



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

**DIEL VARIATION IN MOVEMENT PATTERNS AND HABITAT USE
BY THE NEAR-THREATENED CABRERA VOLE IN
MEDITERRANEAN FARMLAND**

Ana Rita Pereira Grácio

Orientação: Dr. Ricardo Miguel Pita

Co-orientação: Dr. António Paulo Mira

Mestrado em Biologia da Conservação

Relatório de Dissertação

Évora, 2016

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Mestrado em Biologia da Conservação

Relatório de dissertação

DIEL VARIATION IN MOVEMENT PATTERNS AND HABITAT USE BY THE NEAR-THREATENED CABRERA VOLE IN MEDITERRANEAN FARMLAND

Variação circadiana nos padrões de movimento e uso de habitat pelo rato de Cabrera em paisagens agrícolas Mediterrânicas

Autora: Ana Rita Pereira Grácio

Orientador: Dr. Ricardo Miguel Pita

Co-orientador: Dr. António Paulo Mira

Évora, 2016

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Ricardo Pita, agradeço especialmente pela oportunidade de trabalhar neste projecto, pela paciência para todas as minhas questões e por todas as suas sugestões, correcções e conselhos ao longo deste trabalho.

Agradeço também ao meu co-orientador, Professor Dr. António Mira, pela sua supervisão nesta tese e, antes disso, por todos os ensinamentos que me transmitiu ao longo do ano curricular.

A todos os Professores, que ao longo da minha vida académica me transmitiram os seus valiosos conhecimentos, um agradecimento também muito especial.

Aos meus pais e avós, por me darem todos os dias o que de mais valioso eu tenho, o vosso amor. Obrigada pelo esforço que fizeram e fazem todos os dias, sei que estes quase dois anos não foram fáceis e que as escolhas que eu faço nem sempre são o que queriam de mim, mas nunca deixaram de me apoiar.

Obrigada à minha irmã, Sofia, pela nossa telepatia. Não precisamos de falar para nos entendermos mas, mesmo assim, falar contigo é do que mais gosto de fazer. Sei que mesmo discutindo todos os dias, não há ninguém que me conheça tão bem como tu e que apoie os meus sonhos da maneira como tu apoias. Obrigada pelas noites, na companhia da nossa Cookie, a conversar sobre tudo e sobre nada, até a barriga nos doer de tanto rir.

Ao meu Filipe, que está sempre comigo. Obrigada pelo teu amor e por te interessares pelas minhas paixões. Ninguém me ouve falar tanto de biologia como tu, ninguém diz “traz o Guia das Aves” quando vamos passear como tu e ninguém se interessou tanto em conhecer este trabalho como tu. Sou uma sortuda por me teres encontrado.

Obrigada à Patrícia, uma autêntica *cat lady*, minha amiga desde a licenciatura e parceira de trabalhos no mestrado. Somos as maiores palhaças quando estamos juntas (só mesmo o André e a Catarina para nos aturarem tanto tempo), mas nunca deixaste de me apoiar também nos assuntos sérios da vida.

Obrigada à Catarina, por todas as guaridas que me deu durante o mestrado e por todo o companheirismo que criámos num tão curto período de tempo. Se há algo que eu tenho orgulho de trazer de Évora é a amizade de uma pessoa tão especial como tu.

Obrigada a todos os meus outros familiares, amigos e colegas, que de uma forma ou de outra contribuíram para a concretização de mais uma etapa na minha vida, pelo tempo que eu não pude estar convosco, por todas as queixas que ouviram e por, na vossa companhia, me fazerem esquecer o que corre mal.

Obrigada a todos.

Varição circadiana nos padrões de movimento e uso de habitat pelo rato de Cabrera em paisagens agrícolas Mediterrânicas

Resumo

As variações circadianas no comportamento animal e o seu impacto nas populações constituem desafios importantes em ecologia e conservação. Nesta tese documentam-se as variações circadianas no uso do habitat e padrões de movimento pelo rato de Cabrera, em habitats Mediterrânicos fragmentados. O estudo baseou-se no radio-seguimento de indivíduos em habitats dominados por herbáceas e arbustos. Os resultados indicaram que a proporção de tempo despendido em deslocações, a distância percorrida, e a selecção do tipo de vegetação, estão fortemente inter-relacionados, variando consideravelmente ao longo de diferentes períodos do dia. Os ratos movimentaram-se mais frequentemente e maiores distâncias nos períodos diurnos, durante os quais as áreas dominadas por herbáceas foram usadas mais intensivamente. Durante a estação seca houve alguma tendência para a diminuição dos movimentos durante as horas mais quentes. Estes resultados são discutidos no sentido de mostrar como indicadores comportamentais podem contribuir para melhorar a gestão e conservação da espécie.

Palavras-chave: Rato de Cabrera, padrões de movimento, selecção de habitat, ciclo circadiano.

Diel variation in movement patterns and habitat use by the near-threatened cabrera vole in mediterranean farmland

Abstract

Understanding the circadian variations in species behaviour and its impacts on population is a challenging topic in ecology and conservation. This thesis documents the circadian variations in habitat use and movement patterns by Cabrera voles in fragmented Mediterranean farmland. The study was based on radiotracking data of individuals living in habitat patches dominated by wet grasses and shrubs. Results indicated that the proportion of time animals spent moving, the distance moved and the selection strength of vegetation were closely linked behavioural traits, which varied considerably across the 24 hour cycle. Voles moved more frequently and over larger distances during daytime, which was when wet grasses were used more intensively. During the dry season there was some tendency for a decrease in movement activity during the hottest hours of the day. These results are used to discuss how behavioural indicators may be useful to improve conservation management of the species.

Keywords: Cabrera vole, movement patterns, habitat selection, circadian cycle.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. Importância da ecologia comportamental na biologia da conservação	1
1.2. O modelo de estudo, rato de Cabrera (<i>Microtus cabreræ</i>)	4
1.3. Objectivos específicos	8
1.4. Referências	9
2. PAPER: DIEL VARIATION IN MOVEMENT PATTERNS AND HABITAT USE BY THE NEAR-THREATENED CABRERA VOLE IN MEDITERRANEAN FARMLAND	13
2.1 Abstract	13
2.2 Introduction	14
2.3 Methods	16
2.3.1 Study area	16
2.3.2 Study animals	16
2.3.3 Sampling design and variables	17
2.3.4 Data analyses	18
2.4 Results	19
2.5 Discussion	23
2.6 References	26
3. DISCUSSÃO GERAL	31
3.1 Resumo dos principais resultados e conclusões	31
3.2 Referências	34
ANEXOS	37

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Importância da ecologia comportamental na biologia da conservação

Com o aumento das ameaças à biodiversidade à escala global, inúmeras espécies requerem acções de conservação urgentes, sendo que a capacidade para identificar espécies em declínio e para intervir com sucesso depende do desenvolvimento de indicadores confiáveis sobre o estado das populações, comunidades, e alterações ambientais (Morris *et al.*, 2009). Tradicionalmente esses indicadores são baseados em informação sobre onde as espécies se encontram e quais os factores ambientais que determinam a sua ocorrência (Aarts *et al.*, 2008). No entanto, cada vez mais são usados outros tipos de indicadores para suportar decisões relacionadas com a conservação da biodiversidade, como por exemplo indicadores genéticos, fisiológicos, e comportamentais (Cooke *et al.*, 2014).

No que respeita ao estudo do comportamento animal e dos mecanismos ecológicos que os desencadeiam (*e.g.* disponibilidade de recursos, competição intra e inter-específica, predação, alterações ambientais), vários exemplos na bibliografia têm apontado para a importância desta área interdisciplinar na conservação das espécies, valor que tem sido amplamente reconhecido sobretudo durante as últimas duas décadas (Berger-Tal *et al.*, 2011). Em particular, a informação obtida através da descrição comportamental pode aumentar o leque de soluções para problemas específicos de conservação (Caro, 2007). No entanto, são ainda relativamente escassos os estudos que, explicitamente, usam o conhecimento dos aspectos comportamentais associados a diferentes contextos ecológicos na conservação da biodiversidade (Sutherland, 1998; Caro, 1999; Berger-Tal *et al.*, 2011). Esta realidade deve-se, provavelmente, ao facto da biologia da conservação combinar sobretudo princípios da ecologia e da biologia populacional, enquanto a biologia do comportamento foca-se fundamentalmente nas variações individuais do comportamento (Caro, 2007).

Com o intuito de estimular o desenvolvimento de estudos de comportamento em problemas de conservação da biodiversidade, Sutherland (1998) identificou vários

temas de investigação que podem beneficiar significativamente com a integração das duas disciplinas. Entre esses temas, destacam-se os relacionados com a extinção de pequenas populações; alterações nos sistemas de acasalamento e problemas de endogamia; isolamento e dispersão em populações fragmentadas; área mínima necessária para a sustentabilidade de uma população; respostas a perturbações nos ecossistemas; e requisitos de habitat de espécies com problemas de conservação, bem como alterações no seu uso, face a alterações ambientais.

Exemplos de como a compreensão do comportamento animal pode ser útil para a conservação da biodiversidade incluem, por exemplo, o conhecimento do uso do habitat e padrões de movimento pelas espécies em diferentes contextos ecológicos. Em particular, estes aspectos comportamentais fornecem informação crítica no que respeita por exemplo à identificação de habitats ou mosaicos de habitats óptimos, e avaliação da capacidade de persistência das espécies face a alterações ambientais (*e.g.* fragmentação, clima), bem como monitorização do sucesso de translocações e programas de repovoamentos (Caro, 2007; Morris *et al.*, 2009). Desta forma, a conservação eficaz das espécies implica necessariamente um conhecimento adequado dos padrões de movimento e uso de habitat pelos organismos, bem como do seu valor adaptativo e importância em termos de sobrevivência, sucesso de reprodução e estrutura e dinâmica populacional em diferentes cenários de alterações ambientais (Onorato *et al.*, 2011). Como referido em Nathan *et al.* (2008), os padrões de uso do habitat e movimentos das espécies são aspectos fundamentais do comportamento para a compreensão dos processos que determinam a evolução da biodiversidade à escala das comunidades e ecossistemas.

Embora os estudos sobre os padrões de selecção e uso do habitat sejam relativamente comuns para suportar medidas de conservação concretas para muitas espécies (Reed & Dobson, 1993; Anthony & Blumstein, 2000; Berger-Tal *et al.*, 2011), a maioria destes estudos foca-se no conjunto de habitats que satisfazem as necessidades básicas dos indivíduos ao longo da sua vida (alimento, cobertura, água, oportunidades de reprodução), dentro da sua área vital. Porém, poucos estudos se dedicaram a avaliar a forma como os padrões de uso do habitat variam com alterações ambientais a escalas espaço-temporais finas, e como se associam a parâmetros

comportamentais relacionados, por exemplo, com os padrões de movimentos de rotina dos organismos nas suas actividades diárias (Moe *et al.*, 2007; Swan *et al.*, 2008). Por exemplo, ao longo do ciclo de 24 horas é espectável que haja períodos com características ambientais mais ou menos favoráveis (temperatura, luz, presença de competidores, predadores, etc.) para o uso de um determinado habitat em detrimento de outro, com eventuais repercussões nos respectivos padrões de actividade e movimento (*e.g.* Swan *et al.*, 2008). Estas alterações de curto termo podem ter implicações importantes na gestão das populações e habitats com vista à sua conservação, por exemplo, em estudos de viabilidade populacional e programas de reintrodução (Moe *et al.*, 2007; Stefano *et al.*, 2009; Onorato *et al.*, 2011). No entanto, a maioria dos estudos sobre selecção e uso do habitat pelas espécies tende a ignorar as variações ao longo do dia, limitando assim a capacidade de prever as respostas das populações às alterações ambientais e, conseqüentemente, o sucesso de conservação das espécies (*e.g.* Moe *et al.*, 2007).

Nesta tese pretende-se demonstrar a importância de se considerar as variações circadianas no uso do habitat e padrões de movimento das espécies, e discutir as implicações destas variações no planeamento e monitorização de planos para a sua conservação. Para isso, é usado como modelo o rato de Cabrera (*Microtus cabreræ* Thomas, 1906), um roedor endémico da Península Ibérica com importância de conservação (Queiroz *et al.*, 2005; Fernández-Salvador, 2007). Embora existam já vários estudos sobre a selecção do habitat por esta espécie, nenhum deles teve em conta as variações ao longo de diferentes períodos do dia, de acordo com as alterações ambientais que decorrem ao longo desses períodos. Assim, o objectivo geral deste estudo é testar se os ratos de Cabrera exibem variações nos padrões de movimento e uso do habitat de acordo com diferentes períodos do dia, e avaliar como esses padrões estão associados entre si. Os resultados serão usados para discutir a importância de se considerar as variações no comportamento dos animais relativamente ao uso do habitat e seus movimentos de rotina. Essa informação poderá ser útil, nomeadamente, no delineamento de planos de conservação para as espécies.

