (2014) *Climate change 2014: fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge
- IUCN (2014a) 2014 Red List of Threatened Species. Disponível em: <www.iucnredlist.org> Versão 2014.2. Consultado em 08/02/14
- IUCN (2014b) 2014 Red List of Threatened Species. Disponível em: <www.iucnredlist.org> Versão 2014.2. Consultado em 12/03/14
- Jakubas D, Wojczulanis-Jakubas K, Glac W (2011) Variation of the reed bunting (*Emberiza schoeniclus*) body condition and haematological parameters in relation to sex, age and season. *Annales Zoologici Fennici* 48:243-250. doi: 10.1007/s00442-003-1243-2
- Kovacs A, Barov B, Orhun C, Gallo-Orsi U (2008) International species action plan for the european roller *Coracias garrulus garrulous*. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/wildbirds/action_plans/docs/coracias_garrulus_garrulus.pdf.
- Krams I, Circule D, Krama T, Vrublevska J (2011) Extremely low ambient temperature affects haematological parameters and body condition in wintering great tits (*Parus major*). *Journal of Ornithology* 152:889-895. doi: 10.1007/s10336-011-0672-7
- Krijgsveld KL, Visser GH, Dann S (2003) Foraging behavior and physiological changes in precocial quail chicks in response to low temperatures. *Physiology Behavior* 79:311-319. doi: 10.1016/S0031-9384(03)00117-3
- Lind PJ, Wolff PL, Petrini KR, Keyler CW, Olson DE, Redig PT (1990) Morphology of the eosinophil in raptors. *Journal of the American Association of Veterinarians* 4:33-39
- Lloyd JD, Martin TE (2004) Nest-site preference and maternal effects on offspring growth. *Behavioral Ecology* 15:816-823. doi: 10.1093/beheco/arh085

- Lobato E, Moreno J, Merino S, Sanz JJ, Arriero E (2005) Haematological variables are good predictors of recruitment in nestling pied flycatchers (*Ficedula hypoleuca*). *Ecoscience* 12:27–34
- McKechnie AE, Wolf BO (2010) Climate change increases the likelihood of catastrophic avian mortality events during extreme heat waves. *Biology Letters* 6:253–256. doi: 10.1098/rsbl.2009.0702
- Meehl GA, Tebaldi C (2004) More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305:994–997. doi. 10.1126/science.1098704
- Merino S, Moreno J, Tomas G, Martinez J, Morales J, Martinez-De La Puente J, Osorno JL (2006) Effects of parental effort on blood stress protein HSP60 and immunoglobulins in female blue tits: a brood size manipulation experiment. *Journal of Animal Ecology* 75:1147–1153. doi: 10.1111/j.1365-2656.2006.01135.x
- Mazerolle DF, Hobson KA (2002) Physiological ramifications of habitat selection in territorial male ovenbirds: consequences of landscape fragmentation. *Oecologia* 130:356–363. doi: 10.1007/s00442-001-0818-z
- Moreira MI, Catry I, Henriques IS, Marques AT, Reis S (2003). A situação do Rolieiro *Coracias garrulus* em Portugal e dados preliminares sobre a sua biologia reprodutora na ZPE de Castro Verde. Actas do IV Congresso de Ornitologia da Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves. Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves, Aveiro
- Moreira F, Leitão PJ, Morgado R, Alcazar R, Cardoso A, Carrapato C, Delgado A, Geraldes P, Gordinho L, Henriques I, Lecoq M, Leitão D, Marques AT, Pedrosa R, Prego I, Reino L, Rocha P, Tomé R, Osborne PE (2007) Spatial distribution patterns, habitat correlates and population estimates of steppe birds in Castro Verde. *Airo* 17:5–30
- Negro JJ, Chastin A, Bird DM (1994) Effects of short-term food deprivation on growth of hand-reared american kestrels. *The Condor* 96:749-760
- Nisbet ICT, Spindelw JA, Hatfield JS, Zingo JM, Gough GA (1998) Variations in growth of roseate tern chicks: II early growth as an index of parental quality. *The Condor* 100:305-315
- Ots I, Murumagi A, Hőrak P (1998) Haematological health state indices of reproducing great tits: methodology and sources of natural variation. *Functional Ecology* 12:700–707

