

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA ANIMAL



Taxonomia, Ecologia e Conservação da Coruja de São Tomé (*Tyto alba thomensis*)

Jorge Miguel Gualter da Costa Alves

Mestrado em Biologia de Conservação

Dissertação orientada por:
Doutor Ricardo Faustino Lima
Doutor Martim Melo

2019

Agradecimentos

Quero começar por mostrar a minha imensa gratidão aos meus orientadores, pelo apoio prestado ao longo deste ano. Obrigado por estarem sempre presentes e por me obrigarem sempre a encontrar uma versão melhor de mim mesmo. Muito obrigado Ricardo, pela disponibilidade que apresentaste para dar sugestões e ideias, visando a obtenção do melhor trabalho possível! O meu obrigado também ao Doutor Martim Melo, por me ter ajudado a prestar atenção ao mais ínfimo detalhe e por me ter ajudado a adquirir conhecimento sobre áreas que eu não dominava.

Não me posso esquecer também da ajuda prestada pelo Professor Jorge Palmeirim e ao grupo de *ce3c Bats and Birds in Natural and Semi-Natural Ecosystems* da minha faculdade. Os nossos debates, as vossas críticas e sugestões, ajudaram-me a olhar para o meu trabalho com outro ponto de vista e ofereceram-me ferramentas indispensáveis para tornar esta investigação na mais completa possível.

Este trabalho não seria possível sem a ajuda da Filipa Soares e por isso tenho que dedicar aqui um agradecimento especial. Filipa, muito obrigado pela tua incessante ajuda, sei que fui muito chato com dúvidas sobre tudo e mais alguma coisa, mas tu mostraste-te sempre disponível e isso para mim não tem preço! És uma grande investigadora e sem dúvida um exemplo a seguir.

Este trabalho também seria impossível de realizar sem os dados recolhidos de morfometria e coloração de investigações do Professor Alexandre Roulin e da investigadora Vera Uva. Vera, a ti também te devo um grande obrigado! Pela tua simpatia, disponibilidade e por me teres acolhido tão bem em tua casa. Sem a tua ajuda, esta nossa investigação não teria metade do valor que tem. E fico entusiasmado com a ideia de trabalhar contigo no futuro!

Quero ainda agradecer a todos os envolvidos no meu trabalho de campo, Octávio Veiga e toda a sua família, Leonel Viegas, Nity e a todos os locais que me disponibilizaram um teto para dormir e comida boa para me aconchegar depois de um dia repleto de trabalho. Um obrigado especial à minha família “adotiva” Lucy, Juary, Edy, Neia, Lenny e Renata (Nata para os amigos). Vocês fizeram-me sentir em casa, foram das pessoas mais acolhedoras que conheci na minha vida e nunca vos vou esquecer!

Um agradecimento à parte tinha que ser feito ao Vasco Pissara e à Martina Panisi. Vocês foram diretamente responsáveis por tornarem a minha primeira experiência em São Tomé inesquecível! Foi uma honra ter visto o vosso trabalho de perto, para mim são sem dúvida modelos a seguir. Entrei na nossa casa sem saber o que esperar e saí com muitas histórias para contar e uma sensação de crescimento pessoal e profissional. Muito obrigado por tudo!

Um grande obrigado a todos os meus amigos e à minha turma de mestrado em Biologia de Conservação 2018/2019. Estiveram sempre para mim quando precisava e deram-me sempre um apoio fundamental em alturas de incerteza. Felizmente sei que graças a todos vocês, nunca estarei sozinho.

Nesta minha jornada universitária, há uma pessoa que sempre esteve comigo. Cláudia Robert, obrigado por seres a minha fiel amiga e confidente nesta minha caminhada pelo mundo da Biologia. Sem ti, eu não estaria neste curso e não teria tido as experiências que vivi neste último ano, que foi tão importante para mim! A tua amizade é das mais importantes para mim e irei tentar sempre responder à altura.

Finalmente, um agradecimento muito especial aos meus pais, que sempre apoiaram as minhas decisões e nunca deixaram que limitasse os meus horizontes. Vocês são e sempre serão as primeiras pessoas a dar-me força para cumprir os meus objetivos.

Resumo

A coruja-das-torres *Tyto alba* (Scopoli, 1769) é uma espécie de ave de rapina noturna, que apresenta uma elevada diversidade, com mais de 30 subespécies atualmente reconhecidas. No entanto, existem populações insulares relativamente desconhecidas, e a população de São Tomé é das menos estudadas. Tendo em conta indícios recentes de uma diferenciação considerável desta população, urge conhecê-la melhor.

Esta investigação tem como objetivo principal aumentar o conhecimento sobre a população da coruja-das-torres de São Tomé *Tyto alba thomensis* (Hartlaub, 1852). Para alcançar este objetivo, este estudo focou-se em esclarecer a taxonomia, estudar a ecologia e propor medidas de conservação.

Para se esclarecer a situação taxonómica desta população, recorreram-se a análises genéticas, de morfometria, coloração e vocalizações. A diferenciação genética entre a população de São Tomé e as restantes populações afro-europeias de coruja-das-torres é mais elevada (1,35% de distância-p) do que a diferenciação entre as restantes populações afro-europeias. Os nossos resultados sugerem que a população de São Tomé tem vindo a divergir há cerca de 1,8 milhões de anos. Este isolamento traduziu-se na evolução de diferenças na morfometria, cor e vocalizações. Apesar do nível de diferenciação genética ser inferior a 2%, muitas vezes considerado o limite mínimo para reconhecer uma potencial nova espécie, este nível de diferenciação complementado por evidências de coloração, comportamento, vocalizações e morfometria, também já foi suficiente para reconhecer novas espécies nesta família. Como tal, consideramos que a população de corujas de São Tomé é uma boa candidata ser reconhecida como uma espécie distinta.

De maneira a aumentar o grau de conhecimento da ecologia desta população, foram realizados transetos nas áreas mais prováveis de ocorrência da espécie, determinadas pela modelação preliminar da sua distribuição com base em registos pré-existentes de presença. Os transetos foram complementados com pontos de escuta com recurso a *playback*, visando maximizar a confirmação da presença de corujas. Mais de 60% das presenças foram registadas no sul da ilha e o uso do solo foi a variável mais importante para explicar a presença de corujas.

Em cada transeto foram quantificadas as ameaças enfrentadas pelas corujas, com auxílio das categorias da UICN. Foram também avaliados o conhecimento e percepção dos habitantes locais sobre a coruja, através da realização de inquéritos. Foram identificadas como áreas de maior pressão sobre as corujas, Alto Douro, Monte Café e Diogo Vaz, todas situadas no norte da ilha. Foi igualmente confirmado que os são-tomenses associam esta população de corujas à prática de feitiçaria.

A diferenciação da coruja-das-torres de São Tomé salienta o seu interesse de conservação. Obtivemos evidências que apontam para um declínio desta população que, de acordo com os critérios da UICN, parece estar “Em Perigo”. Como tal, devem ser implementadas estratégias de conservação, dando prioridade à redução da perseguição direta, e à criação de um plano de monitorização para avaliar as tendências populacionais.

Palavras-chave Endemismo; Especiação; Monitorização; Strigiformes; Golfo da Guiné

Abstract

The barn owl is a nocturnal species of birds of prey, which has a high diversity (over 30 subspecies). However, there are relatively unknown island populations, and the population of São Tomé is one of the least studied. Given recent evidence of a considerable differentiation between the São Tomé owl population and the other barn owl populations, it is of great relevance to the scientific community to study the population referenced here.

The main goal of this study was to increase the degree of knowledge of the little-known Barn owl population from the island of São Tomé (*Tyto alba thomensis*). To reach that goal, this study was divided into three components covering distinct objectives: clarifying the taxonomic classification of this population; increasing the knowledge of its ecology; and based on the data from the previous chapters, proposing the most adequate conservation actions to preserve this population.

In order to clarify the taxonomic situation of this insular population, we used genetic analyses together with analysis of morphometry, coloration, and vocalizations. The genetic data showed a degree of differentiation between the São Tomé Barn Owl population and the other populations of the Afro-European lineage of *Tyto alba* (1,35% p-distance), larger than within the remaining populations of the same lineage, indicative of evolution in isolation for about 1,8 million years. Such isolation allowed the evolution of morphological, colour, and vocalization differences. Although the level of genetic differentiation is less than 2% (which tends to be the lower limit for evaluating a potential new species), this level of differentiation coupled with evidence of coloration, behavior, vocalizations and morphometry was sufficient to accept new cases of species in this family, making the Sao Tome owl population a good candidate to be considered a species as well.

In order to increase the degree of knowledge of the ecology of this species, transects were performed in the most probable areas of occurrence, determined by mapping previous presence records. Transects were complemented with listening points and *playback*, aiming at confirming the presence of owls in the areas in question. More than 60% of the presence was recorded in the south of the island and land use was the most important variable to explain the presence of owls.

The threats faced by the owls in each transect were quantified with the help of IUCN categories for this specific case (table attached) and the perceptions of the locals about the owl were assessed through surveys. Areas of greater pressure for owls were determined (Alto Douro, Monte Café and Diogo Vaz) and it was confirmed that the people of São Tomé associate the owl with witchcraft practices.

With the data from this work supporting the significance of the differentiation of the São Tomé barn owl population, its conservation interest is high. We have obtained evidence that points to a decline of this species and according to the IUCN criteria it seems appropriate to assign the status of “Endangered” to this population. Conservation strategies should be implemented, prioritizing the reduction of direct persecution and the creation of a monitoring plan to assess population trends.

Keywords: Endemic; Gulf of Guinea; Monitoring; Speciation; Strigiformes

Índice

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Metodologia | |
| 2.1.Área de estudo | 3 |
| 2.2.Taxonomia | 3 |
| 2.3.Ecologia | 5 |
| 3. Resultados | |
| 3.1.Taxonomia | |
| 3.1.1.Genética | 10 |
| 3.1.2.Morfometria | 12 |
| 3.1.3.Coloração | 14 |
| 3.1.4.Vocalizações | 17 |
| 3.2.Ecologia | |
| 3.2.1.Distribuição e preferência de habitat | 19 |
| 3.2.2.Ameaças | 21 |
| 3.2.3.Percepção dos habitantes locais | 23 |
| 4. Discussão | |
| 4.1.Diferenciação da população de corujas de São Tomé | 25 |
| 4.2.Ecologia da coruja-das-torres de São Tomé | 26 |
| 4.3.Conservação | 28 |
| 5. Considerações finais | 29 |
| 6. Referências bibliográficas | 30 |
| 7. Anexos | 37 |

Lista de figuras

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.1. Árvore BI/ML (linhagem afro-europeia) ----- | 11 |
| Figura 3.2. a) Comprimento do bico, b) da asa e c) da cauda, para as diferentes populações analisadas ----- | 13 |
| Figura 3.3. a) Pontuação de cor do peito, b) número de manchas do peito, c) diâmetro das manchas do peito, d) pontuação de cor do ventre, e) número de manchas do ventre e f) diâmetro das manchas do ventre para as diferentes populações analisadas ----- | 17 |
| Figura 3.4. Sonogramas de chamamentos territoriais de corujas das torres ----- | 18 |
| Figura 3.5. Mapa definitivo de distribuição potencial da coruja-das-torres em São Tomé ----- | 20 |
| Figura 3.6. Principais ameaças (%) para a população de coruja-das-torres de São Tomé ----- | 22 |
| Figura 3.7. Pressão exercida na população de coruja-das-torres de São Tomé em cada comunidade (%) ----- | 22 |
| Figura 3.8. Percepção dos habitantes locais sobre a dieta das corujas, por faixa etária ----- | 23 |
| Figura 3.9. Mapa representativo da percentagem de perseguição direta à população de corujas de São Tomé, em cada comunidade ----- | 24 |

Lista de tabelas

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1. Lista das variáveis ambientais ----- | 6 |
| Tabela 2.2. Lista das variáveis de terreno ----- | 7 |
| Tabela 2.3. Esquema de codificação do impacto das ameaças ----- | 9 |
| Tabela 3.1. Características acústicas das populações de Coruja-das-torres de São Tomé (<i>T. a. thomensis</i>), da Suíça (<i>T. a. alba</i>), da Polónia (<i>T. a. alba</i>), da África do Sul (<i>T. a. affinis</i>) e do Brasil (<i>Tyto furcata</i>)----- | 18 |
| Tabela 3.2. Valores de importância relativa das variáveis utilizadas na modelação da área de distribuição da coruja-das-torres de São Tomé ----- | 21 |

Lista de anexos

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo A.1. Esquema de categorias da UICN de possíveis ameaças detetadas num transeto ----- | 40 |
| Anexo A.2. Árvore BI/ML (representação da filogenia molecular da família Tytonidae) ----- | 42 |
| Anexo A.3. Gráfico de colinearidade das variáveis ambientais ----- | 44 |
| Anexo A.4. Gráfico de colinearidade das variáveis medidas no terreno ----- | 45 |
| Anexo A.5. Mapa preliminar de distribuição potencial da coruja-das-torres em São Tomé ----- | 46 |

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

| | |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|
| <i>T. a. detorta.</i> | <i>Tyto alba detorta</i> |
| <i>T. a. thomensis</i> | <i>Tyto alba thomensis</i> |
| <i>T. a. affinis</i> | <i>Tyto alba affinis</i> |
| <i>T. a. erlangeri</i> | <i>Tyto alba erlangeri</i> |
| <i>T. a. ernesti</i> | <i>Tyto alba ernesti</i> |
| <i>T. a. hypermetra</i> | <i>Tyto alba hypermetra</i> |
| <i>T. a. gracilirostris</i> | <i>Tyto alba gracilirostris</i> |
| <i>T. a. schmitzi</i> | <i>Tyto alba schmitzi</i> |
| <i>T. a. alba</i> | <i>Tyto alba alba</i> |
| <i>T. furcata</i> | <i>Tyto furcata</i> |
| <i>T. glaucops</i> | <i>Tyto glaucops</i> |
| UICN | União Internacional para a Conservação da Natureza |
| BI | Inferência Bayesiana |
| ML | Máxima verossimilhança |
| MCMC | Cadeia de Markov e Monte Carlo |
| GBIF | Global Biodiversity Information Facility |
| AIC | Akaike Information Criterion |
| QGIS | Quantum Geographic Information System |
| RVI | Importância relativa das variáveis |
| KW | Teste de Kruskal-Wallis |
| EN | Estatuto “Em Perigo”, segundo os critérios da UICN |
| ECOFAC | Écosystèmes Forestiers d'Afrique Centrale |

| | |
|-----------|--------------------------|
| PP | Probabilidade posterior |
| BS | Suporte <i>bootstrap</i> |

1. Introdução

As ilhas são sistemas fundamentais para a conservação de aves. Cerca de 1750 espécies estão confinadas a ilhas, sendo que 23% destas espécies se encontram em risco de extinção (Johnson & Stattersfield, 1990). Muitas espécies e populações insulares são pouco conhecidas a nível taxonómico e ecológico. O estudo destes organismos é fundamental para se aumentar o grau de conhecimento do funcionamento destes sistemas e da sua fauna e flora (Wikelski et al, 2004)

Tyto alba (Scopoli, 1769), da família Tytonidae, é uma espécie de ave de rapina noturna que se encontra na Europa e em África (Gill & Donsker, 2018). O grupo da coruja-das-torres divide-se em três espécies distintas: *Tyto furcata* (coruja-das-torres americana), *Tyto alba* (coruja-das-torres do oeste ou afro-europeia) e *Tyto javanica* (coruja-das-torres da Austrália e Ásia) (Gill & Donsker, 2018). Mais precisamente, *Tyto alba sensu lato* trata-se de um grupo cuja separação entre espécies e subespécies ainda está em fluxo. É uma espécie de médio porte (comprimento 23-57 cm; peso variável de acordo com cada população, sendo que as populações afro-europeias podem variar entre os 187-470 g), com um disco facial bem delimitado, plumagem geralmente acastanhada/dourada e branca com pintas ao longo do corpo (del Hoyo *et al*, 2019; Bruce *et al*, 2019). Habituada à presença humana e frequentemente associada a habitats antropogénicos (Bruce *et al*, 2019), esta espécie está associada a habitats mais abertos e a paisagens agrícolas (Roulin, 2019). Como locais de nidificação preferem usar edifícios agrícolas ou igrejas, devido aos grandes vãos que possuem nos tetos (Goławski e Kasprzykowski, 2006). A sua época de reprodução varia consoante a latitude, sendo que nos trópicos ocorre geralmente no fim da época seca (Bruce *et al*, 2019). Cada casal reprodutor pode ter em média 2 a 3 crias dependendo da disponibilidade de alimento (Bruce *et al*, 2019).

Apesar de já várias subespécies diferentes serem reconhecidas, os seus estatutos de conservação permanecem incertos (Bruce *et al*, 2019). A coruja-das-torres de São Tomé é considerada uma subespécie da coruja-das-torres afro-europeia e está entre as populações menos estudadas. Como muitas outras populações insulares, esta aparenta ser conspicuamente mais escura e mais pequena (Uva *et al*, 2018).

Neste trabalho foi seguida a taxonomia proposta por Gill e Donsker no ano passado (Gill & Donsker, 2018), sendo que população de coruja-das-torres existente na ilha de São Tomé é reconhecida como uma subespécie distinta, *T. a. thomensis* (Hartlaub, 1852). Desde a sua descoberta, esta população foi reconhecida como subespécie, não existindo certezas sobre a sua origem (Jones & Tye, 2006), por exemplo se descende dos países mais próximos como Nigéria ou Gabão. No entanto dados moleculares recentes baseados num único exemplar de museu sugeriram tratar-se da mais diferenciada das populações afro-europeias da coruja-das-torres (Uva *et al*, 2018). Os indivíduos desta população aparentam ter menores dimensões (De Naurois, 1983) e serem mais escuros, mesmo tendo em consideração a grande variabilidade característica das rapinas noturnas (Uva *et al*, 2018). Existem registos de ocorrências de indivíduos desta população em florestas e terrenos de cultivo de baixa altitude, nas regiões montanhosas, em plantações abandonadas e em florestas secundárias (Atkinson *et al*, 1994). Encontram-se comumente perto de comunidades rurais. Aparentemente, estas corujas tendem a preferir terrenos de cultivo de baixa altitude, pois é onde existe maior abundância de roedores (Leventis & Olmos, 2009).