1.2 O modelo de estudo, rato de Cabrera (*Microtus cabreræ*)

O rato de Cabrera (*Microtus cabreræ*) caracteriza-se por ser um pouco maior que um rato do campo (*Apodemus sylvaticus*). Tem o pelo acastanhado, e como outros Microtinos, apresenta focinho arredondado, orelhas pequenas e cauda curta (Figura 1) (Ayanz, 1994). Um indivíduo adulto tem um peso igual ou superior a 38 g, com uma média de 52,7 g para os machos e de 51,4 g para as fêmeas (Fernández-Salvador *et al.*, 2005). Do ponto de vista sistemático, as características responsáveis pela sua identificação relativamente a outras espécies do género *Microtus* presentes na Península Ibérica, passam pelo seu maior tamanho e pela morfologia dos seus molares e do seu crânio (Ayanz, 1994). A espécie evoluiu de um ramo dos primeiros ratos de dentes sem raízes dentro do grupo *Allophaiomys* (Chaline, 1970). Estabeleceu-se como espécie endémica da Península Ibérica durante o final do período glacial e, subsequentemente, ocupou o sudeste de França (Garrido-García & Soriguer-Escofet, 2010). Dentro do género *Microtus*, caracterizado pela sua origem no Pleistoceno e pela sua rápida evolução, o rato de Cabrera pertence ao subgénero *Iberomys* (recentemente proposto para ser elevado a género, Cuenca-Bescós *et al.*, 2013), de proporções mais robustas e características mais mediterrânicas que outros *Microtus*. Este grupo é representado apenas por três espécies, duas fósseis (*M. heuscarenensis* e *M. brecciensis*) e a actual (*M. cabreræ*), e parece evolutivamente próximo de outros de ecologia muito diferente como o *M. nivalis*, com quem coincidiu geograficamente no passado (Ayanz, 1994).



Figura 1: Rato de Cabrera (*Microtus cabreræ* Thomas 1906) (Ayanz, 1994).

Quanto à sua distribuição pela Península Ibérica, esta espécie concentra-se em quatro grandes núcleos disjuntos, sendo estes o grupo Luso-Carpetano, o Montibérico, o Bético e Prepirenáico, das quais o mais importante é o Luso-Carpetano e o mais pequeno, isolado e ameaçado é o Prepirenáico (Figura 2) (Garrido-García *et al.*, 2013). Especificamente em Portugal, o rato de Cabrera mostra uma maior tendência para ocorrer na região centro, podendo também abranger o nordeste e sudoeste do país (Mira *et al.*, 2008).

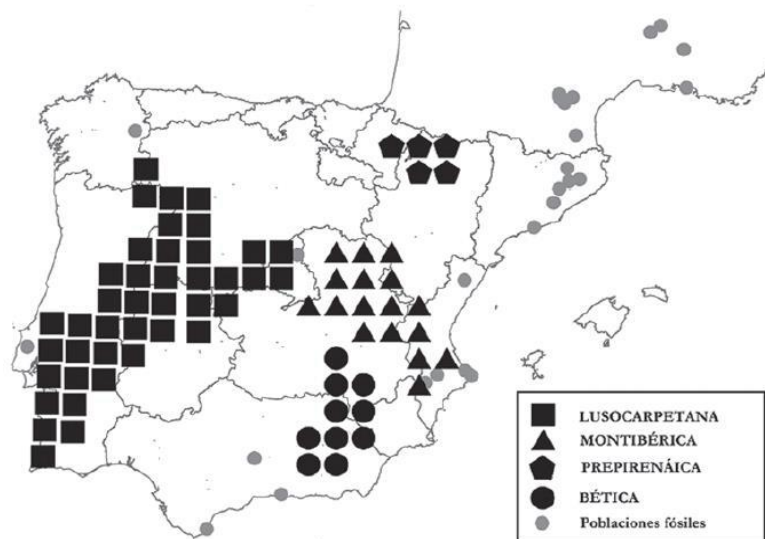


Figura 2: Mapa de distribuição indicando os núcleos da espécie *Microtus cabreræ* identificados na Península Ibérica (Garrido-García *et al.*, 2013).

O rato de Cabrera aparece em locais com boas condições de humidade no solo, que permitam a persistência das suas principais fontes de alimento. A dieta desta espécie é baseada principalmente em folhas, caules e sementes de diversas gramíneas (*Agrostis castellana*, *Brachypodium phoenicoides*, *Briza maxima*, *Vulpia myuros*, *Gaudinia fragilis*, *Leontodon* spp., *Avena barbata*, *Bromus hordeaceus* e *Tolpis barbata*, etc.) e juncais (*Scirpoides holoschoenus* e *Juncus* spp.) (Ayanz, 1994; Santos *et al.*, 2006; Rosário *et al.*, 2008). Ocasionalmente, esta dieta é completada com invertebrados, principalmente insectos (Soriguer & Amat, 1988).

A espécie apresenta requisitos muito estritos quanto à vegetação na qual pode estabelecer as suas colónias, visto necessitar de uma vegetação que se mantenha predominantemente verde durante todo o ano, e que tenha uma altura suficiente para

oferecer uma protecção eficaz contra os seus predadores (*e.g.* Coruja-das-torres, *Tyto alba*; Águia-de-asa-redonda, *Buteo buteo*; e Raposa, *Vulpes vulpes*; Fernández-Salvador, 1998). Por essa razão, as suas populações estabelecem-se normalmente em formações de gramíneas perenes, juncos e comunidades de herbáceas. É muito comum encontrar populações deste animal em habitats compostos por mais do que um dos tipos de vegetação atrás referidos (Soriguer & Amat, 1988; Fernández-Salvador, 1998). Outra característica do habitat desta espécie é a presença habitual de plantas lenhosas, geralmente arbustos espinhosos (*e.g.* *Rubus* spp.) que parecem ter uma grande importância para as populações no sentido de funcionarem como zonas de abrigo (Ayanz, 1994). Estes animais também preferem zonas abertas, com poucas árvores nas proximidades. Isto pode ser explicado pelo facto de muitas aves predadoras usarem árvores como poleiros de caça. Contudo, estas árvores (principalmente *Quercus* spp.) podem fornecer cobertura e protecção para as altas temperaturas do verão e para a exposição directa ao sol (Santos *et al.*, 2005). A grande maioria das colónias de rato de Cabrera estabelece-se em zonas que apresentam um nível freático muito elevado, sendo também comum encontrarem-se nas proximidades de taludes rodoviários e pequenos corpos de água. Contudo, evitam os rios e outras massas de água, como por exemplo lagoas permanentes, onde habitam principalmente o rato de água (*Arvicola sapidus*) e, em alguns casos, *Rattus* sp (Fernández-Salvador, 1998).

As populações são espacialmente estruturadas em subpopulações ou colónias, sujeitas aos efeitos da fragmentação de habitats e às variações climáticas sazonais bruscas. O padrão de distribuição espacial desta espécie é assim consistente com uma estrutura de metapopulação, caracterizada por processos de extinções e de colonizações locais, e cuja dinâmica será afectada pela própria dinâmica de aparecimento-desaparecimento de parcelas de habitat favorável (Pita *et al.*, 2007). A grande maioria das colónias não ocupa mais que 300 m² (*e.g.* Fernández-Salvador *et al.*, 2005), embora nalgumas áreas estas se possam estender por mais de 1000 m² (Pita *et al.*, 2006), de acordo com o tamanho dos fragmentos de habitat que reúnem os requisitos ecológicos da espécie. O reduzido tamanho das colónias deve-se em parte à perda e fragmentação de habitat derivadas das actividades humanas, como é exemplo

a intensificação agrícola e a construção de infraestruturas. A influência humana é, desta maneira, um factor a ter em conta para a conservação desta espécie pois o tamanho reduzido das colónias aumenta a sua vulnerabilidade face às ameaças e facilita o seu desaparecimento, contribuindo para diminuir a capacidade de persistência das suas populações (Fernández-Salvador, 1998). Por outro lado, o facto das comunidades vegetais preferidas pelo rato de Cabrera constituírem a única fonte de alimento verde durante grande parte do verão, faz com que estas sejam por vezes submetidas a um forte pastoreio. O sobre-pastoreio provoca modificações significativas na vegetação, como o aparecimento de plantas nitrófilas e criação de prados baixos, o que torna quase impossível a existência da espécie. Assim, este factor torna-se outra das principais ameaças para o rato de Cabrera (Ayanz, 1994).

Em termos de dinâmica dentro das populações, a densidade de ratos de Cabrera varia entre os 12 e os 93 indivíduos por hectare o que, em comparação com outras espécies de microtinos, representa uma densidade baixa (Fernández-Salvador, 1998). Apesar do rato de Cabrera conseguir reproduzir-se ao longo do ano, a actividade de acasalamento é mais intensa durante o Inverno, chegando em anos muito secos a cessar completamente no final da Primavera e durante o Verão (Ventura *et al.*, 1998), devido sobretudo à perda de qualidade e quantidade de alimento (Pita *et al.*, 2014). A organização espacial dos indivíduos sugere que, apesar de haver uma tendência para áreas vitais maiores nos machos, as diferenças entre sexos não são significativas. Por outro lado, o facto de existir sobreposição de áreas entre pares do sexo oposto e do mesmo sexo sugere que os indivíduos são monogâmicos (Pita *et al.*, 2010), o que está de acordo com o reduzido dimorfismo sexual e o facto dos machos participarem nos cuidados com as crias (Fernández-Salvador *et al.*, 2001). Contudo, com base no aumento de actividade dos machos em relação às fêmeas durante a época húmida, foi sugerido que em algumas populações selvagens esta tendência monogâmica pode não ser obrigatória. Isto porque o aumento de actividade pode indicar que os machos têm acesso a mais que uma fêmea na presença de alimento em grande quantidade e qualidade (Pita *et al.*, 2011b).

Na natureza, esta espécie é predominantemente diurna, com picos de actividade por volta do meio-dia durante a estação húmida (entre Outubro e Abril) e ao

amanhecer e crepúsculo durante a estação seca (entre Maio e Setembro) (Pita *et al.*, 2011b). No verão, a redução de actividade durante as horas de maior calor do dia pode ser representativa de um mecanismo comportamental para a optimização fisiológica do metabolismo e termo-regulação. No geral, a actividade circadiana durante o Verão apresenta valores mais baixos do que durante a estação húmida (Pita *et al.*, 2011b e Ventura *et al.*, 1998).

Actualmente o estado de conservação IUCN desta espécie é “Near Threatened” (Quase Ameaçado), baseado na sua restrita distribuição geográfica e reduzida área de ocupação estimada (Fernandes *et al.*, 2008). No entanto, apesar da sua importância em termos de conservação, os estudos sobre a biologia e ecologia do rato de Cabrera são em grande medida limitados pelo facto de a espécie ser difícil de amostrar. Com efeito, não é frequente capturar ratos de Cabrera em campanhas de armadilhagem, tornando os censos realizados para esta espécie pouco precisos. Por esta razão, a maioria dos estudos sobre a ecologia do rato de Cabrera têm sido baseados na análise de regurgitações de predadores e inspecções de sinais específicos da presença da espécie. Alguns sinais típicos da presença de ratos de Cabrera são caminhos marcados na superfície, restos de erva cortada e fezes verde-escuras com cerca de 4-8 mm de comprimento, dispostas normalmente em pilhas ou latrinas (Pita *et al.*, 2014). Estes sinais de presença são muitas vezes usados como dados de presença-ausência da espécie, os quais têm possibilitado estudos detalhados sobre a distribuição da espécie (*e.g.* Mestre *et al.* 2015) e selecção do habitat (Pita *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2006).

1.3 Objectivos específicos

Face ao estatuto de conservação do rato de Cabrera e à necessidade de planos de gestão que contrariem as tendências populacionais regressivas da espécie (Fernández-Salvador, 2007; Pita *et al.*, 2014), este estudo pretende contribuir para uma melhor compreensão das variações circadianas dos padrões de uso do habitat e movimentos dos indivíduos dentro da sua área vital individual. De acordo com Johnson (1980), a escala hierárquica aqui considerada corresponde à selecção de terceira ordem, *i.e.* a selecção de determinados habitats (habitats usados) em relação ao total incluído na

sua área vital (habitats disponíveis). Embora a selecção do habitat do rato de Cabrera tenha já sido avaliada a várias ordens de selecção (Pita *et al.*, 2011a), nenhum estudo quantificou a importância relativa desses habitats ao longo do dia e como estão associados a diferentes padrões de movimento dos indivíduos.

Neste sentido, pretende-se com este estudo testar a predição geral de que os padrões de movimento e uso do habitat pelo rato de Cabrera variam ao longo de diferentes períodos do dia. Em particular, pretende-se testar as seguintes hipóteses:

- i) De acordo com os seus ritmos de actividade e repouso (Pita *et al.*, 2011b), os ratos de Cabrera passam mais tempo a mover-se e percorrem distâncias maiores durante o dia do que de noite, particularmente durante a estação mais fria e húmida;
- ii) Durante os períodos em que se movem mais, os indivíduos seleccionam preferencialmente zonas dominadas por herbáceas, onde encontram o seu alimento preferencial (Ayanz, 1994; Rosário *et al.*, 2008);
- iii) De acordo com a sua tendência para a monogamia (*e.g.* Pita *et al.*, 2014), as variações circadianas no uso do habitat e padrões de movimento, não variam entre sexos.

Espera-se que estes resultados possam fornecer informação relevante do ponto de vista da conservação, nomeadamente na gestão local dos habitats (*e.g.* em relação ao tipo e quantidade relativa de vegetação a manter dentro de habitats favoráveis), e na monitorização do estado das populações, através de indicadores comportamentais dos indivíduos que as compõem.

1.4 Referências

Aarts, G., MacKenzie, M., McConnell, B., Fedak, M., Matthiopoulos, J. (2008) Estimating space-use and habitat preference from wildlife telemetry data. *Ecography* 31: 140-160.

Anthony, L. L., Blumstein, D. T. (2000) Integrating behaviour into wildlife conservation: the multiple ways that behaviour can reduce N_e . *Biological Conservation*, 95: 303-315.