- Ortego J, Zapero L, Calabuig G, Cordero PJ, Aparicio JM (2009) Physiological response to stress in fledgling lesser kestrels *Falco naumanni*: the role of physical condition, sex and individual genetic diversity. *Ibis* 151:559-567. doi: 10.1111/j.1474-919X.2009.00936.x
- Paiva VH, Ramos JA, Machado D, Penha-Lopes G, Bouslama MF, Dias N, Nielsen S (2006) Importance of marine prey to growth of estuarine tern chicks: evidence from an energetic balance model. *Ardea* 94(2):241-255
- Parejo D, Silva N, Avilés JM (2007) Within-brood size differences affect innate and acquired immunity in roller *Coracias garrulus* nestlings. *Journal of Avian Biology* 38:717-725. doi: 10.1111/j.2007.0908-8857.04081.x
- Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 21:37-42. doi: 10.1038/nature01286;
- Peet NB, Gallo-Orsi U (2000) Action Plan for the lesser kestrel *Falco naumanni*. Council of Europe and BirdLife International, Cambridge
- Quillfeldt P, Ruiz G, Rivera MA, Maselho JF (2008) Variability in leucocyte profiles in thin-billed prions *Pachyptila belcheri*. *Comparative Biochemistry Physiology A Molecular Integrative Physiology* 150:26-31. doi: 10.1016/j.cbpa.2008.02.021
- Quinteiro-Filho WM, Ribeiro A, Ferraz-de-Paula V, Pinheiro ML, Sakai M, Sá LRM, Ferreira AJP, Palermo-Neto J (2010) Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. *Poultry Science* 89:1905-1914. doi: 10.3382/ps.2010-00812
- R Core Development Team (2014) R: A language and environment for statistical computing. Disponível em: <http://www.r-project.org>. Consultado em 02/02/14
- Ricklefs RE (1983) *Avian postnatal development*. P. 1-83. In DS Farner, JR King, KC Parker (eds.), *Avian biology*. Vol. VII. Academic Press, New York
- Rivas-Martínez S (1981) Les étages bioclimatiques de la végétation de la Péninsule Ibérique. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 37:251-268
- Rocha P, Araújo A, Cruz C (1996) A evolução das populações portuguesas do francalho-das-torres *Falco naumanni*. *Actas do I Congresso de Ornitologia. Sociedade Portuguesa para o estudo das Aves*. Pp. 97-98. Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves, Vila Nova de Cerveira, 1-3 Novembro, 1994, Lisboa
- Rocha PA (1999) A reprodução do rolieiro *Coracias garrulus* no Baixo Alentejo no período 1996-1999. In: *Actas do II Congresso de Ornitologia da Sociedade*

- Portuguesa para o Estudo das aves. Pp 19-21. Beja P, Catry P & Moreira F (eds.). Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves, Lisboa
- Rocha P, Catry I, Reis S (2002) Censo nacional do francelho *Falco naumanni*. Airo 12: 3-9
- Ruiz G, Rosenmann M, Novoa FF, Sabat P (2002) Hematological parameters and stress index in rufous-collared sparrows dwelling in the urban environments. Condor 104:162–166. doi: 10.1650/0010-5422(2002)104[0162:HPASII]2.0.CO;2
- Rupley AE (1997) *Manual of avian practice*. W.B. Saunders Company, Philadelphia PA
- Saether BE, Engen S, Möller AP, Matthysen E, Adriaensen F, Fiedler W, Leivits A, Lambrechts MM, Visser ME, Anker-Nilssen T, Both C, Dhondt AA, McCleery RH, McMeeking J, Potti J, Røstad OW, Thomson D (2003) Climate variation and regional gradients in population dynamics of two hole-nesting passerines. Proceedings of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences 270:2397–2404. doi: 10.1098/rspb.2003.2499
- Sala OE, Chapin FS, III Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke LF, Jackson RB, Kinzing A, Leemans R, Lodge DM, Mooney HA, Oesterheld M, Poff NL, Sykes MT, Walker BH, Walker M, Wall DH (2000) Global diversity scenarios for the year 2100. Science 287:1770–1774. doi: 10.1126/science.287.5459.1770
- Samwald O (1994) Roller *Coracias garrulus*. In: Birds in Europe: their conservation status. Pp.340-341. Tucker GM & Heath MF. BirdLife Conservation Series No. 3. BirdLife International, Cambridge
- Santos FD, Miranda P (eds.) (2006) Alterações climáticas em Portugal: cenários, impactos e medidas de adaptação. Project SIAM II. Lisbon: Gradiva
- Sanz JJ, Moreno J, Merino S, Tomás G (2004) A trade-off between two resource demanding functions: post-nuptial moult and immunity during reproduction in male pied flycatchers. Journal of Animal Ecology 73:441-447. doi: 10.1111/j.0021-8790.2004.00815.x
- Sapolsky RM (1992) *Neuroendocrinology of the stress response*. In: Becker JB, Breedlove SM, Crews D (eds.) *Behavioral endocrinology*. MIT, Cambridge, 287–324 pp