A ilha de São Tomé abriga 20 espécies de aves endémicas e oito subespécies, incluindo a da coruja-das-torres (IUCN, 2019), que geralmente têm recebido menos interesse por parte de investigadores e conservacionistas. Este projeto pretende: (1) avaliar a possibilidade de se considerar a população de coruja-das-torres de São Tomé como uma espécie distinta, utilizando evidências genéticas e fenotípicas (morfologia, cor, vocalizações); (2) recolher informação ecológica, a nível de distribuição, preferência

de habitat, ameaças e percepção dos habitantes locais, para estabelecer um estatuto de conservação e identificar medidas prioritárias para a sua conservação.

2.1. Metodologia

2.1.1. Área de estudo

Este trabalho teve lugar na ilha de São Tomé, no Golfo da Guiné. Com cerca de 857 km² (Jones & Tye, 2006), a ilha não era habitada aquando da sua descoberta pelos portugueses em 1471 (Seibert, 2006). A ilha é excecionalmente rica em endemismos (Jones, 1994), possuindo cerca de 20 espécies endémicas de aves (Melo, 2010) e tendo as terceiras florestas mais importantes para a conservação de aves a nível mundial, quando consideradas em conjunto com as das ilhas vizinhas do Príncipe e de Anobón (Buchanan *et al.*, 2011). Mais especificamente este estudo focou-se nas áreas mais alteradas pelas atividades humanas, uma vez que a bibliografia e o mapeamento prévio da distribuição potencial da coruja indicaram que estas são as zonas mais favoráveis à ocorrência da espécie.

2.1.2. Taxonomia

O nível de diferenciação da população de corujas de São Tomé foi avaliado, por comparação com outras populações das linhagens afro-europeia (*T. a. affinis*, *T. a. erlangeri*, *T. a. ernesti*, *T. a. detorta*, *T. a. hypermetra*, *T. a. thomensis*, *T. a. gracilirostris* e *T. a. schmitzi*) e americana (*T. furcata* e *T. glaucops*), a nível molecular, morfométrico, de coloração e das vocalizações.

A comparação a nível molecular foi feita com base em sete genes distintos, dos quais cinco mitocondriais (16S, COX1, CYTB, ND6 e CNTRL) e dois nucleares (CMOS e RAG1). Nos genes mitocondriais, as sequências tinham 573, 823, 1175, 452 e 479 sites, respetivamente. Enquanto nos genes nucleares, as sequências tinham 598 e 947, respetivamente (Uva *et al.*, 2018).

Os alinhamentos de cada marcador foram concatenados num único alinhamento de sequências com o programa Sequence Matrix (Meier *et al.*, 2010). Foram usadas duas abordagens distintas para conduzir os estudos filogenéticos, uma através de inferência bayesiana (BI) com o programa BEAST v.1.8.4 (Drummond *et al.*, 2012) e outra através de máxima verossimilhança (ML), com RaxML (Stamatakis *et al.*, 2004), utilizando o portal da CIPRES (Miller *et al.*, 2012). No geral, a mesma topologia foi obtida para as duas árvores criadas, sendo que na árvore de máxima verossimilhança, existiram bons suportes de *bootstrap*. A análise da BI foi corrida com um modelo de *relaxed lognormal clock* e um modelo de árvore de especiação (Uva *et al.*, 2018). A cadeia de Markov e Monte Carlo ou MCMC, que se trata de um método para criar amostras a partir de uma variável aleatória que pode ser multidimensional, sendo que essas amostras podem ser usadas para avaliar o valor esperado ou variância da mesma (Walsh, 2004), amostrou o espaço durante 200 milhões de gerações, sendo amostrada a cada 20000 gerações (Uva *et al.*, 2018). Os valores de tamanho efetivo da amostra (ESS) foram verificados no Tracer v.1.7.1 (Rambaut *et al.*, 2018) para todos os parâmetros, sendo que estavam todos aceitáveis. A *maximum credibility tree* e 95% das distribuições de maior densidade posterior para todos os nós da árvore foram gerados no TreeAnnotator v.1.8.2 (Drummond *et al.*, 2012) com um burn-in de 10% das árvores produzidas (Uva *et al.*, 2018). A árvore final desta BI foi visualizada no FigTree v.1.4.2 (Rambaut, 2009).

Para comparar a morfometria, foram tiradas medições individuais do comprimento da asa, da cauda e do bico. Foram medidos 6 indivíduos do Museu da Ciência da Universidade de Coimbra e um indivíduo capturado durante o trabalho de campo, que foram adicionados à base de dados fornecida pela investigadora Vera Uva (N = 2484). As populações foram comparadas usando testes de Kruskal-Wallis com correção de Bonferroni (Chan, 2003), um teste não paramétrico padrão para comparações múltiplas que permite avaliar a significância das diferenças entre populações. Foram removidos da análise todos

os indivíduos que não possuíam uma das três medidas morfométricas e aqueles que apresentavam valores discrepantes em pelo menos uma das medidas, possivelmente resultantes de erros de medição.

Para avaliar a coloração das corujas, recorreu-se a uma escala qualitativa de 1 a 8 (vermelho-ocre a branco). A escala foi impressa num cartão de 60 x 40 mm, que foi colocado no peito e no ventre para pontuar a cor. Os valores obtidos foram adicionados à base de dados global para as populações de corujas do género *Tyto*, providenciada pelo professor Alexandre Roulin e que possui informação relativa a cerca de 3000 indivíduos. Para se identificar diferenças entre as populações recorreu-se mais uma vez a testes de Kruskal-Wallis com correção de Bonferroni (Chan, 2003). Foram removidos da análise todos os indivíduos que não possuíam uma das duas pontuações de cor.

As vocalizações foram gravadas com recurso a um gravador Roland Edirol R-09HR com um microfone Sennheiser – MKE 400. Foram contruídos oscilogramas e sonogramas no programa Praat 6.0.56 (Boersma et al, 2019), para comparar com outras populações de coruja-das-torres. As vocalizações usadas nestas comparações pertenciam às populações afro-europeias *T. a. affinis*, *T. a. alba* e à espécie de coruja-das-torres americana *T. furcata* e foram selecionadas em função da qualidade dos registos existentes (Bob et al, 2019). As vocalizações foram comparadas ao nível de: frequência inicial (F1); frequência final (F2); frequência na amplitude mínima (F3); frequência na amplitude máxima (F4); amplitude mínima (A1); amplitude máxima (A2); e o tempo decorrido até se atingir a amplitude máxima (T1), medido em segundos. As frequências foram medidas em quilohertz e as amplitudes em decibéis. A frequência corresponde ao número de ciclos ou repetições que ocorrem num determinado período (Fastl, 2006) e costuma variar entre espécies de aves (Cardoso, 2011). A massa corporal e o formato do corpo (e do bico), por exemplo, influenciam a frequência das vocalizações (Gasc et al, 2013). A frequência inicial diz respeito ao valor registado no início do chamamento e frequência final diz respeito ao valor registado no fim do chamamento (Brandes, 2008). A frequência na amplitude mínima é o valor medido quando se atinge a amplitude mínima e frequência na amplitude máxima é o valor medido na amplitude máxima, também designado de pico de frequência (Leonard & Horn, 2005). A amplitude retrata a intensidade com que o som é emitido e é uma característica frequentemente ajustada pelas aves em caso de pressões externas (Warren et al, 2006), como por exemplo, o ruído ambiental causado por urbanizações construídas perto dos seus habitats (Crocì et al, 2008). A modelação da amplitude difere entre espécies (Zollinger et al, 2012) e atua diretamente na seleção sexual, uma vez que as fêmeas podem apresentar preferências por cantos em função desta característica (Ritschard et al, 2010). A amplitude mínima diz respeito ao pico da menor onda sonora registada no oscilograma e a amplitude máxima diz respeito ao pico da maior onda sonora (Zollinger et al, 2012). O tempo decorrido até se atingir a amplitude máxima é medido em segundos e é uma característica acústica que difere entre espécies de aves (Sangster et al, 2013). Foram removidos da análise todas as populações que não possuíam vocalizações comparáveis.

No campo foram gravadas vocalizações com recurso a um gravador. Recorreu-se também a um altifalante para auxiliar a projetar a emissão do chamamento para provocar uma resposta das corujas. Foram definidas e avaliadas características destas gravações com base em sonogramas (Verbelen, 2014), de modo a proceder-se a uma comparação com outras gravações da mesma população de corujas.

2.1.3 Ecologia

Antes do trabalho de campo foram compiladas observações da população em estudo. Estas observações foram obtidas sobretudo de forma esporádica (GBIF, 2018; eBird, 2018; Verbelen, 2014), mas também resultaram de esforços de amostragem sistemáticos não dirigidos a esta espécie (BirdLife, 2018). Tendo em conta que não existia informação relevante sobre possíveis registos de ausências das corujas, foram geradas pseudo-ausências (Chefaoui & Lobo 2008), selecionando pontos aleatórios de ausência, ponderados em função de áreas conhecidas de ocorrência. Com base nesta informação e em variáveis ambientais com informação geograficamente explícita (Tab. 2.1), usaram-se modelos lineares generalizados (GLM) com distribuição binomial (Guisan, 1999) para modelar a distribuição da espécie a nível da ilha. As variáveis incluídas foram: declive, inacessibilidade, rugosidade, distância à costa, topografia e pluviosidade (Soares 2017). Foram excluídas da análise as que apresentaram uma colinearidade superior a 0,7 (Su *et al*, 2009). De seguida, identificou-se o melhor modelo, usando *Akaike information criterion* (AIC) (Fifas & Berthou, 1999), que coloca os vários modelos num *ranking* e o que tiver um menor valor de AIC, será considerado o melhor. Depois projetou-se a probabilidade de ocorrência da espécie em São Tomé, usando a função *predict* (Kuhn, 2008), sendo que este mapa preliminar foi utilizado para definir a localização dos transetos para o trabalho de campo.

Tabela 2.1- Lista das variáveis ambientais. As variáveis em questão foram incluídas na modelação da distribuição da espécie a nível da ilha (modificado de Soares 2017)

| VARIÁVEIS AMBIENTAIS | DESCRIÇÃO |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CHUVA | Mapa vetorizado obtido a partir de um mapa com 30 anos de dados compilados por toda a ilha, indicando os locais mais chuvosos. Variável contínua. |
| TOPOGRAFIA | Índice que representa a posição de cada pixel em relação à elevação média de uma vizinhança em um raio de 0,05°. Variável categórica com 5 classes : áreas planas; vales; declive médio; declive acentuado; cumes |
| DISTÂNCIA À COSTA | Distância linear mínima em graus decimais, entre cada <i>pixel</i> e o ponto mais próximo da linha costeira. Variável contínua. |
| USO DO SOLO EM 2016 | Mapa de uso do solo construído a partir de imagens de satélite, informação de campo, mapa histórico do uso do solo em 1970 e mapas militares. Variável categórica com 4 classes: floresta nativa; floresta secundária; plantação de sombra; áreas não florestadas |
| RUGOSIDADE | Índice de rugosidade calculado a partir do Modelo Digital de Elevação com 90 metros de resolução. Variável contínua. |
| DECLIVE | Declive calculado em graus decimais a partir do Modelo Digital de Elevação. Variável contínua. |
| ALTITUDE | Modelo Digital de Elevação baseado na topografia do radar de vaivém da NASA missão (SRTM) com 90 metros de resolução horizontal. Variável contínua. |
| INACESSIBILIDADE | Acumulação de uma superfície criada com uma superfície de atrito derivada do declive e ponderada pela densidade populacional. Variável contínua. |

Para confirmar a distribuição da coruja-das-torres de São Tomé e avaliar preferências de habitat foram realizados 26 transetos de comprimento variável. Cada transeto era composto por pontos de escuta a cada 200 m, a distância que nos pareceu garantir não contar os mesmos indivíduos mais do que uma vez. Em cada ponto foi registada a data e hora, o ponto de GPS, o tipo de ecossistema, a altitude, o declive, a cobertura do subcoberto, o número de árvores e a cobertura de copa (Tab. 2.2).

Tabela 2.1- Lista das variáveis de terreno. As variáveis em questão foram registadas durante os transetos

| VARIÁVEL | DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Código | Código de identificação do transeto, atribuído pelo observador. |
| GPS | Código de identificação do ponto de amostragem. |
| Ecossistema | Identificação do tipo de ecossistema no respetivo ponto de amostragem, atribuído pelo observador (agroflorestal ou não agroflorestal) – considerava-se agroflorestal se no ecossistema existisse mais do que 1 tipo de plantação em ambiente florestal; considerava-se não-agroflorestal se o ecossistema não tivesse cobertura de copa contínua. |
| Altitude | Altitude no ponto de amostragem, estimada por GPS. |
| Subcoberto | Estimativa do grau de sub-coberto, expressa numa escala de 0 a 5, em que 5 corresponde a uma área completamente coberta deste tipo de vegetação. A vegetação aqui refere-se a plantas que providenciam cobertura até uma altura de 1,5 m. |
| Cobertura de Copa | Média de quatro medições da percentagem de cobertura da copa, feitas com um densiómetro convexo e na direção dos principais pontos cardeais entre 3 a 5 metros do ponto de amostragem. |
| Declive | Variável categórica de 1 a 5, sendo que uma categoria mais elevada corresponde a um declive mais elevado no ponto de amostragem. |
| Número de árvores | Contagem do número de árvores num raio de 25 m a partir do ponto de amostragem; distância medida com auxílio de um distanciómetro. |

Os pontos de escuta foram amostrados com 1 minuto de escuta, seguido da emissão de um chamamento (Verbelen, 2014) durante 30 segundos, com auxílio de um gravador e de um altifalante para aumentar o alcance do chamamento, seguido de um período de 30 segundos de escuta. O uso de chamamento maximiza a probabilidade de detecção da espécie (Conway & Gibbs, 2005). Em caso de resposta, registou-se o número de indivíduos, a distância e direção, se responderam depois do chamamento e se houve contacto visual.





Os registos obtidos fora dos pontos de escuta foram considerados registos adicionais e nesses casos registou-se a data e hora, a localização, com um ponto de GPS, a localidade, a altitude, o tipo de habitat, o número de indivíduos e a distância.

A distribuição da coruja-das-torres de São Tomé foi mapeada (QGIS Development Team, 2009) com base em todas as observações recentes recolhidas no terreno, obtendo-se assim um novo mapa da distribuição. Com toda esta informação voltou-se a modelar a distribuição da espécie, com o mesmo procedimento do mapa preliminar, para mapear a área de distribuição potencial e identificar associações ambientais. As associações ambientais foram obtidas através do índice de importância relativa (RVI), das variáveis preditivas, que se baseia no cálculo da proporção da contribuição que cada variável tem no modelo, tendo em conta a sua contribuição única e a sua contribuição quando combinada com outras variáveis (Johnson, 2010). As mesmas técnicas de modelação foram aplicadas às variáveis medidas no terreno, para avaliar a seleção de habitat a uma escala mais localizada.

Seguiu-se o protocolo da UICN (2018) para a quantificação das ameaças, atribuindo uma pontuação para cada tipo em função do tempo de ocorrência, abrangência e severidade (IUCN, 2018 – anexo A.1). Posteriormente, estas pontuações foram convertidas num único valor por ameaça. Esta conversão baseia-se na codificação da abrangência e na severidade da ameaça e depois num somatório entre estes dois valores (Tab. 2.3 - IUCN, 2018). Com estes valores fez-se uma avaliação geral das potenciais ameaças ao nível da ilha, para auxiliar a atribuição de um estatuto de conservação. Esta avaliação baseou-se no somatório das pontuações totais de cada tipo de ameaça. Para se obter a percentagem da ameaça, foi realizado o quociente entre o somatório das pontuações únicas de todos os transetos para cada ameaça e o somatório de pontuações únicas de todas as ameaças de todos os transetos. Também se pontuaram as comunidades através dos somatórios das pontuações de ameaças dos transetos realizados em cada comunidade. Em comunidades com dois transetos realizados, a pontuação foi obtida através da média entre o somatório das ameaças de cada transeto. Tendo em conta todas as pontuações, foram determinadas 6 ameaças principais: desflorestação a larga escala (para fins comerciais de empresas); desflorestação a pequena escala (para fins pessoais como construção de casas por parte dos locais); perseguição direta (caça a corujas para consumo ou por superstição); estradas (presença de vias rodoviárias que possam promover a colisão entre veículos e corujas); pastoreio (indícios de atividade agrícola para uso pessoal que interfira com atividade das corujas); plantações agro-industriais (indícios de atividade agrícola para uso empresarial que interfira com atividade das corujas).