Ayanz, A. S. M. (1994) El topillo de Cabrera (*Microtus cabreræ* Thomas, 1906): una reliquia faunística de la Península Ibérica. *Quercus*, 103: 14-18.

Berger-Tal, O., Polak, T., Oron, A., Lubin, Y., Kotler, B. P., Saltz, D. (2011) Integrating animal behavior and conservation biology: a conceptual framework. *Behavioral Ecology*, 22: 236-239.

Caro, T. (1999) The behavior-conservation interface. *Trends in Ecology and Evolution*, 14 (9): 366-369.

Caro, T. (2007) Behavior and conservation: a bridge too far? *Trends in Ecology and Evolution*, 22 (8): 394-400.

Chaline, J. (1970) La signification des rongeurs dans les dépôts Quaternaires. *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire*, 7: 229-241.

Cooke, S. J., Blumstein, D. T., Buchholz, R., Caro, T., Fernández-Juricic, E., Franklin, C. E., Metcalfe, J., O'Connor, C. M., Clair, C. C. S., Sutherland, W. J., Wikelski, M. (2014) Physiology, Behavior, and Conservation. *Physiological and Biochemical Zoology*, 87 (1): 1-14.

Cuenca-Bescós, G., Rofes, J., López-García, J. M., Blain, H., Rabal-Garcés, R., Sauqué, V., Arsuaga, J. L., Castro, J. M. B., Carbonell, E. (2013) The small mammals of Sima del Elefante (Atapuerca, Spain) and the first entrance of *Homo* in Western Europe. *Quaternary International*, 295: 28-35.

Fernandes, M., Pita, R., Mira, A. (2008) *Microtus cabreræ*. Em International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources Red list of threatened species. www.iucnredlist.org. Consultado em 9 de Agosto de 2015.

Fernández-Salvador, R. (1998) Topillo de Cabrera, *Microtus cabreræ* THOMAS, 1906. *Galemys*, 10: 5-18.

Fernández-Salvador, R., García-Perea, R., Ventura, J. (2001) Reproduction and postnatal growth of the Cabrera vole, *Microtus cabreræ*, in captivity. *Canadian Journal of Zoology*, 79: 2080-2085.

Fernández-Salvador, R., García-Perea, R., Ventura, J. (2005) Effect of climatic fluctuations on body mass of Mediterranean vole, *Microtus cabreræ*. *Mammalian Biology*, 7:73-83.

Fernández-Salvador, R. (2007) *Microtus cabreræ* (Thomas, 1906). Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España. Palomo, L. J., Gisbert, J., Blanco, J. C. (editores). Dirección General para la Biodiversidad, Madrid.

Garrido-García, J. A., Rosário, I. T., Gisbert, J., García-Perea, R., Cordero, A. I., López-Alabau, A., Mathias, M. L., Mira, A., Pita, R., Santos, S., Sendra-Pérez, I., Vicente, V., Soriguer, R. C. (2013) Revisión a nivel ibérico de la distribución del topillo de Cabrera o iberón, *Iberomys cabreræ* (Thomas, 1906). *Galemys*, 25: 35-49.

Garrido-García, J. A., Soriguer-Escofet, R. C. (2010) Cabrera's Vole *Microtus cabreræ* Thomas, 1906 and the subgenus *Iberomys* during the Quaternary: evolutionary implications and conservation. *Geobios*.

Johnson, D. H. (1980) The Comparison of Usage and Availability Measurements for Evaluating Resource Preference. USGS Northern Prairie Wildlife Research Center. Paper 198.

Mestre, F., Pita, R., Paupério, J., Martins, F. M. S., Alves, P. C., Mira, A., Beja, P. (2015) Combining distribution modelling and non-invasive genetics to improve range shift forecasting. *Ecological Modelling*, 297: 171-179.

Mira, A., Marques, C. C., Santos, S. M., Rosário, I. T., Mathias, M. L. (2008) Environmental determinants of the distribution of the Cabrera vole (*Microtus cabreræ*) in Portugal: Implications for conservation. *Elsevier, Mammalian Biology* 73: 102-110.

Moe, T. F., Kindberg, J., Jansson, I., Swenson, J. E. (2007) Importance of diel behaviour when studying habitat selection: examples from female Scandinavian brown bears (*Ursus arctos*). *Canadian Journal of Zoology*, 85: 518-525.

Morris, D. W., Kotler, B. P., Brown, J. S., Sundararaj, V., Ale, S. B. (2009) Behavioral indicators for conserving mammal diversity. *The year in ecology and conservation biology*. New York Academy of Sciences, 1162: 334-356.

Nathan, R., Getz, W. M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D., Smouse, P. E. (2008) A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 19052-19059.

Onorato, D. P., Criffield, M., Lotz M., Cunningham, M., McBride, R., Leone, E. H., Bass Jr, O. L., Hellgren, E. C. (2011). Habitat selection by critically endangered Florida panthers across the diel period: implications for land management and conservation. *Animal Conservation* 14: 196-205.

Pita, R., Beja, P., Mira, A. (2006) Conserving the Cabrera vole, *Microtus cabreræ*, in intensively used Mediterranean landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115: 1-5.

Pita, R., Beja, P., Mira, A. (2007) Spatial population structure of the Cabrera vole in Mediterranean farmland: The relative role of patch and matrix effects. *Biological Conservation* 134: 383-392.

Pita, R., Beja, P., Mira, A. (2010) Spatial segregation of two vole species (*Arvicola sapidus* and *Microtus cabreræ*) within habitat patches in a highly fragmented farmland landscape. *European Journal of Wildlife Research*, 56: 651-662.

Pita, R., Mira, A., Beja, P. (2011a). Assessing habitat differentiation between coexisting species: the role of spatial scale. *Acta Oecologica*, 37:124-132.

Pita, R., Mira, A., Beja, P. (2011b) Circadian activity rhythms in relation to season, sex and interspecific interactions in two Mediterranean voles. *Animal Behaviour* 81: 1023-1030.

Pita, R., Mira, A., Beja, P. (2014) *Microtus cabreræ* (Rodentia: Cricetidae). Mammalian Species. 46, 912: 48-70.

Queiroz, A. I., Alves, P. C., Barroso, I., Beja, P., Fernandes, M., Freitas, L., Mathias, M. L., Mira, A., Palmeirim, J. M., Prieto, R., Rainho, A., Rodrigues, L., Santos-Reis, M., Sequeira, M. (2005) *Microtus cabreræ* Rato de Cabrera. Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal. Cabral, M. J. *et al.* (editores). Instituto da Conservação da Natureza, Lisboa.

Reed, J. M., Dobson, A. P. (1993) Behavioural Constraints and Conservation Biology: Conspecific Attraction and Recruitment. Trends in Ecology and Evolution, 8 (7): 253-256.

Rosário, I. T., Cardoso, P. E., Mathias, M. L. (2008) Is habitat selection by the Cabrera vole (*Microtus cabreræ*) related to food preferences? Mammalian Biology 73: 423-429.

Santos, S. M., Do Rosário, I. T., Mathias, M. L. (2005) Microhabitat preference of the Cabrera vole in a Mediterranean cork oak woodland of southern Portugal. Vie Milieu 55, 1: 53-59.

Santos, S. M., Simões, M. P., Mathias, M. L., Mira, A. (2006) Vegetation analysis in colonies of an endangered rodent, the Cabrera vole (*Microtus cabreræ*), in southern Portugal. Ecological Research, 21: 197-207.

Soringuer, R., Amat, J. A. (1988) Feeding of Cabrera vole in west-central Spain. Acta Theriol 33: 589-593.

Stefano, J., York, A., Swan, M., Greenfield, A., Coulson, G. (2009) Habitat selection by the swamp wallaby (*Wallabia bicolor*) in relation to diel period, food and shelter. Animal Ecology, 34: 143-155.

Sutherland, W. J. (1998) The importance of behavioural studies in conservation biology. Animal Behaviour, 56: 801-809.

Swan, M., Stefano, J. D., Greenfield, A., Coulson, G. (2008) Fine-scale habitat selection by adult female swamp wallabies (*Wallabia bicolor*). Australian Journal of Zoology 56: 305-309.

Thomas, O. (1906) A new Vole from Spain. The Annals and magazine of natural history 7, 17: 576-577.

Ventura, J., López-Fuster, M. J., Cabrera-Millet, M. (1998) The Cabrera vole, *Microtus cabreræ*, in Spain: a biological and morphometric approach. Netherlands Journal of Zoology, 48:83-100.

2. PAPER: DIEL VARIATION IN MOVEMENT PATTERNS AND HABITAT USE BY THE NEAR-THREATENED CABRERA VOLE IN MEDITERRANEAN FARMLAND

2.1 Abstract

Understanding the circadian variations in species behaviour and its potential impacts on population processes is a particularly challenging topic in ecology and conservation. Here we document, for the first time, the circadian variations in habitat use and movement patterns by wild-ranging Cabrera voles in fragmented Mediterranean farmland, based on radiotracking data (2006-2008) of 25 adult individuals with stable home-ranges in vegetation mosaics dominated by wet grasses and shrubs. Results suggested that the proportion of time animals spent moving, the distance moved and the selection strength of main vegetation types were closely linked behavioural traits, which varied considerably across the 24 hour cycle. In general, voles moved more frequently and over larger distances during daytime, which was when wet grasses were also used more intensively. These patterns were in general consistent across seasons, though during the dry season there was some tendency for a decrease in movement activity during the hottest hours of the day (between 10h15-14h00), with peaks at crepuscular hours (06h15-10h00 and 18h15-22h00). Overall, our study provides evidence that Cabrera voles may show notably shifts in habitat use and movement patterns on a finer scale than previously considered. These results may have important implications in sampling and monitoring programs targeting the species, and suggest that behavioural indicators may be useful to improve habitat management plans at fine spatio-temporal scales towards species conservation.

Keywords: Cabrera vole, movement patterns, habitat selection, circadian cycle.

2.2 Introduction

A main consequence of the global threats to biodiversity worldwide (*e.g.* climate and land use change), is that many species are in need for urgent conservation actions (*e.g.* McKinney, 2002; Root *et al.*, 2003; Preisler *et al.*, 2006; McDonald *et al.*, 2008; Morris *et al.*, 2009; Makeeva *et al.*, 2013). Identifying potentially declining species towards their effective conservation requires informative indicators about the overall state of populations. Traditionally, these indicators are based on ecological information provided by species occurrence data and the environmental factors affecting it (Morris *et al.*, 2009). However, there has been a growing evidence that other types of indicators (*e.g.* physiological, genetic, behavioural) may provide useful information for predicting species responses to environmental change, and for supporting decisions aiming their conservation (Cooke *et al.*, 2014). Among these, behavioural indicators have been relatively less explored, probably because conservation science is mostly concerned with populations, while animal behaviour is mostly concerned with individual variation in behaviour (Caro, 2007). There are however several examples in the literature showing how integrating information on species behavioural traits may improve conservation planning and monitoring (*e.g.* Sutherland, 1998; Caro, 2007). For instance, knowledge of the spatio-temporal variation in circadian habitat use and movement patterns by resident animals occupying stable home-ranges, may provide important base-line information to assess individual responses to environmental disturbance or to identify dispersal-related decisions affecting population (demographic) processes (*e.g.* Tigas *et al.*, 2002; Pépin *et al.*, 2009; Bjørneraas *et al.*, 2011; Ordiz *et al.*, 2014). Understanding these short-term changes in routine movement patterns and habitat use by species along the 24 hour cycle may thus provide important behavioural indicators about individuals fitness, which may be used to infer the overall population status at early stages, *i.e.* before demographic indicators become noticed (*e.g.* Moe *et al.*, 2007; Onorato *et al.*, 2011). However, most studies regarding species habitat use are based on a collection of point locations where the species or individuals were observed, thus ignoring the circadian variations in animals habitat use and movement patterns over their routine activities within their home-ranges (Ager *et al.*, 2003; Godvik *et al.*, 2009).

This study addresses this issue, assessing whether movement patterns and habitat use by the 'near-threatened' Iberia-endemic Cabrera vole (*Microtus cabreræ*) vary along different periods of the day in the dry and wet seasons. In particular, the study tests the general prediction that there may be certain periods with particular environmental characteristics (e.g. temperature, sunlight) that may increase or decrease the selection of a particular habitat and/or induce changes in movement patterns by adult individuals exhibiting stable home-ranges (e.g. Moe *et al.*, 2007; Stefano *et al.*, 2009; Onorato *et al.*, 2011). More specifically, this study tests the following hypothesis:

H1 – According to the species daily rest/activity timings (Pita *et al.*, 2011b), Cabrera voles spend more time moving, and move over larger distances during daytime periods, especially during the wet season.

H2 – During the periods in which animals move at higher rates and distances, they use more often sites dominated by herbaceous vegetation, where they find their preferred foods (Ayanz, 1994; Rosário *et al.*, 2008).

H3 – According to its predominantly monogamic mating system (e.g. Pita *et al.*, 2014), the circadian variations in habitat use and movement patterns of the species should not differ between sexes.

Support for such behavioural variations in movement patterns and habitat use along the 24 hour cycle may have important implications for local habitat management, particularly regarding the type and relative amount of vegetation types that should be maintained within favourable areas to support resident individuals. In addition, they can provide useful behavioural indicators to infer on species population status and to predict responses to environmental change.