- Sarà M, Campobello D, Zanca L (2012) Effects of nest colony features on lesser kestrel (*Falco naumanni*) reproductive success. *Avian Biology Research* 5(4):209-217. doi: 10.3184/175815512X13535044854571
- Suárez F, Naveso MA, De Juana E (1997) *Farming in the drylands of Spain: birds of the pseudosteppes*. In: Pain, D.J. & Pienkowski, M.W. *Farming and birds in Europe: the common agricultural policy and its implications for bird conservation*. Academic Press, London, 297-330 pp
- Suorsa P, Helle H, Koivunen V, Huhta E, Nikula A, Hakkarainen H (2004) Effects of forest patch size on physiological stress and immunocompetence in an area-sensitive passerine, the Eurasian treecreeper (*Certhia familiaris*): an experiment. *Proceedings of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences* 271:435–440. doi: 10.1098/rspb.2003.2620
- Tella JL, Forero MG, Hiraldo F, Donazar JA (1998) Conflicts between lesser kestrel conservation and European policies as identified by habitat use analyses. *Conservation Biology* 12(3):593-604
- Towie N (2009) Thousands of birds die in sweltering heat. PerthNow. Disponible em: <http://www.perthnow.com.au/news/thousands-of-birds-die-in-sweltering-heat/story-e6frg12c-1111118551504>.
- Tucker GM, Heath MF (1994) *Birds in Europe: their conservation status*. BirdLife International, Cambridge
- Viñuela J, Bustamante J (1992) Effect of growth and hatching asynchrony on the fledging age of black and red kites. *The Auk* 109(4):748-757
- Visser ME, Both C, Lambrechts MM (2006) *Global climate change leads to mistimed avian reproduction*. In: Møller, A., Berthold, P. & Fiedler, W. (eds.). *Birds and climate change*. Advances in Ecological Research 35. Elsevier Academic Press, 89-108 pp
- Walther G, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJC, Fromentin J, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389-395. doi: 10.1038/416389a
- Webb DR (1987) Thermal tolerance of avian embryos: a review. *Condor* 89:874-898
- Welbergen JA, Klose SM, Markus N, Eby P (2008) Climate change and the effects of temperature extremes on Australian flying-foxes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 275:419–425. doi: 10.1098/rspb.2007.1385

- Wernery R, Wernery U, Kinne J, Samour J (2004) *Colour Atlas of Falcon Medicine*. Schlütersche, Hannover
- Wiebe KL (2001) Microclimate of tree cavity nests: is it important for reproductive success in Northern flickers? *The Auk* 118(2):412-421
- Wolf B, Walsberg G (1996) Respiratory and cutaneous evaporative water loss at high environmental temperatures in a small bird. *The Journal of Experimental Biology* 199:451–457
- Yalçın S, Çabuk M, Bruggeman V, Babacanoğlu E, Buyse J, Decuypere E, Siegel PB (2008) Acclimation to heat during incubation: 3. body weight, cloacal temperatures, and blood acid-base balance in broilers exposed to daily high temperatures. *Poultry Science* 87:2671-2677. doi: 10.3382/ps.2008-00164.