Tabela 2.3- Esquema de codificação do impacto das ameaças. Pontuações obtidas a partir de cálculos, resultantes de observações diretas nos transetos. (Tabela modificada da UICN, 2018)

| | | Severidade | Muito rápido | Rápido | Lento | Negligenciável |
|--------------------|--------------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Abrangência | | | Pontuação 3 | Pontuação 2 | Pontuação 1 | Pontuação 0 |
| Totalidade | Pontuação 3 | | 6 | 5 | 4 | 3 |
| Maioria | Pontuação 2 | | 5 | 4 | 3 | 2 |
| Minoria | Pontuação 1 | | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Negligenciável | Pontuação 0 | | 3 | 2 | 1 | 0 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|  | Impacto severo |
|  | Impacto médio |
|  | Impacto ligeiro |
|  | Negligenciável / Sem impacto |

Em simultâneo com os transetos foram realizados inquéritos aos habitantes das comunidades mais próximas, com o objetivo de avaliar as suas perceções sobre a espécie e obter informação adicional sobre potenciais ameaças. A cada entrevistado foi explicado o objetivo da investigação e obtido o consentimento para participar em confidencialidade. Sempre que possível, as perguntas foram feitas ao longo de uma conversa informal, tendo os inquéritos como guião, para assegurar um maior à vontade por parte dos inquiridos. Os inquéritos eram constituídos pela caracterização do inquirido (nome, idade e grau de escolaridade), avaliação do conhecimento geral sobre a coruja e avaliação das ameaças sobre a espécie. Estabeleceram-se 5 grupos etários com base nas idades das pessoas inquiridas: menores de 18 anos, entre os 18 e os 25 anos, entre 25 e 45 anos, entre os 45 e os 65 anos e com mais de 65 anos. Para se testar o conhecimento geral que tinham da coruja, foi pedido aos inquiridos para indicar se já tinham visto algum ninho de coruja e se tinham conhecimento da dieta da coruja. Apenas se considerou que o inquirido conhecia a dieta da espécie quando respondeu que esta se alimentava de outros animais. Também se inquiriu sobre conhecimento de caça e de consumo de carne de coruja em cada comunidade e sobre a associação da coruja a práticas de feitiçaria.

3. Resultados

3.1. Taxonomia

3.1.1. Genética

Das duas abordagens filogenéticas (BI e ML), no geral, foi obtida a mesma topologia. Ambas as abordagens apresentaram topologias bem suportadas, com valores de probabilidade posterior (PP) e suporte *bootstrap* (BS) maioritariamente elevados. As corujas das torres de São Tomé formam um grupo-irmã basal às restantes corujas das torres afro-europeias, que por sua vez é monofilético (Fig.3.1).

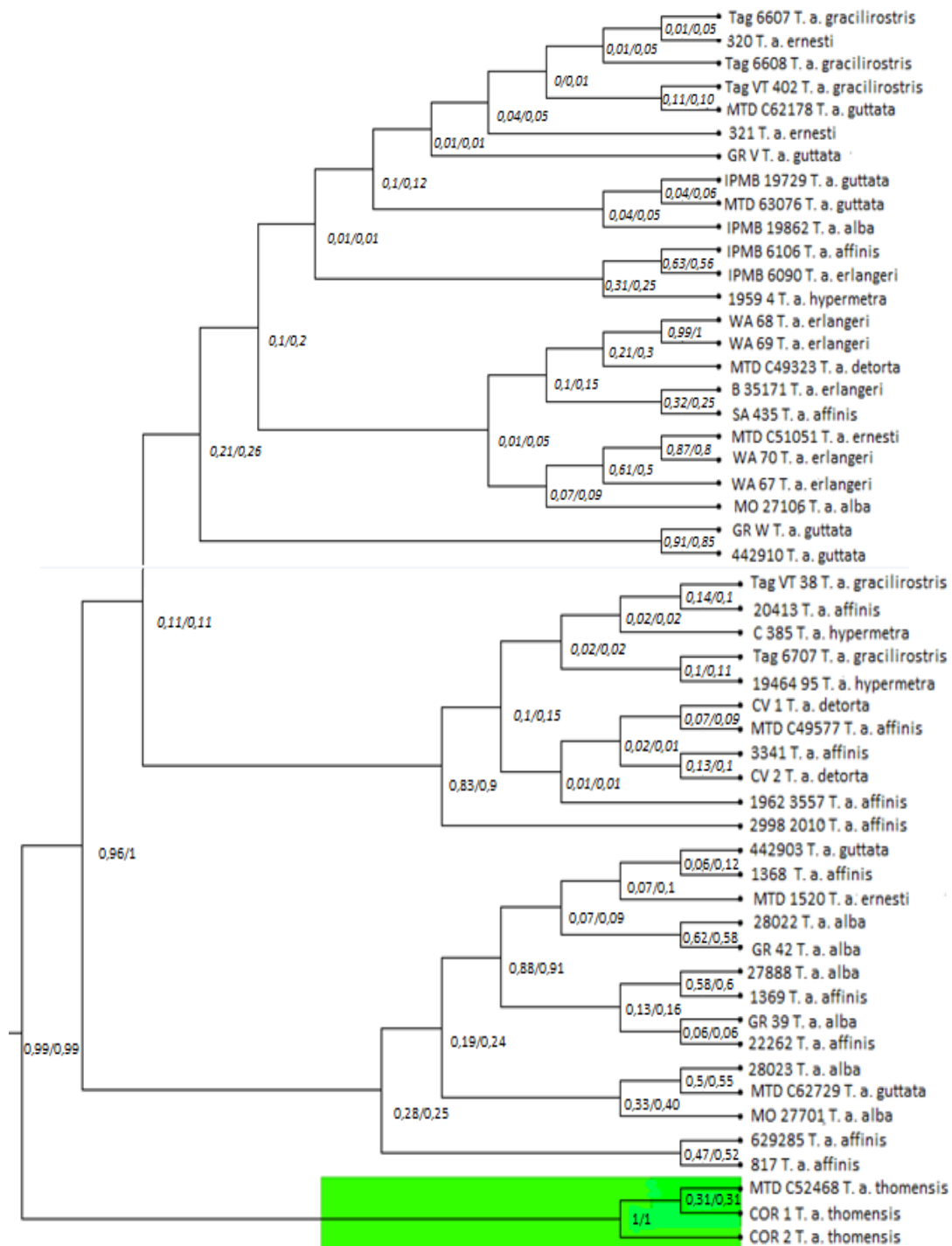
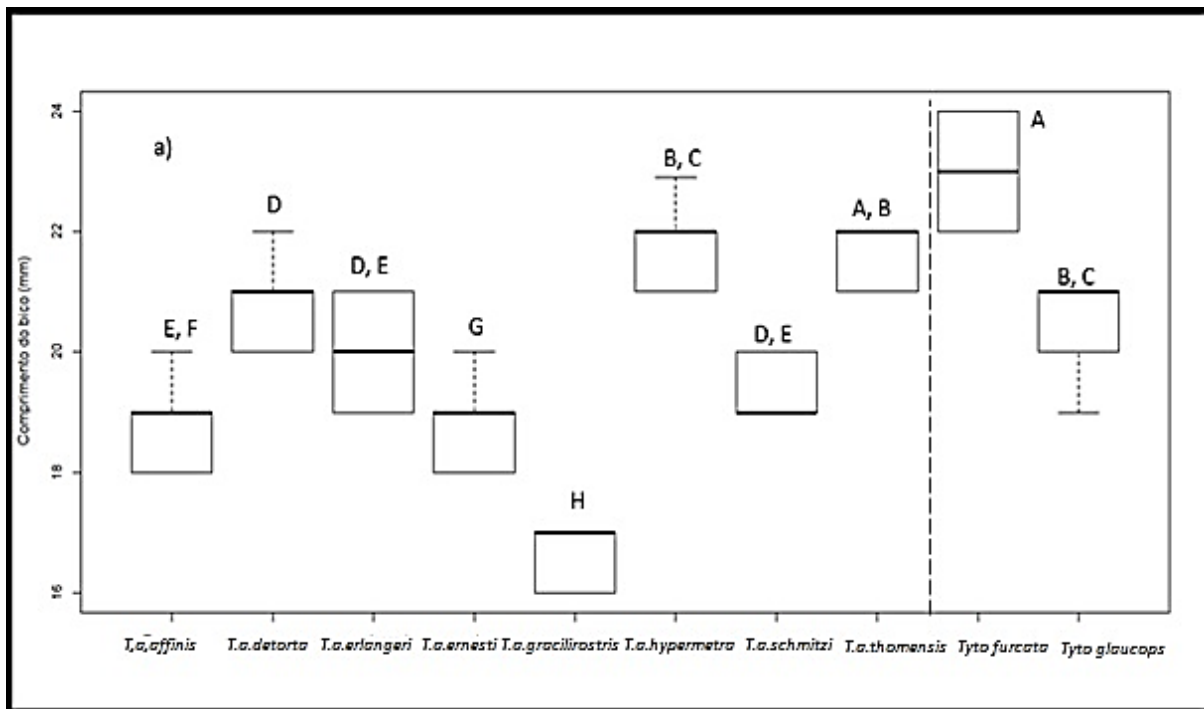


Figura 3.1- Árvore BI/ML: representação da filogenia molecular da linhagem afro-europeia do grupo *Tyto alba* através de Inferência Bayesiana e Máxima Verossimilhança, com valores de probabilidade posterior e *bootstrap*, baseada na análise de 5 marcadores mitocondriais e 2 nucleares no BEAST. Os números representados perto dos nódulos representam os valores de probabilidade posterior da BI e de *bootstrap* da ML. Amostras da *Tyto alba thomensis* representadas a verde. Árvore representante da filogenia molecular de toda a família Tytonidae, disponível para consulta na secção de anexos.

3.1.2. Morfometria

Em relação ao bico, a coruja-das-torres de São Tomé apresenta diferenças significativas com todas as outras populações do estudo, exceto com as populações americanas e com a *T. a. hypermetra* (Madagáscar) (Fig.3.2). Das populações afro-europeias, a *T. a. thomensis* é a única que não difere da *T. furcata*. A *T. a. thomensis* e a *T. a. hypermetra* são as únicas populações afro-europeias que não diferem da *T. glaucops*. Todas as populações afro-europeias, com exceção das populações de São Tomé e de Madagáscar, apresentam medidas do bico claramente inferiores às espécies americanas. Se combinarmos as medidas de asa e de cauda, a população de São Tomé difere significativamente de todas as outras populações afro-europeias exceto da *T. a. schmitzi* (ilha da Madeira) e *T. a. gracilirostris* (ilhas Canárias). A espécie americana *T. furcata* tendeu a ter as asas e a cauda mais compridas do que a espécie afro-europeia *T. alba*, sendo as suas populações notoriamente maiores que a população de São Tomé, com exceção da população das ilhas Canárias. No entanto, não se verificou a mesma relação no caso da *T. glaucops*, uma espécie-irmã da americana.



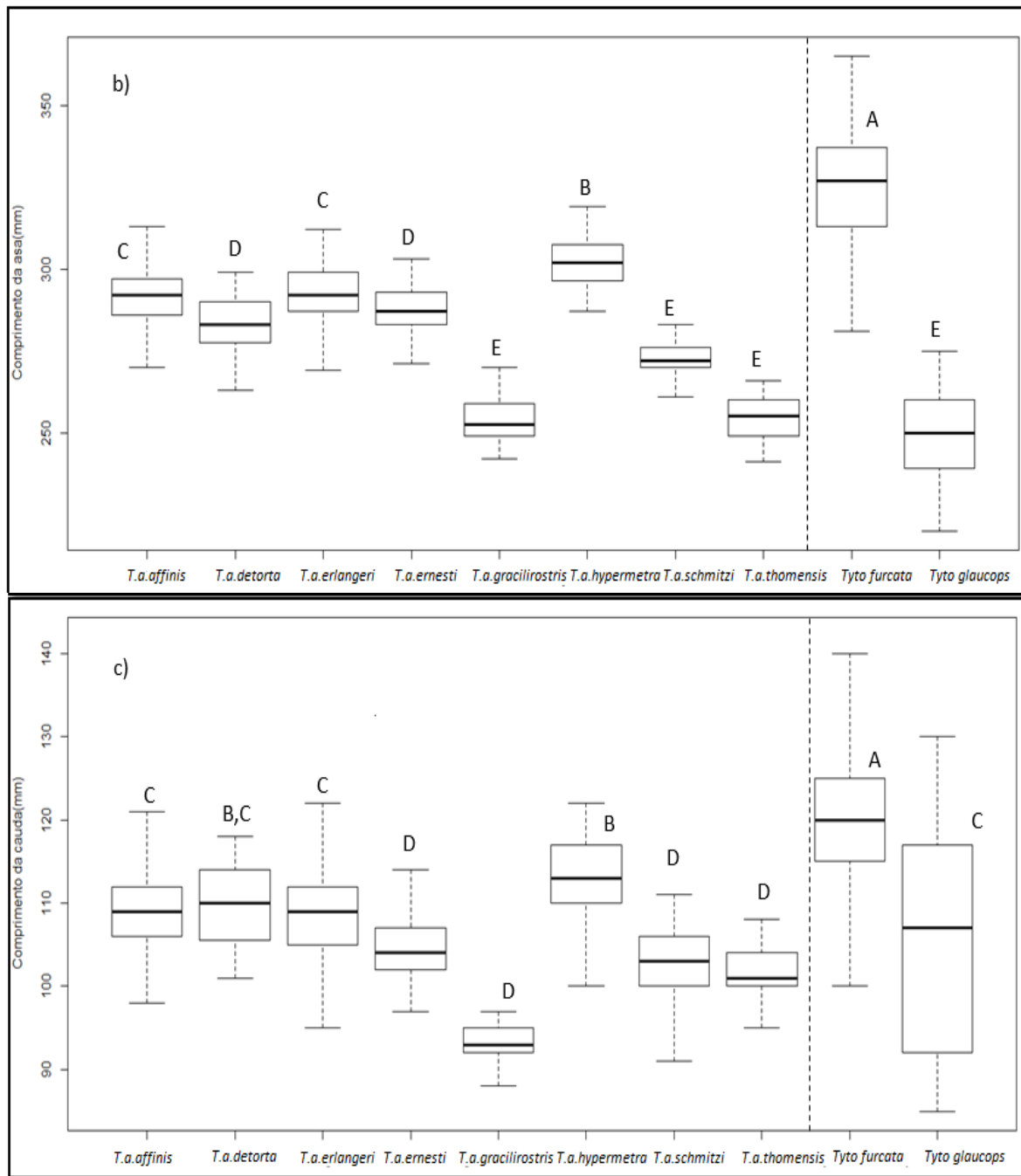
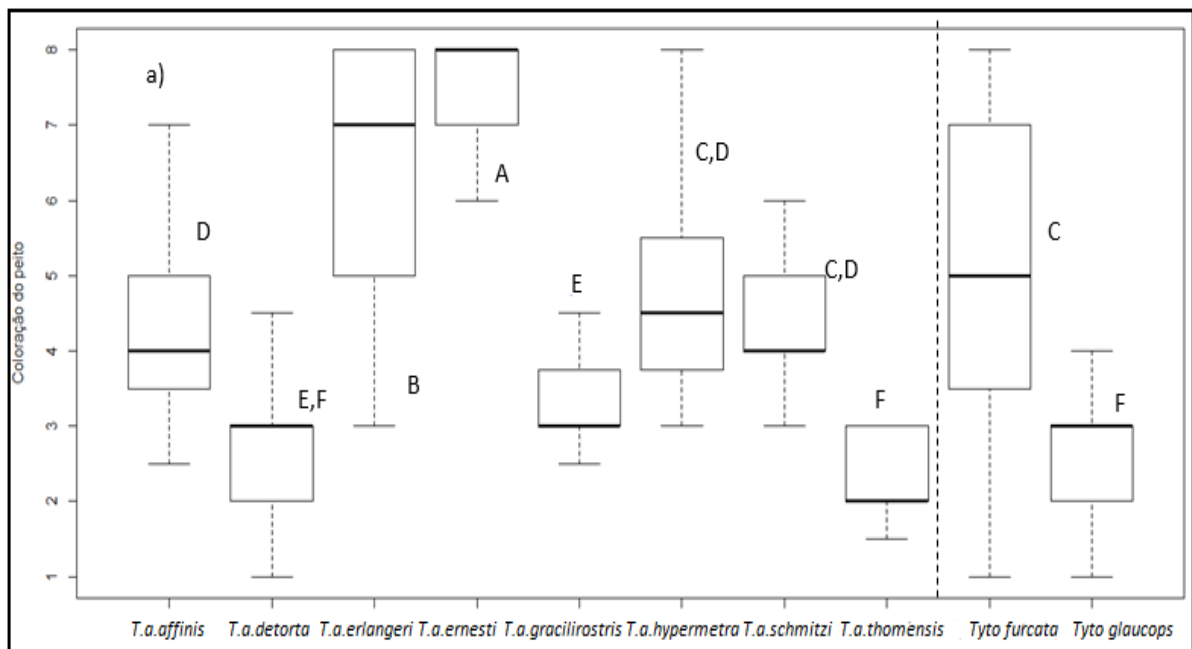
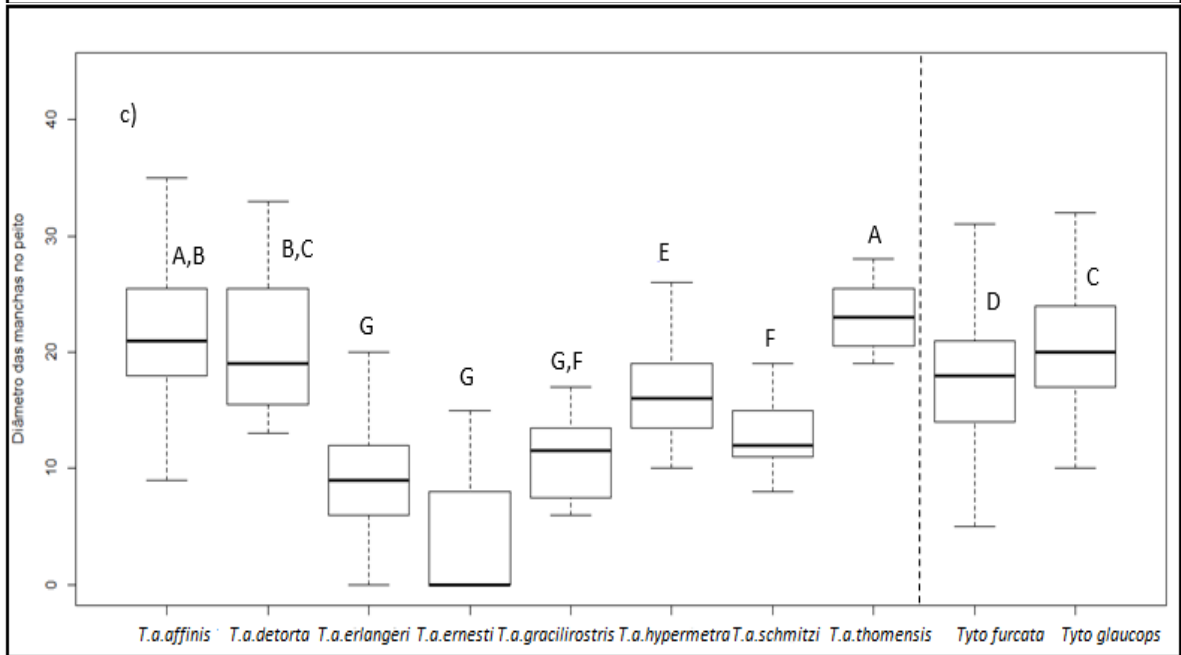
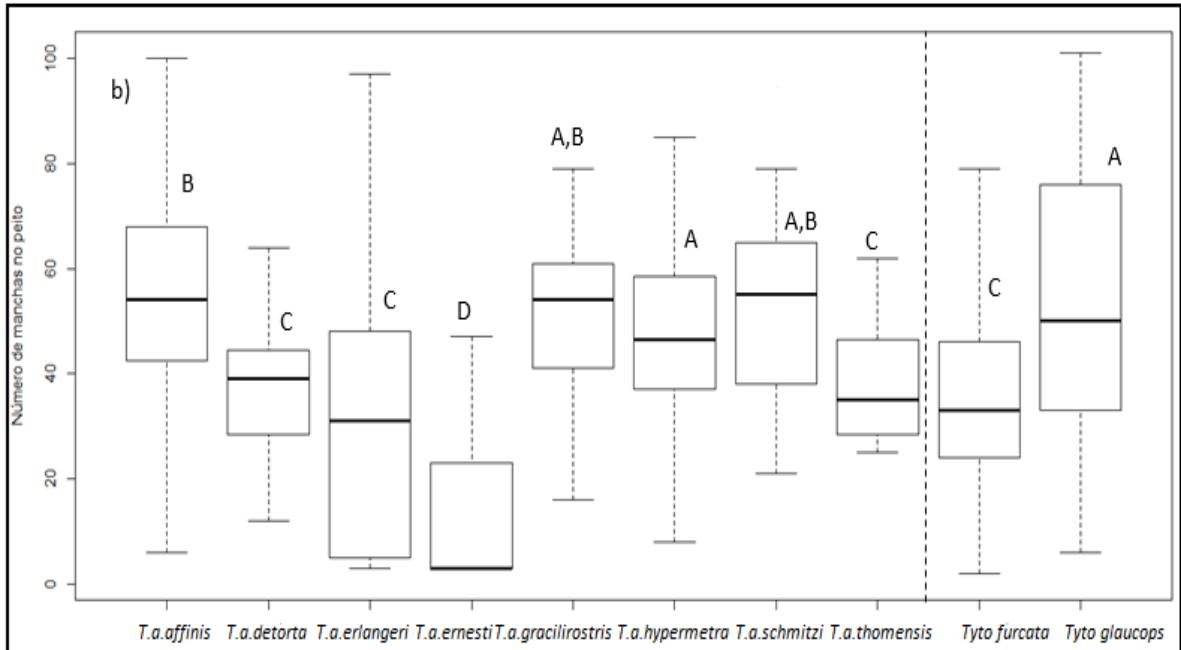


