Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa

A influência da bioacústica na evolução da ciência em Portugal.

Interface da bioacústica e monitorização da biodiversidade

Susana Maria Ferreira Pereira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Gestão e Conservação de Recursos Naturais

Orientador: Doutor Paulo Alexandre Magalhães Marques
Coorientador: Doutora Maria Teresa Marques Ferreira da Cunha Cardoso

Júri:
Presidente: Doutora Maria Teresa Marques Ferreira da Cunha Cardoso, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.
Vogais: Doutor Olívio Godinho Patrício, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;
Doutor Paulo Alexandre Magalhães Marques.

Lisboa, 2011

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Paulo Marques, agradeço a oportunidade em realizar este trabalho o qual me despertou novos interesses, assim, como toda a orientação e disponibilidade proporcionadas.

À Professora Maria Teresa Ferreira pelo seu apoio e disponibilidade.

Ao Daniel Magalhães pela ajuda preciosa na elaboração das entrevistas, trabalho de campo e pelas suas recomendações ao longo da execução deste trabalho.

Aos gravadores de sons de animais que se disponibilizaram a responder à entrevista ou ao questionário, alguns dos quais revelaram preciosas opiniões e perspetivas que enriqueceram esta dissertação.

À Rita Reis pelo companheirismo ao longo do mestrado.

À Marina pela amizade e ínumeras recomendações.

À Isabel pela motivação e revisão de alguns textos.

Aos meus Pais pelo apoio e amizade imensuráveis.

RESUMO

Os animais produzem som para vários fins e a maioria das vocalizações exibe características altamente distintivas, usadas na sistemática e, portanto, úteis na documentação da biodiversidade. A documentação e monitorização da biodiversidade revelam-se tarefas centrais na conservação da natureza e o desenvolvimento de novas técnicas de monitorização é especialmente urgente no contexto da atual crise da biodiversidade. A bioacústica mostra-se um instrumento promissor e poderoso para avaliar a biodiversidade. Esta dissertação tem como objetivos a análise histórica da contribuição da bioacústica para o estudo e conservação da biodiversidade em Portugal, compreender como as diferentes técnicas atuais poderão auxiliar na monitorização da biodiversidade e testar alguns aspetos de uma das metodologias mais promissoras.

Este estudo revelou que a primeira gravação bioacústica data de 1977. Desde essa data a bioacústica auxiliou no estudo e documentação de várias espécies e apresentou especial aplicabilidade na conservação de morcegos e cetáceos em Portugal com perspetivas de se estender a outros grupos animais. A revisão atual do conhecimento mostrou que existem ferramentas poderosas usadas na monitorização da biodiversidade cujas limitações tendem a ser rapidamente ultrapassadas. Este estudo revelou ainda que para estimar densidades deve ter-se em conta vários fatores para a calibração destas ferramentas.

Palavras-chave: bioacústica; biodiversidade; técnicas acústicas; história da ciência; monitorização; conservação da natureza

Esta dissertação enquadra-se no conjunto de trabalhos do projeto “Paisagens Acústicas Naturais num Mundo em Mudança” com o objetivo de preservação das gravações como parte do nosso património científico e uma importante fonte de documentação da biodiversidade, no passado e no presente.

ABSTRACT

The animals produce sound for various purposes and the majority of the vocalizations have distinctive characteristics, which are used in the systematics and are useful in the documentation of biodiversity. Monitoring and documenting biodiversity are central tasks in nature conservation and the development of monitoring techniques is especially urgent in the context of the current biodiversity crisis. Bioacoustics proves to be a promising and powerful instrument for assessing biodiversity. This dissertation aims to do an historical analysis of the bioacoustics contribution to the study and conservation of biodiversity in Portugal, to understand how the different recent techniques may assist in monitoring the biodiversity and to test one of the most promising of its methods.

This study has revealed that the first bioacoustics recording dates from 1977. Since then, the bioacoustics helped the study and documentation of various species and had special applicability in the conservation of bats and cetaceans in Portugal, with prospects to extend this applicability to other animal groups. Currently, there are powerful bioacoustics tools used on monitoring biodiversity whose limitations tend to be quickly overcome. This dissertation has also showed that to estimate densities, there must be taken into account a number of different factors to calibrate these tools.

Keywords: bioacoustics; biodiversity; acoustic techniques; history of science, monitoring; conservation of nature

This dissertation is part of the body of work of the project "Natural Acoustic Landscapes in a Changing World" in order to preserve the recordings as part of our scientific heritage and an important source of documentation of biodiversity, past and present.

The influence of bioacoustics in the development of science in Portugal. Interface of bioacoustics and monitoring of biodiversity.

EXTENDED ABSTRACT

The term "biodiversity" is used in a broad sense and can be defined as the number, abundance, composition, spatial distribution and interactions of genotypes, populations, species, type and functional features, and landscape units. Biodiversity in a particular system contributes to human welfare through its effects on the ecosystem processes that are central to the support systems of life on Earth (Mooney et. Al 2008). The current increasing rate of biodiversity loss associated to causes such as changes in land use, exotic species or climate change, urges society to explore and implement new ways to document the biodiversity. The bioacoustics (the study of animal sounds) is a powerful tool to document biodiversity and its use has been growing in recent decades, in monitoring or description of new species. The animals produce sound for various purposes and the majority of the vocalizations have distinctive characteristics that are used in the systematics, and therefore useful in the documentation of biodiversity.

This dissertation is a comprehensive study on the bioacoustics, developing from the combination of history of science, technical review and analysis of a recent technique. Its main aims are to do an historical analysis of the bioacoustics contribution to the study and conservation of biodiversity in Portugal, discuss the relevance of the different techniques for monitoring the especies, populations and comunities and to test one of the most promising of its methods.

Chapter I introduce the concept of bioacoustics and detail the relationship between this discipline, biodiversity and conservation.

The history of bioacoustics in Portugal is developed in Chapter II by analyzing the recordings made in Portugal, who made them and for what purpose. The historical perspective is essential to understanding the present and foreseen the future of this discipline.

In Chapter III the latest bioacoustics techniques are examined through a review of scientific papers. This review is directed to tools used in the monitoring of species, populations and animal communities. Some of the latest techniques of automatic recording and automatic recognition of animal vocalizations are briefly described and their potentialities and limitations characterized.

The experimental analysis of a specific bioacoustics technique is documented in Chapter IV, by investigating the effects of distance, height of the transmitter and receiver, and noise in the detection of sound vocalizations of four species from different taxonomic groups (mammal, bird, insect and frog). One of the most important parts of validation of the method ARS - Automated

Recording System – is to determine under what circumstances the detection of animals distance varies.

Finally, in chapter V the discoveries of the previous chapters are discussed and some potentialities are discussed for the use of bioacoustics techniques in conservation and management of willife.

The first bioacoustics recording dates from 1977. From then until 2010 the number of researchers in Portugal increased, which studies covered several scientific areas. The bioacoustics assisted in the study and documentation of various species and has special applicability in the conservation of bats and cetaceans in Portugal, with prospects to extend to other animal groups such as birds, frogs and insects. Currently, there are powerful bioacoustics tools used in monitoring of biodiversity, such as automatic recording systems and techniques for automatic recognition of animal vocalizations. Although there are some limitations, the characteristic rapid technological development of our times, will lead to greater applicability in biodiversity conservation. This dissertation has also showed that to estimate densities, there must be taken into account a number of different factors to calibrate these tools.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS……ix

LISTA DE TABELAS……..… x

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1. Objetivos da dissertação…….....1

2. Bioacústica: definições, conceitos base, objetivos de estudo e técnicas de campo.....2

3. As propriedades do som……3

4. Os equipamentos usados em bioacústica……4

5. Os grupos animam mais estudados em bioacústica……7

5.1. Insetos……...7

5.2. Peixes……..8

5.3. Anuros e répteis……..8

5.4. Aves……8

5.5. Mamíferos terrestres……..9

5.6. Mamíferos marinhos……9

5.7. Morcegos……9

6. Arquivos de sons de animais……..10

CAPÍTULO II – A HISTÓRIA DA BIOACÚSTICA EM PORTUGAL

1. Introdução……11

2. Objetivos……...12

3. Metodologias……13

3.1. Identificação dos gravadores……..13

3.2. Cobertura taxonómica……..14

3.3. Área geográfica……..14

3.4. Período de atividade……15

4. Resultados……15

5. Discussão……19

CAPÍTULO III – REVISÃO DAS ATUAIS METODOLOGIAS BIOACÚSTICAS USADAS NA MONITORIZAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

1. Introdução……22

2. Técnicas de estudo dos sons dos animais……24

2.1. Gravação automática……24

2.2. Programas de análise de som……29

2.3. Reconhecimento automático de vocalizações – *ACR – Automatic Call Recognition*……29

3. Discussão……34

CAPÍTULO IV – PARTE EXPERIMENTAL: AVALIAÇÃO DE UM ARS - *AUTOMATED RECORDING SYSTEM*

1. Introdução……37

2. Objetivos……38

3. Metodologias……38

3.1. Área de estudo……38

3.2. Sons *playback*……39

3.3. Procedimento experimental……39

3.4. Análise dos sinais……41

3.5. Análise dos dados……41

4. Resultados……42

4.1. Distância de deteção estimada *EDD*……42

4.2. Altura do microfone e posição da coluna……43

4.3. Ruído……44

5. Discussão……46

CAPÍTULO V – DISCUSSÃO FINAL

1. O desenvolvimento da bioacústica em Portugal e a sua relação com o estudo e conservação da biodiversidade……..48

2. Potencialidades da bioacústica numa perspetiva taxonómica……..49

2.1. Morcegos……...49

2.2. Mamíferos marinhos……..50

2.3. Aves……...50

2.4. Anuros……52

2.5. Insetos……52

2.6. Mamíferos terrestres……..53

3. Potencialidades da bioacústica numa perspetiva geral……..53

BIBLIOGRAFIA……55

ANEXOS……63

Anexo I - Entrevista ou inquérito usado no estudo da história da bioacústica em Portugal.

Anexo II - Projetos de gestão e conservação da vida selvagem que recorreram à bioacústica.

Anexo III - Lista de *taxa* gravados em Portugal

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Audioespectrograma representativo de uma parte de uma gravação realizada na Serra da Estrela na primavera de 2011, no qual se observa vocalizações de morcego, inseto e ave.

Figura 2 - Áreas científicas em que a bioacústica é mais usada. Variação do número de investigadores dedicados ao estudo da bioacústica nas diferentes áreas de conhecimento no período de 1977 a 2010.

Figura 3 - Cobertura taxonómica da investigação em bioacústica. Variação do número de investigadores dedicados a cada grupo taxonómico (A) e a média de anos de atividade por investigador (B) em Portugal no período de 1977 a 2010.

Figura 4 - Variação temporal do número de investigadores a trabalhar na área da bioacústica em Portugal no período de 1977 a 2010.

Figura 5 - Cobertura geográfica das gravações de animais realizadas em Portugal no período de 1977 a 2010. Variação do número de investigadores por região NUTII.

Figura 6 - Diagrama do sistema experimental portátil usado nos testes de som. Δ d corresponde às distâncias testadas: 0.5, 10, 20, 50, 75 metros.

Figura 7 - Degradação da intensidade com a distância e relação do cálculo da distância de deteção estimada com o ruído.

Figura 8 - Variação da perda de amplitude com o aumento da distância das diferentes vocalizações de animais.

Figura 9 - Variação das distâncias de deteção estimadas das quatro vocalizações de animais.

Figura 10 – Relação entre as distâncias de deteção estimadas das quatro vocalizações de animais e relação com as alturas no microfone e da coluna.

Figura 11 - Variação da distância de deteção estimada com o ruído das quatro vocalizações de animais a 1 m de altura do microfone e para as três alturas da coluna (1, 2 e 3 m).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Técnicas de gravação automática de vocalizações de animais.

Tabela 2 - Técnicas usadas para o reconhecimento automático de vocalizações de animais.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1. Objetivos da Dissertação

O termo “biodiversidade” é usado em sentido amplo e pode ser definido como o número, abundância, composição, distribuição espacial e as interações dos genótipos, populações, espécies, tipos e características funcionais, e unidades de paisagem. A biodiversidade num determinado sistema contribui para o bem-estar humano através dos seus efeitos sobre os processos dos ecossistemas que estão no cerne dos sistemas de suporte da vida da Terra (Mooney et. al 2008). A perda da biodiversidade provoca impactos nos serviços dos ecossistemas e no bem-estar humano (Leadley et. al 2010), com consequências sociais e económicas substancialmente prejudiciais (TEEB, 2008).

A avaliação da biodiversidade é uma tarefa central e urgente na biologia da conservação, não apenas para determinar a riqueza das espécies mas também para avaliar as diferenças entre comunidades que ocupam diferentes áreas ou que se alteram com o tempo (Seur et. al 2008). A taxa crescente da perda de biodiversidade que se verifica atualmente torna urgente a exploração e implementação de novas formas de documentar a biodiversidade. A bioacústica é uma ferramenta poderosa para documentar a biodiversidade e o seu uso tem vindo a crescer nas últimas décadas, na monitorização ou na descrição de novas espécies. Vários grupos de animais produzem vocalizações, como as aves, insetos, anuros, morcegos e cetáceos. Estas vocalizações podem ser usadas para identificar espécies. Diversos estudos (Dawson & Efford 2009; Fletcher 2008; Laiolo et al. 2008) demonstram que a bioacústica começou recentemente a definir uma metodologia para o uso dos biólogos de conservação e para os gestores de vida selvagem, renovando a sua perspetiva evolucionária tradicional para servir como ferramenta potencial na ciência da conservação (Laiolo 2010).

Esta dissertação consiste num estudo abrangente sobre a bioacústica, desenvolvendo-se a partir da união entre história da ciência, revisão de técnicas e análise experimental de uma técnica específica.

O CAPÍTULO I introduz o conceito de bioacústica e detalha a relação entre esta disciplina, a biodiversidade e a conservação. São descritas as aplicabilidades gerais deste campo científico moderno e as propriedades básicas do seu objeto de estudo, o sinal acústico. Adicionalmente são brevemente caracterizados os grupos animais mais estudados e os equipamentos usados. Ainda neste capítulo é descrita a importância dos arquivos de sons de animais.

A história da bioacústica em Portugal é desenvolvida no CAPÍTULO II através da análise das gravações efetuadas em Portugal e dos seus gravadores. Ao nível da gravação pretende-se identificar quais as espécies gravadas, o intuito das gravações (científico ou não) e onde foram registadas. Ao nível dos gravadores pretende-se identificar a área de conhecimento a que se dedicam os seus estudos bioacústicos e os seus períodos de atividade.

Nos últimos anos tem-se registado uma contínua implementação da tecnologia bioacústica para programas de monitorização automática de larga-escala e identificar indivíduos ou espécies para usar em ecologia das populações, em estudos de biodiversidade, ou em gestão da vida selvagem (Dawson & Efford 2009). No CAPÍTULO III é aprofundado o conhecimento das técnicas bioacústicas mais atuais através de uma revisão de artigos científicos. Esta revisão é dirigida a ferramentas usadas na monitorização de espécies, populações e comunidades animais.