2.3 Methods

2.3.1 Study area

The study was conducted in southwest Portugal Mediterranean, which is included in the thermo-Mediterranean bioclimatic zone (Rivas-Martinez, 1981). Mean monthly temperature range between 9 and 23°C and average annual rainfall is around 680 mm of which about 80% of rainfall occurs between October and April (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, <http://snirh.pt>). The region is predominantly flat and dominated by agriculture, with almost half of the land devoted to irrigate annual crops. In this area, cattle production is also important, resulting in large areas occupied by pastures, fodder crops and silage corn or sorghum. Wood cover is restricted to arboreal windbreaks and a few woodlots. Natural and semi-natural habitats occur marginally in dunes, entrenched stream valleys and cork oak woodlands surrounding the farmed area. In this landscape, surface waters are mostly associated with temporary ponds which flood during the rainy season and dry out in summer, whereas permanent water bodies are scarce and mostly associated with irrigation infrastructures such as concrete channels and reservoirs. Over the past two decades there has been a strong intensification of agricultural practices along with the abandonment of some less productive areas, with the landscape changing considerably as a result of social and land management transformations and with negative consequences for farmland biodiversity (Beja & Alcazar, 2003; Pita *et al.*, 2006; Pita *et al.*, 2007; Pita *et al.*, 2009).

2.3.2 Study animals

We used data from 25 radio-tracked adult Cabrera voles (mean±standard error = 50.5±1.39 g) exhibiting stable home-ranges (mean±standard error = 465.90±69.03 m², based on 95% Kernel) included in mosaics of wet grassy and shrubby vegetation (see Pita *et al.*, 2010, 2011a, 2011b). Animals were surveyed from 11 colonies in two farmland areas in south-west Portugal between April-2006 and April-2008 (wet season: October-April; dry season: May-September). Overall, 10 animals (7 females and 3

males) were sampled during the dry season (4 colonies), and 15 (9 females and 6 males) were sampled during the wet season (7 colonies). Details regarding capture and handling of animals are provided in [Pita *et al.*, 2010, 2011a, 2011b](#). In brief, we used Sherman live traps baited with apple and supplied with hay and hydrophobic cotton for bedding. A total of 804 traps were set during 108 days of trapping, distributed through the study period. The sampling effort varied among sites, depending on the evidence for the presence of vole signs, patch size, and capture–recapture success. At capture, voles were weighed, sexed, and fitted with collar radio-transmitters (Wildlife Materials, Inc., Murphysboro, IL, USA), adding no more than 5% of the animals weight ([Gannon & Sikes, 2007](#)). All animals were lightly sedate with a subcutaneous injection of Dormitor (0.2 mg/kg) to reduce handling stress. After transmitter attachment, voles were induced out of anaesthesia. Before released, collared animals were kept under observation for at least 2 hours to ensure that they were suffering no ill effects or loss of mobility. Radiotracking started at least 4 hours after trap removal and the release of animals at their point of capture. After radio-tracking, each sampling site was re-trapped, so as to remove collars from tracked voles ([Pita *et al.*, 2010](#)).

2.3.3 Sampling design and variables

Routine movement patterns and habitat use by voles within their home ranges were sampled in six different periods of the day (four hours each) reflecting different sunlight, climate and biotic conditions: 02h15-06h00 (P1, early morning); 06h15-10h00 (P2, morning); 10h15-14h00 (P3, noon); 14h15-18h00 (P4, afternoon); 18h15-22h00 (P5, evening); and 22h15-02h00 (P6, night). Each animal was sampled in a different period every day along a mean (\pm standard error) of 11.8 (\pm 1.6) days per animal (range: 3-23 days per surveyed animal). During each sampling period, locations were carried out at 15-minutes intervals, totalling 16 locations per sampling period. At each location, the GPS coordinates were recorded (\pm 4 m error) along with the dominant vegetation type (herb versus shrub) within 50 cm-radius plots ([Pita *et al.*, 2010, 2011a, 2011b](#)). For this, two main functional strata were considered: i) wet grasses and forbs

usually greater than 30 cm tall (hereafter grasses); and ii) shrubs or tussock-forming herbs (*e.g.* sedges, rushes, or reeds) usually greater than 60 cm tall (hereafter shrubs).

From these data we extracted, for each sampling period and animal, the following dependent variables describing movement patterns and habitat use:

1. Proportion of time spent moving (PM), given by the number of times the animal moved in each period divided by the total number of observations (16 for each period).
2. Overall movement length (OM), given by summing up the distances travelled from one point location to the other.
3. Grass selectivity index (GS), given as the frequency of point locations (habitat used) dominated by grassy vegetation relative to respective overall frequency (habitat available) recorded for each animal throughout overall sampling time. This corresponds to the Ivlev selectivity index (*e.g.* [Magaña *et al.*, 2010](#)), and measures the strength of third order selection for grasses relative to availability ([Johnson, 1980](#)).

2.3.4 Data analyses

To investigate whether the period of the day affected the three variables describing vole movements and habitat use in each season, we used mixed-effects (trivariate) multivariate analysis of variance (MANOVAs), which is a generalization of analysis of variance (ANOVA) that allows the analysis of more than one dependent variable ([Bray & Maxwell, 1985](#)). Survey years, colonies, and animals were included as random effects. To reduce the influence of extreme values and improve model convergence, the dependent variables were scaled and arcsin-transformed in the case of PM, and log-transformed in the case of OM. In model building, the intercept was suppressed as suggested by [Hadfield \(2014\)](#). For each season we first built a ‘circadian’ model in which the period of the day was included as a fixed effect (see “Anexo 1” and “Anexo 2”). In order to assess the support of the ‘circadian’ models, we then built concurrent ‘null’ models (*i.e.* including only the random effects, see “Anexo 1” and “Anexo 2”), and checked whether the ‘circadian’ models yielded deviance information

criterion (DIC), a Bayesian analogue of Akaike information criterion (AIC), at least 5 units lower than that of the corresponding 'null' models (Spiegelhalter *et al.*, 2002). To test the importance of the sex in the circadian variation of habitat use and movement patterns, we built an additional model for each season including the interaction between the period of the day and the sex ('circadian*sex' model) (see "Anexo 3"). We also assessed eventual differences in mean circadian movement patterns and habitat use between males and females, by running a further model including the main effect of sex ('circadian+sex' model) (see "Anexo 3"). Support for any of these models was assessed by checking whether the corresponding DIC values were at least 5 units lower than that of the 'circadian' models. Finally, model fit of most supported models was estimated using pseudo- R^2 (Johnson, 2014), and respective posterior distributions were used to estimate the correlations among the three dependent variables in each season (*e.g.* Hadfield, 2010; Wilson *et al.*, 2010), with significant correlations were determined by the 95% credible intervals not overlapping with zero.

All models were run with Bayesian Markov Chain Monte Carlo simulation using the package 'MCMCglmm' version 2.22 (Hadfield, 2010) and the program R 3.1.3 (R Core Team, 2015), keeping > 1000 posterior samples (Hadfield, 2014). Models were run using default uninformative flat priors, considering acceptable levels of first order autocorrelation (generally <0.01 for successive iterations, Plummer *et al.*, 2006; Hadfield, 2010) and until they reached convergence, as assessed computationally using Geweke's convergence diagnostic (Plummer *et al.*, 2006). This implied runs with 20000 iterations, burn-in size of 2000 and thinning interval of 10 iterations. Adjusted pseudo- R^2 values were estimated with 'MuMin' (Bartoń, 2016).

2.4 Results

A total of 3664 location records (2080 in the wet season and 1584 in the dry season) were made for the 25 animals included in this study, with a mean (\pm standard error) of 146.56 (\pm 14.68) locations per animal. Overall, the mean (\pm standard error) proportion time that animals spent moving per sampling period was 0.42 ± 0.06 (0.42 ± 0.07 in the wet season and 0.42 ± 0.10 in the dry season); the mean (\pm standard

error) distance travelled by animals per sampling period was 47.56 ± 6.01 (52.90 ± 7.27 in the wet season and 42.21 ± 9.72 in the dry season); and the mean (\pm standard error) value of grass selectivity was -0.20 ± 0.09 (-0.18 ± 0.14 in the wet season and -0.22 ± 0.13 in the dry season), suggesting that this habitat type was in general less used relative to its availability.

When looking at the mean values of dependent variables per sampling period, the results indicated that there were some differences among them for both seasons, suggesting that, in general, voles spent more time moving and move over larger distances during day time periods, which is also when they make more use of grassy areas within their home ranges (Table 1). This suggestion was confirmed by the mixed effect MANOVA analyses, which showed that the ‘circadian’ models for each season were strongly supported when compared to the respective ‘null’ models (Table 2).

Table 1 – Mean \pm standard error [range] of movement and habitat use variables across different periods of the day in the wet and dry season.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
	Early morning	Morning	Noon	Afternoon	Evening	Night
	02h15-06h00	06h15-10h00	10h15-14h00	14h15-18h00	18h15-22h00	22h15-02h00
Wet Season						
% time spent moving	0.163 ± 0.056 [0 – 0.466667]	0.452 ± 0.066 [0 – 0.8]	0.608 ± 0.062 [0 – 0.933333]	0.569 ± 0.062 [0.2 – 0.86667]	0.481 ± 0.045 [0.2 – 0.93333]	0.233 ± 0.073 [0 – 0.8]
Overall movement length (meters)	22.668 ± 7.329 [1 – 64.4]	56.437 ± 10.113 [0 – 121.22]	61.202 ± 7.094 [0 – 116.97]	70.099 ± 9.272 [14.95 – 140.76]	65.588 ± 8.790 [22.8 – 162.28]	41.425 ± 10.600 [0 – 152.16]
Grass selectivity index	-0.640 ± 0.180 [-1 – 0.119534]	0.096 ± 0.071 [-0.35484 – 0.578947]	0.019 ± 0.086 [-1 – 0.538462]	0.081 ± 0.067 [-0.72571 – 0.39535]	-0.032 ± 0.073 [-0.64796 – 0.54839]	-0.572 ± 0.130 [-1 – 0.2381]
Dry Season						
% time spent moving	0.133 ± 0.061 [0 – 1]	0.650 ± 0.047 [0.266667 – 0.866667]	0.424 ± 0.069 [0 – 0.933333]	0.583 ± 0.082 [0 – 1]	0.633 ± 0.042 [0.4 – 0.866667]	0.082 ± 0.035 [0 – 0.466667]
Overall movement length (meters)	17.119 ± 5.315 [0 – 86.06]	64.556 ± 6.140 [21.11 – 104.56]	40.319 ± 7.665 [0 – 96.87]	63.336 ± 10.787 [1.41 – 168.93]	57.626 ± 4.785 [21.73 – 91.59]	10.288 ± 3.850 [0 – 52.96]
Grass selectivity index	-0.639 ± 0.127 [-1 – 0.21519]	0.097 ± 0.072 [-0.5 – 0.535545]	-0.088 ± 0.116 [-1 – 0.571429]	-0.032 ± 0.133 [-1 – 0.615385]	-0.062 ± 0.124 [-1 – 0.558442]	-0.617 ± 0.122 [-1 – 0.190083]

Table 2: Ranking of the models for each season, specifically between the ‘null’ models and the ‘circadian’ models (including the period of the day as a fixed effect).

Season	Model	DIC	Δ DIC	Adjusted pseudo R^2
Wet	‘null’ model	666.49	31.83	-
	‘circadian’ model	634.66		0.39
Dry	‘null’ model	661.55	51.88	-
	‘circadian’ model	609.67		0.51

In particular, using the period between 02h15-06h00 (P1, early morning) as baseline, posterior estimates of model coefficients regarding the proportion of time animals spent moving during the wet season were significantly higher for the periods between 06h15 and 22h00, with the highest values for the periods between 10h15 and 18h00 (P3, noon and P4, afternoon) (Fig. 3). These results were generally also observed during dry season, though the highest posterior estimates of model coefficients were recorded between 06h15-10h00 (P2, morning) (Fig. 3). Very similar patterns were found for both the overall movement length and the strength of selection of grassy areas over shrubs, with significantly higher values for periods between 06h15 and 22h00 during both seasons (Fig. 3). Overall movement length was apparently higher between 14h15-18h00 during the wet season (P4, afternoon), and between 06h15-10h00 (P2, morning) during the dry season (Fig. 3). In general the selection of grasses was particularly stronger between 06h15-10h00 during both seasons (Fig. 3; see also “Anexo 4”). The ‘circadian*sex’ models yielded much higher DIC values than the ‘circadian’ model for both seasons (Δ DIC=22.73 for the wet season and Δ DIC=14.97 for the dry season), indicating a weak support for the effect of the sex in the circadian variation in voles movement patterns and habitat use (see “Anexo 5”). The ‘circadian+sex’ models also yielded higher DIC values than the ‘circadian’ models, though respective Δ DIC was lower than 5 in both seasons (Δ DIC=2.25 for the wet season and Δ DIC=2.43 for the dry season). These models suggested some tendency for sex differences in movement activity and habitat use, though these were never significant for both seasons (see “Anexo 6”). The correlations among dependent variables based on posterior distributions of the ‘circadian’ models for both seasons

indicated significant positive correlations between all possible pairwise combinations (Table 3).