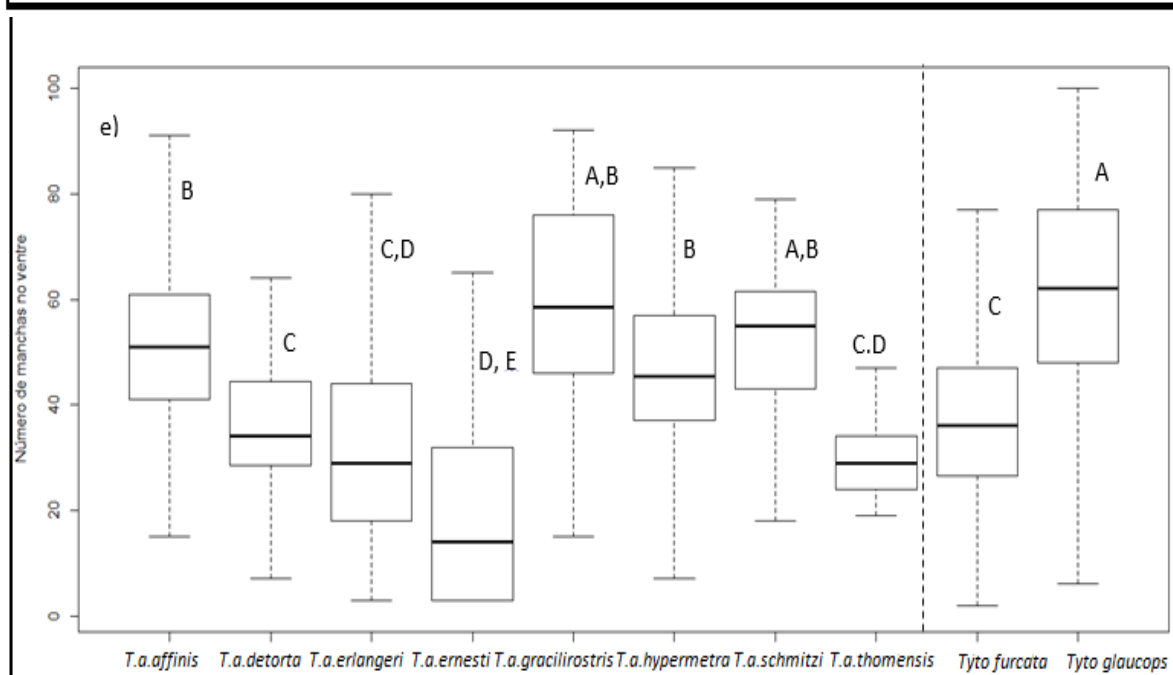
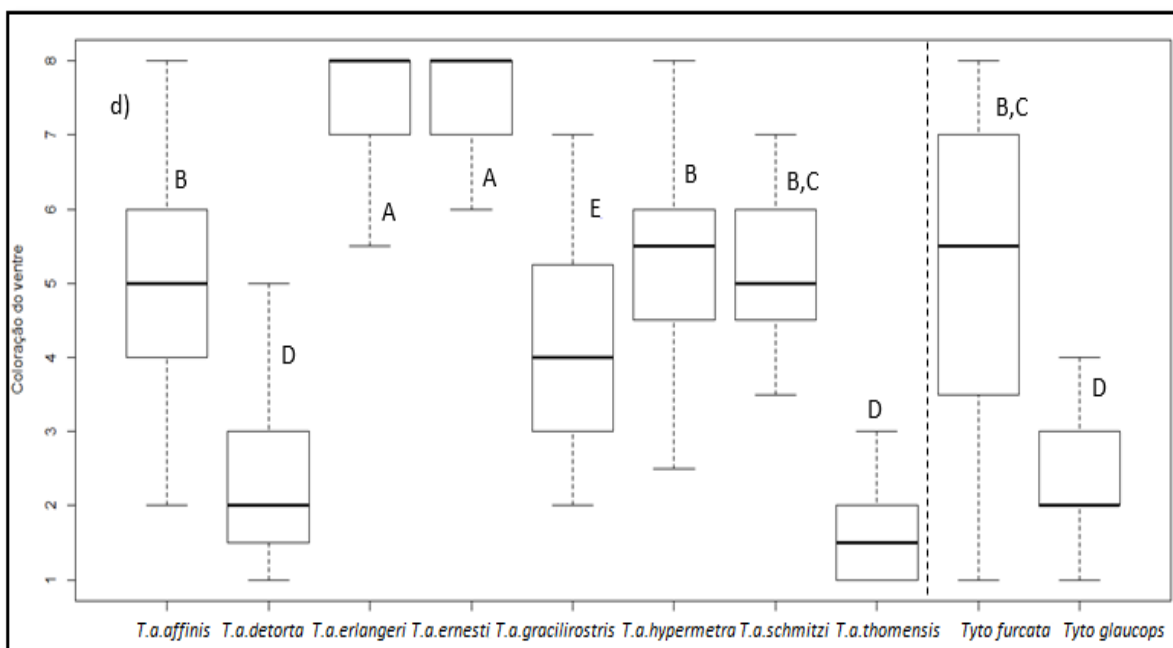
Figura 3.2- a) Comprimento do bico, b) da asa e c) da cauda, para as diferentes populações analisadas. As caixas indicam os quartis e os bigodes os limites inferior e superior dos valores de cada medida morfométrica de cada população. As letras indicam os agrupamentos em função das diferenças identificadas com testes de KW com correções de Bonferroni, para valores de significância de 0,05. Estão representadas as populações afro-europeias *T. a. affinis* (N = 1079), *T. a. erlangeri* (N = 181), *T. a. ernesti* (N = 103), *T. a. detorta* (N = 35), *T. a. hypermetra* (N = 59), *T. a. thomensis* (N = 21), *T. a. gracilirostris* (N = 14) e *T. a. schmitzi* (N = 36) e as espécies americanas *T. furcata* (N = 851) e *T. glaucops* (N = 145).

3.1.3. Coloração

Identificaram-se diferenças significativas entre as várias populações para a coloração do peito e do ventre (Fig. 3.3). A população de São Tomé aparenta ser a mais escura, apresentando diferenças significativas com todas as populações restantes, exceto com a *T. a. detorta* (Cabo Verde) e com a *T. glaucops* (Haiti e República Dominicana). Em relação ao número de manchas do peito e do ventre, a população de São Tomé apresenta diferenças significativas com as restantes populações, exceto com *T. a. detorta*, *T. a. erlangeri* (Chipre, Irão e península arábica), *T. a. ernesti* (Córsega e Sardenha) e a espécie americana *T. furcata*. A população de corujas de São Tomé apresenta um maior número de manchas no peito do que no ventre, contrariamente ao que ocorre com a população das Canárias. A coruja-das-torres de São Tomé também aparenta apresentar as maiores manchas no peito e ventre, sendo que a única população com a qual não apresenta diferenças significativas é a *T. a. affinis* (África do Sul).







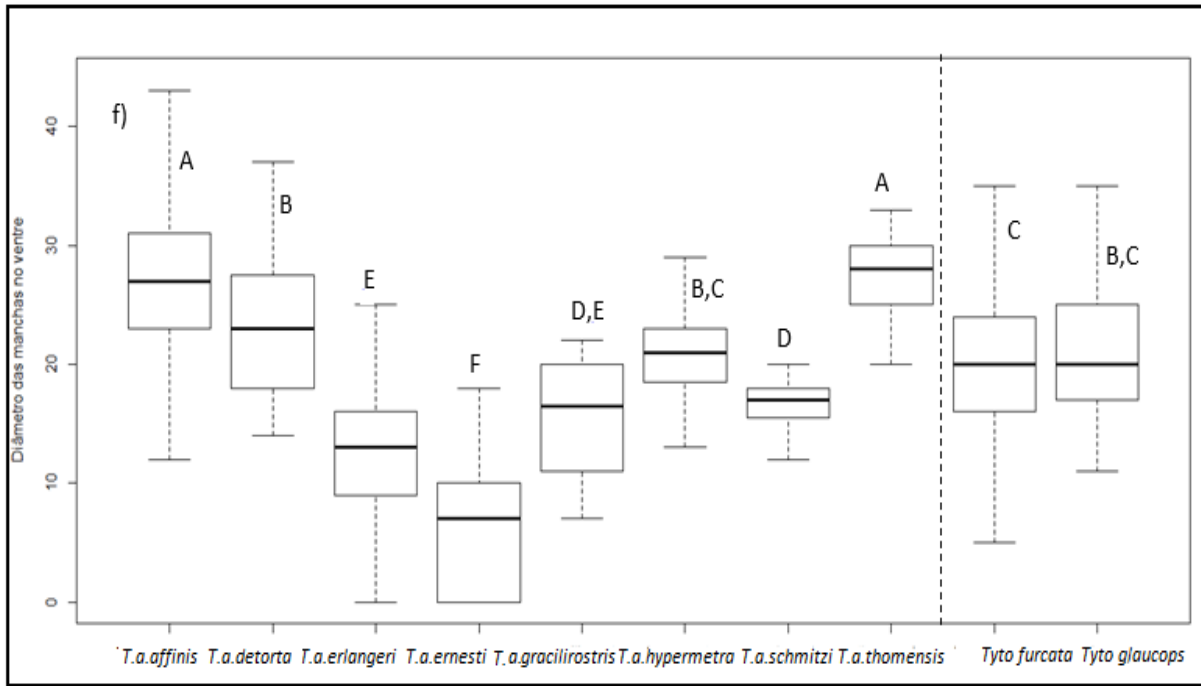


Figura 3.3- a) Pontuação de cor do peito, b) número de manchas do peito, c) diâmetro das manchas do peito, d) pontuação de cor do ventre, e) número de manchas do ventre e f) diâmetro das manchas do ventre para as diferentes populações analisadas. As caixas indicam os quartis e os bigodes os limites inferior e superior dos valores de pontuação de cores, número e diâmetro das manchas do peito e ventre dos indivíduos de cada população. As letras indicam os agrupamentos em função das diferenças identificadas com testes de KW com correções de Bonferroni, para valores de significância de 0,05. *T. a. affinis* (N = 1148); *T. a. erlangeri* (N = 257); *T. a. ernesti* (N = 121); *T. a. detorta* (N = 35); *T. a. hypermetra* (N = 76); *T. a. thomensis* (N = 19); *T. a. gracilirostris* (N = 16); *T. a. schmitzi* (N = 39) (populações afro-europeias). *T. furcata* (N = 1051); 10 = *T. glaucops* (N = 138) (espécies americanas).

3.1.4. Vocalizações

Identificaram-se algumas diferenças nas vocalizações das populações analisadas, nomeadamente nos sonogramas das corujas de São Tomé (Fig. 3.4). Esta população apresentou os valores mais elevados de frequência inicial, na amplitude máxima e de amplitude mínima, e também o valor mais reduzido de frequência final (Tab. 3.1). A *T. furcata* apresenta claramente valores elevados em cada característica acústica.

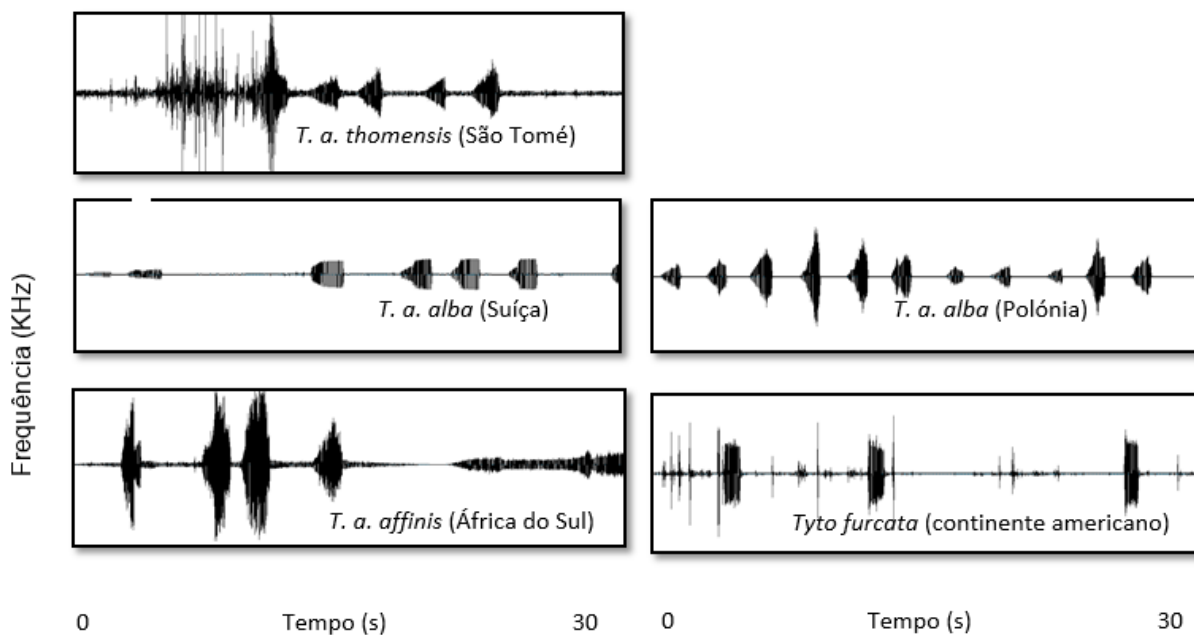


Figura 3.4- Sonogramas de chamamentos territoriais de corujas das torres. a) *Tyto alba thomensis* (São Tomé – XC348458) , b) *T. a. alba* (Suíça – XC356814), c) *T. a. affinis* (África de Sul – XC451924), d) *T. a. alba* (Polónia – XC370711) e e) *T. furcata* (continente americano – XC133628) (Xeno-canto, 2019).