A análise experimental de uma técnica bioacústica específica é documentada no CAPÍTULO IV, através da investigação dos efeitos da distância, altura do emissor e recetor de som, e ruído na deteção de vocalizações de animais de quatro espécies diferentes. Uma das partes mais importantes na validação de sistema de gravação automático é determinar em que circunstâncias varia a distância de deteção de animais.

Na discussão final (CAPÍTULO V) são discutidas e associadas as descobertas principais dos capítulos anteriores, e finalmente são descritas potencialidades de uso de ferramentas bioacústicas em estudos de gestão e conservação da vida selvagem.

2. Bioacústica: definições, conceitos base, objetivos de estudo e técnicas de campo.

O som é um sistema de comunicação valioso pois tem a capacidade de evitar os obstáculos e pode alcançar grandes distâncias (Marquez et al. 2011). Muitos animais, tanto em meio terrestre como em meio aquático, produzem sons que servem para a comunicação intra e interespecífica. Os sinais acústicos são usados por uma diversidade de grupos de animais, incluindo insetos, peixes, anfíbios, répteis, aves, mamíferos terrestres, morcegos e mamíferos marinhos. As vocalizações podem ser usadas em diversas situações assumindo papéis importantes em diferentes contextos da vida dos animais, como atração do parceiro sexual, defesa do território, interações de grupo, localização ou procura de alimento (Rossing & Fletcher 2007).

A bioacústica é um ramo da zoologia, relacionado com a etologia, fisiologia, biofísica e ecologia, que investiga a produção e receção de som pelos animais, incluindo o homem, e estuda ainda

como os animais comunicam através dos sons. A bioacústica foca-se também nos órgãos da audição e nos aparelhos de produção de som, tal como os processos associados que produzem e recebem sons para comunicação ou para ecolocalização[1]. Finalmente é também um instrumento que tenta compreender as relações entre os sons produzidos por um animal e o ambiente que o rodeia.

A bioacústica é uma área de conhecimento transversal que abrange questões de evolução (e.g., Lynch & Baker 1994) à conservação (e.g., Gilbert et al. 1994), passando pela sistemática (e.g., Quartau & Boulard 1995) e fisiologia (e.g., Penna et al. 2009).

3. As propriedades do som

O som consiste em ondas de pressão oscilantes que viajam a velocidades dependentes da temperatura através do ar (343 m/s a 20°C), água (1484 m/s a 20°C) ou solo (~5000 m/s dependendo da porosidade) (Obrist et al. 2010).

As propriedades básicas de um som são a frequência, a intensidade e a duração. A frequência é expressa em ciclos por segundo, ou Hertz (Hz). A gama de frequência da audição humana varia aproximadamente dos 20 Hz aos 20 kHz. No entanto, as gamas de audição da maioria dos animais prolongam-se abaixo ou acima da gama de audição humana. Os sinais abaixo são denominados de infrassons e as suas ondas viajam grandes distâncias. Os elefantes e as baleias usam infrassons para comunicação de longa distância. Os sinais acima da gama de audição humana são designados de ultrassons e são usados principalmente por morcegos e golfinhos para ecolocalização. A intensidade é uma medida de energia contida na onda que se mede em unidade por área.

[1] É uma sofisticada capacidade biológica de detetar a posição e/ou distância de objetos ou animais através de emissão de ondas ultrassónicas, no ar ou na água, e análise do tempo gasto para essas ondas serem emitidas, refletirem no alvo e voltarem à fonte sobre a forma de eco. Para diversos mamíferos, morcegos, golfinhos e baleias, essa capacidade é de importância crucial em condições onde a visão é insuficiente, de noite no caso dos morcegos ou em águas escuras ou turvas para os golfinhos, seja para locomoção ou para captura de presas

4. Os equipamentos usados em bioacústica

As ferramentas tecnicamente adequadas para o estudo em bioacústica moderna surgiram no século passado, com a comercialização de gravadores portáteis de fitas que hoje estão a ser suplantados pelos digitais. Mais recentemente, outro avanço importantíssimo para o desenvolvimento da bioacústica foi o aparecimento de *software* que facilitou a análise das vocalizações gravadas (Vielliard 2000).

O equipamento típico para estudar sons de animais é composto por um microfone (ou hidrofone) e um aparelho de gravação. Diferentes gamas de frequências e de meios de propagação requerem microfones apropriados, em particular para a gravação de sons ultrasónicos e debaixo de água. As gravações exigem *hardware* e *software* para que os seus sinais sejam reproduzidos, visualizados e analisados (Obrist et al. 2010).

O microfone tem a tarefa crucial de converter as variações de pressão provocadas pela onda sonora num sinal elétrico modulado através de uma membrana ou conjunto de membranas. Este sinal elétrico pode ser amplificado, gravado, analisado, e representa verdadeiramente a pressão acústica que o origina. Existem dois tipos de transdutores: dinâmico e condensador. Os microfones dinâmicos são muito robustos, fiáveis e não necessitam de energia. Contudo, são menos sensíveis que os microfones condensadores, que por sua vez são mais sensíveis e apresentam uma resposta de frequência mais alargada, mas necessitam de alimentação elétrica. Os principais parâmetros que caracterizam um microfone são o tipo de transdutor, eficiência (ou sensibilidade), o autorruído (o seu ruído intrínseco), resposta de frequência (a sensibilidade às diferentes frequências) e o padrão polar (ou directividade). Todos estes parâmetros são igualmente importantes: entre eles o padrão polar é uma representação gráfica da sensibilidade do microfone e o ângulo de incidência do som. Para diferentes frequências existem três padrões direcionais básicos: omnidirecional, bidirecional e direcional.

Os hidrofones são sensores que transduzem a propagação do som debaixo de água em sinal elétrico. Enquanto os microfones são feitos com uma membrana cujas vibrações são convertidas em sinais elétricos através de um sistema dinâmico ou condensador, os hidrofones apresentam um elemento piezoelétrico[2] que produz uma corrente quando comprimido por uma onda sonora.

[2] A piezoeletricidade é a carga que se acumula em certos materiais sólidos em resposta a uma tensão mecânica aplicada. A palavra piezoeletricidade significa eletricidade resultante da pressão.

Considerados transdutores únicos, os hidrofones são geralmente omnidirecionais e cobrem tipicamente uma gama larga de frequências, de alguns Hz a mais de 100 kHz. No ambiente marinho, usa-se sistemas hidrofónicos diferentes e mais complexos. Eles consistem em múltiplos transdutores de forma a serem mais direcionais e sensíveis.

Enquanto o microfone determina as características dos sons captados, o gravador garante seu registo. As suas especificações técnicas devem, portanto, ser compatíveis com as capacidades do microfone. Os gravadores de som podem ser analógicos ou digitais. Eles permitem a gravação de um sinal elétrico gerado por um transdutor adequado. Os gravadores de cassetes analógicos tradicionais, devido ao processo mecânico de gravação, degradam os sinais que gravam adicionando assobios, distorção, alterações de resposta de frequências, variações de velocidade, etc. Os gravadores digitais não têm estes problemas e têm vindo a substituir os analógicos. Além disso, os dados áudio digitais podem ser diretamente geridos, armazenados e processados por meio de computadores.

Atualmente a maioria dos sinais bioacústicos são gravados digitalmente. Os gravadores acústicos digitais armazenam o tempo e a intensidade (ou energia) dos sons detetados por microfones, permitindo aos processadores de sinal a reconstituição da distribuição da frequência da intensidade do sinal ao longo do tempo. Os dados são armazenados num disco rígido interno ou em cartões de memória.

Além de ser importante uma gravação de boa qualidade técnica o registo só terá valor científico se for bem documentado. Assim, é recomendado o registo imediato de um conjunto mínimo de dados como a data e local da gravação, observações dos animais gravados e, eventualmente, descrição do seu comportamento. Igualmente indispensável, mas geralmente não mencionado, é saber como foi feita a identificação e se as vocalizações eram espontâneas ou provocadas de alguma forma (duelo vocal, imitação humana, *playback*[3]).

As gravações uma vez digitadas podem ser gravadas, reproduzidas e editadas por programas de computador. A exibição gráfica mais simples de um sinal acústico é um oscilograma, que revela as alterações temporais da pressão do som. A forma mais usada de representação do som é o audioespectrograma (ver Figura1), que ilustra a distribuição da energia contida na onda sonora pelas diferentes frequências em cada momento. Ele mostra a evolução da estrutura da frequência, no eixo dos y, de um sinal durante um período de tempo, eixo dos x. A intensidade é representada por uma escala de cinzentos ou cores.

[3] Técnica que consiste na emissão de um som previamente registado que é normalmente usada como estímulo animal.

Os audioespetrogramas podem revelar características de som inaudíveis pelo ouvido humano, como modulações de amplitude ou de frequência rápida, ou componentes de frequência fora da gama de audição humana, e.g. infrassons emitidos por algumas baleias grandes ou por elefantes, e ultrassons emitidos pela ecolocalização de golfinhos ou morcegos (Obrist et al. 2010).

Nos audioespectrogramas são efetuadas as medições dos parâmetros físicos do sinal sonoro. Essas medições podem ser padronizadas e desta forma é possível aplicar um tratamento estatístico à amostra pesquisada.

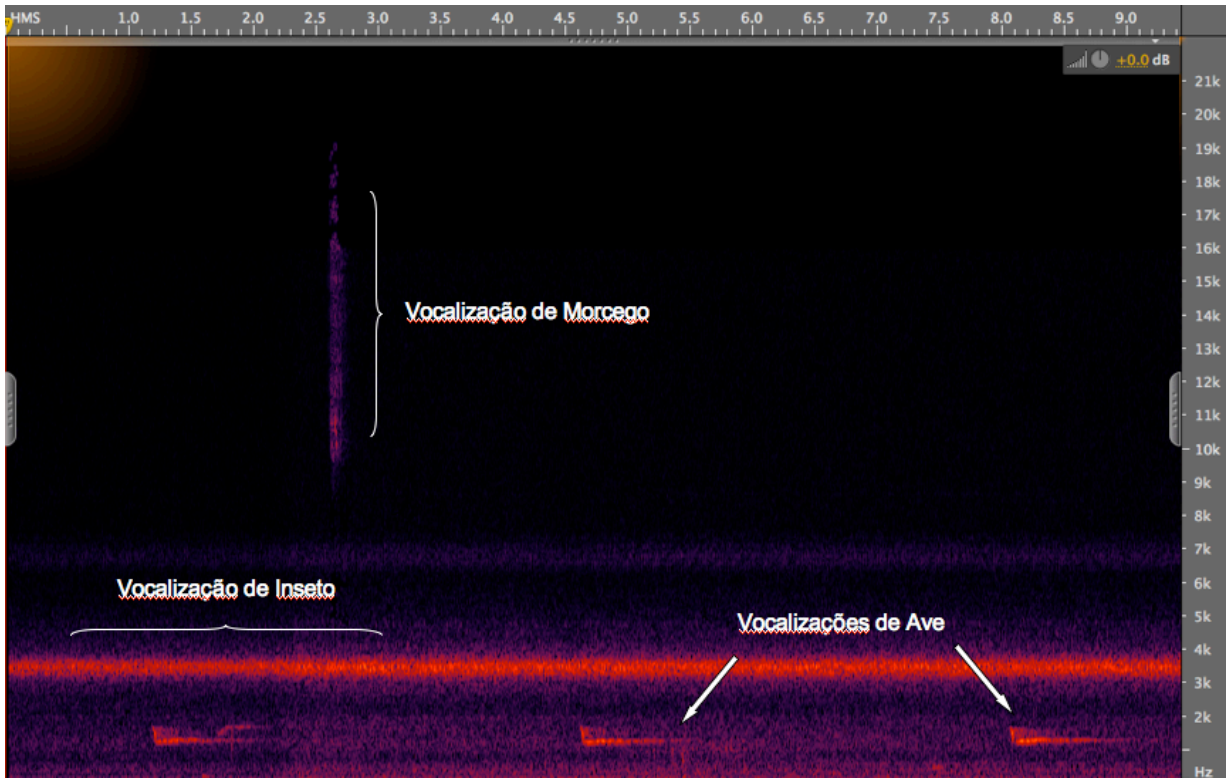

Figura 1 - Audioespectrograma representativo de uma parte de uma gravação realizada na Serra da Estrela na primavera de 2011, no qual se observa vocalizações de morcego, inseto e ave.

5. Os grupos de animais mais estudados em bioacústica

Dependendo do tipo de sinal e do grupo taxonómico é possível estimar abundâncias e identificar espécies ou avaliar o seu comportamento. Seguidamente serão descritas algumas características relevantes dos principais grupos de animais mais estudados em bioacústica.

5.1. Insetos

A maioria da investigação concentra-se nos grupos Cicadidae e Orthoptera, uma fração de insetos que produzem vocalizações audíveis altas. Muitos mais grupos de insetos produzem ultrassons ou sinais vibracionais fracos não percetíveis ao homem (Obrist et al. 2010). Os sons dos insetos são específicos de espécie e estereotipados, mas o reconhecimento das características específicas das espécies exige a visualização dos seus sinais acústicos. Particularmente em insetos, as diferenças marcantes na estrutura da vocalização de espécies morfologicamente semelhantes ajudaram taxonomistas a diagnosticar e descrever 'espécies crípticas', muitas das quais não podem ser diferenciadas sem uma gravação de som (Obrist et al. 2010).

Os insetos mais audíveis são os grilos, as esperanças (insetos da família da Tettigoniidae), gafanhotos, e as cigarras. Os insetos produzem sons mais altos em torno do 3 aos 4 kHz e dos 6 aos 8 kHz, através de estridulação[4] (grilos e esperanças) ou por vibração de uma membrana rígida (cigarras) (Pijanowski et al. 2011). Os insetos emitem vocalizações durante o dia (cigarras) e à noite (grilos), ou em ambos (cigarras). Adicionalmente, as vocalizações de alguns insetos possuem uma certa periodicidade. Por exemplo, os sons dos grilos são compostos por pulsos e chilros produzidos a intervalos precisos, e os grilos são bem conhecidos por apresentarem taxas fortemente influenciadas pela temperatura (Walker 1962). Outros padrões cíclicos de produção de som em insetos ao longo do ano estão relacionados com o ciclo fenológico das espécies. As cigarras anuais (*Tibicen* spp.), por exemplo, cantam durante os dias quentes, no final do verão depois de emergirem do solo, sendo o momento em que emergem função do número de dias de calor acumulados (Williams & Simon 1995).

[4] A estridulação é criada por insetos esfregando partes do corpo em simultâneo (Pijanowski et al. 2011).

5.2. Peixes

A produção de som nos peixes é pouco estudada, embora seja comum: mais de 50 famílias de teleósteos incluem espécies produtoras de som. Os peixes produzem sons durante a época de reprodução, e o seu comportamento pode ser monitorizado com hidrofones (Ladich et al. 1992; Torricelli et al. 1990). Os seus sons são de baixas frequência e intensidade. Apenas em grandes agregações os seus sons podem ser monitorizados a maiores distâncias (Obrist et al. 2010).