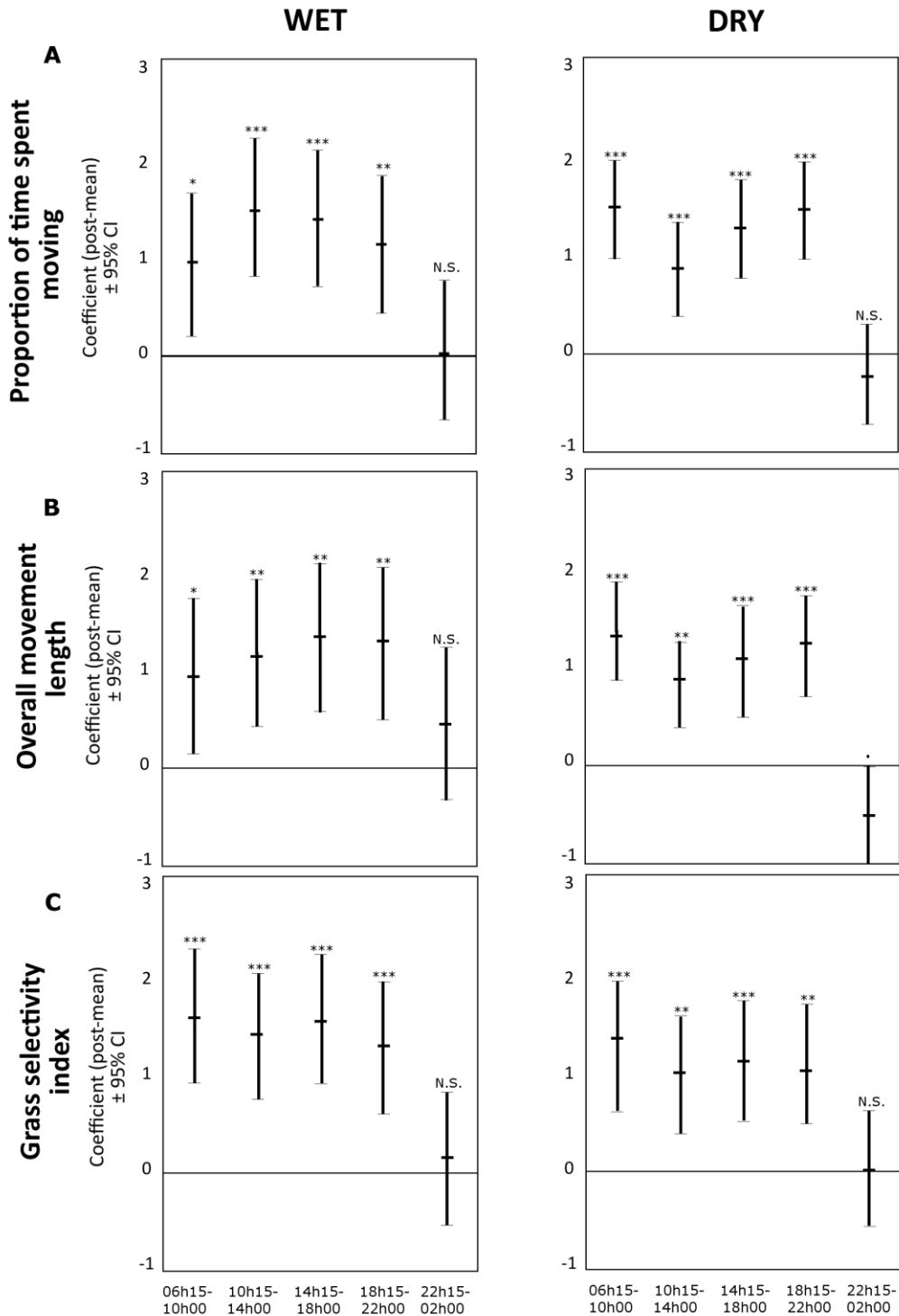


Figure 3: Posterior estimates of model coefficients and 95% confidence intervals for the ‘circadian’ models, relating the proportion of time voles spent moving (A), the overall distance moved by voles (B), and the grass selectivity index by voles (C), in each of the six periods of the day considered, for the wet (left) and dry season (right). The period between 02h015-06h00 (P2, early morning) was used as baseline. Significance codes: 0 “***”, 0.001 “**”, 0.01 “*”, 0.05 “.”, 0.1 “.”

Table 3: Correlations among the proportion of time spending moving (PM), overall movement length (OM) and grass selectivity index (GS) extracted from the ‘circadian’ models for each season.

Season	Variables	Correlation (posterior mode)	95% CI
Wet	PM vs. OM	0.7332284	0.6516424 - 0.8431371
	PM vs. GS	0.4793191	0.2938507 -0.6242227
	OM vs. GS	0.3884812	0.2266459 - 0.5825367
Dry	PM vs. OM	0.7572009	0.6715974 -0.8525082
	PM vs. GS	0.3144038	0.128694 -0.5619875
	OM vs. GS	0.4134595	0.1986519 -0.556333

2.5 Discussion

Patterns of habitat use and movement are key topics in ecological studies because they affect animals’ distribution over scales and can have strong influence on their fitness and survival (e.g. Russell *et al.*, 2003; Morales *et al.*, 2010). These patterns are usually suggested to result from a trade-off between food acquisition efficiency and mortality risk, which are expected to vary across the 24 hour cycle for most *taxa*, according to endogenous biological rhythms and external environmental factors (Railsback *et al.*, 2005). Although seasonal variation in resource selection and circadian activity rhythms of Cabrera voles have been detailed previously (Pita *et al.*, 2011a, 2011b), our study provides the first integrated approach showing the link between habitat use and movement patterns within individuals home-ranges, and how joint decisions of what habitat to occupy and how to move within it may reflect circadian variations in foraging versus hiding/resting activities across season (e.g. Tigas *et al.*, 2002; Pépin *et al.*, 2009).

Overall, our data were consistent with our first prediction that Cabrera voles spent more time moving and moved over larger distances during daytime. These patterns were particularly evident during the wet season, as voles tended to decrease daytime movement around noon (between 10h15-14h00) during the dry season, peaking in the morning (between 06h15-10h00) and evening (between 18h15-22h00), with minimum movement activity at night and early morning (02h15-06h00) during both seasons. This is in accordance with the circadian activity rhythms described for the species, showing

predominant unimodal (diurnal) and bimodal (crepuscular) patterns in the wet and dry season, respectively (Pita *et al.*, 2011b). Lower daytime movement activity by Cabrera voles during the hottest hours of the day in the dry season probably reflect a behavioural response to cope with the species physiological and metabolic needs, and thus to minimize exposure to high temperatures (Mathias *et al.*, 2003; Pita *et al.*, 2011b). Assuming that periods of very reduced movement activity indicate resting and nesting sites where vigilance is reduced and vulnerability to predation increases (Semeniuk & Dill, 2005; Ganskoop & Johnson, 2007), these results are consistent with those regarding diel variation in voles habitat selection, which suggested large differences between habitats used during the resting compared to the active periods of the day. The increased use of grassy areas while foraging, and concurrent increased use of shrubby areas while resting, thus confirm our second prediction that circadian movement patterns and habitat use are actually linked and cyclic. Considering that individuals select the combination of habitat and movement that maximizes their fitness (Fretwell & Lucas, 1969), it is likely that such temporal shifts in voles movement patterns and habitat use are related to a higher forage abundance and quality of grassy areas to fulfil food intake requirements while foraging, and a higher value of shrubby areas for reducing predation risk through concealment or impediment while resting (Ayanz, 1994; Luque-Larena & López, 2007; Rosário *et al.*, 2008). Also, we found weak support for sex differences in circadian movement patterns and habitat use by Cabrera voles during both seasons, which is consistent with our third prediction that, given its predominantly monogamous mating system and biparental care (*e.g.* Fernández-Salvador *et al.*, 2001; Pita *et al.*, 2014), males and females should in general share much the same time intervals for searching for optimal feeding areas or secure resting and nesting habitats, with little difference in overall movement activity and habitat use.

Taken together, the results from this study support the view that the way by which animals use their environment depends on the characteristics of the resources available at different scales, and that circadian variations in environmental conditions may impose differences in individuals behavioural choices related to movement patterns and habitat use (*e.g.* Bennitt *et al.*, 2015). In particular, our study showed that

Cabrera voles may distinguish between particular habitat types based on their structural and functional value, which in turn affect their suitability for particular behaviours along the 24 hour cycle. Therefore, although our results generally agree with patterns of space use described previously for Cabrera voles, it offers new information that may be useful to a more holistic understanding of movement activity and habitat use by the species. This highlights the need to include individual behavioural traits when analysing resource use by the species at the population level, as some vegetation types may be more suited for particular behaviours than others (e.g. Bjørneraas *et al.*, 2011; Dzialak *et al.*, 2012).

Although individual and geographic variation may eventually limit the quantification of circadian animal behaviour in a way that allows applying in broad movement and habitat models (Ager *et al.*, 2003), the circadian cycles in movement activity and habitat use shown here, should be particularly relevant in terms of sampling and monitoring Cabrera vole populations. In particular, the choice of the temporal scale and optimal allocation of resources for sampling data can significantly affect the patterns of movement and habitat use by voles. For instance, in studies focusing on foraging voles using telemetry it may be possible to direct data sampling more often during daytime or more seldom during night time, based on animals' behavioural patterns (e.g. Moe *et al.*, 2007). Also, the results provided here can be used as baseline information to assess individual fitness and hence to infer overall population status relative to disturbances or individual decisions regarding dispersal (e.g. Haroldson & Fritzell, 1984; Stefano *et al.*, 2009). Furthermore, our findings may contribute to increase the efficiency of conservation and management actions targeting the species, particularly regarding the need to maintain or create potential habitat patches composed by a mosaic of shrubby and grassy areas, likely to minimize foraging and travel time, and possibly predation risk (e.g. Ferron & Ouellet, 1992). On the other hand, the results also support the idea that attempts to understand the dynamic nature of habitat selection and movement patterns of a species as a basis for the establishment of management actions, should take in account the circadian changes in behaviour at particular times of the day. For instance, since agricultural intensification seems to be a main cause of habitat destruction, it is likely that certain

practices should be avoided, such as for instance nocturnal harvesting of suitable habitats, when animals are more likely to be resting and thus less vigilant to potential threats. Finally, it should be stressed that incorporating fine-scaled shifts in animal behaviour across the diel cycle as part of spatial prediction of species occurrence, should greatly improve ecological insights regarding population status, thereby enhancing the practical utility to assess the responses that shape occurrence patterns (e.g. Moe *et al.*, 2007; Onorato *et al.*, 2011).

2.6 References

Ager, A. A., Johnson, B. K., Kern, J. W., Kie, J. G. (2003) Daily and seasonal movements and habitat use by female rocky mountain elk and mule deer. *Journal of Mammalogy*, 84(3): 1076-1088.

Ayanz, A. S. M. (1994) El topillo de Cabrera (*Microtus cabreræ* Thomas, 1906): una reliquia faunística de la Península Ibérica. *Quercus*, 103: 14-18.

Bartoń, K. (2016) Multi-Model Inference. Package “MuMIn”. URL <https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/index.html>.

Beja, P., Alcazar, R. (2003). Conservation of Mediterranean temporary ponds under agricultural intensification: an evaluation using amphibians. *Biological Conservation*, 114: 317–326.

Bennitt, E., Bonyongo, M. C., Harris, S. (2015) Behaviour-related scalar habitat use by Cape Buffalo (*Syncerus caffer caffer*). *Plos One*.

Bjørneraas, K., Solberg, E. J., Herfindal, I., Moorter, B. V., Rolandsen, C. M., Tremblay, J. -P., Skarpe, C., Sæther, B. -E., Eriksen, R., Astrup, R. (2011) Moose *Alces Alces* habitat use at multiple temporal scales in a human-altered landscape. *Wildlife Biology*, 17(1): 44-54.

Bray, J. H., Maxwell, S. E. (1985) *Multivariate analysis of variance*. Sage University Paper Series on Quantitative Research Methods, 54.

Caro, T. (2007) Behavior and conservation: a bridge too far? *TRENDS in Ecology and Evolution*, 22 (8): 394-400.

Cooke, S. J., Blumstein, D. T., Buchholz, R., Caro, T., Fernández-Juricic, E., Franklin, C. E., Metcalfe, J., O'Connor, C. M., Clair, C. C. S., Sutherland, W. J., Wikelski, M. (2014) *Physiology, Behavior, and Conservation*. *Physiological and Biochemical Zoology*, 87(1): 1-14.

Dzialak, M. R., Olson, C. V., Harju, S. M., Webb, S. L., Winstead, J. B. (2012) Temporal and hierarchical spatial components of animal occurrence: conserving seasonal habitat for greater sage-grouse. *Ecosphere*, 3(4).

Fernández-Salvador, R., García-Perea, R., Ventura, J. (2001) Reproduction and postnatal growth of the Cabrera vole, *Microtus cabrerae*, in captivity. *Canadian Journal of Zoology*, 79: 2080-2085.

Ferron, J., Ouellet, J. -P. (1992) Daily partitioning of summer habitat and use of space by the snowshoe hare in southern boreal forest. *Canadian Journal of Zoology*, 70: 2178-2183.

Fretwell, D. S., Lucas, H. L. (1969). On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. *Acta Biotheoretica*, 19: 16–32.

Gannon, W. L., Sikes, R. S. (2007) Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists. Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research. *Journal of Mammalogy*, 88: 809–823.

Ganskoop, D. C., Johnson, D. D. (2007) GPS error in studies addressing animal movements and activities. *Rangeland Ecology & Management*, 60(4): 350-358.

Godvik, I. M. R., Loe, L. E., Vik, J. O., Veiberg, V., Langvatn, R., Myrsetrud, A. (2009) Temporal scales, trade-offs, and functional responses in red deer habitat selection. *Ecology*, 90(3): 699-710.

Hadfield, J. D. (2010). MCMC methods for Multi-response Generalised Linear Mixed Models: The MCMCglmm R Package. *Journal of Statistical Software*, 33(2): 1–22.