Tabela 3.1- Características acústicas das populações de coruja-das-torres de São Tomé (*T. a. thomensis*), da Suíça (*Tyto alba alba*), da Polónia (*T. a. alba*), da África do Sul (*T. a. affinis*) e do Brasil (*Tyto furcata*): frequência inicial (F1), frequência final (F2), frequência na amplitude mínima (F3), frequência na amplitude máxima (F4), amplitude mínima (A1), amplitude máxima (A2) e o tempo até ser atingida a amplitude máxima (T1).

| População | F _i (KHz) | F _f (KHz) | F _{Amin} (KHz) | F _{Amax} (KHz) | A _{min} (dB) | A _{max} (dB) | T ₁ (s) |
|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| <i>T. a. thomensis</i> | 2,60 | 1,40 | 1,67 | 2,80 | 49,20 | 77,50 | 6,30 |
| <i>T. alba</i> | 1,30 | 1,90 | 0,04 | 2,90 | 6,00 | 85,20 | 3,50 |
| <i>T. a. alba</i> | 1,71 | 1,74 | 0,13 | 2,80 | 9,29 | 79,76 | 9,12 |
| <i>T. a. affinis</i> | 1,23 | 2,22 | 0,30 | 2,61 | 14,35 | 74,57 | 25,30 |
| <i>T. furcata</i> | 2,31 | 2,33 | 1,28 | 2,77 | 40,32 | 78,96 | 25,79 |

3.2. Ecologia

3.2.1. Distribuição e preferência de habitat

A informação pré-existente consistiu em 18 registos recentes de presença que permitiram mapear a área de distribuição potencial da população de corujas de São Tomé.

Nos 26 transetos realizaram-se 278 pontos de escuta, que permitiram registar a presença de coruja em 31 e um total de 44 indivíduos. Apenas foi obtida confirmação visual de 16 indivíduos. Obtiveram-se ainda cinco registos adicionais. Esta informação permitiu construir um novo mapa da distribuição potencial da coruja-das-torres de São Tomé (Fig. 3.5). Revelou igualmente uma maior frequência da população no sul na ilha: 29 presenças em 48 pontos de contagem (60,4%), contra apenas 15 presenças em 230 pontos de contagem no resto da ilha (6,5%).

O uso do solo foi a variável mais importante para explicar a presença da coruja (RVI = 0,73 – Tab. 3.2). Das variáveis medidas do terreno, a altitude, número de árvores e o declive revelaram ser as mais influentes (RVI = 1,00; 0,83 e 0,75, respetivamente – Tab. 3.2).

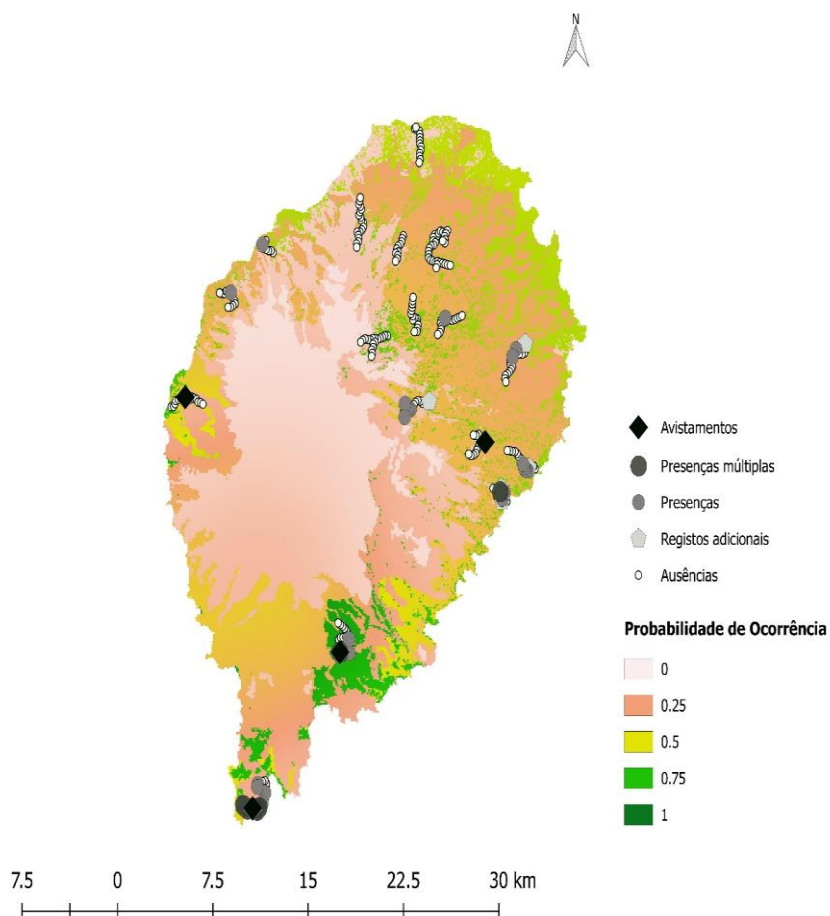


Figura 3.5- Mapa definitivo de distribuição potencial da coruja-das-torres em São Tomé. Inclui todos os registos de presença existentes até à data. Presenças múltiplas refere-se a um registo frequente de indícios de presença na área em questão. Ausência refere-se à falta de resposta vocal ou de indícios de presença no ponto de contagem em questão. Mapa preliminar de distribuição potencial está disponível na secção de anexos.

Tabela 3.2 - Valores de importância relativa das variáveis utilizadas na modelação da área de distribuição da corujas-torres de São Tomé. Variáveis ambientais: variáveis obtidas através de Sistemas de Informação Geográfica. Os símbolos “(+)” e “(-)” indicam a correlação positiva e negativa, respetivamente, que as variáveis apresentam em relação à ocorrência de indivíduos desta população. Gráficos de colinearidade das variáveis e da sua relação com a ocorrência da população representados nos anexos A3 e A4.

| VARIÁVEIS AMBIENTAIS | VARIÁVEIS MEDIDAS NO TERRENO |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Uso do solo = 0,73 (+) | Altitude = 1,00 (+) |
| Pluviosidade = 0,49 (-) | Número de árvores = 0,83 (-) |
| Declive = 0,45 (+) | Declive = 0,75 (+) |
| Altitude = 0,42 (+) | Cobertura de copa = 0,36 (+) |
| Topografia = 0,05 (-) | Subcoberto = 0,27 (+) |

3.2.2. Ameaças

A perseguição direta aparenta ser a mais ameaça mais importante (31% - Fig. 3.6), seguida da desflorestação a pequena escala (20%).

Os somatórios das pontuações por comunidade identificaram Alto Douro como a comunidade onde se exerce maior pressão sobre a população de corujas (17% - Fig. 3.7). Monte Café (13%), Diogo Vaz (12%) e Anselmo Andrade (10%) foram as restantes comunidades onde se registou uma elevada pressão sobre as corujas.

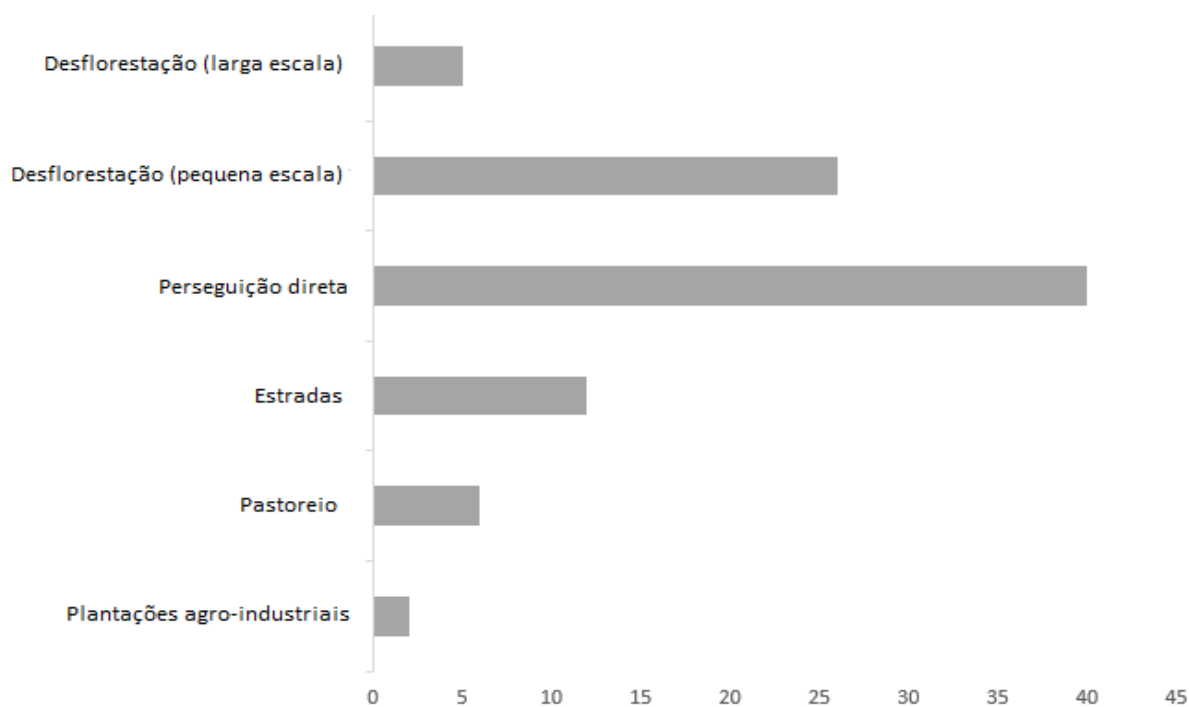


Figura 3.6 – Principais ameaças (%) para a população de coruja-das-torres de São Tomé. As ameaças foram determinadas seguindo o protocolo da UICN (2018): para mais detalhes ver texto.

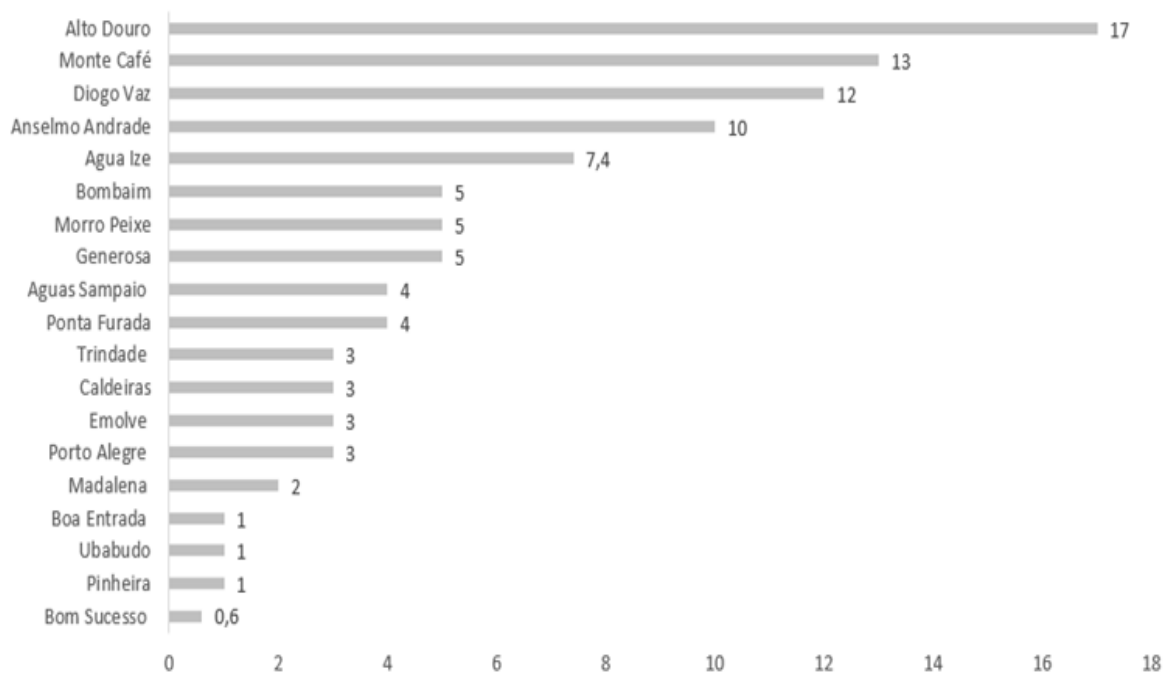


Figura 3.7- Pressão exercida na população de coruja-das-torres de São Tomé em cada comunidade (%). Valores determinados através do somatório de pontuação de ameaças: para mais detalhes ver texto.

3.2.3. Perceção dos habitantes locais

Foram realizados 79 inquéritos em 21 comunidades, tendo sido entrevistadas duas a cinco pessoas por comunidade. Onze inquiridos tinham menos de 18 anos, 19 tinham entre 18 e 25, 34 tinham entre 25 e 45, 10 tinham entre 45 e 65, e 5 tinham mais de 65 anos.

No que diz respeito ao avistamento de ninhos, 26% dos inquiridos afirmou ter visto, pelo menos uma vez, ninhos de coruja e apenas 11% das pessoas entrevistadas revelaram ter conhecimento sobre a dieta da coruja. De facto, a maioria dos entrevistados (cerca de 80%) desconheciam a dieta da coruja (Fig. 3.8) e afirmavam que a coruja se alimentava de fruta. Em 79 inquiridos apenas duas pessoas mostraram ter conhecimento de que a coruja alimenta-se de roedores. Os inquéritos confirmaram a associação deste animal a práticas de feitiçaria e a superstições. As práticas de feitiçaria vão desde a recolha de penas até à recolha de sangue para afastar espíritos e mau-olhado. Quase metade dos inquiridos revelou ter conhecimento de práticas de caça à população de corujas e 47% que existia consumo de carne de coruja na sua localidade, ou que inclusive já tinham provado. Este consumo é maioritariamente esporádico apesar de existirem casos de caça direcionada. Em suma, demonstrou-se uma forte perseguição direta à espécie, motivada não só pelo consumo da carne mas também por superstições, como a crença de que este animal anuncia a morte dos filhos.

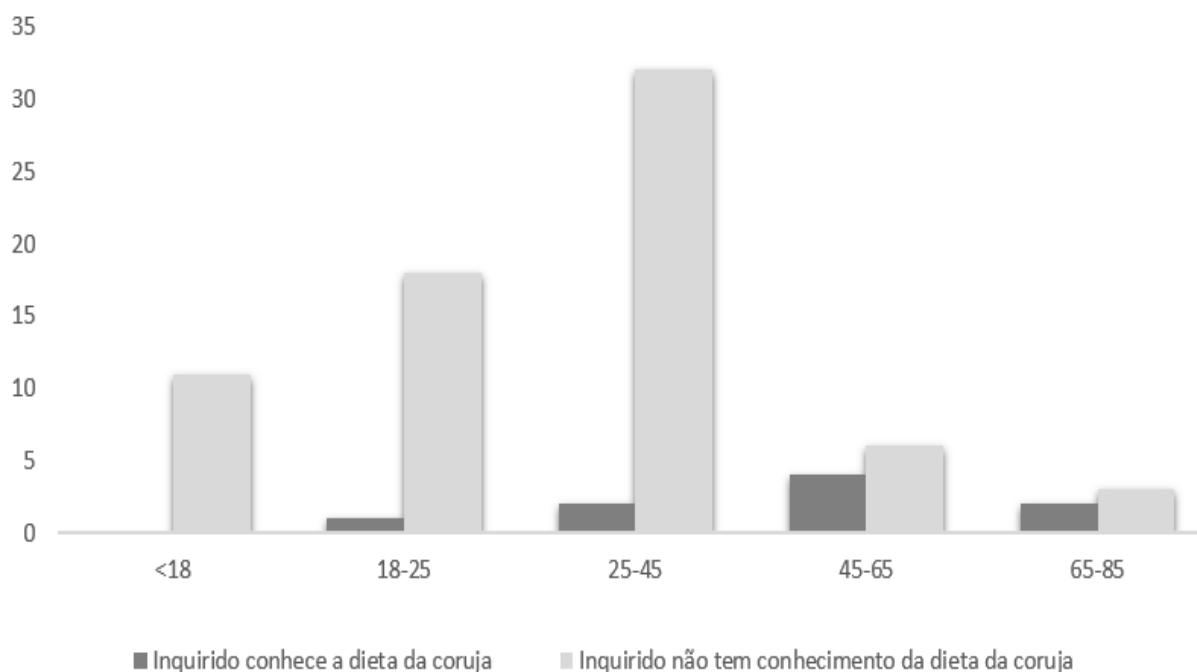


Figura 3.8 - Perceção dos habitantes locais sobre a dieta das corujas, por faixa etária. Perceção avaliada pelas respostas aos inquéritos.

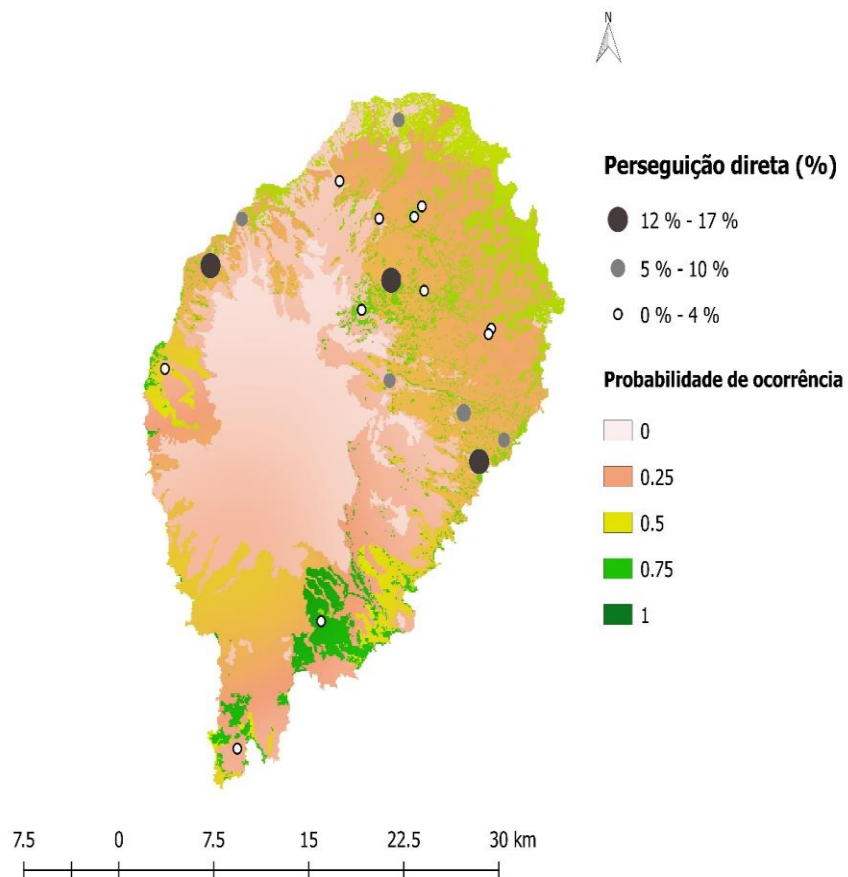


Figura 3.9 - Mapa representativo da percentagem de perseguição direta à população de corujas de São Tomé, em cada comunidade. Percentagem avaliada pela quantidade de inquiridos a confirmar a existência de perseguição direta em cada comunidade.