5.3. Anuros e répteis

Os anuros (anfíbios pertencentes à Ordem Anura, como as rãs e os sapos) dependem sobretudo das vocalizações para atrair parceiros (Gerhardt 1994). Muitas espécies ou mesmo conjuntos de espécies cantam em conjunto formando coros. As frequências dos coros destes animais variam de 2 a 5 kHz (Pijanowski et al. 2011). Nos répteis, os crocodilos emitem uma variedade de sons de comunicação bem como as lagartixas (Obrist et al. 2010).
As características do sinal acústico em animais ectotérmicos variam com a temperatura ambiente. Isto exige o registo da temperatura do solo, água e ar (e humidade relativa) para cada registo de som (Márquez et al. 2008).

5.4. Aves

A maioria das aves usam o som para atrair parceiros, defender territórios, dar alarme, e comunicar outros tipos de informação. Muitos dos passeriformes são especialmente conhecidos por produzirem vocalizações elaboradas (Kroodsma 2005). As vocalizações e outras vocalizações produzidas por aves variam de menos de 1 kHz até valores acima dos 6 kHz. A frequência acústica de uma vocalização de ave está relacionada com o seu tamanho (aves grandes produzem sons abaixo do 1 kHz) e com o tipo e estrutura de habitat (Pijanowski et al. 2011). Em alguns casos, as vocalizações não só transportam informação ao nível da espécie e da população ou grupo geográfico, mas também ao nível individual, permitindo o reconhecimento individual de animais produtores de sons (Galeotti & Pavan, 1991).

5.5. Mamíferos terrestres

Uma grande variedade de mamíferos terrestres produz sons (McComb & Reby 2005), alguns dos grupos que mais vocalizam são os primatas (e.g., macacos e babuínos), os elefantes, os caninos (e.g., lobos e coiotes), os roedores (e.g., esquilos), e os felinos (e.g., leões), entre muitos outros.

Vocalizações mais simples como sons de acasalamento podem ser monitorizadas para mapearem a sua presença. Vocalizações de veado (*Cervus elaphus*) têm sido extensivamente gravadas de forma a fornecer estimativas populacionais (Favaretto et al. 2006).

5.6. Mamíferos marinhos

A grande velocidade do som (~1484 m/s, variando com a temperatura e profundidade) e a sua baixa atenuação na água favorece a orientação e a comunicação acústicas em ambiente aquático. Como a visão é normalmente limitada a alguns metros de distância na água e não pode ser usada nas escuras profundidades oceânicas, a comunicação acústica é o canal dominante para a comunicação em cetáceos. Os seus sinais variam espectralmente de frequências muito baixas das grandes baleias a cliques ultrassónicos da ecolocalização de golfinhos. A distância de deteção de baleias varia bastante, dependendo nas características do sinal e das restrições ambientais tal como do ruído de fundo, a maioria causado pelo homem. Durante os seus mergulhos profundos até uma hora de duração, o som é a forma mais eficiente para verificar a sua presença a distâncias de quilómetros (Obrist et al. 2010).

5.7. Morcegos

Descendentes de insectívoros noturnos planadores (Fenton et al. 1995), os morcegos desenvolveram um modo ativo de orientação que lhes permite orientar, navegar e se alimentarem no escuro da noite (Obrist 2008). Para os morcegos a produção de som é fundamental visto estar associadas à procura de alimento e à orientação no espaço. Os morcegos geralmente produzem dois tipos de som; o primeiro referido como ecolocalização, é emitido como frequências ultrasónicas (acima da capacidade auditiva humana) e é usado para localizar as presas. O segundo tipo, vocalizações para comunicar, são mais facilmente audíveis pelos humanos e são usados para identificar indivíduos (Pijanowski et al. 2011).

A atenuação atmosférica afeta a energia do sinal progressivamente com frequências de sinal maiores (Lawrence & Simons, 1982) tornando a ecolocalização no ar basicamente uma operação de curta distância (Obrist 2008).

6. Arquivos de sons de animais

Em vários museus de todo o mundo existem arquivos de som associados, que são unidades dedicadas à coleta, preservação e à disponibilização de sons de animais. Uma gravação acústica adquire valor científico quando devidamente catalogada com a informação técnica e biológica relacionada. A deposição deste tipo de gravação num arquivo público além de permitir o desenvolvimento das várias disciplinas científicas que usam a bioacústica, permite também o seu uso para outros fins.

Os usos principais dos arquivos de sons de animais direcionam-se para a ciência, conservação da natureza, educação e divertimento (Alströ & Ranft, 2003). Os usos científicos são: a descrição, comparação, e análise de sons; a identificação de espécies, populações e indivíduos; taxonomia e sistemática; *playback*, atração, e controlo de pragas (Ranft 2004). Os usos em educação e divertimento incluem a reprodução de amostras áudio em museus e jardins zoológicos, em instituições educacionais, em *websites* (locais na internet), televisão e programas de rádio, e em publicações áudio (Ranft 2004).

Um dos maiores arquivos de sons de animais do mundo está inserido na British Library Sound Archive e é designado por BLOWS (British Library of Wildlife Sounds). Esta coleção contém cerca de 140,000 gravações acústicas, cada uma com a sua documentação detalhada (Ranft 1997). Durante os últimos 35 anos, cerca de 600 gravadores de todo o mundo têm cooperado através da doação das suas gravações para esta coleção. Apresenta exemplos representativos de 8,300 espécies de aves e 2,100 espécies de mamíferos, anfíbios, répteis e invertebrados de todo o mundo, sendo a coleção de sons de animais mais diversificada (Ranft 2004). Outros exemplos de arquivos de sons de animais são a Macaulay Library of Natural Sounds nos USA, a Tierstimmenarchiv na Alemanha, a Fonoteca de Madrid em Espanha e o Arquivo Sonoro Neotropical no Brasil, alguns deles apresentam catálogos *on-line* e acesso a arquivos sonoros via internet.

Na área da conservação da natureza os arquivos de sons de animais servem de referência para a identificação de animais e contêm recursos valiosos para levantamento de fauna. A importância das coleções de sons de animais é facilmente comparável a um herbário, banco de sementes e museus zoológicos (Kroodsma et al. 1996).

CAPÍTULO II – A HISTÓRIA DA BIOACÚSTICA EM PORTUGAL

1. Introdução

É importante aumentar a consciência do público em geral para a importância da história da ciência e da herança científica de forma a compreender o presente e antever o futuro.

O avanço do conhecimento é alimentado pela descoberta mas alicerçado no conhecimento anterior. Tradicionalmente são cinco os argumentos clássicos que justificam o estudo da história das ciências (Maienschein 2000):

1 – Autoaperfeiçoamento: a história ilumina a ciência e permite melhores abordagens aos problemas;

2 - Eficiência: evita repetir erros do passado, aprende-se com os erros;

3 - Perspetiva: permite fazer claramente avaliações e portanto torna a ciência melhor;

4 - Imaginação: oferece um maior leque de ideias;

5 - Educação: promove a literacia científica e a compreensão pública da ciência.

A prática de uma boa ciência aliada a uma boa perspetiva histórica permite aos cientistas avaliar o seu próprio trabalho e o dos outros.

A ciência não é um método imutável ao longo do tempo, mas pelo contrário, é um processo dinâmico que se constrói sobre sucessos e fracassos. Por isso, a ciência beneficia quer de uns quer de outros na medida em que pode usufruir dos bons resultados e evitar os erros do passado (Maienschein 2000).

O desenvolvimento científico tem desde sempre acompanhado a evolução da sociedade. Desde os meados do século XIX que as tecnologias desenvolvidas com base no conhecimento científico alteram o mundo à nossa volta sendo que, reciprocamente, o próprio desenvolvimento tecnológico origina o progresso da ciência (Daston et al. 2005). Ao longo do século XX registou-se um grande avanço na ciência, que se traduziu em novas descobertas científicas (Garfield 2007). Este avanço foi alicerçado no desenvolvimento de novos equipamentos de suporte à investigação, mais poderosos e sofisticados, e na evolução do suporte teórico que fornecia o enquadramento para o novo conhecimento. Estes aspetos que na sua essência são característicos do estudo e conhecimento empírico e transcendem eras (Daston 2004) mas que na segunda metade do século XX sofreram uma aceleração. O processo do progresso científico origina sempre novos campos de conhecimento (Daston 2004) este facto transversal às mais diversas áreas científicas (Bybee et al. 1991). A bioacústica não é uma exceção (Obrist et al. 2010).

O desenvolvimento da bioacústica deu-se, efetivamente, a partir de 1950, quando se tornaram disponíveis para a comunidade científica métodos práticos de gravação e análise de som. Os gravadores portáteis de fita (*reel-to-reel*), da *Uher* e *Nagra,* surgem por volta de 1950. Inicialmente desenvolvidos para o uso dos repórteres de notícias, a sua utilização rapidamente se alargou à comunidade científica, tendo-se o seu uso mantido até ao início dos anos noventa do século passado (Vielliard 2003). A popularização do uso de cassetes como suporte físico para as gravações e o surgimento de aparelhos mais portáteis como os *walkmans* da *Sony* (Gay 1997), facilitaram ainda mais a generalização do uso científico destes equipamentos. O crescimento sofre uma aceleração no final do século XX, com o advento do computador pessoal e a entrada na era digital.

Em Portugal a bioacústica desenvolveu-se ao longo da segunda metade do século XX, estando por fazer uma abordagem histórica detalhada. As questões centrais deste capítulo são investigar o contributo da bioscústica para o estudo e documentação da biodiversidade, e saber em que medida contribui para a biologia da conservação em Portugal. A conservação é uma disciplina aplicada que necessita de contributos da investigação de forma a aplicar e testar medidas de gestão adequadas e eficazes.

2. Objetivos

O estudo da história da bioacústica em Portugal permite identificar o património científico, contribuindo para a constituição da memória científica que deve ser abordada do ponto de vista pluridisciplinar (Roediger & Wertsch, 2008), e identificar e documentar as gravações existentes e com essa inventariação dar o primeiro passo para garantir o acesso a informação de biodiversidade registada nessas gravações, assim como a sua preservação, contribuindo para a preservação de uma memória acústica ecológica. Para tal pretende-se responder às seguintes questões:

1 - Quando se realizou o primeiro registo acústico em Portugal? E qual o seu intuito?

2 - Quais as áreas de conhecimento a que se dedica?

3- Quais os grupos taxonómicos mais estudados e gravados?

4- Quais as espécies que estão gravadas em Portugal?

5- Qual a distribuição geográfica dos registos acústicos?

6 – Qual o seu contributo na área da conservação?

3. Metodologia

O foco geográfico deste estudo incide sobre gravadores que tenham realizado gravações em território nacional, incluindo as regiões autónomas. Neste trabalho investigam-se as gravações realizadas durante a segunda metade do século XX e início do século XXI. As gravações podem incluir registos realizados em laboratório, em cativeiro e na natureza, e em meio aquático, marinho ou terrestre.

3.1. Identificação dos gravadores

Para a identificação dos gravadores iniciaram-se os trabalhos contactando especialistas na área que, por sua vez, indicaram os nomes de outros gravadores. Os novos gravadores identificados foram depois contactados e entrevistados ou inquiridos. Por gravadores designam-se as pessoas que tenham realizado gravações de animais ou estudado sons de animais usando gravações de outros. A recolha inicial foi complementada com informação obtida recorrendo a bases de dados de publicações nas quais se identificaram artigos científicos de bioacústica e seus autores. Foram consultados a plataforma *ISI Web of Knowledge* e o *Google Scholar* utilizando combinações de palavras-chave como "*bioacoustics"*, "Portugal", "*song"* ou "*call"*. Nas entrevistas e inquéritos foi feito o esforço de identificar gravadores que poderiam não ter sido detetados anteriormente (através dos métodos já referidos). Paralelamente, e com o objetivo de identificar gravadores não ligados à investigação, foi recolhida informação por indicação dos especialistas, por pesquisa na internet (incluindo, entre outros, a plataforma *xeno-canto* (http://www.xeno-canto.org/) e fóruns em linha (e.g. nature recordists http://tech.groups.yahoo.com/ group/naturerecordists/) e procura de gravações comerciais. Desta forma identificaram-se também os gravadores sem ligação à atividade científica, os quais foram posteriormente inquiridos.

A entrevista e o inquérito (ver Anexo I) foram compostos por um conjunto de 32 questões nas quais se recolheu informação sobre o investigador (ou gravador), o equipamento e a atividade de gravação. A informação recolhida nas entrevistas e inquéritos, complementada com outras fontes, como artigos e consulta dos investigadores, permitiu caracterizar cada investigador, nomeadamente no que diz respeito à área de conhecimento, o grupo taxonómico e a área geográfica. Os gravadores foram divididos em duas classes consoante as suas gravações foram realizadas com fins de investigação ou não. Os investigadores foram agrupados consoante a sua área de atividade, numa de sete áreas de conhecimento: comportamento,

sistemática, evolução, genética, ecologia, conservação e fisiologia. A cada investigador foi atribuída uma ou mais áreas de conhecimento, de acordo com as linhas de investigação que utilizaram metodologias acústicas. Os gravadores não investigadores, por seu turno, foram agrupados numa das seguintes classes, de acordo com a sua área de atividade: lazer, gravações com fim comercial e gravações com fim artístico.

3.2. Cobertura taxonómica

Para estudar a cobertura taxonómica das espécies alvo de gravações foram agrupadas ao nível da Classe com a exceção dos mamíferos, que devido às especificidades das vocalizações e diferença no meio em que vivem foram divididos em três grupos. Os grupos considerados foram aves, insetos, peixes, anfíbios, mamíferos terrestres, mamíferos marinhos e morcegos. Os répteis não integraram o estudo, pois não se detetaram estudos em bioacústica em Portugal com este grupo de animais. Para saber o esforço de gravação para cada um destes grupos, atribuiu-se o valor de 1 por cada gravador que realizou gravações com determinada espécie do grupo. Assim, determinou-se o número de gravadores com atividade em cada grupo. Cada gravador pode ter interesse em mais do que um grupo ao mesmo tempo, ou alterar o seu interesse ao longo do tempo.

3.3. Área geográfica

Para cada gravador foi determinada a área geográfica em que realizou as gravações, identificando-se uma ou mais áreas geográficas para cada gravador. Para padronizar a cobertura geográfica optou-se por agrupar a localização das diferentes gravações de acordo com a classificação territorial de NUTS II (unidades territoriais de 2ª ordem segundo a nomenclatura estatística de unidades territoriais) correspondendo às regiões: Algarve, Alentejo, Lisboa, Centro, Norte, Açores e Madeira. A presença de cada investigador em cada NUTSII foi contabilizada como uma unidade e não corresponde diretamente ao esforço de amostragem, como número de gravações realizadas ou horas de trabalho no local. Assim, determina-se quantos gravadores realizaram trabalhos em bioacústica em cada área, indicando quais as áreas que atraíam maior interesse da parte da comunidade de gravadores.