Hadfield, J. (2014) MCMC Generalised Linear Mixed Models. Package “MCMCglmm”. URL <https://cran.r-project.org/web/packages/MCMCglmm/index.html>.

Haroldson, K. J., Fritzell, E. K. (1984) Home ranges, activity, and habitat use by Gray Foxes in an Oak-Hickory forest. *The Journal of Wildlife Management*, 48(1): 222-227.

Johnson, D. H. (1980) The Comparison of Usage and Availability Measurements for Evaluating Resource Preference. USGS Northern Prairie Wildlife Research Center. Paper 198.

Johnson, P. C. D. (2014) Extension of Nakagawa & Schielzeth’s R2 GLMM to random slopes models. *Methods in Ecology and Evolution*, 5: 944-946.

Luque- Larena, J. J., López, P. (2007) Microhabitat use by wild-ranging Cabrera voles *Microtus cabrerae* as revealed by live trapping. *European Journal of Wildlife Research*, 53: 221-225.

Magaña, M., Alonso, J. C., Martín, C. A., Bautista, L. M., Martín, B. (2010) Nest-site selection by Great Bustards *Otis tarda* suggests a trade-off between concealment and visibility. *Ibis*, 152: 77–89.

Makeeva, V. M, Belokon, M. M., Smurov, A. V. (2013) Genourbanology as the Basis for Stable Biodiversity and Ecosystem Conservation under Global Urbanization. *Biology Bulletin Reviews*, 3(4): 261-273.

Mathias, M. L., Klunder, M., Santos, S. M. (2003) Metabolism and thermoregulation in the Cabrera vole (Rodentia: *Microtus cabrerae*). *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 136: 441-446.

McDonald, R. I., Kareiva, P., Forman, R. T. T. (2008) The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. Elsevier, *Biological Conservation*, 141: 1695-1703.

McKinney, M. L. (2002) Urbanization, Biodiversity, and Conservation. *BioScience*, 52(10): 883-890.

Moe, T. F., Kindberg, J., Jansson, I., Swenson, J. E. (2007) Importance of diel behaviour when studying habitat selection: examples from female Scandinavian brown bears (*Ursus arctos*). *Canadian Journal of Zoology*, 85: 518-525.

Morales, J. M., Moorcroft, P. R., Matthiopoulos, J., Frair, J. L., Kie, J. G., Powell, R. A., Merrill, E. H., Haydon, D. T. (2010) Building the bridge between animal movement and population dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365: 2289-2301.

Morris, D. W., Kotler, B. P., Brown, J. S., Sundararaj, V., Ale, S. B. (2009) Behavioral indicators for conserving mammal diversity. *The year in ecology and conservation biology*. New York Academy of Sciences, 1162: 334-356.

Onorato, D. P., Criffield, M., Lotz M., Cunningham, M., McBride, R., Leone, E. H., Bass Jr, O. L., Hellgren, E. C. (2011). Habitat selection by critically endangered Florida panthers across the diel period: implications for land management and conservation. *Animal Conservation*, 14: 196-205.

Ordiz, A., Kindberg, J., Sæbø, S., Swenson, J. E., Støen, O. -Gunnar. (2014) Brown bear circadian behaviour reveals human environmental encroachment. Elsevier, *Biological Conservation*, 173: 1-9.

Pépin, D., Morellet, N., Goulard, M. (2009) Seasonal and daily walking activity patterns of free-ranging adult red deer (*Cervus elaphus*) at the individual level. Springer, *European Journal of Wildlife Research*.

Pita, R., Mira, A., Beja, P. (2006). Conserving the Cabrera vole, *Microtus cabrerae*, in intensively used Mediterranean landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115: 1–5.

Pita, R., Beja, P., Mira, A. (2007) Spatial population structure of the Cabrera vole in Mediterranean farmland: The relative role of patch and matrix effects. *Biological Conservation*, 134: 383-392.

Pita, R., Mira, A., Moreira, F., Morgado, R., Beja, P. (2009) Influence of landscape characteristics on carnivore diversity and abundance in Mediterranean farmland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132: 57-65.

Pita, R., Mira, A., e Beja, P. (2010) Spatial segregation of two vole species (*Arvicola sapidus* and *Microtus cabrerae*) within habitat patches in a highly fragmented farmland landscape. *European Journal of Wildlife Research*, 56: 651–662.

Pita, R., Mira, A., Beja, P. (2011a). Assessing habitat differentiation between coexisting species: the role of spatial scale. *Acta Oecologica*, 37:124–132.

Pita, R., Mira, A., Beja, P. (2011b). Circadian activity rhythms in relation to season, sex and interspecific interactions in two Mediterranean voles. *Animal Behaviour*, 81: 1023–1030.

Pita, R., Mira, A., Beja, P. (2014) *Microtus cabreræ* (Rodentia: Cricetidae). *Mammalian Species*, 46, 912: 48-70.

Plummer, M., Best, N., Cowles, K., Vines, K. (2006) CODA: Convergence Diagnosis and Output Analysis for MCMC. *The Newsletter of the R Project*, 6(1): 7-11.

Preisler, H. K., Ager, A., Wisdom, M. J. (2006) Statistical methods for analysing responses of wildlife to human disturbance. *Journal of Applied Ecology*, 43: 164-172.

R Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Railsback, S. F., Harvey, B. C., Hayse, J. W., LaGory, K. E. (2005) Tests of theory for diel variation in salmonid feeding activity and habitat use. *Ecology*, 86(4): 947-959.

Rivas-Martinez, S. (1981) The vegetation of bioclimatic stages of Iberian Peninsula. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 37: 251–268.

Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., Pounds, J. A. (2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421: 57-60.

Rosário, I. T., Cardoso, P. E., Mathias, M. L. (2008) Is habitat selection by the Cabrera vole (*Microtus cabreræ*) related to food preferences?. *Mammalian Biology*, 73: 423-429.

Russell, R. E., Swihart, R. K., Feng, Z. (2003) Population consequences of movement decisions in a patchy landscape. *Oikos*, 103: 142-152.

Semeniuk, C. A. D., Dill, L. M. (2005) Cost/benefit analysis of group and solitary resting in the cowtail stingray, *Pastinachus sephen*. *Behavioral Ecology*, 16: 417-426.

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. URL <http://snirh.pt> – 09/03/2016.

Spiegelhalter, D. J., Best, N. G., Carlin, B. P., Van Der Linde, A. (2002) Bayesian measures of model complexity and fit. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 64: 583–639.

Stefano, J., York, A., Swan, M., Greenfield, A., Coulson, G. (2009) Habitat selection by the swamp wallaby (*Wallabia bicolor*) in relation to diel period, food and shelter. *Austral Ecology*, 34: 143-155.

Sutherland, W. J. (1998) The importance of behavioural studies in conservation biology. *Animal Behaviour*, 56: 801-809.

Tigas, L. A., Vuren, D. H. V., Sauvajot, R. M. (2002) Behavioral responses of bobcats and coyotes to habitat fragmentation and corridors in an urban environment. *Elsevier, Biological Conservation*, 108: 299-306.

Wilson, A. D. M., Whattam, E. M., Bennet, R., Visanuvimol, L., Lauzon, C., Bertram, S. M. (2010) Behavioral correlations across activity, mating, exploration, aggression, and antipredator contexts in the European house cricket, *Acheta domesticus*. Springer, Behavioral Ecology and Sociobiology, 64: 703-715.

3.DISSCUSSÃO GERAL

3.1 Resumo dos principais resultados e conclusões

A compreensão da distribuição espacial dos animais é um dos grandes desafios da ecologia e biologia da conservação, sendo que a determinação de factores responsáveis por essa distribuição reveste-se de grande importância para prever como os animais respondem a mudanças no seu ambiente (Heithaus & Dill, 2002). Assim, os padrões de uso de habitat e de movimento são tópicos chave nos estudos ecológicos, pois afectam a distribuição dos animais e podem ter uma grande influência na sua *fitness* e sobrevivência (*e.g.* Russell *et al.*, 2003; Morales *et al.*, 2010). Regra geral, é sugerido que estes padrões resultam de um balanço entre a procura eficiente de alimento e o risco de mortalidade, factores que se espera que variem ao longo do dia, de acordo com os ritmos biológicos endógenos e agentes ambientais (Railsback *et al.*, 2005).

Face às actuais tendências populacionais regressivas do rato de Cabrera (Fernández-Salvador, 2007; Pita *et al.*, 2014), e à conseqüente necessidade de estudos detalhados sobre as respostas da espécie às variações ambientais, este estudo fornece uma importante contribuição no sentido de mostrar pela primeira vez a ligação entre o uso de habitat e os padrões de movimento dentro das áreas vitais individuais, e as suas variações a escalas finas. Em particular, este estudo sugere que as decisões conjuntas sobre que habitat ocupar e como se mover dentro desse habitat podem reflectir variações circadianas nos ciclos de alimentação e repouso ao longo das diferentes estações (*e.g.* Tigas *et al.*, 2002; Pépin *et al.*, 2009).

Na generalidade, os resultados foram consistentes com a primeira hipótese de que os ratos de Cabrera passam mais tempo a movimentar-se e percorrem maiores distâncias durante o período diurno, registando-se o mínimo de actividade durante a noite e madrugada ao longo das duas estações. Estes padrões foram particularmente evidentes durante a estação húmida, já que na estação seca houve uma tendência para o decréscimo relativo de movimentos por parte dos indivíduos por volta do meio-dia, entre as 10h15 e as 14h00, ocorrendo por outro lado picos de movimento durante

a manhã, entre as 06h15 e as 10h00, e ao entardecer, entre as 18h15 e as 22h00. Estas observações estão de acordo com aos ritmos de actividade circadiana descritos para esta espécie (Pita *et al.*, 2011). A diminuição de movimento por parte do rato de Cabrera durante as horas de maior calor na estação quente e seca, reflecte provavelmente uma resposta comportamental adaptativa da espécie face às suas necessidades fisiológicas e metabólicas, que se traduz numa diminuição do custo metabólico da termo-regulação ao minimizar a exposição a altas temperaturas ambientais (Mathias *et al.*, 2003; Pita *et al.*, 2011). Assumindo que o movimento é mais reduzido quando os animais estão em repouso e/ou em locais de nidificação protegidos, onde a vigilância será menor (Semeniuk & Dill, 2005; Ganskoop & Johnson, 2007), estes resultados foram consistentes com os obtidos relativamente à selecção de habitat ao longo dos períodos do dia. A existência de grandes diferenças no tipo de vegetação usada durante os períodos de repouso e durante os períodos mais activos do dia, corrobora assim a segunda hipótese de que o aumento do uso de áreas de herbáceas ocorre quando os animais procuram alimento, enquanto que o aumento do uso de áreas arbustivas de juncos e carriços ocorre durante o repouso, confirmando a ideia de que os padrões de movimento e o uso de habitat ao longo do dia estão de facto relacionados. Considerando que os indivíduos combinam padrões de uso do habitat e movimento de forma a maximizar a sua *fitness* (Fretwell & Lucas, 1969), é de esperar que essas mudanças temporais nos padrões comportamentais estejam relacionadas com uma maior abundância e qualidade de alimento em áreas dominadas por herbáceas. Por outro lado, uma maior utilização de áreas arbustivas estará relacionada com uma redução do risco de predação através da cobertura e protecção dos indivíduos, pela vegetação, enquanto estes repousam (Ayanz, 1994; Luque-Larena & López, 2007; Rosário *et al.*, 2008).

Tendo em conta a tendência monogâmica e os cuidados biparentais observados nesta espécie (*e.g.* Fernández-Salvador *et al.*, 2001; Pita *et al.*, 2014), foi também formulada uma terceira hipótese de que as variações circadianas no uso do habitat e nos padrões de movimento não variavam com o sexo. De facto, os resultados suportaram esta hipótese, não tendo havido registo de diferenças com significância

entre os dois sexos, tanto em relação aos padrões circadianos de selecção de habitat como em relação aos padrões de movimento.

Globalmente, os resultados deste estudo reforçam a ideia de que os animais usam o meio envolvente tendo em conta as características dos recursos disponíveis a diferentes escalas, e que as variações circadianas no ambiente podem levar a diferenças ao nível do comportamento individual relacionado com os padrões da escolha do habitat e do movimento (*e.g.* Bennitt *et al.*, 2015). No caso particular do rato de Cabrera, mostrou-se que os indivíduos desta espécie podem fazer uma distinção entre tipos particulares de habitat baseada na estrutura desses habitats e no seu valor funcional. Por sua vez, essa distinção influencia a sua adequabilidade a períodos específicos do dia.

Embora os padrões gerais de uso do espaço pelo rato de Cabrera tenham sido já descritos, este estudo permitiu a obtenção de informação adicional que salienta a importância de incluir o comportamento individual quando se pretende analisar a utilização de recursos ao nível da população, sendo que certos tipos de vegetação podem ser mais adequados para certos tipos de comportamentos do que outros (*e.g.* Bjørneraas *et al.*, 2011; Dzialak *et al.*, 2012). Os ciclos circadianos no uso do habitat e no movimento aqui evidenciados deverão ser particularmente relevantes face à necessidade de amostrar e monitorizar populações de ratos de Cabrera, nomeadamente no que se refere à escolha da escala temporal e alocação de recursos para a amostragem, as quais poderão afectar significativamente os padrões de uso do habitat e de movimento dos indivíduos. Por exemplo, estudos baseados em telemetria que se foquem nos comportamentos de alimentação, poderão ser melhor ajustados de acordo com padrões comportamentais dos animais, nomeadamente intensificando a amostragem especificamente nos períodos do dia, e diminuindo o esforço de amostragem durante os períodos da noite (*e.g.* Moe *et al.*, 2007). Além disso, estes resultados podem ser usados como informação base na avaliação do estado de uma população sujeita a perturbações, ou no estudo dos processos relacionados com decisões individuais de dispersão (*e.g.* Haroldson & Fritzell, 1984; Stefano *et al.*, 2009).