4. Discussão

As evidências genéticas aliadas às diferenças fenotípicas apontam para o reconhecimento desta população como uma espécie distinta, endêmica de São Tomé. Este estudo permitiu obter informações sobre a sua distribuição e ecologia, para além de ter sido feita uma primeira avaliação das ameaças principais. Esta população evita a floresta e ocorre preferencialmente no sul da ilha. A perseguição direta, por superstição e para consumo parece ser a principal ameaça a esta espécie.

4.1. Diferenciação da população de corujas de São Tomé

Os nossos resultados indicam que a população de coruja-das-torres de São Tomé está a evoluir em isolamento das populações continentais há cerca de dois milhões de anos. A especiação é um processo contínuo e por isso não existe um nível determinado de divergência genética (tempo de isolamento) a partir do qual uma população passa a ser uma nova espécie (Won et al, 2005). No entanto, em aves, tempos de divergência até dois milhões de anos é um intervalo de valores tipicamente encontrado entre espécies irmãs que divergiram recentemente (Johns & Avise 1998; Price 2008), como aconteceu com a *Thalasseus sandvicensis* e *Sterna eurygnatha*, com um tempo de divergência de 300,000 anos (Bridge et al, 2005). O isolamento desta população na ilha de São Tomé é também apoiado indiretamente pelo facto de não existirem registos na vizinha ilha do Príncipe, apesar do habitat e pressões ecológicas serem semelhantes. Estes resultados corroboram os resultados do estudo molecular recente, baseado numa só amostra, que tinha colocado esta população como numa posição basal irmã em relação à linhagem afro-europeia (Uva et al. 2018).

Do ponto de vista do fenótipo, esta população distingue-se por apresentar asa mais curta, coloração mais escura e manchas no peito e ventre em menor número, mas com maiores dimensões. Os resultados para a morfologia e a cor estão de acordo com a tendência para as populações insulares desta espécie terem dimensões mais reduzidas e colorações mais escuras (Bruce et al, 2019) tal como já descrito anteriormente para a população de São Tomé (Leventis & Olmos, 2009; De Naurois, 1983). No entanto, os mecanismos por detrás deste padrão continuam mal conhecidos. Em organismos insulares, e em mamíferos e aves em particular, organismos com menores dimensões tendem a ficar maiores (menor competição inter-específica), enquanto organismos de maiores dimensões tendem a ficar menores (menor disponibilidade de recursos) (Lomolino et al 2013). A coruja-das-torres é um predador e como tal é mais afetada pela limitação de recursos em pequenas ilhas oceânicas, o que pode promover a evolução de dimensões mais reduzidas (Taylor, 2004). Já foi indicado noutras investigações que no caso das corujas das torres, o elevado polimorfismo da coloração está associado a várias características (Roulin, 2004). Aparentemente, uma coloração mais escura, como acontece com a coruja de São Tomé, está associada a um maior grau de agressividade, altruísmo, capacidade de dispersão e ao tipo de habitat (Roulin, 2019). A agressividade pode ser explicada com uma eventual maior competição intra-específica devido à menor disponibilidade de recursos. O altruísmo e a maior capacidade de dispersão podem estar relacionados também com a menor quantidade de recursos. Se existe menos alimento, um maior nível de altruísmo pode garantir a sobrevivência das crias, e a maior capacidade de dispersão pode aumentar a probabilidade de consumo energético. Segundo Roulin, as corujas que apresentem uma plumagem mais clara tendem a estar mais associadas a floresta enquanto as corujas com plumagem mais escura tendem a estar associadas a habitats mais abertos, como campos de cultivo. Possivelmente, esta adaptação na coloração confere uma maior capacidade de camuflagem para cada tipo de habitat. Tendo em conta que nos baseamos em poucas vocalizações de poucos indivíduos e poucas populações, a única

conclusão viável que conseguimos tirar é que de facto, existe uma grande variabilidade vocal no grupo da coruja-das-torres. Futuramente, seria aconselhável estudar mais a fundo as vocalizações das populações de coruja-das-torres, uma vez que até agora a escassez de gravações de qualidade e comparáveis de populações insulares tem dificultado estes estudos.

A colonização de ilhas promove os processos de divergência e especiação, em especial em pequenas ilhas oceânicas isoladas (Losos & Ricklefs, 2009; Aleixandre et al, 2013) como São Tomé. O processo de especiação em isolamento está subjacente à formação de todas, ou quase todas, as espécies de aves (Price, 2008) e a coruja-das-torres de São Tomé não foge à regra. Até ao momento, já foram registados casos de especiação em isolamento noutras populações insulares de *Tyto*. Alguns dos casos registados nas tytonidae são: Madagáscar (*Tyto soumagnei*), Sulawesi (*Tyto inexpectata* e *Tyto rosenbergii*), arquipélago de Bismarck (*Tyto manusi*), Tasmânia (*Tyto castanops*), Hispaniola (*Tyto glaucops*) e Ilhas Sula (*Tyto nigrobrunnea*) (White & Kiff, 2000). Enquanto populações como a de Cabo Verde, Canárias e Sardenha permanecem com o estatuto de subespécie (*T. a. detorta*, *T. a. gracilirostris* e *T. a. ernesti*, respetivamente), pois não diferem o suficiente em coloração, morfometria ou geneticamente (Bourne, 1955). A aparência que a *T. a. detorta* apresenta em termos de coloração com a *T. a. thomensis*, não se reflete numa proximidade filogenética. Isto talvez se deva a uma isolação ou evento de colonização mais recente por parte da população de corujas de Cabo Verde (Uva et al, 2018).

Os dados moleculares e fenotípicos reunidos neste estudo constituem fontes de informação independentes. Todos eles apontam para o tratamento da população de corujas de São Tomé como uma espécie irmã da coruja-das-torres do oeste, *Tyto alba*, que inclui pelo menos 8 subespécies afro-europeias. O reconhecimento desta população como uma espécie distinta irá acrescentar mais uma espécie de ave endémica a São Tomé, ilha já reconhecida como tendo o maior número de aves endémicas a nível mundial em relação à sua área (Stattersfield, 1998). Este processo vem reforçar a importância de São Tomé e Príncipe como um centro de endemismo de importância mundial.

4.1.2. Ecologia da coruja-das-torres de São Tomé

A coruja-das-torres de São Tomé apresenta uma preferência por zonas ecologicamente degradadas, evitando as florestas. Estudos anteriores indicaram que a coruja-das-torres *sensu lato* tem preferências de habitat semelhantes em toda a sua área de distribuição mundial (Bruce et al, 2019), incluindo em São Tomé (Leventis & Olmos, 2009; De Naurois, 1983). Esta preferência tem sido associada à maior disponibilidade de alimento e de locais de nidificação neste tipo de ambientes (Meek et al, 2009). Sendo esta uma espécie endémica da ilha, a sua adaptação à presença humana poderá ser relativamente recente, visto que apenas existe presença humana na ilha há cerca de 520 anos (Seibert, 2006). Este facto indica a sua plasticidade e a sua ocorrência em zonas com maior risco de perseguição. Algumas investigações sugerem que esta espécie alterou as preferências alimentares e de habitat após o desenvolvimento da agricultura, evoluindo neste processo hábitos comensais (Hindmark & Elliot, 2014). No caso de São Tomé, esta espécie provavelmente sempre terá ocorrido em áreas mais abertas, privilegiando o litoral, possivelmente alimentando-se de pequenos mamíferos como os musaranhos ou alguns morcegos, ou de outros invertebrados e aves, (Goutner & Alivizatos, 2003) mas pode ter beneficiado da introdução de roedores (Dutton, 1994).

Apesar da maioria de outras populações de coruja-das-torres *sensu lato* nidificarem em edifícios abandonados (Charter et al, 2012), a coruja-das-torres de São Tomé parece nidificar exclusivamente em cavidades de árvores (Leventis & Olmos, 2009), à semelhança da coruja endémica de Madagáscar (*Tyto soumagnei*) e da Tasmânia (*Tyto castanops*) (Thorstrom et al, 2000; Todd, 2012). Existe uma forte

relação entre o número de árvores e a ocorrência de corujas, sendo que neste caso a ocorrência de corujas aumenta quando o número de árvores no local diminui. Sendo que, estas corujas necessitam de árvores suficientemente grandes para conseguirem nidificar, provavelmente locais com um menor número de árvores pode significar a existência de árvores maiores que ocupem mais espaço, explicando a preferência das corujas por este tipo de locais. Também temos de ter em conta que é possível que as corujas nidifiquem em zonas de floresta mais densa, mas que sejam detetadas sobretudo em zonas de caça, que podem ser mais abertas. Em São Tomé, onde a vegetação original dominante era floresta de chuva (Jones & Tye 2006), um número mais reduzido de árvores é considerado um indício de degradação do habitat, ou de um habitat mais aberto (Francis et al 2005). De qualquer forma, um menor número de árvores reflete espaços mais abertos favoráveis aos métodos de predação das corujas das torres, pois confere maior facilidade para deteção das presas. Registou-se também uma relação entre a ocorrência da espécie e o declive, com preferência por áreas com declive mais acentuado. Estudos anteriores mencionaram a preferência que algumas espécies de corujas revelam por declives maiores, justificada com a influência desta variável na predação por parte das corujas (Bond et al, 2009; Roulin, 2019): áreas com maior declive podem oferecer maior visibilidade das presas para além de serem menos acessíveis aos habitantes locais para atividades agrícolas ou pastoreio (Piorecki & Prescott, 2006).

A coruja-das-torres é mais frequente no sul de São Tomé, onde aparentemente existe uma menor perseguição direta. Os inquéritos realizados em simultâneo com os transetos sugeriram que a perseguição direta é a principal ameaça a esta espécie e que a população local revela um escasso conhecimento sobre a espécie. Foi possível observar que esta perseguição se deve ao consumo de carne deste animal (prática sobretudo ocasional) e a superstições, que associam a coruja a atos de feitiçaria. A perseguição direta a aves de rapina é um importante desafio de conservação, com práticas antigas de caça a este grupo de animais (McMillan, 2011). Trabalhos de sensibilização revelam uma tendência crescente para a adoção de hábitos conservacionistas (Martínez-Abraín et al, 2008). Esta tendência parece circunscrita aos países mais desenvolvidos, enquanto nos países emergentes continuam a registar-se níveis elevados de perseguição direta a aves de rapina (Sarasola, 2010). É necessária a realização de projetos de sensibilização em São Tomé, de maneira a aumentar exponencialmente o conhecimento das pessoas sobre a coruja-das-torres. O público-alvo deste tipo de projetos deverá ser maioritariamente constituído pelas comunidades rurais que têm contacto regular com as áreas de ocorrência das corujas, visto que são estas que podem produzir um impacto positivo na conservação desta espécie. A principal mensagem a transmitir nestes projetos deverá ser o endemismo e a dieta da espécie em questão. Alertar os cidadãos de São Tomé que este animal apenas existe no seu país e que caça roedores, uma das principais causas de estragos das plantações (Clarence-Smith, 1993). Deste modo os agricultores deverão ficar aliados desta coruja e inclusive promover a conservação desta espécie como controlo natural de pragas.

Outra grande ameaça que esta espécie atravessa é a exploração madeireira (Lima et al, 2017). As árvores grandes, com maior probabilidade de terem cavidades para a coruja-das-torres nidificar, são as mais afetadas neste processo. A perturbação antropogénica aumenta com a exploração madeireira (Shaheen et al, 2011) podendo acrescentar severidade à perseguição direta sentida na área. De maneira a reduzir o impacto destas atividades na população de corujas, seria eficaz proceder à proteção das árvores com indícios de ocupação de corujas e à redução da perturbação humana (Löhmus, 2005). Também se poderia realizar um estudo-piloto com caixas ninho, para ver se casais reprodutores da coruja-das-torres de São Tomé se adaptariam a nidificar nas caixas.

Em investigações futuras, deveria ser verificada a diversidade desta população a nível genético, morfológico e ecológico e confirmar certas características ecológicas que até agora permanecem desconhecidas, como o número médio de crias por casal reprodutor e a tendência populacional.

4.1.3. Conservação

Visto que este estudo aponta para que a população endémica de coruja-das-torres de São Tomé seja uma nova espécie e que temos evidências para afirmar que esta espécie se encontra ameaçada, sugerimos aqui um estatuto de conservação. Considerámos todos os indivíduos desta espécie como pertencentes à mesma população. De acordo com a definição da UICN, o termo “localização” é definido como uma área distinta geograficamente ou ecologicamente em que um único processo de ameaça pode afetar rapidamente todas as ocorrências num determinado tipo de ecossistema (IUCN, 2018). Identificámos que a população de corujas das torres de São Tomé se encontra com o estatuto “Em Perigo” (EN), de acordo com os critérios extensão de ocorrência (B1). A ilha de São Tomé tem uma extensão de 857 km², logo, a extensão de ocorrência desta população é inferior a 5000 km². Além disso, a população de corujas encontra-se restrita a uma única localização (a), e inferimos e projetamos um declínio continuado (b) na área de ocupação (ii), na qualidade do habitat (iii) e no número de indivíduos maduros (v) – EN: B1 a); B1 b) (ii,iii,v).

De uma forma geral a distribuição da coruja-das-torres de São Tomé aparenta coincidir com zonas de densidade populacional humana baixa. Tendo em conta os níveis elevados de perseguição que estas corujas aparentam enfrentar, não surpreende que, apesar de preferirem zonas humanizadas, sejam menos frequentes em zonas com elevadas densidades populacionais, tal como verificado noutros locais (Sarasola, 2010; Rebolo-Ifran et al, 2017). É um resultado deveras interessante, pois sugere uma rápida adaptação desta espécie a habitats mais alterados, enquanto suporta apenas um nível de perturbação intermédio (Gesli et al, 2006). Para se conseguir conservar esta população, seria vantajoso reduzir a pressão direta e considerá-la como um método natural de controlo de roedores (Bontzorlos, 2005), já que as corujas se alimentam de roedores presentes em São Tomé como *Rattus rattus* e *Mus musculus* (Dutton, 1994; Colvin & McLean, 1986).

De facto, existem muitas incertezas sobre várias populações tropicais (Bruce et al, 2019) e a população endémica de São Tomé não foge à regra. Portanto, para guiar e avaliar os esforços de conservação para a coruja-das-torres de São Tomé será necessário estabelecer um plano de monitorização da sua população (Gaston & Fuller, 2008; Flather et al, 2011). Esta monitorização pode ser integrada dentro dos esforços de monitorização já em curso ou planeados para outras espécies no país (ECOFAC, 2018).

5. Considerações finais

A obtenção de informação taxonómica e ecológica sobre a coruja-das-torres de São Tomé permitiu aumentar o conhecimento sobre esta população. Consideramos que existem argumentos para considerar esta população como uma espécie distinta, endémica de São Tomé, nomeadamente valores de diferenciação genética, asas e cauda mais curtas, e uma coloração mais escura, com menos manchas, mas manchas maiores do que as outras populações de coruja-das-torres. Além disso esta população prefere zonas de plantação com elevado declive, baixas densidades de árvores e de pessoas, e em particular o sul da ilha. Propomos que esta população adquira o estatuto "Em Perigo", tendo em conta a reduzida área de distribuição e a diminuição populacional suspeita, face a numerosas ameaças, tais como a pressão direta de caça e a degradação do habitat.

Os resultados obtidos neste estudo vêm reforçar a necessidade de uma investigação mais profunda sobre esta população endémica, visto que ainda existem muitas lacunas no conhecimento, por exemplo no que toca a biologia reprodutora e alimentar. É também necessário atuar junto dos habitantes locais, demonstrando o potencial das corujas como controlo de roedores nas plantações.

Esperamos que este trabalho possa servir como modelo para investigações futuras que visem aumentar o conhecimento taxonómico e ecológico sobre esta população.