3.4. Período de atividade

O período de atividade define os anos em que um gravador realizou gravações ou estudos de bioacústica. No estudo da variação do número de investigadores com atividade em bioacústica ao longo tempo (número de investigadores por ano) cada gravador foi considerado apenas nos anos em que tenha estado ativo na realização de gravações, ou ligado a projetos com uso da bioacústica. Ao considerar o gravador como unidade pretendemos ter uma medida aproximada da variação temporal do esforço de gravação. Considerou-se que os gravadores detinham gravações quando estavam em posse de gravações originais realizadas pelos próprios.

4. Resultados

Neste estudo identificaram-se 65 gravadores que realizaram gravações de sons animais em Portugal no período entre 1977 e 2010. Foram entrevistados ou inqueridos 44.6% destes, num total de 13 entrevistas e 16 inquéritos. Os gravadores identificados podem ser separados em dois grupos distintos, gravadores de sons com fins de investigação (investigadores) e que representam 85% do total, e gravadores com outros fins, os quais se dedicam a diferentes atividades, que vão desde a música a fins lúdicos.

Os investigadores com atividade em bioacústica estavam institucionalmente associados a 16 instituições, nacionais e estrangeiras. As instituições estrangeiras representam 22% dos investigadores com gravações em Portugal.

Os investigadores dedicavam-se a diversas áreas do conhecimento e, em Portugal, a bioacústica foi usada para estudar a biodiversidade desde o ponto de vista dos mecanismos, passando pelo estudo da função e da sua evolução até à ecologia e à conservação. Os resultados mostram que foi na área do comportamento, ecologia e sistemática que se concentrou o maior número de investigadores neste período (1977-2010, Figura 2).

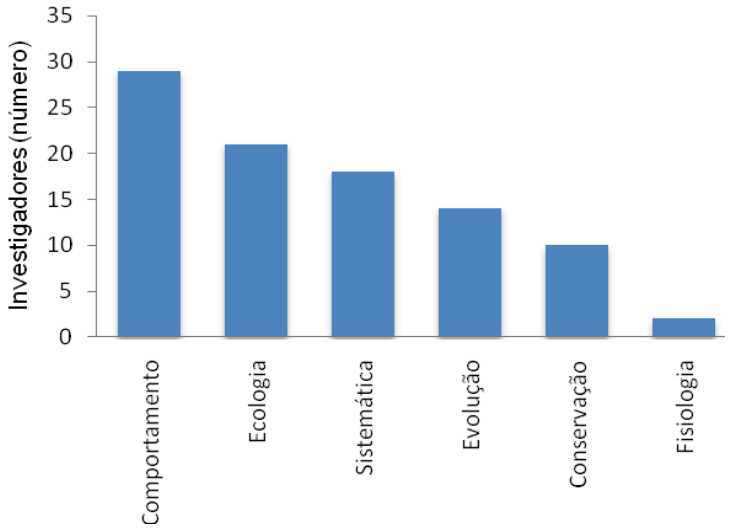

Figura 2 - Áreas científicas em que a bioacústica é mais usada. Variação do número de investigadores dedicados ao estudo da bioacústica nas diferentes áreas de conhecimento no período de 1977 a 2010.

Em relação à área da conservação existe um maior número de investigadores a estudar o grupo das aves, seguido dos grupos de morcegos, mamíferos marinhos e anuros e em menor número, os insetos. Os primeiros trabalhos de conservação em Portugal que utilizaram ferramentas bioacústicas datam de 1995. Desde então até aos dias de hoje vários estudos de investigação foram realizados, abrangendo os grupos taxonómicos das aves (Saraiva 2005), morcegos (Rainho 2007, Rebelo & Rainho 2009), mamíferos marinhos (Faustino 2010) e anuros (Márquez et al. 2008). De 1995 em diante a bioacústica tem auxiliado no desenvolvimento de diversos projetos de gestão e conservação da vida selvagem (ver Anexo II), com os seguintes objetivos:

- Monitorizar impactos das atividades humanas em populações selvagens;
- Levantamento e monitorização de populações selvagens em Áreas Protegidas;
- Elaboração de planos de gestão e ações de conservação de populações selvagens;
- Estabelecimento de medidas de gestão cinegéticas;
- Avaliação de estatutos de conservação;
- Avaliação de impactos das alterações climáticas em populações selvagens.

Os estudos e ações de conservação foram realizados tanto em Portugal continental como em ambas as regiões autónomas da Madeira e dos Açores.

Em Portugal, e no período abrangido por este estudo, pelo menos em cada um dos principais grupos de animais algumas espécies foram alvo de gravações (Figura 3). Em valor absoluto a maior parte dos gravadores estiveram dedicados à gravação de aves, estando os outros grupos de animais menos representados em termos de número de gravadores (Figura 3A). Contudo, quando se toma em consideração a duração do período de atividade dos gravadores esta tendência inverte-se, com a média do período de atividade dos gravadores em grupos como os insetos, morcegos ou peixes apresentarem registos mais altos que as aves (Figura 3B). O período de atividade médio dos gravadores é de aproximadamente 7 anos, com uma dedicação média de cerca de metade do seu tempo de investigação aos sons animais.

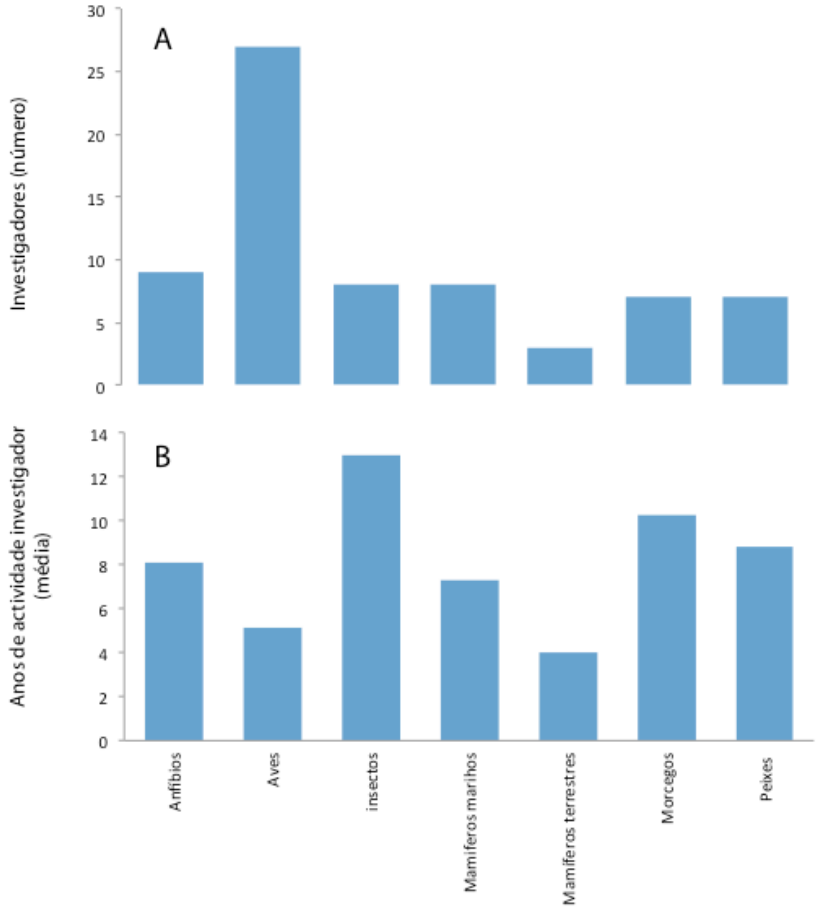

Figura 3 - Cobertura taxionómica da investigação em bioacústica. Variação do número de investigadores dedicados a cada grupo taxionómico (A) e a média de anos de atividade por investigador (B) em Portugal no período de 1977 a 2010.

Verificou-se que o número de investigadores dedicados à bioacústica registou um aumento de apenas um gravador em 1977 para 24 gravadores ativos em 2010 (Figura 4). Uma análise mais detalhada destaca três períodos: um período inicial, de 1977 a 1994, com poucos gravadores em atividade e em que praticamente não houve crescimento; um segundo período de crescimento acentuado que atinge o número de 25 gravadores em 2002, e um terceiro período com alguma oscilação, com o valor de gravadores a estabilizar num valor na ordem das duas dezenas.

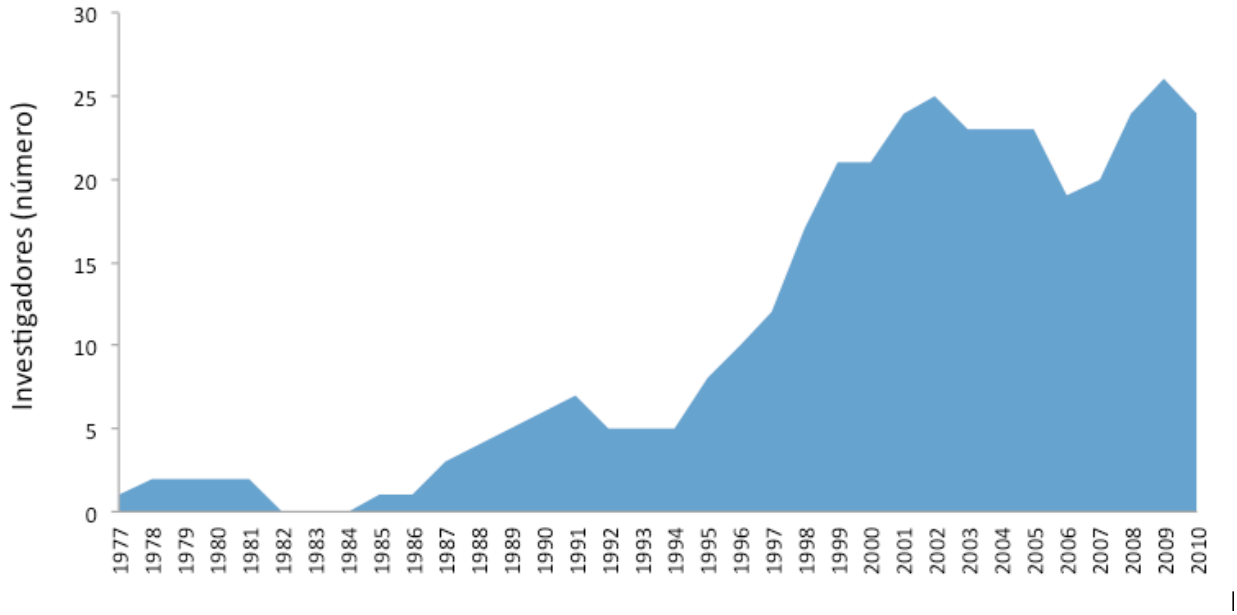

Figura 4 - Variação temporal do número de investigadores a trabalhar na área da bioacústica em Portugal no período de 1977 a 2010.

A análise da cobertura territorial das atividades de gravação revela que é no Alentejo que um grande maior número de gravadores desenvolve a sua atividade de gravação. Importa salientar que todas as regiões foram visitadas por gravadores (Figura 4). É interessante observar que, a esta escala, as restantes áreas geográficas apresentam um número de gravadores da mesma ordem de grandeza.

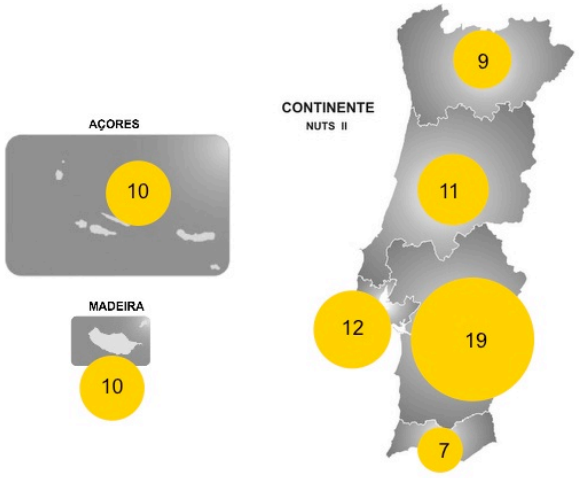

Figura 5 - Cobertura geográfica das gravações de animais realizadas em Portugal no período de 1977 a 2010. Variação do número de investigadores por região NUTII.

A maioria das gravações de animais realizadas em Portugal encontram-se na posse dos gravadores (cerca de 77%) e não está depositada em nenhum arquivo.

No Anexo II estão listadas os *taxa* (espécies e sub espécies) animais gravados em território nacional. De destacar que mais de 80% das espécies de anuros e morcegos existentes em Portugal estão registados acusticamente. Em relação às aves, estão gravadas 205 espécies de aves em Portugal, que corresponde a cerca de metade das espécies de aves que ocorrem em Portugal (total de 404 espécies. Fonte: SPEA, 2007). Os números de espécies de anuros e morcegos considerados foram retirados do Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal, 2008).

As gravações foram realizadas um pouco por todo o território nacional, verificando-se um contributo semelhante em todas as regiões o território excluindo o Alentejo, com uma maior atenção por parte da comunidade de gravadores.

5. Discussão

No total, foram identificados no período em estudo (1977-2010) 65 gravadores de sons de animais em Portugal. A lista, apesar de não ser exaustiva, deverá conter a maioria dos gravadores que exerceram atividade. Estes resultados evidenciam que as primeiras gravações sistemáticas de animais foram realizadas muito mais tarde que noutros países como os EUA (1945), a Alemanha (1952) ou a Austrália (1961) (Ranft 2004). Na sua maioria estes gravadores dedicavam-se à investigação, sendo as suas gravações realizadas com propósito científico. Outro tipo de gravadores, com outros fins, surge apenas num período posterior, que deverá estar associado à introdução no mercado de equipamento de qualidade profissional, mais portátil e a preços acessíveis como o *walkman* (Gay 1997), o *minidisc* ou os equipamentos de memória sólida. Neste contexto, a importância das gravações científicas é bastante grande o que deverá corresponder, em grande medida, à realidade Portuguesa. Os investigadores a trabalhar em bioacústica neste período estavam em grande parte associados às universidades, nomeadamente à de Lisboa, embora existissem pequenos grupos de investigação dispersos por diversas instituições em Portugal. Este trabalho identifica igualmente investigadores associados a instituições estrangeiras, um sinal da internacionalização da ciência em Portugal.

Em Portugal, a investigação em bioacústica no período em estudo foi sobretudo utilizada para completar o conhecimento sobre determinadas espécies ou grupo de espécies, geralmente combinada com outras perspetivas, designadamente: moleculares (Fonseca et al. 2008), taxonómica (Quartau & Boulard, 1995) ou ecológicas (Sueur et al. 2004), reforçando a ideia da sua transversalidade temática e aplicabilidade a diferentes questões (Obrist et al. 2010, Márquez et al. 2011). Em Portugal a investigação nesta área tem-se centrado sobretudo no estudo do comportamento animal (Marques et al. 2011) e da ecologia das espécies (Amorim et al. 2010).