Anexos



Figura 15 – Pesagem de uma cria de Francelho com 9 dias de idade.



Figura 16 – Pesagem de uma cria de Rolieiro com 9 dias de idade.



Figura 17 – Ninhada de Francelho numa caixa-ninho de madeira. A cria mais velha tem 23 dias de idade.



Figura 18 – Ninhada de Francelho numa caixa-ninho de madeira com 2 dias de idade.



Figura 19 – Ninhada de Rolieiro numa caixa-ninho de madeira. A cria mais velha tem 14 dias de idade.



Figura 20 – Ninhada de Rolieiro numa caixa-ninho de madeira. A cria mais velha tem 13 dias de idade.



Figura 21 – Ninhada de Francelho numa cavidade em taipa. A cria mais velha tem 16 dias de idade.

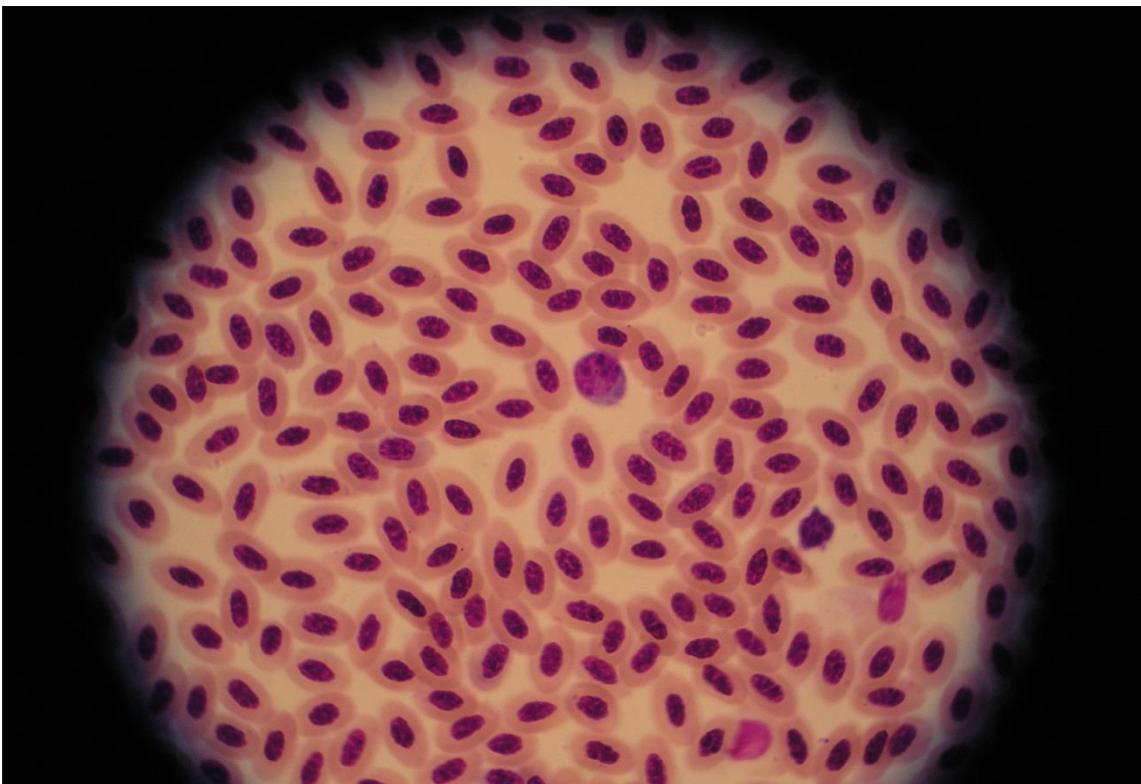


Figura 22 – Campo do microscópio numa amostra de sangue de uma cria de Francelho com um linfócito representado ao centro no meio dos eritrócitos (objectiva de imersão 100 vezes).