6. Referências bibliográficas (segundo as normas da revista Biodiversity and Conservation)

- Alexandre, P., Montoya, J. H., Mila, B. (2013). Speciation on oceanic islands: Rapid adaptive divergence vs. cryptic speciation in a Guadalupe Island songbird (Aves: Junco). *PLoS ONE*, 8(5), e63242.
- Atkinson, P., Alexander, J., Peet, N. (1994). A study of the birds, small mammals, turtles and medicinal plants of Sao Tome with notes on Principe. *Bird Conservation International*, 56, 14-35
- Birdlife.org (2018) BirdLife Species Occurrence Database. Available: <http://www.ebird.org>. (Accessed: 10th July 2018).
- Boersma, P., Weenink, D. (2019). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.1, retrieved 22 June 2019 from <http://www.praat.org/>
- Bond, M., Lee, D., Siegel, R., Ward, J. (2009). Habitat use and selection by California spotted owls in a postfire landscape. *Journal of Wildlife Management*, 73, 1116-1124
- Bontzorlos, V., Peris, S., Vlachos, C., Bakaloudis, D. (2005). The diet of barn owl in the agricultural landscapes of central Greece. *Folia Zoologica*, 54, 99-110
- Brandes, T.S. (2008). Automated sound recording and analysis techniques for bird surveys and conservation. *Bird Conservation International*, 18, 163-173
- Bridge, E.S., Jones, A.W., Baker, A.L. (2005). A phylogenetic framework for the terns (Sternini) inferred from mtDNA sequences: implications for taxonomy and plumage evolution. *Molecular phylogenetics and evolution*, 2, 459-469
- Bob, W.P., Pieterse, S., Jongsma, J., By, R. (2019). Xeno-Canto database, accessed 9 July 2019 from www.xeno-canto.org
- Bourne, W. R. P. (1955). The birds of the Cape Verde islands. *Ibis*, 3, 508-556
- Bruce, M.D., Christie, D.A., Kirwan, G.M. & Marks, J.S. (2019). Common Barn-owl (*Tyto alba*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds.). Handbook of the Birds of the World Alive. *Lynx Edicions*, Barcelona. (retrieved from <https://www.hbw.com/node/54929> on 1 May 2019).
- Buchanan, G. M., Donald, P. F., & Butchart, S. H. (2011). Identifying priority areas for conservation: a global assessment for forest-dependent birds. *PloS one*, 12, 1-10.

- Cardoso, G. (2011). Paradoxical calls: the opposite signaling role of sound frequency across bird species. *Behavioral Ecology*, 23, 237-241
- Chan, Y.N. (2003). Biostatistics 102: Quantitative Data – Parametric & Non-parametric Tests. *SMJ*, 44, 391-396
- Charter, M., Leshem, Y., Meyrom, K., Peleg, O., Roulin, A. (2012). The importance of micro-habitat in the breeding of Barn Owls *Tyto alba*. *Bird Study*, 59, 368-271
- Chefaoui, R.M., Lobo, J.M. (2008). Assessing the effects of pseudo-absences on Predictive distribution model performance. *Ecological Modelling*, 10, 473-486
- Clarence-Smith, W. G. (1993). Labour conditions in the plantations of São Tomé and Príncipe, 1875–1914. *Slavery and Abolition*, 1, 149-167.
- Colvin, B. A., & McLean, E. B. (1986). Food habits and prey specificity of the common barn owl in Ohio. *Ohio Journal of Science*, 1, 76-80
- Conway, C.J., Gibbs, J.P. (2005). Effectiveness of call-broadcast surveys for monitoring marsh birds. *The Auk*, 122, 26-35
- Croci, S., Butet, A., Clergeau, P. (2008). Does urbanization filter birds on the basis of their biological traits? *The Condor*, 110, 223-240
- in small catchments for landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 54, 311-324
- De Naurois, R. (1983). Falconidae, Psittacidae et Strigiformes des îles de Sao Tomé et Príncipe (Golfe de Guinée). *Biodiversity Heritage Library*, 4, 429-451
- del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & Kirwan, G. (eds.) (2019). Handbook of the Birds of the World Alive. *Lynx Edicions*, Barcelona. (retrieved from <http://www.hbw.com/> on 26 January 2019)
- Drummond, A.J., Suchard, M.A., Xie, D., Rambaut, A. (2012). Bayesian Phylogenetics with BEAUTi and the BEAST 1.8. *Molecular Biologic Evolution*, 29, 1969-1973
- Dutton, J. (1994). Introduced mammals in Sao Tome and Principe: possible threats to biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 3, 927-938
- eBird (2018). eBird: An online database of bird distribution and abundance [web application]. eBird, Ithaca, New York. Available: <http://www.ebird.org>. (Accessed: 10th July 2018)
- ECOFAC São Tomé e Príncipe (2018). Melhorar a proteção da biodiversidade e dos

- ecossistemas ameaçados dos parques naturais de São Tomé e Príncipe e das respectivas zonas periféricas. *Birdlife International*
- Fastl, H. (2006). Psychoacoustics Basis of Sound Quality Evaluation and Sound Engineering, *AG Technische Akustik*, 1, 1-16
- Fifas, S., & Berthou, P. (1999). An efficiency model of a scallop (*Pecten maximus*, L.) experimental dredge: sensitivity study. *ICES Journal of Marine Science*, 56, 489-499.
- Flather, C., Hayward, G., Beissinger, S., Stephens, P. (2011). Minimum Viable Populations: is there a “magic number” for conservation practitioners?. *Trends in Ecology and Evolution*, 26, 1-10
- Francis, G., Edinger, R., Becker, K. (2005). A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum*, 29, 12-24
- Gasc, A., Sueur, J., Jiguet, F., Devictor, V., Grandcolas, P., Burrow, C., Depraetere, M., Pavoine, S. (2013). Assessing biodiversity with sound: Do acoustic diversity Indices reflect phylogenetic and functional diversities of bird communities? *Ecological indicators*, 25, 279-287
- Gaston, K., Fuller, R. (2008). Commonness, population depletion and conservation biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 23, 1-6
- GBIF.org (2018) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.wgywjx> (Accessed 10th July 2018)
- Gesli, T., Eybert, M., Radureau, A.(2006). Influence of natural and anthropic perturbations on the distribution of salt marsh breeding birds in the Mont-Saint-Michel Bay. *Cahiers de Biologie Marine*, 47, 23-30
- Gill, F., Donsker, D. (2018) *IOC World bird list*, 9, doi: 10.14344/IOC.ML.9.2
- Golawski, A, Kasprzykowski, W. (2006). Habitat use of the Barn Owl *Tyto alba* and the Little Owl *Athene noctua* in central-eastern Poland. *Biological Letters*, 43, 33-39.
- Goutner, V., Alivizatos, H. (2003). Diet of the barn owl (*Tyto alba*) and little owl (*Athene noctua*) in wetlands of northeastern Greece. *Belgian Journal of Zoology*, 1, 15-22

- Guisan, A., Weiss, S.B., Weiss, A.D. (1999). GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*, 143, 107-122
- Hindmark, S., Elliot, J. (2014). A specialist in the city: the diet of barn owls along a rural to urban gradient. *Urban Ecosystems*, 18, 477-488 [IUCN] World Conservation Union (2019). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-2. <http://www.iucnredlist.org>. Downloaded on 18 July 2019.
- [IUCN] World Conservation Union (2018). 2018 IUCN Threats Classification Scheme (Version 3.2). Available: <https://www.iucnredlist.org/resources/threat-classification-scheme> via Internet. Accessed 10 January 2019
- Johns GC, Avise JC (1998) A comparative summary of genetic distances in the vertebrates from the mitochondrial cytochrome b gene. *Molecular Biology and Evolution*, 15, 1481-1490.
- Jones, P.J. (1994). Biodiversity in the Gulf of Guinea: an overview. *Biodiversity and Conservation*, 3, 772-784
- Jones, P.J., Tye, A. (2006). The Birds of São Tomé & Príncipe, with Annobón, islands of the Gulf of Guinea: an annotated checklist. *British Ornithologists' Union*, 1, 1-139
- Johnson, T.H., Stattersfield, A.J (1990). A global review of island endemic birds. *Ibis*, 2, 167-180
- Johnson, J.W. (2010). A heuristic method for estimating the relative weight of predictor variables in multiple regression. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 1-19
- Kuhn, M. (2008). Building Predictive Models in R Using the caret Package. *Journal of Statistical Software*, 28, 1-26
- Lima, R.F., Sampaio, H., Dunn, J.C., Cabinda, G., Fonseca, R., Oquiongo, G., Oquiongo, J., Samba, S., Santana, A., Soares, E., Viegas, L., Ward-Francis, A., Costa, L.T., Palmeirim, J.M., Buchanan, G.M. (2017). Distribution and habitat associations of the critically endangered bird species of São Tomé Island (Gulf of Guinea). *Bird Conservation International*, 27, 455-469
- Leonard, M., Horn, A. (2005). Ambient noise and the design of begging signals. *Royal Society*, 272, 651-656

- Leventis, A.P., Olmos, F. (2009). The Birds of São Tome and Principe: a Photoguide. *Aves & Fotos Editora*, 1, 10-16
- Lõhmus, A. (2005). Are timber harvesting and conservation of nest sites of forest-dwelling raptors always mutually exclusive?. *In Animal Conservation forum*, 8, 443-450. Cambridge University Press.
- Lomolino MV, van der Geer AA, Lyras GA, et al. (2013) Of mice and mammoths: generality and antiquity of the island rule. *Journal of Biogeography*, 40, 1427-1439.
- Losos, J. B., Ricklefs, R. E. (2009). Adaptation and diversification on islands. *Nature*, 457, 830-836
- Martínez-Abrain, A., Crespo, J., Jiménez, J., Pullin, A., Stewart, G., Oro, D. (2008). Friend or Foe: Societal Shifts from intense persecution to active conservation of top predators. *Ardeola*, 55, 111-119
- McMillan, R.L. (2011). Raptor persecution on a large Perthshire estate: a historical study. *Scottish Birds*, 31, 195-205
- Meek, W., Burman, P., Nowakowski, M., Sparks, T., Hill, R., Sweetnam, R., Burman, N. (2009). Habitat does not influence breeding performance in a long-term Barn Owl *Tyto alba* study. *Bird study*, 56, 369-380
- Meier, R, Vaidya, G., Lohman, D. J. (2010) SequenceMatrix: concatenation software for the fast assembly of multi-gene datasets with character set and codon information. *Cladistics*, early view.
- Melo, M., Bowie, R.C.K., Voelker, G., Dallimer, M., Collar, N.J., Jones, P.J. (2010). Multiple lines of evidence support the recognition of a very rare bird species: the Príncipe thrush. *Journal of Zoology*, 282, 120-129
- Miller, M. A., Pfeiffer, W., & Schwartz, T. (2012, July). The CIPRES science gateway: enabling high-impact science for phylogenetics researchers with limited resources. *In Proceedings of the 1st Conference of the Extreme Science and Engineering Discovery Environment: Bridging from the eXtreme to the campus and beyond* (p. 39). ACM.
- Peet, N., Atkinson, P. (1994) The biodiversity and conservation of the birds of Sao Tome and Principe. *Biodiversity and Conservation*, 3, 851-867
- Piorecki, M., Prescott, D. (2006). Multiple spatial scale logistic and autologistic habitat selection models for northern pygmy owls, along the eastern slopes of Alberta's Rocky Mountains. *Biological Conservation*, 126, 360-371
- Price, T. (2008). Speciation in birds. *Roberts and Company*, Greenwood Village,

Colorado.

- QGIS Development Team, 2009. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. URL <http://qgis.org>
- Rambaut, A., Suchard, M.A., Xie, D., Drummond, A.J. (2009). FigTree 1.4.2. Available from (<http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree>)
- Rambaut A, Drummond AJ, Xie D, Baele G and Suchard MA (2018) Posterior summarisation in Bayesian phylogenetics using Tracer 1.7. *Systematic Biology*, syy032. doi:10.1093/sysbio/syy032
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rebollo-Ifran, N., Tella, J., Carrete, M. (2017). Urban conservation hotspots: predation release allows the grassland-specialist burrowing owl to perform better in the city. *Scientific Reports*, 7, 1-9
- Ritschard, M., Riebel, K., Brumm, H. (2010). Female zebra finches prefer high-amplitude song. *Animal Behaviour*, 4, 877-883.
- Roulin, A. (2004). Covariation between plumage color polymorphism and diet in the barn owl *Tyto alba*. *Ibis*, 3, 509-517.
- Roulin, A. (2019). Evolution and maintenance of genetic color polymorphism. *Department of ecology and evolution, Université de Lausanne*.
- Sangster, G., King, B.F., Verbelen, P., Trainor, C.R. (2013). A new owl species of the genus *Otus* (Aves: Strigidae) from Lombok, Indonesia. *PLoS ONE*, 8, 1-13
- Sarasola, J., Santillan, M., Galmes, M. (2010). Crowned eagles rarely prey on livestock in central Argentina: persecution is not justified. *Endangered Species Research*, 11, 201-213
- Seibert, K. G. (2006). Comrades, clients and cousins: colonialism, socialism and democratization in São Tomé and Príncipe, *Brill*, 13, 1-20
- Shaheen, H., Qureshi, R. A., Ullah, Z., & Ahmad, T. (2011). Anthropogenic pressure on the western Himalayan moist temperate forests of Bagh, Azad Jammu & Kashmir. *Pakistan Journal of Botany*, 1, 695-703.
- Soares, F. (2017). Modelling the distribution of São Tomé bird species: ecological determinants and

- conservation prioritization. *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*, 1, 1-94
- Stamatakis, A., Ludwig, T., & Meier, H. (2004). RAxML-III: a fast program for maximum likelihood-based inference of large phylogenetic trees. *Bioinformatics*, 21, 456-463.
- Stattersfield, A. J. (1998). Endemic Bird Areas of the World-Priorities for Biodiversity Conservation. *Bird Life International*.
- Su, J. G., Jerrett, M., & Beckerman, B. (2009). A distance-decay variable selection strategy for land use regression modeling of ambient air pollution exposures. *Science of the total environment*, 12, 3890-3898.
- Taylor, I. (2004). Barn owls: predator-prey relationships and conservation. *Cambridge University Press*.
- Thorstrom, R., Rene de Roland, L. (2000). Status and conservation of raptors on the Masoala Peninsula, Madagascar. *Raptors at risk. Hancock House Publishers, Surrey*, 35-41
- Todd, M. K. (2012). Ecology and habitat of a threatened nocturnal bird, the Tasmanian Masked Owl. *University of Newcastle*
- Uva, V., Martin, P., Alice, C., Luca, F., Alexandre, R. (2018). Comprehensive molecular phylogeny of barn owls and relatives (Family:Tytonidae), and their six major Pleistocene radiations. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 125, 127-137
- Verbelen, P. (2014). *Tyto alba thomensis* vocal variation. Xeno-canto Online Articles, <http://www.xeno-canto.org/feature-view.php?blognr=130> (downloaded 7 October 2018)
- Walsh, B. (2004). Markov Chain Monte Carlo and Gibbs Sampling. *Lecture Notes for EEB*, 581, 1-22
- Warren, P., Katti, M., Ermann, M., Brazel, A. (2006). Urban bioacoustics: it's not just noise. *Animal behavior*, 71, 491-502
- White, C.M., Kiff, L.F. (2000). Biodiversity, island raptors and species concepts. *Raptors at risk*, 633-652
- Wikelski, M., Foufopolos, J., Vargas, H., Snell, H. (2004). Galápagos Birds and Diseases: Invasive Pathogens as Threats for Island Species. *Ecology and Society*, 1, 1-10.
- Won, Y. J., Sivasundar, A., Wang, Y., & Hey, J. (2005). On the origin of Lake Malawi cichlid species: a population genetic analysis of divergence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*,

6581-6586.

Zollinger, S., Podos, J., Nemeth, E., Goller, F., Brumm, H. (2012). On the relationship between, and measurement of, amplitude and frequency in birdsong. *Animal behaviour*, 84, 1-9

7. Anexos

1 Residential & commercial development

- 1.1 Housing & urban areas
- 1.2 Commercial & industrial areas
- 1.3 Tourism & recreation areas

2 Agriculture & aquaculture

- 2.1 Annual & perennial non-timber crops
 - 2.1.1 Shifting agriculture
 - 2.1.2 Small-holder farming
 - 2.1.3 Agro-industry farming
 - 2.1.4 Scale Unknown/Unrecorded
- 2.2 Wood & pulp plantations
 - 2.2.1 Small-holder plantations
 - 2.2.2 Agro-industry plantations
 - 2.2.3 Scale Unknown/Unrecorded
- 2.3 Livestock farming & ranching
 - 2.3.1 Nomadic grazing
 - 2.3.2 Small-holder grazing, ranching or farming
 - 2.3.3 Agro-industry grazing, ranching or farming
 - 2.3.4 Scale Unknown/Unrecorded
- 2.4 Marine & freshwater aquaculture
 - 2.4.1 Subsistence/artisanal aquaculture

3 Energy production & mining

- 3.1 Oil & gas drilling
- 3.2 Mining & quarrying
- 3.3 Renewable energy

4 Transportation & service corridors

- 4.1 Roads & railroads
- 4.2 Utility & service lines
- 4.3 Shipping lanes
- 4.4 Flight paths

5 Biological resource use

5.1 Hunting & collecting terrestrial animals

5.1.1 Intentional use (species being assessed is the target)

5.1.2 Unintentional effects (species being assessed is not the target)

5.1.3 Persecution/control

5.1.4 Motivation Unknown/Unrecorded

5.2 Gathering terrestrial plants

5.2.1 Intentional use (species being assessed is the target)

5.2.2 Unintentional effects (species being assessed is not the target)

5.2.3 Persecution/control

5.2.4 Motivation Unknown/Unrecorded

5.3 Logging & wood harvesting

5.3.1 Intentional use: subsistence/small scale (species being assessed is the target [harvest])

5.3.2 Intentional use: large scale (species being assessed is the target) [harvest]

5.3.3 Unintentional effects: subsistence/small scale (species being assessed is not the target)[harvest]

5.3.4 Unintentional effects: large scale (species being assessed is not the target)[harvest]

5.3.5 Motivation Unknown/Unrecorded

5.4 Fishing & harvesting aquatic resources

5.4.1 Intentional use: subsistence/small scale (species being assessed is the target)[harvest]

5.4.2 Intentional use: large scale (species being assessed is the target) [harvest]

5.4.3 Unintentional effects: subsistence/small scale (species being assessed is not the target)[harvest]

5.4.4 Unintentional effects: large scale (species being assessed is not the target)[harvest]

5.4.5 Persecution/control

5.4.6 Motivation Unknown/Unrecorded

6 Human intrusions & disturbance

- 6.1 Recreational activities
- 6.2 War, civil unrest & military exercises
- 6.3 Work & other activities