Foi em 1977 que se realizaram os primeiros registos acústicos em Portugal. Estes registos fizeram parte do primeiro trabalho científico em bioacústica efetuado em Portugal. O objeto de estudo deste trabalho de sistemática e evolução foi o anfíbio *Alytes* sp.. No final dos anos 80 novas quatro áreas biológicas se iniciaram no uso de ferramentas acústicas para responderem a questões relacionadas com comportamento, ecologia, fisiologia e genética. Apenas por volta de 1995, a área da conservação se uniu a este grupo multidisciplinar que se complementa com a bioacústica.

Os principais grupos de animais que utilizam o som já foram alvo de gravações em Portugal. As aves apresentam-se como o grupo com mais gravadores dedicados, talvez devido à sua

abundância, facilidade de observação e importância do som para a maioria das espécies. Contudo, no que diz respeito ao período de atividade dos investigadores, este estudo detetou que é noutros grupos que se observa uma maior longevidade de atividade, como os insetos, os morcegos e os peixes.

Em síntese, o período em questão caracteriza-se por ser uma fase de crescimento do número de gravadores de sons animais, com a passagem de menos de 5 na década de 70 para um valor na ordem de grandeza de 20 no início do século XXI. Este crescimento, verificado durante toda a década de 90, corresponde a um aumento do investimento em ciência e tecnologia (FCT, 2002). A bioacústica segue assim o padrão do panorama científico nacional de crescimento e está associado a uma internacionalização nos últimos 40 anos, como de resto a generalidade do meio científico português. Face ao exposto, os resultados confirmam a bioacústica como um bom estudo de caso do progresso da ciência em Portugal.

A maioria das gravações encontradas neste estudo não está depositada em nenhum arquivo de som. Como foi referido no ponto 6 do Capítulo I, as gravações de animais apresentam valor científico, didático e lúdico. Adicionalmente transportam um valor histórico, permitindo conhecer as espécies animais que existiam num local numa determinada data. A disponibilização e preservação destas gravações num arquivo de som devidamente estruturado seriam de grande interesse para a ciência.

Embora a área da conservação da natureza na história da bioacústica tenha emergido tarde, rapidamente se estendeu aos cinco grupos taxonómicos (aves, anuros, morcegos, mamíferos marinhos e insetos). Verifica-se que existe um número considerável de projetos de gestão e conservação da vida selvagem relacionado com os grupos de morcegos e mamíferos marinhos (em particular os cetáceos), o que leva a concluir que existe uma maior utilização das técnicas acústicas na área da biologia da conservação nestes dois grupos.

A bioacústica afigura-se assim como um instrumento valioso para a conservação com crescente utilização nas últimas duas décadas, existindo grupos para os quais é essencial, nomeadamente os morcegos e cetáceos. Nas próximas décadas esta tendência deverá manter-se com a implementação de larga escala das suas técnicas e com o desenvolvimento de novas métodos nomeadamente no sentido da uniformização de procedimentos e na aplicação a outros grupos taxonómicos. Acrescenta-se a importância do papel da bioacústica como técnica complementar para a descrição de novos espécies em grupos como os insetos (cigarras), anfíbios (género *Pelodytes*) e aves (género *Regulus*).

CAPÍTULO III – REVISÃO DAS ATUAIS METODOLOGIAS BIOACÚSTICAS USADAS NA MONITORIZAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

1. Introdução

A documentação da biodiversidade é o primeiro passo para a sua conservação eficaz (Brandes 2006). Medidas da biodiversidade são de grande valor para os conservacionistas pois orientam e auxiliam na identificação de áreas de importância ecológica que devem ser preservadas. De forma a avaliar o impacto das atividades humanas nas populações de animais selvagens e decidir as ações mais eficazes para a conservação da natureza, é necessária informação fundamental sobre a extensão das alterações no ambiente vivo (Bardeli et al. 2009). A monitorização é uma componente vital na conservação de animais selvagens, ajudando os gestores a avaliar se os esforços de gestão estão a funcionar.

A riqueza das espécies é um aspeto importante da biodiversidade e a bioacústica oferece uma forma de a medir (Obrist et al. 2010). Com o aumento de interesse na monitorização do efeito das alterações climáticas e na perturbação antropogénica na biodiversidade, a monitorização acústica de uma vasta gama de taxa emergiu como um método predominante para avaliar e monitorizar espécies esquivas que podem ser indicadoras das alterações do habitat. Para muitos grupos de organismos, os seus sinais acústicos servem como uma assinatura para a sua presença, e a sua monitorização é mais viável se for realizada acusticamente do que por coleta física ou por observação (Brandes 2008b). As observações acústicas estão bem estabelecidas em aves, insetos, anuros, morcegos e baleias (Obrist et al. 2010). Permitem que deste modo estes grupos possam ser monitorizados acusticamente. Um inventário acústico pode cobrir a maioria das espécies de alguns grupos taxonómicos (aves, morcegos e Orthoptera) mas será ainda uma estimativa incompleta da biodiversidade total, porque é limitada a um conjunto de espécies acusticamente conspícuas (Obrist et al. 2010).

Os sons emitidos pelos animais mostram a presença de uma espécie num habitat num determinado momento, ajudando a conhecer a sua distribuição, fenologia e abundância relativa, ou construir séries temporais que refletem as suas flutuações. Para a realização de censos acústicos podem utilizar-se inventários manuais ou sistemas de gravação. Os inventários manuais são realizados por um observador que escuta e anota o que deteta, sendo algo especialmente útil para determinar a presença de espécies numa área concreta ou durante um período de tempo determinado. Este tipo de inventários são lentos, têm um consumo de tempo elevado e uma forte dependência no conhecimento do observador no grupo animal em questão.

Além disso, ocorrem, geralmente, em intervalos pouco frequentes levando a dificuldades na interpretação de tendências de longa-duração (Márquez et al. 2011). Por outro lado, os sistemas de gravação áudio permitem capturar e estudar os sons dos animais de forma contínua e os seus registos podem ser de grande utilidade para melhorar o conhecimento da natureza, tanto em meios terrestres como aplicado ao meio aquático.

Existem muitas outras vantagens em usar sistemas de gravação áudio para monitorizar animais que emitem sinais acústicos:

- São sistemas não invasivos que não condicionam o comportamento da fauna durante o levantamento (Márquez et al. 2011).
- O custo em termos de esforço é muito baixo e obtém-se uma grande quantidade de informação que aumentará, por exemplo, a possibilidade em detetar espécies pouco conspícuas (Márquez et al. 2011).
- Para animais no geral, exceto em casos raros, a observação visual é possível apenas durante o dia, enquanto os métodos acústicos podem ser usados para espécies noturnas e para espécies que estão ativas ao longo das 24 horas diárias (Brown et al. 2006).
- O uso de gravações áudio para o levantamento de comunidades animais facilita a avaliação, permitindo a dupla verificação da identificação da espécie, e assim, reduzir os desvios interobservador (Obrist et al. 2010).
- Em combinação com o registo automático de dados abióticos, pode-se obter informação muito detalhada sobre a fenologia das espécies (Márquez et al. 2011).
- A realização de amostras simultâneas em múltiplos locais e durante longos períodos de tempo permite diminuir os desvios de amostragem devidos a fatores temporais e obter muitos dados sobre a atividade das populações estudadas.
- Armazenam os registos, que permitem revisões posteriores e análise de dados (Márquez et al. 2011).
- Fornecem um registo permanente do levantamento que pode ser usado para a formação e para quantificar as frequências das vocalizações do grupo animal alvo, medir o tempo preciso das mesmas, e quantificar o ruído ambiente, por exemplo, dos carros, pessoas, vento, e outros animais (Pijanowski et al. 2011).

A tecnologia usada em bioacústica está a permitir o avanço rápido da conservação e da ciência e parece fiável para o desempenho de um papel ainda maior num futuro próximo (Brandes 2008a). O objetivo principal desta revisão é inventariar as técnicas utilizadas no estudo dos sons dos animais fazendo uma análise da sua aplicação a diferentes grupos taxonómicos e questões biológicas.

2. Técnicas de estudo dos sons dos animais

2.1. Gravação automática

O interesse crescente na monitorização acústica de longo prazo de habitats naturais tem levado ao desenvolvimento de sistemas de gravação automática – ARS – *Automated Recording Systems* (Obrist et al. 2010). Os componentes básicos de *hardware* para o uso de gravação automática de sons de animais são (Brandes 2008a):

- Microfone. Com gravadores automáticos é preferível o uso de microfones omnidirecionais uma vez que não é possível saber quando e onde um som se irá originar.
- Gravador áudio;
- Fonte de alimentação;
- Mecanismo para iniciar e finalizar as gravações;
- Discos rígidos ou cartões de memória flash;
- Estrutura à prova de água para o equipamento.

Na Tabela 1 apresenta-se algumas técnicas mais recentes de gravação automática de vocalizações de animais usadas na monitorização bioacústica.

A principal vantagem da abordagem bioacústica *hardware* automática é a gravação de longo prazo na ausência de um observador. Adicionalmente permite avaliar o número de indivíduos de espécies raras existentes em áreas ecologicamente sensíveis (como áreas protegidas) ou em áreas de difícil acesso (Bardeli et al. 2009), através da implementação de protocolos específicos e análises pós gravação. As unidades ARS com um único microfone permitem medir a riqueza de espécies e a composição de animais acusticamente conspícuos. Os ARS's com microfones estéreo e matrizes de microfones permitem, além da riqueza e composição da comunidade, estimar abundâncias. Estes sistemas usam os atrasos temporais e as diferenças de frequência entre gravações simultâneas de microfones para fornecer informação da posição relativa das fontes de som (Blumstein et al. 2011).

Collier, Kirschel and Taylor (2010) usaram uma matriz de 32 microfones sem fios dispostos em 8 *nodes*[5] para localizar uma espécie de ave numa densa floresta mexicana. As localizações adquiridas neste estudo foram muito precisas e permitiram o desenvolvimento de mapas de território para monitorizar as dinâmicas temporal e espacial de indivíduos marcados (Kirschel et al. 2011).

[5] Local onde um ou mais sensores são implantados (Blumstein et al. 2011).

Os próximos passos para a tecnologia bioacústica *hardware* serão no sentido das redes *wireless* (rede sem fios*)* que transmitem som de locais remotos para repositórios centrais. Adicionalmente, células solares fotovoltaicas mais eficientes permitirão que os aparelhos apresentem o seu próprio carregador de energia, permitindo-lhes ficar mais tempo no campo (Brandes 2008a).

Uma das principais limitações de um *ARS* é o problema de armazenamento. As gravações digitais, em particular as de ultrassom, rapidamente atingem elevadas quantidades de dados (Obrist et al. 2010). No entanto, esta limitação em breve será ultrapassada pelo rápido avanço que se tem verificado na área da capacidade de armazenamento de dados digitais. Após os dados acústicos coletados no campo, a sua grande quantidade torna a sua análise e interpretação difíceis e demorosas. Este problema está a ser resolvido através de *softwares* destinados ao reconhecimento automático de sons de animais. Este assunto é aprofundado no ponto 2.3. deste capítulo.

Tabela 1 - Técnicas de gravação automática de vocalizações de animais.

Métodos	Descrição/Metodologia	Potencialidades	Limitações
Sistema de Gravação Automática com microfones CVX (Hobson et al. 2002)	Nos microfones CVX a sensibilidade é aumentada pela reflexão do som a partir de uma superfície rígida, criando uma zona de maior pressão sonora. O microfone também atua como um transformador acústico por permitir que o som entre numa abertura larga e depois comprimindo-o numa área menor, aumentando a pressão sonora e deste modo o ganho[6]. O gravador pode consistir num *mini-disc* ou num gravador DAT (Digital Audio Tape). - As fontes de alimentação dos microfones e do gravador são recarregáveis e flexíveis. - Os microfones são resistentes às intempéries.	- Quando usado numa configuração estéreo permite analisar a composição e a abundância relativa das espécies de comunidades de aves florestais. - Não é necessário recorrer a peritos em aves para realizar as gravações. - Permite a estandardização de dados de campo ao longo do tempo. - Permite a gravação e armazenamento ao longo do tempo e consequentemente a avaliação de tendências populacionais. - Controlar os fatores de confusão de desvios interobservadores. - Menor custo em relação ao uso de peritos de campo.	- Muitas espécies normalmente detetadas visualmente, espécies particularmente raras ou espécies que cantam com pouca frequência são provavelmente subestimadas pelas gravações.
Sistema de Gravação de Paisagens Acústicas (Celis-Murillo et al. 2009)	Sistema de gravação de 4 microfones/4 canais discretos combinado com um sistema quadrafónico (sistema de 4 colunas) de *playback*. Os microfones omnidirecionais são colocados num tripé e posicionados a 90º entre eles de forma a capturar os sons de todas as direções (360º). Quatro divisores de plástico separam os microfones para os tornar direcionais. É um sistema de gravação genérico com uma configuração específica, em relação ao número, tipo, e posição dos microfones, mas os investigadores podem usar outras marcas dos seus componentes. Existem no mercado vários tipos de microfones omnidirecionais e gravadores que variam grandemente no custo, mas que satisfazem as características necessárias deste sistema.	- Maiores probabilidades de deteção de aves individuais e sua deteção mais cedo, em relação aos métodos tradicionais. - Maior área de amostragem que os métodos tradicionais. - Eficaz para o levantamento de comunidades de aves e em estudos de longo prazo. - Pode proporcionar estimativas de abundância e de riqueza. - Pode proporcionar aos investigadores uma alternativa, multifuncional e flexível aos sistemas comerciais. - As gravações são reproduzidas numa sala quadrafónica de *playback* para um único intérprete de forma a eliminar desvios interobservadore. A combinação de 4 canais discretos reproduzidos através de 4 colunas cria uma simulação mais realista da paisagem acústica natural porque o ouvinte recebe sinais acústicos em três dimensões. - Os investigadores podem construir unidades SGPA's para satisfazerem as suas necessidades e orçamentos particulares.	- Dificuldade em calibrar sistemas de gravação para detetar aves a uma certa distância, particularmente se o objetivo for examinar os parâmetros ao nível da comunidade. - Para estudos que necessitem de sistemas múltiplos os investigadores devem usar os mesmos componentes para padronizar a qualidade dos dados ao longo do tempo e do espaço.

[6] É uma medida da capacidade de um circuito (geralmente um amplificador) em aumentar a energia ou a amplitude de um sinal da entrada para a saída.[10] Digital Audio Tape: É um meio de gravação e de *playback* desenvolvido pela Sony e introduzido no mercado em 1987.