Em termos de conservação e gestão local de habitats, o uso de modelos preditivos sobre o comportamento animal tem vindo a tornar-se uma ferramenta cada vez mais importante (Austin, 2002). Neste contexto, este estudo pode contribuir para uma maior eficiência de acções relacionadas com a conservação do rato de Cabrera, tendo especialmente em conta a necessidade de manter ou criar mosaicos de habitat dominados por áreas de herbáceas e de áreas arbustivas, que contribuam para reduzir o tempo e as distâncias de deslocação entre a busca de alimento e locais de refúgio (*e.g.* Ferron & Ouellet, 1992). Por outro lado, será também importante ter em conta as mudanças comportamentais que ocorrem ao longo do ciclo circadiano quando se pretende estabelecer medidas de gestão local. Uma vez que a intensificação agrícola é apontada como uma das principais causas da perda de habitat do rato de Cabrera, será recomendável, por exemplo, que certas práticas agrícolas sejam evitadas ou geridas tendo em conta os ciclos circadianos desta espécie, principalmente as relacionadas com ceifas de habitats favoráveis.

Em suma, ao descrever as variações circadianas nos padrões movimento e uso do habitat pelo rato de Cabrera durante a estação húmida e a estação quente, este estudo reforça a ideia de que a incorporação das mudanças no comportamento animal ao longo das 24 horas do dia deverá ser importante para prever as respostas das espécies a alterações ambientais a escalas finas. A incorporação destas variações comportamentais nos estudos ecológicos poderá melhorar significativamente a identificação dos factores que moldam os padrões de ocorrência das espécies, bem como a avaliação do estado das populações, e a implementação de medidas de gestão com vista à sua conservação (*e.g.* Moe *et al.*, 2007; Onorato *et al.*, 2011).

3.2 Referências

- Austin, M. P. (2002) Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157: 101-118.
- Ayanz, A. S. M. (1994) El topillo de Cabrera (*Microtus cabreræ* Thomas, 1906): una reliquia faunística de la Península Ibérica. *Quercus*, 103: 14-18.
- Bennitt, E., Bonyongo, M. C., Harris, S. (2015) Behaviour-related scalar habitat use by Cape Buffalo (*Syncerus caffer caffer*). *Plos One*.

Bjørneraas, K., Solberg, E. J., Herfindal, I., Moorter, B. V., Rolandsen, C. M., Tremblay, J. -P., Skarpe, C., Sæther, B. -E., Eriksen, R., Astrup, R. (2011) Moose *Alces Alces* habitat use at multiple temporal scales in a human-altered landscape. *Wildlife Biology*, 17(1): 44-54.

Dzialak, M. R., Olson, C. V., Harju, S. M., Webb, S. L., Winstead, J. B. (2012) Temporal and hierarchical spatial components of animal occurrence: conserving seasonal habitat for greater sage-grouse. *Ecosphere*, 3(4).

Fernández-Salvador, R., García-Perea, R., Ventura, J. (2001) Reproduction and postnatal growth of the Cabrera vole, *Microtus cabreræ*, in captivity. *Canadian Journal of Zoology*, 79: 2080-2085.

Fernández-Salvador, R. (2007) *Microtus cabreræ* (Thomas, 1906). Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España. Palomo, L. J., Gisbert, J., Blanco, J. C. (editores). Dirección General para la Biodiversidad, Madrid.

Ferron, J., Ouellet, J. -P. (1992) Daily partitioning of summer habitat and use of space by the snowshoe hare in southern boreal forest. *Canadian Journal of Zoology*, 70: 2178-2183.

Fretwell, D. S., Lucas, H. L. (1969). On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. *Acta Biotheoretica*, 19: 16–32.

Ganskoop, D. C., Johnson, D. D. (2007) GPS error in studies addressing animal movements and activities. *Rangeland Ecology & Management*, 60(4): 350-358.

Haroldson, K. J., Fritzell, E. K. (1984) Home ranges, activity, and habitat use by Gray Foxes in an Oak-Hickory forest. *The Journal of Wildlife Management*, 48(1): 222-227.

Heithaus, M. R., Dill, L. M. (2002) Food availability and tiger shark predation risk influence bottlenose dolphin habitat use. *Ecology*, 83(2): 480-491.

Luque- Larena, J. J., López, P. (2007) Microhabitat use by wild-ranging Cabrera voles *Microtus cabreræ* as revealed by live trapping. *European Journal of Wildlife Research*, 53: 221-225.

Mathias, M. L., Klunder, M., Santos, S. M. (2003) Metabolism and thermoregulation in the Cabrera vole (Rodentia: *Microtus cabreræ*). *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 136: 441-446.

Moe, T. F., Kindberg, J., Jansson, I., Swenson, J. E. (2007) Importance of diel behaviour when studying habitat selection: examples from female Scandinavian brown bears (*Ursus arctos*). *Canadian Journal of Zoology*, 85: 518-525.

Morales, J. M., Moorcroft, P. R., Matthiopoulos, J., Frair, J. L., Kie, J. G., Powell, R. A., Merrill, E. H., Haydon, D. T. (2010) Building the bridge between animal movement and population dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365: 2289-2301.

Onorato, D. P., Criffield, M., Lotz M., Cunningham, M., McBride, R., Leone, E. H., Bass Jr, O. L., Hellgren, E. C. (2011). Habitat selection by critically endangered Florida

panthers across the diel period: implications for land management and conservation. *Animal Conservation*, 14: 196-205.

Pépin, D., Morellet, N., Goulard, M. (2009) Seasonal and daily walking activity patterns of free-ranging adult red deer (*Cervus elaphus*) at the individual level. Springer, *European Journal of Wildlife Research*.

Pita, R., Mira, A., Beja, P. (2011). Circadian activity rhythms in relation to season, sex and interspecific interactions in two Mediterranean voles. *Animal Behaviour*, 81: 1023–1030.

Pita, R., Mira, A., Beja, P. (2014) *Microtus cabreræ* (Rodentia: Cricetidae). *Mammalian Species*, 46, 912: 48-70.

Railsback, S. F., Harvey, B. C., Hayse, J. W., LaGory, K. E. (2005) Tests of theory for diel variation in salmonid feeding activity and habitat use. *Ecology*, 86(4): 947-959.

Rosário, I. T., Cardoso, P. E., Mathias, M. L. (2008) Is habitat selection by the Cabrera vole (*Microtus cabreræ*) related to food preferences?. *Mammalian Biology*, 73: 423-429.

Russell, R. E., Swihart, R. K., Feng, Z. (2003) Population consequences of movement decisions in a patchy landscape. *Oikos*, 103: 142-152.

Semeniuk, C. A. D., Dill, L. M. (2005) Cost/benefit analysis of group and solitary resting in the cowtail stingray, *Pastinachus sephen*. *Behavioral Ecology*, 16: 417-426.

Stefano, J., York, A., Swan, M., Greenfield, A., Coulson, G. (2009) Habitat selection by the swamp wallaby (*Wallabia bicolor*) in relation to diel period, food and shelter. *Austral Ecology*, 34: 143-155.

Tigas, L. A., Vuren, D. H. V., Sauvajot, R. M. (2002) Behavioral responses of bobcats and coyotes to habitat fragmentation and corridors in an urban environment. Elsevier, *Biological Conservation*, 108: 299-306.

ANEXOS

Anexo 1

Comandos usados no *software* R (R Core Team, 2015), relativos ao modelo da estação húmida, sem o efeito do período do dia (1) e com o efeito do período do dia (2) nas três variáveis dependentes, e *outputs* da localização dos efeitos (3).

```
(1) H1_wet_null<-MCMCglmm(cbind(scale(asin(sqrt(P_movement))),
  scale(log(overall_movement+1)), scale(grass_Selectivity.index))~trait-1,
  random=~trait:colony+trait:animal+trait:year, rcov=~us(trait):units,
  data=H1_wet,burnin=2000,nitt=20000, verb=F,
  family=c("gaussian","gaussian","gaussian"))
```

```
(2) H1_wet_period<-MCMCglmm(cbind(scale(asin(sqrt(P_movement))),
  scale(log(overall_movement+1)), scale(grass_Selectivity.index))~trait-
  1+trait:period, random=~trait:colony+trait:animal+trait:year,
  rcov=~us(trait):units, data=H1_wet,burnin=2000,nitt=20000, verb=F,
  family=c("gaussian","gaussian","gaussian"))
```

```
(3) > summary(H1_wet_period)

Iterations = 2001:19991
Thinning interval = 10
Sample size = 1800

DIC: 634.2551

G-structure: ~trait:colony

              post.mean 1-95% CI  u-95% CI  eff.samp
trait:colony  0.0003834 4.65e-37 8.725e-05    67.72

              ~trait:animal

              post.mean  1-95% CI  u-95% CI  eff.samp
trait:animal  0.004187 2.039e-23  0.02764    30.89

              ~trait:year

              post.mean  1-95% CI  u-95% CI  eff.samp
trait:year  0.0001229 3.629e-55 1.883e-10    749.2

R-structure: ~us(trait):units
```

Location effects:

	post.mean	l-95% CI	u-95% CI
traitP_movement	-0.8994	-1.4244	-0.2960
traitoverall_movement	-0.9231	-1.5506	-0.3175
traitgrass_Selectivity.index	-1.0733	-1.6570	-0.5490
traitP_movement:periodP2_06_10	0.9117	0.2507	1.6365
traitoverall_movement:periodP2_06_10	0.9059	0.1263	1.6736
traitgrass_Selectivity.index:periodP2_06_10	1.5678	0.8799	2.2653
traitP_movement:periodP3_10_14	1.4578	0.7761	2.1298
traitoverall_movement:periodP3_10_14	1.1166	0.3746	1.9432
traitgrass_Selectivity.index:periodP3_10_14	1.4021	0.7312	2.1192
traitP_movement:periodP4_14_18	1.3789	0.6864	2.0726
traitoverall_movement:periodP4_14_18	1.3088	0.5001	2.0103
traitgrass_Selectivity.index:periodP4_14_18	1.5314	0.8444	2.2065
traitP_movement:periodP5_18_22	1.1047	0.3416	1.7377
traitoverall_movement:periodP5_18_22	1.2757	0.5715	2.0957
traitgrass_Selectivity.index:periodP5_18_22	1.2899	0.6250	1.9491
traitP_movement:periodP6_22_02	0.0558	-0.6592	0.8062
traitoverall_movement:periodP6_22_02	0.4234	-0.3496	1.1987
traitgrass_Selectivity.index:periodP6_22_02	0.1440	-0.6353	0.7894

	eff. samp	pMCMC	
traitP_movement	1800	0.00222	**
traitoverall_movement	1800	0.00333	**
traitgrass_Selectivity.index	1800	< 6e-04	***
traitP_movement:periodP2_06_10	1546	0.01222	*
traitoverall_movement:periodP2_06_10	1582	0.02556	*
traitgrass_Selectivity.index:periodP2_06_10	1800	< 6e-04	***
traitP_movement:periodP3_10_14	1800	< 6e-04	***
traitoverall_movement:periodP3_10_14	1671	0.00222	**
traitgrass_Selectivity.index:periodP3_10_14	1800	< 6e-04	***
traitP_movement:periodP4_14_18	1800	< 6e-04	***
traitoverall_movement:periodP4_14_18	1676	0.00111	**
traitgrass_Selectivity.index:periodP4_14_18	1374	0.00111	**
traitP_movement:periodP5_18_22	1800	< 6e-04	***
traitoverall_movement:periodP5_18_22	1800	< 6e-04	***
traitgrass_Selectivity.index:periodP5_18_22	1800	< 6e-04	***
traitP_movement:periodP6_22_02	1579	0.88222	
traitoverall_movement:periodP6_22_02	1800	0.26444	
traitgrass_Selectivity.index:periodP6_22_02	1800	0.70333	

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Anexo 2

Comandos usados no *software* R (R Core Team, 2015), relativos ao modelo da estação seca, sem o efeito do período do dia (1) e com o efeito do período do dia (2) nas três variáveis dependentes, e *outputs* da localização dos efeitos (3).

```
(1) H1_dry_null<-MCMCglmm(cbind(scale(asin(sqrt(P_movement))),
  scale(log(overall_movement+1)), scale(grass_Selectivity.index))~trait-1,
  random=~trait:colony+trait:animal+trait:year, rcov=~us(trait):units,
  data=H1_dry,burnin=2000,nitt=20000, verb=F,
  family=c("gaussian","gaussian","gaussian"))
```

```
(2) H1_dry_period<-MCMCglmm(cbind(scale(asin(sqrt(P_movement))),
  scale(log(overall_movement+1)), scale(grass_Selectivity.index))~trait-
  1+trait:period, random=~trait:colony+trait:animal+trait:year,
  rcov=~us(trait):units, data=H1_dry,burnin=2000,nitt=20000, verb=F,
  family=c("gaussian","gaussian","gaussian"))
```

```
(3) > summary(H1_dry_period)

Iterations = 2001:19991
Thinning interval = 10
Sample size = 1800

DIC: 608.7173

G-structure: ~trait:colony

              post.mean  1-95% CI u-95% CI eff.samp
trait:colony    0.0176 1.295e-35   0.111    28.76

              ~trait:animal

              post.mean  1-95% CI u-95% CI eff.samp
trait:animal    0.0129 4.895e-27   0.06181    39.1

              ~trait:year

              post.mean  1-95% CI u-95% CI eff.samp
trait:year     0.03173 5.297e-40   0.1133     495

R-structure: ~us(trait):units
```