7 Natural system modifications

- 7.1 Fire & fire suppression
 - 7.1.1 Increase in fire frequency/intensity
 - 7.1.2 Suppression in fire frequency/intensity
 - 7.1.3 Trend Unknown/Unrecorded
- 7.2 Dams & water management/use
 - 7.2.1 Abstraction of surface water (domestic use)
 - 7.2.2 Abstraction of surface water (commercial use)
 - 7.2.3 Abstraction of surface water (agricultural use)
 - 7.2.4 Abstraction of surface water (unknown use)
 - 7.2.5 Abstraction of ground water (domestic use)
 - 7.2.6 Abstraction of ground water (commercial use)
 - 7.2.7 Abstraction of ground water (agricultural use)
 - 7.2.8 Abstraction of ground water (unknown use)
 - 7.2.9 Small dams
 - 7.2.10 Large dams
 - 7.2.11 Dams (size unknown)
- 7.3 Other ecosystem modifications

8 Invasive & other problematic species, genes & diseases

- 8.1 Invasive non-native/alien species/diseases
 - 8.1.1 Unspecified species
 - 8.1.2 Named species
- 8.2 Problematic native species/diseases
 - 8.2.1 Unspecified species
 - 8.2.2 Named species
- 8.3 Introduced genetic material
- 8.4 Problematic species/diseases of unknown origin
 - 8.4.1 Unspecified species
 - 8.4.2 Named species
- 8.5 Viral/prion-induced diseases
 - 8.5.1 Unspecified "species" (disease)
 - 8.5.2 Named "species" (disease)
- 8.6 Diseases of unknown cause

9 Pollution

- 9.1 Domestic & urban waste water
 - 9.1.1 Sewage
 - 9.1.2 Run-off
 - 9.1.3 Type Unknown/Unrecorded
- 9.2 Industrial & military effluents
 - 9.2.1 Oil spills
 - 9.2.2 Seepage from mining
 - 9.2.3 Type Unknown/Unrecorded

10 Geological events

- 10.1 Volcanoes
- 10.2 Earthquakes/tsunamis
- 10.3 Avalanches/landslides

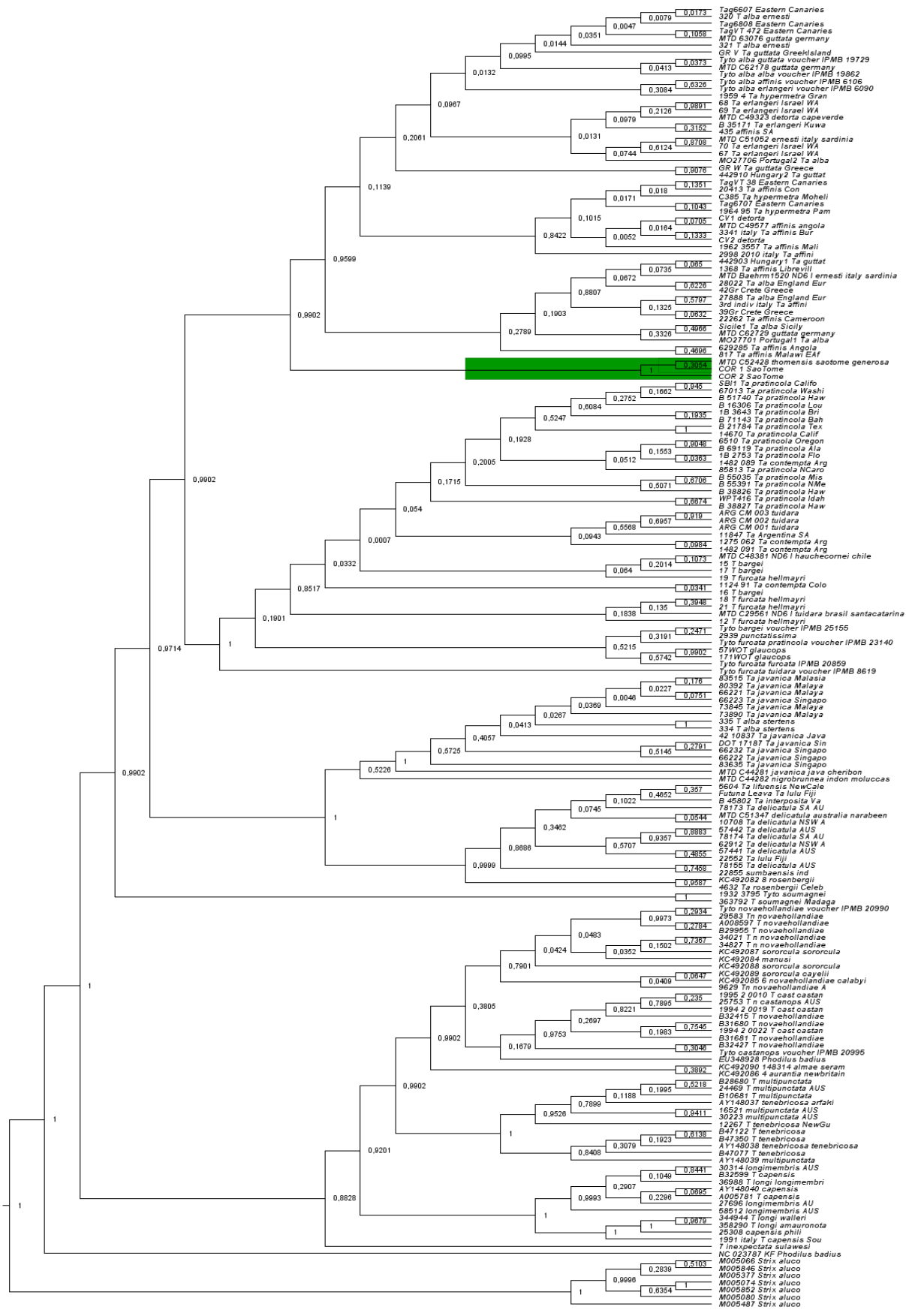
11 Climate change & severe weather

- 11.1 Habitat shifting & alteration
- 11.2 Droughts
- 11.3 Temperature extremes
- 11.4 Storms & flooding
- 11.5 Other impacts

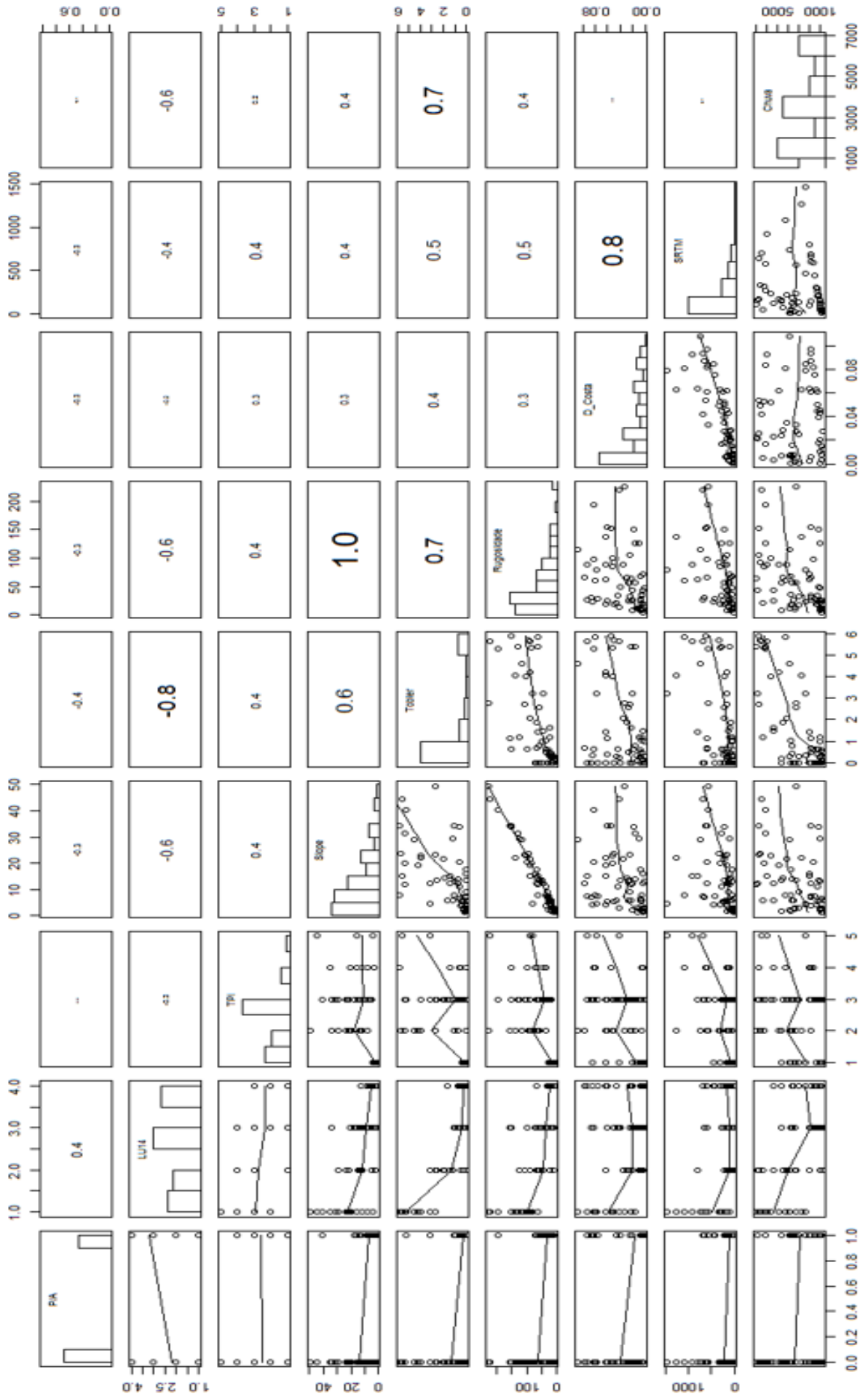
12 Other options

- 12.1 Other threat

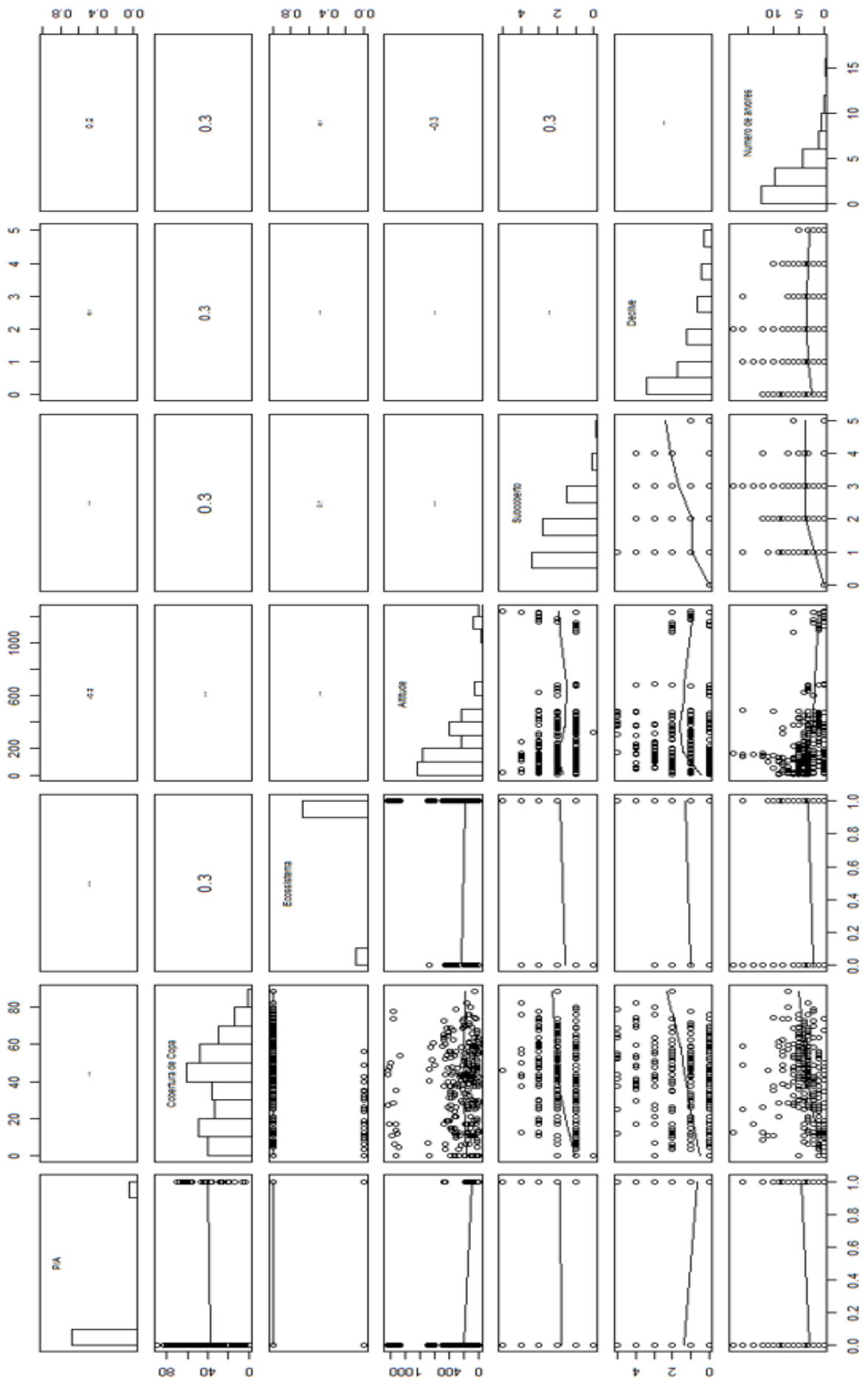
Anexo A.1- Esquema de categorias da UICN de possíveis ameaças detetadas num transeto. Para cada ameaça foi atribuído um valor de tempo de ocorrência, abrangência e severidade



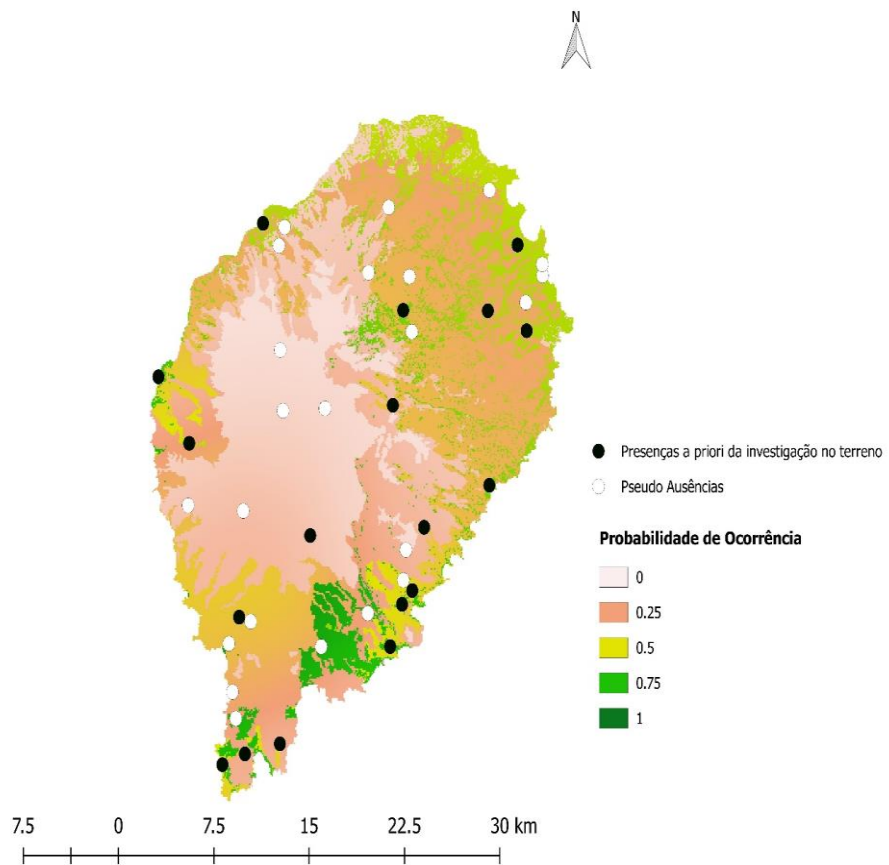
Anexo A.2- Árvore BI/ML: representação da filogenia molecular da família Tytonidae através de Inferência Bayesiana e Máxima Verossimilhança, com valores de probabilidade posterior, baseada na análise de 5 marcadores mitocondriais e 2 nucleares. Amostras de *Tyto alba thomensis* destacadas a verde.



Anexo A.3- Gráfico de colinearidade das variáveis ambientais. P/A = presença/ausência de corujas; LU14 = uso do terreno de São Tomé em 2014; slope = declive do terreno; tobler = índice baseado numa superfície de fricção derivada do declive; rugosidade = rugosidade do terreno; d_costa = distância mínima linear em graus decimais, entre cada pixel e o ponto mais próximo da linha de costa; SRTM = índice topográfico de alta resolução baseado na missão topográfica do radar da NASA, chuva = pluviosidade do terreno. As variáveis rugosidade, d_costa e tobler foram removidas da análise por apresentarem uma colinearidade elevada.



Anexo A.4- Gráfico de colinearidade das variáveis medidas no terreno. Variáveis em questão foram utilizadas para modelar a área de distribuição da coruja-das-torres de São Tomé com base na combinação dos registos pré-existent no campo com os registos obtidos em 26 transetos realizados neste estudo.



Anexo A.5 - Mapa preliminar de distribuição potencial da coruja-das-torres em São Tomé. Inclui as presenças registadas antes da investigação no terreno e as pseudo-ausências geradas.