Métodos	Descrição/Metodologia	Potencialidades	Limitações
EAR - *Ecological Acoustic Recorder* (Lammers et al. 2007)	É um sistema de baixa energia que grava num ciclo programável, e também é capaz de responder a eventos acústicos que apresentem critérios específicos. A taxa de amostragem[7] e a duração das gravações periódicas usadas depende das espécies alvo e/ou sinais de interesse.	- Permite gravar o ambiente sonoro (biológico e antropogénico) de locais em habitats marinhos remotos por períodos que se estendem a vários meses a mais de um ano. - Esta abordagem por envolver gravações periódicas com a capacidade de se ligar quando sinais de interesse ocorrerem é mais desejável do ponto de vista monetário e da gestão de dados. - A capacidade de deteção de evento pode capturar eventos acústicos antropogénicos (ex.: passagem de barcos) ou sinais produzidos por animais. Se houver interesse em sons de frequência elevada, como aqueles produzidos por cetáceos, pode-se selecionar uma taxa de amostragem máxima de 64 kHz. - Foram desenvolvidos algoritmos[8] personalizados para processar os conjuntos de dados automaticamente.	- O volume de dados produzido pelo EAR mesmo para implementações curtas torna inviável a análise manual de todas as gravações colhidas. - A eficiência da deteção de evento é determinada principalmente pelo rácio sinal ruído[9] presente num determinado local. Ou seja, os sons de interesse apenas serão detetados e gravados desde que os seus níveis sejam suficientemente elevados para distingui-los das flutuações naturais no ruído ambiente de fundo.
VoxNet *nodes* (Allen et al. 2008)	É uma plataforma hardware e software integrada para sensoriamento acústico distribuído, constituída por uma matriz de 32 canais apresentando um computador interno em cada *node* de 4 microfones, que podem ser controlados via *wireless* (rede sem fio) por um computador portátil ou por um *smartphone* e grava diretamente para cartões de memória existentes nos *nodes* (Collier, Kirschel & Taylor 2010). Um node apresenta até 8 GB de memória. O hardware é autónomo e resistente a intempéries. Um VoxNet *node* é alimentado por uma bateria interna de lítio recarregável, que lhe permite trabalhar continuamente durante 8 horas.	- Foi desenhado para ser usado em aplicações bioacústicas, em particular, em censos e rastreamento de animais. - Usando o VoxNet, um investigador pode visualizar fenómenos em tempo real, desenvolver e ajustar análises *on-line*, e gravar dados brutos para análise *off-line* e arquivamento. - O sofware é desenhado para ser fácil de configurar, apresenta uma interface baseada na *web* fácil de usar que auxilia na resolução de problemas. Ele permite a sincronização temporal automática, autolocalização e coordenação de rede. - Apresenta uma rápida implantação em ambientes realistas; - É um modelo de uso interativo com a capacidade de correr o mesmo programa de alto nível sem problemas sobre os dados ao vivo ou armazenados. - Permite a instalação de novos programas num sistema a correr sem interromper as aplicações existentes.	Não permite o registo automático das condições meteorológicas aquando a deteção de um evento.

[7] É a quantidade de amostras de um sinal analógico coletadas numa determinada unidade de tempo, para conversão num sinal digital. Sendo uma frequência, é geralmente medida em Hertz (Hz).

[8] Um algoritmo é uma sequência finita de instruções bem definida e não ambígua, cada uma da qual pode ser executada mecanicamente num período de tempo finito e com uma quantidade de esforço finita.

[9] Representa a quantidade de energia no som de observação comparada com a quantidade de energia contida no ruído de fundo (Barker et al. 2009). Quanto mais alto for o rácio sinal ruído, menor é o efeito do ruído de fundo sobre a deteção ou medição do sinal.

Métodos	Descrição/Metodologia	Potencialidades	Limitações
ARUs - Autonomous recording units	Um ARU é um aparelho de gravação áudio autónomo desenvolvido pela *Bioacoustics Research Program*[10], que pode ser usado em ambiente terrestre ou marinho. É uma unidade de uso comercial, concebida para gravar a intervalos e durações pré-definidas. Armazena ficheiros de som num disco rígido. No final do período do levantamento, as unidades são recuperadas e os dados de som são descarregados e analisados usando softwares de análise de som em computadores. O ARU terrestre está alojado numa caixa de plástico compacto à prova de intempéries. O ARU de uso marinho, designado de *Pop-Up*, é recuperado do fundo do mar devido a um dispositivo que solta o aparelho para a superfície. A fonte de alimentação pode ser por de pilhas D ou de 12 volts.	- Têm pequeno tamanho e apresentam baixo consumo de energia, podendo funcionar durante semanas ou mesmo meses. - Podem ser coletados até 120 GB de gravações digitais. - Os ARUs terrestres podem ser colocados em áreas onde os investigadores queiram acompanhar populações. - O Pop-Up pode ser implementado no fundo do oceano a profundidades até 6.000 m. - Consegue-se tempos de vida maiores reduzindo os horários de gravação ou gravando a uma taxa de amostragem menor. - Pode ser usado na monitorização de uma variedade de vida selvagem, como elefantes, aves, e baleias. - Permitem o aumento da escala temporal e espacial de monitorização de espécies e populações de animais acusticamente conspícuos. - Aguns ARU's podem conter um GPS, permitindo o registo da posição dos animais e seguir os seus movimentos.	A capacidade de armazenamento de dados acústicos e a vida da bateria condicionam o tempo que o aparelho pode gravar. O custo monetário também pode limitar a escolha do uso deste aparelho.
Song Meter (Agranat 2009)	Sistema de hardware e software desenvolvido pela *Wildlife Acoustics*[11], de uso comercial. O hardware é constituído por um gravador áudio digital pequeno, leve, resistente às intempéries e de baixo custo. O Song Meter apresenta um *software* complementar, o Song Scope Bioacoustics para a deteção automática de aves, anuros e morcegos. Armazena 80 horas de som e pode ficar no campo durante um mês ou mais com um único conjunto de baterias. (Brandes 2008a)	- Especialmente concebido para a monitorização automática aves, anuros, morcegos, insetos, peixes, golfinhos, elefantes, primatas e outros animais selvagens. - Permite programar diferentes taxas de amostragem, *ganho*, filtros e *triggers*[12]. - Permite também programar horários de gravação complexos. - O Song Scope apresenta um visualizador de audioespectogramas que permite a visualização de ficheiros de som até 2 GB. Também apresenta poderosos algoritmos de classificação patenteados desenhados para procurar automaticamente padrões específicos de interesse ao longo das gravações.	A capacidade de armazenamento de dados acústicos e a vida da bateria condicionam o tempo que o aparelho pode gravar. O custo monetário também pode limitar a escolha do uso deste aparelho.

[10] É uma unidade pertencente ao Cornell Lab of Ornithology que desenvolve equipamento de gravação digital, software, e algoritmos que são usados por cientistas de todo o mundo para estudar comunicação animal e para monitorizar populações de animais selvagens.
[11] É uma empresa privada que fornece tecnologia de monitorização bioacústica para cientistas, investigadores e agências governamentais de todo o mundo.
[12] É um recurso de programação executado sempre que o evento associado ocorrer.

2.2. Programas de análise de som

Tal como já referido no ponto 3 do Capítulo I, as gravações digitais podem ser gravadas, reproduzidas e editadas por programas simples ou mais complexos que permitem uma análise mais detalhada dos sinais acústicos. Os programas para edição de som e análise genérica dos sons podem ser encontrados na internet, gratuitamente (*e.g*. Audacity), ou comercialmente, *e.g*. Adobe Audition. Somente alguns programas são dedicados exclusivamente ao uso bioacústico, alguns exemplos são: Avisoft, Raven, SeaPro, Seewave, Song Scope e o X-Bat (Obrist et al. 2010). Alguns deles são ferramentas bastante poderosas que permitem a implementação de algoritmos de deteção e reconhecimento automáticos.

2.3. Reconhecimento automático de vocalizações – *ACR – Automatic Call Recognition*

Devido à necessidade de uniformizar e aumentar a eficiência da análise dos dados, bem como ganhar independência de peritos, uma variedade de abordagens têm-se desenvolvido para o reconhecimento automático de vocalizações de animais. Os sistemas de ACR são indispensáveis para estudos de monitorização de longo prazo (Blumstein et al. 2011) que devido à produção massiva de dados quer devido à falta de recursos humanos para os analisar. Nos últimos anos têm-se desenvolvido muitos algoritmos de deteção, medição e classificação para o propósito do ACR. O processo de ACR é constituído por duas partes principais: a deteção do sinal e a classificação do sinal. A deteção do sinal envolve a extração de sons de interesse misturados no ruído de fundo aleatório. A classificação de som envolve a rotulagem dos sons em grupos biológicos relevantes (e.g. espécie, indivíduo, sexo e idade). Uma deteção automática de sinais fidedigna pode reduzir a necessidade de grandes capacidades de armazenamento de dados em equipamento de sensores remotos. Em vez de gravarem continuamente, apenas são gravados os sons de interesse identificados, reduzindo os requerimentos de armazenamento (Blumstein et al. 2011).

Uma vez detetado, o sinal tem de ser classificado de forma a determinar de que tipo de sinal se trata (espécie, indivíduo, etc.). A classificação automática baseia-se em bibliotecas exemplares ou em modelos pré-construídos. Qualquer método de classificação usado inicia-se com a extração da característica acústica do sinal que será usada para identificar o tipo de sinal. Os métodos de classificação podem ser supervisionados - os dados devidamente rotulados são usados para treinar o sistema; ou não-supervisionados - a estrutura dos próprios dados leva à sua classificação.

O desenvolvimento de algoritmos generalizados capazes de identificar as espécies com exatidão em condições de campo reais é uma tarefa cheia de desafios difíceis. Em primeiro lugar, as gravações realizadas por gravadores autónomos recebem tipicamente sons de todas as direções, espalhados e refletidos por árvores, contaminados por uma variedade imprevisível de ruído aleatório como o vento, aviões, tráficos de estrada, e outras espécies animais. Em segundo lugar, as vocalizações de várias espécies são altamente variadas de indivíduo para indivíduo (Brandes 2006). Os sons das aves, em particular, são complexos e variados como em nenhum outro grupo de animais não humanos. Esta complexidade torna o reconhecimento automático de vocalizações uma tarefa exigente para um único algoritmo. Finalmente, a dificuldade de criar classificadores automáticos pode aumentar em espécies que têm dialetos regionais, reportórios de canto muito longos, e mesmo vocalizações improvisadas ou imitações de outras espécies. Para que seja possível reconhecer todas as vocalizações de aves de uma região talvez seja necessário um *sofware* que use vários algoritmos simultaneamente (Brandes 2008a).

Diferentes métodos de deteção e classificação têm sido testados em morcegos, mamíferos marinhos, aves, anfíbios e insetos. A maioria destas abordagens atingem taxas de reconhecimento respeitáveis acima dos 90 % mas raramente cobrem todas as espécies esperadas (Obrist et al. 2010). Na Tabela 2 estão apresentadas algumas técnicas mais atuais de deteção e classificação de vocalizações de animais, e as suas potencialidades e limitações.

O reconhecimento automático de sinais acústicos de animais é um instrumento valioso para uma variedade de aplicações: identificação de pragas, levantamentos automáticos, monitorização de longo prazo e avaliação rápida da biodiversidade (Chesmore 2001). Rápidos avanços em computação e eletrónica estão a levar ao desenvolvimento de sistemas de reconhecimento automático de vocalizações capazes de realizarem monitorizações contínuas desacompanhadas de longo-prazo em regiões inóspitas (Chesmore 2004).

Tabela 2 - Técnicas usadas para o reconhecimento automático de vocalizações de animais.

Métodos	Descrição/Metodologia	Potencialidades	Limitações
Artificial neural networks (ANNs)	Um ANN é um programa de computador que pode aprender a executar tarefas como o reconhecimento de padrões (Pao 1989). É um processador do tipo neurónio que aceita a entrada de sinais de um ou mais processadores, converte estes sinais a um nível de atividade interna, e finalmente converte esta atividade num sinal de saída. (Nickerson et al. 2006) Existem muitas formas de ANNs que podem dividir-se por classificação supervisionada (requerem treino) e não supervisionada (sem treino) (Chesmore 2001).	- Os ANNs são atualmente amplamente usados em muitos problemas de identificação e classificação de vocalizações (Brades 2008a). - Os *Artificial Neural networks* têm sido usados com sucesso para identificar espécies de morcegos pela sua ecolocalização (Parsons & Jones 2000, Parsons 2001). - Distinção entre indivíduos numa população de gamos (*Dama dama*) (Reby 1997)	São suscetíveis ao ruído invariavelmente presente em aplicações de monitorização acústica (Brandes 2008b).
IBIS – Intelligent Bioacoustic signal Identification System	É um método de domínio puramente temporal, conhecido por *time domain signal coding*[13] (TDSC) que quando acoplado com um classificador ANN, fornece um veículo poderoso para a análise e reconhecimento de sinais bioacústicos. Apresenta baixa complexidade computacional.	- Método usado com sucesso para identificar espécies de orthoptera e aves (Chesmore 2001). Estes resultados foram obtidos com um elevado rácio sinal ruído e alta qualidade de sinais, sendo por isso pouco realistas (Frommolt et al. 2008). - Reconhecimento com segurança e precisão de sons de insetos num ambiente com ruído (Chesmore 2004). - Técnica adequada para a implementação de dispositivos de gravação de campo portáteis ou autónomos levando a um potencial para a monitorização contínua de longo-prazo (Chesmore 2004). - Método aplicado com sucesso em duas áreas de aplicação: deteção e classificação de pestes de insetos e estudos ecológicos, como a avaliação da biodiversidade (Frommolt et al. 2008).	São necessários métodos para separar múltiplas vocalizações simultâneas registados em gravações a analisar. Este problema diminui a taxa de sucesso do IBIS (Chesmore, 2001).

[13] Técnica de análise de sinal puramente de domínio temporal (Chesmore 2001).