Location effects:

	post.mean	1-95% CI	u-95% CI
traitP_movement	-0.81530	-1.25157	-0.35452
traitoverall_movement	-0.63034	-1.06874	-0.22864
traitgrass_Selectivity.index	-0.74838	-1.22186	-0.22102
traitP_movement:periodP2_06_10	1.49330	1.03616	1.98657
traitoverall_movement:periodP2_06_10	1.30185	0.77779	1.79743
traitgrass_Selectivity.index:periodP2_06_10	1.34250	0.70881	1.89617
traitP_movement:periodP3_10_14	0.85982	0.36003	1.34431
traitoverall_movement:periodP3_10_14	0.70787	0.27440	1.22474
traitgrass_Selectivity.index:periodP3_10_14	1.00402	0.41734	1.62875
traitP_movement:periodP4_14_18	1.27867	0.73806	1.73610
traitoverall_movement:periodP4_14_18	1.07807	0.59105	1.54637
traitgrass_Selectivity.index:periodP4_14_18	1.10817	0.53086	1.72016
traitP_movement:periodP5_18_22	1.46134	0.97811	1.95659
traitoverall_movement:periodP5_18_22	1.24066	0.74846	1.76659
traitgrass_Selectivity.index:periodP5_18_22	1.05725	0.46785	1.65723
traitP_movement:periodP6_22_02	-0.23758	-0.70871	0.21035
traitoverall_movement:periodP6_22_02	-0.52430	-1.00101	-0.05265
traitgrass_Selectivity.index:periodP6_22_02	0.03568	-0.54131	0.63429

	eff. samp	pMCMC
traitP_movement	1154	0.00444 **
traitoverall_movement	1681	0.01333 *
traitgrass_Selectivity.index	1800	0.00667 **
traitP_movement:periodP2_06_10	2081	< 6e-04 ***
traitoverall_movement:periodP2_06_10	2047	< 6e-04 ***
traitgrass_Selectivity.index:periodP2_06_10	1877	< 6e-04 ***
traitP_movement:periodP3_10_14	2065	< 6e-04 ***
traitoverall_movement:periodP3_10_14	2045	0.00222 **
traitgrass_Selectivity.index:periodP3_10_14	1800	0.00333 **
traitP_movement:periodP4_14_18	1800	< 6e-04 ***
traitoverall_movement:periodP4_14_18	1800	< 6e-04 ***
traitgrass_Selectivity.index:periodP4_14_18	1934	< 6e-04 ***
traitP_movement:periodP5_18_22	1800	< 6e-04 ***
traitoverall_movement:periodP5_18_22	1951	< 6e-04 ***
traitgrass_Selectivity.index:periodP5_18_22	2128	0.00111 **
traitP_movement:periodP6_22_02	2173	0.32889
traitoverall_movement:periodP6_22_02	2101	0.03333 *
traitgrass_Selectivity.index:periodP6_22_02	1800	0.90333

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Anexo 3

Comandos usados no *software* R (R Core Team, 2015), relativos aos modelos que incluem o efeito fixo da interacção entre o período do dia e o sexo, para a estação húmida (1) e para a estação seca (2) e comandos relativos aos modelos que incluem o período do dia e o sexo como efeitos aditivos, para a estação húmida (3) e para a estação seca (4).

- (1)

```
H3_wet_period_sex<-MCMCglmm(cbind(scale(asin(sqrt(P_movement))),
scale(log(overall_movement+1)), scale(grass_Selectivity.index))~trait-
1+trait:period*trait:sex, random=~trait:colony+trait:animal+trait:year,
rcov=~us(trait):units, data=H1_wet,burnin=2000,nitt=20000, verb=F,
family=c("gaussian","gaussian","gaussian"))
```
- (2)

```
H3_dry_period_sex<-MCMCglmm(cbind(scale(asin(sqrt(P_movement))),
scale(log(overall_movement+1)), scale(grass_Selectivity.index))~trait-
1+trait:period*trait:sex, random=~trait:colony+trait:animal+trait:year,
rcov=~us(trait):units, data=H1_dry,burnin=2000,nitt=20000, verb=F,
family=c("gaussian","gaussian","gaussian"))
```
- (3)

```
H3_wet_period_sex_add<-MCMCglmm(cbind(scale(asin(sqrt(P_movement))),
scale(log(overall_movement+1)), scale(grass_Selectivity.index))~trait-
1+trait:period+trait:sex, random=~trait:colony+trait:animal+trait:year,
rcov=~us(trait):units, data=H1_wet,burnin=2000,nitt=20000, verb=F,
family=c("gaussian","gaussian","gaussian"))
```
- (4)

```
H3_dry_period_sex_add<-MCMCglmm(cbind(scale(asin(sqrt(P_movement))),
scale(log(overall_movement+1)), scale(grass_Selectivity.index))~trait-
1+trait:period+trait:sex, random=~trait:colony+trait:animal+trait:year,
rcov=~us(trait):units, data=H1_dry,burnin=2000,nitt=20000, verb=F,
family=c("gaussian","gaussian","gaussian"))
```


Anexo 4

Coefficientes e intervalos de confiança, relativos às variáveis dependentes, de acordo com os modelos que incluem o período do dia como efeito fixo para cada estação. O período do dia P1 (06h15-10h00) foi usado como *baseline*.

Códigos de significância: 0 “****”, 0.001 “***”, 0.01 “**”, 0.05 “.”, 0.1 “ “

Season	Dependent Variable	Period of the day	Coefficient (post mean)	95%CI	Effective sample size	pMCMC
Wet	Proportion of time spent moving	P2	0.92	0.18 – 1.64	1416	0.01667 *
		P3	1.46	0.80 – 2.18	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P4	1.38	0.69 – 2.07	1412	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.12	0.42 – 1.81	1800	0.00111 **
		P6	0.07	-0.67 – 0.76	1800	0.84000
	Overall movement length	P2	0.92	0.13 – 1.71	1800	0.03000 *
		P3	1.13	0.42 – 1.90	1800	0.00556 **
		P4	1.32	0.57 – 2.06	1800	0.00222 **
		P5	1.29	0.49 – 2.03	1800	0.00444 **
		P6	0.45	-0.32 – 1.23	1800	0.26667
	Grass selectivity lvlev index	P2	1.57	0.90 – 2.27	1346	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P3	1.40	0.74 – 2.04	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P4	1.54	0.90 – 2.22	1639	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.29	0.59 – 1.94	1975	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P6	0.14	-0.54 – 0.83	1800	0.67778
Dry	Proportion of time spent moving	P2	1.49	0.96 – 1.95	1983	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P3	0.86	0.38 – 1.33	1969	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P4	1.28	0.76 – 1.75	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.46	0.94 – 1.93	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P6	-0.23	-0.72 – 0.30	1800	0.35556
	Overall movement length	P2	1.31	0.85 – 1.85	1995	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P3	0.86	0.38 – 1.33	1383	0.00667 **
		P4	1.08	0.58 – 1.61	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.24	0.69 – 1.71	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P6	-0.51	-1.05 – -0.03	1800	0.05444 .
	Grass selectivity lvlev index	P2	1.34	0.69 – 1.93	1627	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P3	1.00	0.37 – 1.57	1800	0.00111 **
		P4	1.11	0.50 – 1.72	1509	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.04	0.48 – 1.68	1579	0.00111 **
		P6	0.04	-0.56 – 0.61	1800	0.87556

Anexo 5

Coefficientes e intervalos de confiança relativos às variáveis dependentes, de acordo com os modelos que incluem o efeito fixo da interação entre período do dia e o sexo para cada estação. O período do dia P1 (06h15-10h00) e o sexo “fêmea” foram usados como *baseline*.

Códigos de significância: 0 “****”, 0.001 “***”, 0.01 “**”, 0.05 “.”, 0.1 “ “

Season	Dependent Variable	Period of the day	Coefficient (post mean)	95%CI	Effective sample size	pMCMC
Wet	Proportion of time spent moving	P2:male	0.34	-1.46 – 1.93	2235	0.68333
		P3:male	-0.69	-2.43 – 0.93	1929	0.39444
		P4:male	0.28	-1.37 – 1.78	1933	0.72889
		P5:male	0.25	-1.22 – 1.98	1800	0.74667
		P6:male	1.09	-0.41 – 2.90	1952	0.19556
	Overall movement length	P2:male	0.02	-1.72 – 2.07	2039	0.96667
		P3:male	-0.79	-2.78 – 0.89	2251	0.41
		P4:male	-0.08	-1.75 – 1.64	1800	0.93
		P5:male	0.09	-1.68 – 1.86	2396	0.91333
		P6:male	0.50	-1.37 – 2.27	1800	0.58111
	Grass selectivity lvlev index	P2:male	-0.57	-2.25 – 1.03	1800	0.51111
		P3:male	-0.20	-1.83 – 1.48	1800	0.81556
		P4:male	-0.25	-1.82 – 1.25	1800	0.75222
		P5:male	-0.40	-1.94 – 1.23	1800	0.61778
		P6:male	-0.26	-1.96 – 1.33	2080	0.75222
Dry	Proportion of time spent moving	P2:male	0.69	-0.24 – 1.72	1800	0.18222
		P3:male	0.06	-0.87 – 1.10	1800	0.92778
		P4:male	-0.59	-1.64 – 0.41	1800	0.23
		P5:male	0.31	-0.65 – 1.31	1800	0.53111
		P6:male	0.63	-0.32 – 1.6	1724.1	0.20667
	Overall movement length	P2:male	0.45	-0.58 – 1.47	1800	0.39111
		P3:male	-0.08	-1.09 – 0.83	1800	0.87111
		P4:male	-0.49	-1.52 – 0.53	1800	0.33667
		P5:male	0.20	-0.9 – 1.13	1800	0.70667
		P6:male	0.56	-0.35 – 1.58	1800	0.25222
	Grass selectivity lvlev index	P2:male	0.18	-1.03 – 1.41	1800	0.77222
		P3:male	-0.91	-2.21 – 0.20	1800	0.12444
		P4:male	-1.15	-2.4 – -0.02	1800	0.06111 .
		P5:male	0.11	-1.09 – 1.29	1800	0.85556
		P6:male	0.16	-0.91 – 1.37	1599.1	0.79889

Anexo 6

Coefficientes e intervalos de confiança relativos às variáveis dependentes, de acordo com os modelos que incluem o período do dia e o sexo como efeito fixos aditivos para cada estação. O período do dia P1 (06h15-10h00) e o sexo “fêmea” foram usados como *baseline*.

Códigos de significância: 0 “****”, 0.001 “***”, 0.01 “**”, 0.05 “.”, 0.1 “ “

Season	Dependent Variable	Fixed factors	Coefficient (post mean)	95%CI	Effective sample size	pMCMC
Wet	Proportion of time spent moving	Sex: male	0.27	-0.15 – 0.66	1800	0.17889
		P2	0.88	0.15 – 1.59	2070	0.02222 *
		P3	1.44	0.75 – 2.11	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P4	1.33	0.66 – 2.07	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.08	0.40 – 1.77	1800	0.00111 **
		P6	0.04	-0.64 – 0.75	1800	0.92444
	Overall movement length	Sex: male	0.21	-0.21 – 0.65	1800	0.31889
		P2	0.89	0.12 – 1.66	2097	0.02778 *
		P3	1.10	0.36 – 1.85	1800	0.00667 **
		P4	1.27	0.58 – 2.10	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.25	0.45 – 1.95	1800	0.00111 **
		P6	0.42	-0.29 – 1.21	2011	0.29000
	Grass selectivity Ivlev index	Sex: male	0.18	-0.19 – 0.57	1800	0.38667
		P2	1.53	0.89 – 2.27	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P3	1.37	0.65 – 1.98	1731	0.00111 **
		P4	1.48	0.79 – 2.16	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.26	0.58 – 1.91	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P6	0.12	-0.51 – 0.84	1800	0.76333
Dry	Proportion of time spent moving	Sex: male	-0.13	-0.49 – 0.30	171.6	0.51000
		P2	1.49	0.98 – 1.96	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P3	0.85	0.35 – 1.36	1750	0.00111 **
		P4	1.28	0.77 – 1.73	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.46	1.00 – 1.98	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P6	-0.23	-0.71 – 0.27	1800	0.39333
	Overall movement length	Sex: male	0.06	-0.34 – 0.43	351.4	0.80000
		P2	1.30	0.80 – 1.79	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P3	0.70	0.18 – 1.17	1800	0.00667 **
		P4	1.06	0.60 – 1.55	1644.7	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.23	0.71 – 1.70	1800	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P6	-0.52	-1.01 – -0.03	1800	0.04111 *
	Grass selectivity Ivlev index	Sex: male	-0.12	-0.53 – 0.30	1340.9	0.57000
		P2	1.35	0.75 – 1.93	1676.9	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P3	1.00	0.42 – 1.59	1800	0.00111
		P4	1.11	0.54 – 1.74	1935.6	< 6e ⁻⁰⁴ ***
		P5	1.05	0.46 – 1.64	1597.8	0.00222 **
		P6	0.04	-0.55 – 0.65	1985.5	0.87778