Métodos	Descrição/Metodologia	Potencialidades	Limitações
Hidden Markov Models (HMMs)	Uso de técnicas de sequência estocástica para realizar classificações de som baseadas em medições de curto prazo das características do som e como essas características variam no tempo (Brades 2008a).	- Muito usada para o reconhecimento da linguagem humana (Brades 2008). - Aplicados com sucesso em sons de frequência modelada em ambiente ruidosos (Trifa et al. 2008). - Estes métodos têm sido usados com sucesso para classificar vocalizações de aves, (Kogan & Margoliash 1998; Trifa et al. 2008) particularmente com aves que têm uma estrutura harmónica rica nas suas vocalizações. - O desempenho pode ainda ser melhorado desenvolvendo métodos para aumentar o rácio sinal ruído (Trifa et al. 2008). - A deteção de diferentes espécies que ocorrem numa comunidade parece ser uma meta alcançável através deste método (Trifa et al. 2008).	Apresentam limitações devido aos efeitos do ruído na qualidade dos *feature vetores*[14] usados nestes modelos (Brades 2008). Deve-se ter especial cuidado na preparação e escolha das amostras de treino de forma a obter uma capacidade de generalização elevada (Trifa et al. 2008).
Processamento de imagem	Este método usa algoritmos para analisar a imagem. Inicialmente são usados dois métodos principais: a filtragem e a extração de características. Na filtragem são usadas estimativas do nível de som das bandas de frequência proeminentes para preparar limiares que separem os sons de fundo, permitindo depois o uso direto de extração de características de sinais na imagem resultante. Isto servirá de estrutura para mais dois métodos ACR: 1) Uso de filtros *blur* de imagem que desfocam a imagem permitindo o destacamento de padrões no ruído de fundo, e de um classificador *Bayesian* para identificar os resultados finais. 2) Uso de um conjunto diferente de características para identificar os sinais que resultam do audioespetrograma processado por HMMs.	- O método do filtro *blur* é mais indicado para identificar vocalizaçõe*s* de grilos enquanto o método que usa HMMs funciona melhor com assobios de frequência modulada, características de muitos anuros e aves. A combinação dos dois permite que tipos de vocalizações adicionais sejam melhor detetadas e classificadas (Frommolt et al. 2008). - Funciona bem em florestas tropicais, onde múltiplas espécies podem vocalizar simultaneamente e muitos ruídos de fundo estão presentes (Brandes et al. 2006). - Processo eficaz para a deteção e classificação automáticas de sons de frequência modulada de aves, grilos e sapos que num ambiente rico em ruído (Brades 2008b). - Técnica com potencial para trabalhar como parte de um programa de monitorização bioacústica tal como noutros propósitos de identificação bioacústica em ambientes naturais (Brades 2008b).	O potencial para uma boa classificação das vocalizações de grilos e sapos está em grande parte dependente de uma biblioteca completa de sons locais, e de um bom conhecimento sobre a variação dessas vocalizações. A precisão desta técnica também depende até que ponto os valores das características dos sonotipos (vocalizações que se presume serem especificas de espécie) se sobrepõem (Brandes et al. 2006). É um processo mais adequado para gravações feitas de uma forma sistemática, como os *ARUs* (Brandes 2008b).

[14] No reconhecimento de padrões, a *feature vetor* é um vetor n-dimensional de características numéricas que representa um objeto.

Métodos	Descrição/Metodologia	Potencialidades	Limitações
Análise de picos espectrais	Esta técnica foca-se em picos de intensidade espectrais. Baseia-se n extração de um conjunto de características úteis destes picos que são usadas para classificar os sons, comparando-as com vocalizações de referência (Chen & Maher 2006).	- Com complexidade computacional relativamente baixa, i.e., adequada para uma implementação em tempo real, que pode ser usada para classificar vocalizações tonais de aves (harmónicas ou não harmónicas) na presença de níveis de ruído de fundo realistas (Chen & Maher 2006). - Técnica usada com sucesso na classificação de vocalizações contidas em gravações com alto ruído de fundo (Chen & Maher 2006). - Tanttu *et al.* (2006) teve sucesso da deteção de vocalizações de voo de aves migradoras usando apenas componentes espectrais de picos de vocalizações.	Método inapropriado para usar em vocalizações de aves que contenham componentes não periódicas ou similares ao ruído (Chen & Maher 2006). Também é inapropriada se os componentes espectrais escolhidos mudem demasiado rápido em frequência e amplitude (Chen & Maher 2006).
Gaussian mixture models (GMMs)	Nesta abordagem os sons são tratados como distribuições normais de elementos de som, cada um com diferentes densidades ou pesos. Cada teste de som a classificar tem um conjunto diferente destas misturas e a classificação é feita baseada na combinação mais parecida estimada a partir de sons usados para treinar o modelo (Brandes 2008a).	Aplicado com sucesso num conjunto pequeno de espécies de aves (Kwan et al. 2004). Abordagem usada no reconhecimento da linguagem humana (Brandes 2008a).	Suscetíveis ao ruído (Brandes 2008b).
Dynamic time-warping (DTW)	Uma das abordagens mais recentes. A compressão e expansão temporais de modelos acústicos são usadas para detetar exemplos rápidos e lentos de sons particulares (Brandes 2008b).	- Apresenta grande potencial na classificação automática de vocalizações de orca. Uma das aplicações mais excitante desta técnica seria a capacidade de monitorizar os movimentos e as preferências de habitat deste cetáceo em estações de monitorização remotas (Brown et al. 2006). - Scharma et al. (2008) teve sucesso ao usar o DTW para detetar melhor aves migradoras noturnas através das suas vocalizações de voo.	É sensível ao ruído (Brandes 2008b). Apenas resulta em espécies que têm vocalizações pequenas e relativamente coerentes (Brandes 2008a).

3. Discussão

Os equipamentos de gravação automática descritos na Tabela 1 permitem o levantamento de dados acústicos em habitats terrestres ou aquáticos durante meses ou até mais de um ano. Eles também estão preparados para funcionar em locais remotos ou de difícil acesso e podem monitorizar todos os grupos animais referidos no capítulo 1 desta dissertação.

Ao nível de armazenamento de dados, os ARS mais recentes permitem gravar sinais acústicos em cartões de memória ou em discos rígidos até 120 GB de capacidade. Alguns deles podem ainda ser programados em relação a diferentes aplicações, como taxas de amostragem, ganho, filtros ou *triggers,* horários de gravação, para melhor se ajustarem às questões do estudo ou plano a ser implementado. A padronização de dados de campo ao longo do tempo é uma característica essencial para se implementar um plano de monitorização eficaz e fidedigno. O uso de equipamentos ARS permite o aumento da escala temporal e espacial de monitorização de espécies e populações de animais acusticamente conspícuos. Permitem também a análise da composição e abundância relativa de espécies de uma comunidade acústica e ainda a monitorização de longo prazo e consequentemente a avaliação de tendências populacionais.

Os investigadores podem construir unidades ARS's para satisfazerem as suas necessidades e orçamentos particulares, mas devem ter em conta que caso queiram realizar estudos que necessitem de sistemas múltiplos os investigadores devem usar os mesmos componentes para padronizar a qualidade dos dados ao longo do tempo e do espaço. Alternativamente podem usar ARS's comerciais, como o ARU e o Song Meter, desenvolvidos para monitorização bioacústica.

Ao nível da gestão de dados, técnicas como o EAR e o Song Meter têm a capacidade de gravar apenas eventos acústicos de interesse reduzindo a quantidade de dados armazenados, que por sua vez permite um período mais alargado no campo. No entanto, a eficiência na deteção destes eventos depende do rácio sinal ruído presente no momento da gravação. O Song Meter e o ARU podem gravar a intervalos e durações pré-definidas diminuindo também o problema de armazenamento característico dos ARS's.

O VoxNet é uma das técnicas mais completas e modernas descritas neste capítulo. Desenhado para ser usado em aplicações bioacústicas, apresenta uma rápida implantação em ambientes realistas, permite a visualização de fenómenos em tempo real, desenvolver e ajustar análises on-line e gravar dados brutos para análise off-line e arquivamento. O ARU e o Song Meter são sistemas muito versáteis permitindo o levantamento e monitorização de vários grupos de

animais (aves, cetáceos, insetos, morcegos, anuros, peixes e mamíferos terrestres) e são provavelmente as técnicas mais fáceis e rápidas de implementar.
Ao nível da análise dos dados, foram desenvolvidos para o Song Meter e o EAR algoritmos para processar automaticamente os dados gravados.

Os sistemas de reconhecimento automático de vocalizações são indispensáveis para estudos de monitorização de longo prazo, estando adequados para a implementação de dispositivos ARS. Além disso o próprio processamento de técnicas de ACR é mais eficaz em gravações realizadas de uma forma sistemática, como por exemplo com um ARS. Muitas técnicas de ACR estão a ser desenvolvidas para serem usadas em programas de monitorização bioacústica bem como noutros propósitos de identificação de sons biológicos em ambientes naturais (Brandes 2008b).
Existem diferentes métodos ACR aplicados com eficiência na identificação de morcegos, mamíferos marinhos e terrestres, aves, anuros e insetos, no entanto a maioria deles ainda processa um conjunto pequeno de espécies. Além da potencialidade de identificação de espécies diferentes as técnicas ACR também permitem a distinção de diferentes indivíduos dentro de uma mesma população.
Com esta revisão tornou-se claro que uma técnica ACR é mais poderosa quando apresenta mais de um tipo de algoritmo associado, permitindo uma gama mais alargada de tarefas de reconhecimento de sinal. Por exemplo, a técnica de processamento de imagem usa vários algoritmos para minimizar o ruído, extrair características dos sons a identificar e classificar diferentes tipos de vocalizações de animais. Além disso, a eficiência do processamento ACR está dependente de ter um ruído moderado nas gravações a analisar e um bom conjunto de treino de sons de animais. O ruído é um problema ainda persistente neste campo. No entanto, várias técnicas recentes têm mostrado bons resultados na extração do ruído nas gravações a processar.
Os HMMs permitem a identificação de vocalizações complexas, emitidas por muitas aves, mas não são os mais adequados para a identificação de vocalizações mais simples. Desta forma, o investigador que tencione usar técnicas ACR deve ter em consideração, não apenas o grupo animal que quer monitorizar, mas também as características dos sinais acústicos emitidas por esse animal ou grupo de animais.
O software para reconhecimento automático de sons de animais assenta na documentação de sons gravados, dando uma importância elevada ao papel e necessidade de bibliotecas de som (Brandes 2008a). O arquivo de som de mamíferos marinhos MobySound constitui um bom

exemplo do que se pode fazer em relação a esta limitação. O MobySound é um recurso tornado disponível para apoiar a investigação na deteção e classificação de sons de mamíferos marinhos. Em particular, destina-se a fornecer uma base comum para o treino, teste e comparação de algoritmos de reconhecimento automático de sons de baleias grandes (Mellinger & Clarck 2006).
Um dos maiores desafios para a monitorização bioacústica é o reconhecimento de sinal credível. Algoritmos que forneçam uma estimativa de qualidade ou confiança para cada deteção ou classificação podem ser muito vantajosos (Blumstein et al. 2011).

As tecnologias para a gravação automática de sons de animais e para a análise automática destes sons estão a florescer. Esta automatização será uma grande vantagem para a ciência e conservação uma vez que irá acelerar e aumentar a recolha de dados de campo (Brandes 2008a), cobrindo maiores áreas e permitindo melhorar as práticas de monitorização.
Conclui-se com esta revisão que as técnicas ARS e ACR em conjunto têm um grande potencial na avaliação e monitorização da biodiversidade. A bioacústica, como ferramenta, deve ser encarada como uma forma de enriquecer inventários biológicos através de dados bioacústicos recolhidos no campo. Não é um método absoluto, mas sim um método que pode complementar grandemente a informação biológica de uma local.
As inúmeras vantagens das técnicas bioacústicas mais recentes, descritas neste ponto, tornam possível a implementação eficaz e credível de planos de monitorização de espécies e populações animais. Para uma aplicação correta e eficaz destes planos é necessária uma análise prévia dos seus objetivos, espécies alvo, localização, tipo de habitat, época e limitações logísticas.
Para comparar a densidade de animais entre habitats, épocas, localizações geográficas, ou espécies é necessário estimar a área de amostragem absoluta. São necessários estudos de investigação futuros para desenvolver padrões e protocolos para estimar a área de amostragem absoluta antes que os métodos de gravação acústica possam ser apropriadamente incorporados nestes estudos (Celis-Murillo et al. 2009). O desenvolvimento de *standards* para testar e calibrar sistemas de gravação automática pode ser alcançado usando testes de tons (Hobson et al. 2002). No capítulo seguinte é explorada a calibração de um sistema de gravação automática. Além disso, aquando a implementação de unidades de gravação acústicas é necessário identificar covariantes relevantes padronizar a gravação e o registo dos metadados para que os dados de diferentes unidades de gravação sejam comparáveis (Celis-Murillo et al. 2009).

CAPÍTULO IV – PARTE EXPERIMENTAL: AVALIAÇÃO DE UM ARS - *AUTOMATED RECORDING SYSTEM*

1. Introdução

A monitorização da biodiversidade é essencial para identificar problemas de conservação e também para avaliar medidas de mitigação. A crise da biodiversidade torna urgente à sociedade, explorar e implementar novas formas de aumentar o nosso conhecimento sobre a diversidade biológica. A bioacústica é uma ferramenta poderosa para documentar a biodiversidade e o *ARS – Automated Recording System* - pode ser um elemento chave na monitorização e inventariação da biodiversidade.

De forma a implementar ferramentas bioacústicas num plano de monitorização de larga escala, é necessário testar e criar padrões. Muitos estudos sobre populações de animais selvagens necessitam estimar a densidade, tamanho, ou a taxa de alteração da população. A distância de amostragem pode ser uma abordagem eficaz para estimar estes parâmetros (Buckland et al. 2001).

Qualquer monitorização acústica tem de ter em consideração o espaço ativo da gravação, definida como "a distância a partir da fonte sobre a qual a sua amplitude permanece acima do limiar de deteção de recetores potenciais" (Brenowitz 1982). O espaço de deteção depende do emissor (animal a vocalizar), do ambiente (características de transmissão) e do recetor (microfone, gravador, etc.). Para um ARS, esta definição pode ser estendida para a área à volta deste, onde as vocalizações das espécies de interesse podem ser gravadas e identificadas (Obrist et al. 2010). O espaço de deteção determina o número de estações necessárias para monitorizar quantitativamente um habitat ou população particulares, e para comparar os dados entre estações. A quantificação do espaço de deteção pode ser realizada através de testes playback.

Os sinais acústicos podem ser recebidos a várias distâncias, permitindo uma deteção não invasiva e a observação dos seus produtores (Obrist et al. 2010). Uma unidade de gravação capta, tanto os sons das espécies pretendidas, como muitos e variados sons de origem antropogénica e ambiental. Enquanto os sinais dos animais se propagam no ambiente natural, eles são alterados da sua estrutura original por vários processos, diminuindo a capacidade de um recetor em detetar e reconhecer esses sinais (Barker et al. 2009). Os mamíferos, aves, anuros e insetos apresentam características acústicas diferentes nos sinais que emitem, como foi descrito no capítulo I. Desta forma, é necessário conhecer de que modo fatores como, a

distância entre fonte e recetor sonoros e a altura do microfone e fonte de som, afetam a propagação das diferentes vocalizações destes animais para estimar as distâncias de deteção para cada espécie.

O objetivo principal deste capítulo é aproximar o conhecimento prático da relação entre a distância de deteção, ruído e altura da fonte e recetor de som, numa perspetiva de calibração e otimização de um ARS, que permita melhorar futuras implementações no campo para monitorização bioacústica e estimação da abundância absoluta.

2. Objetivos

É pretendido através de experiências no campo quantificar qual o efeito da distância e altura do microfone e do emissor de som na propagação de sons de animais e a sua deteção em sistemas de gravação automáticos. Para tal pretende-se saber como varia a DDE num mamífero, numa ave, numa rã e num inseto. Também é pretendido avaliar como a DDE varia com o ruído. Espera-se esclarecer para uma determinada instalação de equipamentos, a área coberta para a deteção dos diferentes sons de animais.

3. Metodologia

3.1. Área de estudo

A experiência de propagação de som foi conduzida no Jardim Botânico de Lisboa no inverno de 2010. O Jardim Botânico tem uma área de 4 ha onde se observam espécimes vegetais oriundos de diversas partes do Mundo, entre as quais sobressaem: Cicadácias, Gimnospérmicas, palmeiras e figueiras tropicais. Os três testes que constituíram a experiência foram realizados em caminhos existentes no jardim, todos eles acompanhados em ambos os lados por uma faixa por vezes descontínua de árvores e de arbustos de várias espécies. Não existia, portanto, qualquer obstáculo entre as estações de emissão e receção.

3.2. Sons *playback*

A sequência teste usada neste estudo consistiu na emissão de 4 vocalizações típicas de 4 espécies de animais: o sapo parteiro (*Alytes cisternasii*); o melro (*Turdus merula*); o veado (*Cervus elaphus*) e a cigarra (*Cicada orni*). As vocalizações de animais foram calibradas às suas amplitudes naturais e geradas por um computador portátil Apple Macintosh. Também foi gerado um sinal de ruído branco (sinal aleatório com uma densidade de energia espetral plana) antes e depois da emissão das quatro vocalizações.

3.3. Procedimento experimental

O procedimento experimental geral consistiu na emissão dos sons (*playback*) de uma estação de emissão a diferentes distâncias e alturas para uma estação de receção (Figura 5). *Os sons palyback* foram amplificados e emitidos através de uma coluna autoamplificada. Mediram-se os picos de amplitude dos sons com um sonómetro (sound-level meter Brüel & Kjær 2230) a uma distância de 0.5 m da coluna, cujos valores variaram entre 94–102 dB de pico de amplitude para as vocalizações de todas as espécies consideradas e de acordo com os valores registados na natureza de cada uma. A medição da intensidade do som perto da fonte sonora é essencial para calibrar sistemas de monitorização acústica (i.e., para corrigir as diferenças na detetabilidade de espécies diferentes) (Márquez et al. 2006).

A equação usada para corrigir a intensidade das vocalizações das espécies a distâncias maiores que 0.5 m foi a seguinte: $Z=20*LOG_{10}(((X/0.5)*Y)/2.04x10^{-5})$. Onde X é o valor da intensidade em escala linear (convertido a pressão de som, N/m2) medida à distância Y (em m), e Z é o valor da intensidade correta a 0.5 m medida em decibéis (Marquez *et al.* 2006).

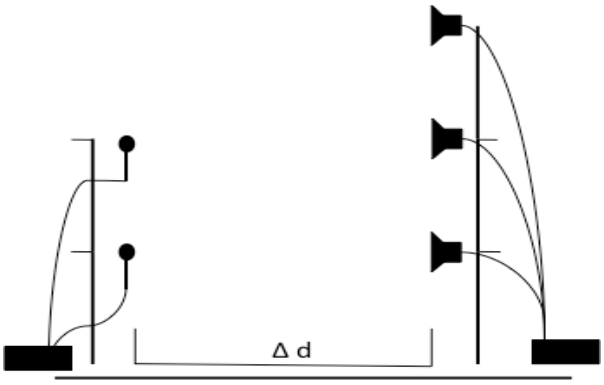

Figura 6: Diagrama do sistema experimental portátil usado nos testes de som. Δ d corresponde às distâncias testadas: 0.5, 10, 20, 50, 75 metros.

A estação de receção consiste em dois microfones Sennheiser omnidirecionais (ME62 capsule with the K6-P amplifier system, Germany) colocados às alturas de 1.00 e 1.80 m, protegidos por bolas de vento (Sennheiser MZW 64 Pro) e virados para cima. Os microfones foram ligados a 2 canais de um gravador digital Sound devices 778T (Winconsin, USA) com cabos de 40 m (Peridax TARQUAD 4,8 mm/ 4x0,25 mm, France). O nível de gravação do gravador digital foi colocado constante para todas as medições e calibrado para um ganho máximo (94 dB) ajustado a um nível em que nenhuma saturação tenha sido observada para nenhuma das vocalizações usadas.

A estação de emissão consiste numa coluna auto amplificada (Sony SR-A45) ligada a um computador portátil Apple Macintosh.

Os sons teste foram gravados dentro do desenho fatorial 3X2X4, i.e., com a coluna a 1.0, 2.0 e 3.0 m acima do solo e o microfone a 1.0 e 1.8 m acima do solo e a distâncias de 10, 25, 50, e 75 m da coluna. Estas gravações forneceram o som de observação para a análise dos dados.

Os instrumentos foram calibrados com um calibrador portátil (Brüel & Kjær 4230). Antes e depois de cada sessão de gravação gravou-se um tom de 1-kHz de um calibrador Brüel & Kjaer com os microfones. Os picos de amplitude dos sinais gravados foram determinados em relação à amplitude do tom calibrado gravado que media 96.8 dB.

Durante a gravação mediu-se a temperatura do ar em cada segundo com um termómetro (Fluke KJ 52) com uma aproximação de 0.1 °C; a humidade relativa com um higrómetro digital (Oregon Scientific EM-913R); e a velocidade e direção do vento. As gravações foram realizadas em condições atmosféricas uniformes nos três testes de som.

Neste caso, o ruído de fundo foi originado pelo ambiente urbano da cidade de Lisboa e, naturalmente, pelo ambiente do jardim botânico. O ruído de fundo, medido entre as vocalizações, foi aproximadamente 37.2 dB durante as medições, variando de 34.9 a 38.6 dB. O ambiente urbano contém normalmente sons com diferenças de propriedades espectrais e temporais consideráveis em relação aos sons produzidos por organismos vivos. A maioria destes sons ocorre a frequências acústicas mais baixas (menos de 4 kHz) (Pijanowski et al. 2011).

3.4. Análise dos sinais

As amplitudes das vocalizações em playback gravadas a diferentes distâncias da fonte de som foram medidas com o software SIGNALYZE 3.12 de um computador Macintosh G4. As gravações foram analisadas medindo a intensidade.

3.5. Análise dos dados

As amplitudes das vocalizações foram medidas como a média de RMS das vocalizações. A DDE foi considerada como a distância quando a amplitude do sinal iguala o ruído do ambiente (ver Figura 7). Foi determinada ajustando a variação da amplitude da vocalização a diferentes distâncias a uma função logarítmica e determinando a interceção entre essa função e a curva de ruído.

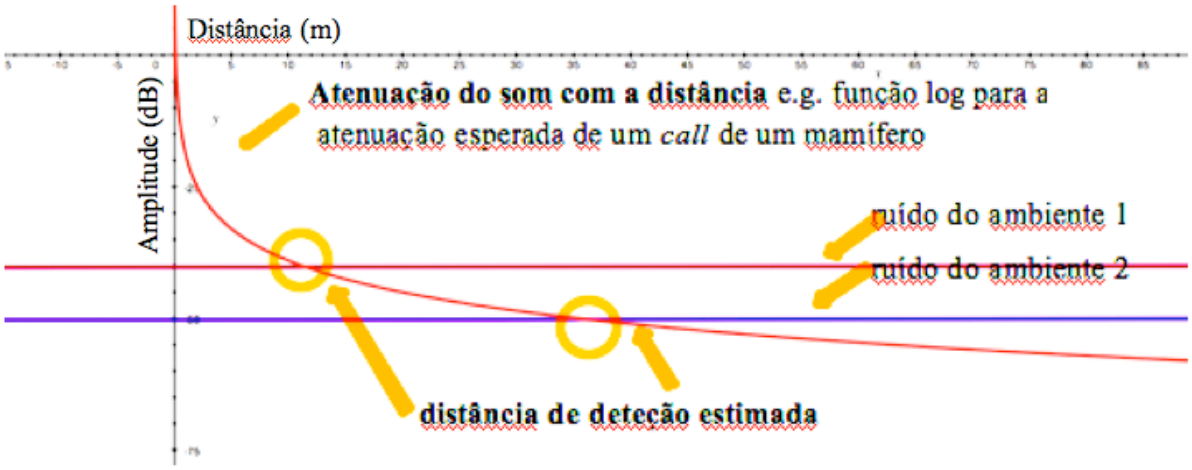

Figura 7: Degradação da intensidade com a distância e relação do cálculo da distância de deteção estimada com o ruído.

4. Resultados

4.1. Distância de deteção estimada - DDE

Tal como esperado verificou-se uma degradação da amplitude das vocalizações das quatro vocalizações de animais com o aumento da distância de propagação das mesmas.

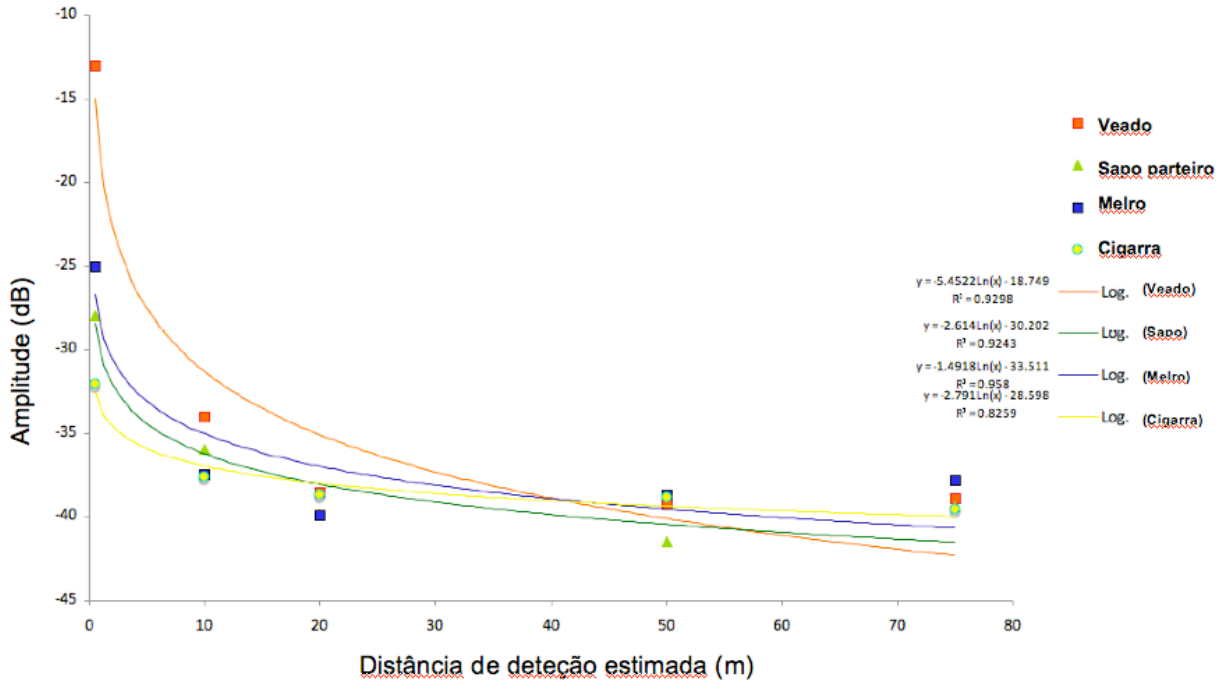

Figura 8: Variação da perda de amplitude com o aumento da distância das diferentes vocalizações de animais.

A abordagem deste estudo originou uma DDE com variação considerável (ver Figura 9) para as 4 vocalizações de animais. A vocalização do veado apresentou o maior valor médio de DDE, 55.8 m, enquanto a cigarra o menor, 37.9 m. A cigarra foi a que apresentou maior variabilidade nos valores de DDE, registando-se alguns valores muito baixos.

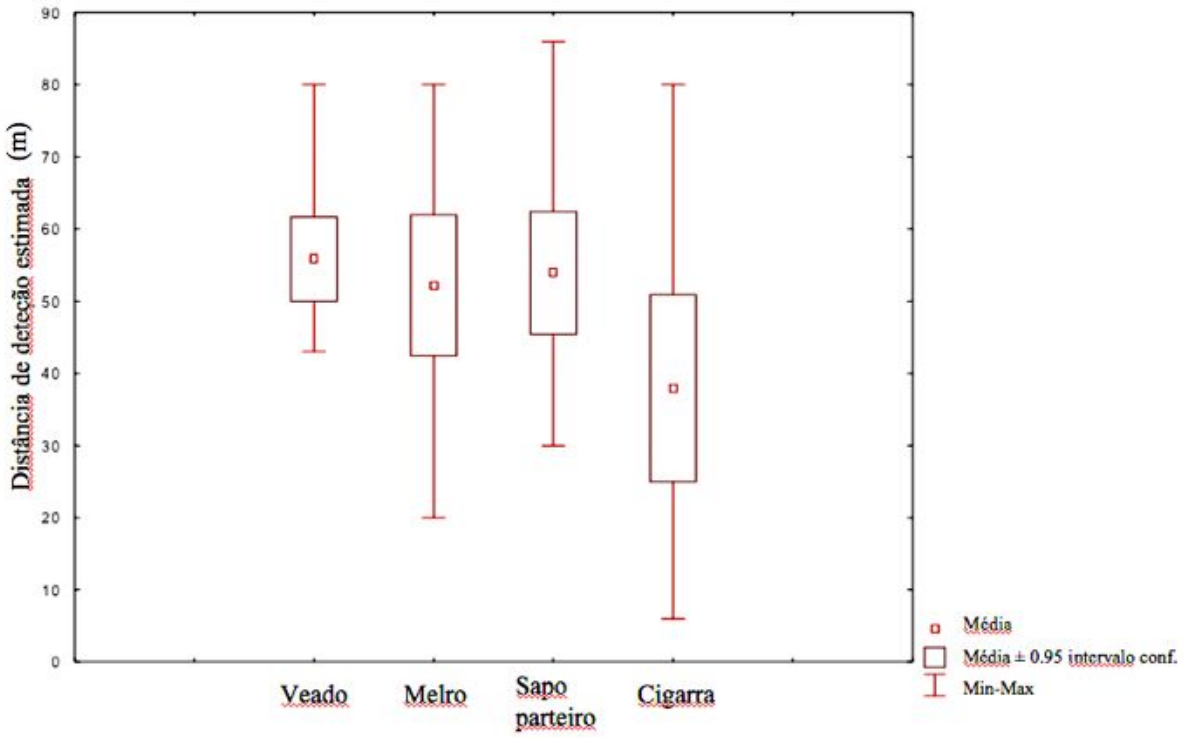

Figura 9: Variação das distâncias de deteção estimadas observadas das quatro vocalizações de animais.

4.2. Altura do microfone e posição da coluna

Os resultados apontam para o efeito da altura do microfone na DDE embora estes sejam dependentes da altura da coluna. Aparentemente duas situações ocorrem na Figura 10. A uma altura da coluna baixa (1 m) há um aumento da DDE com o aumento da altura do microfone (1-1.8m), no entanto, a tendência inverte-se se a coluna se encontrar a maiores alturas (2m ou 3m). Os resultados do anuro não acompanharam estes padrões.

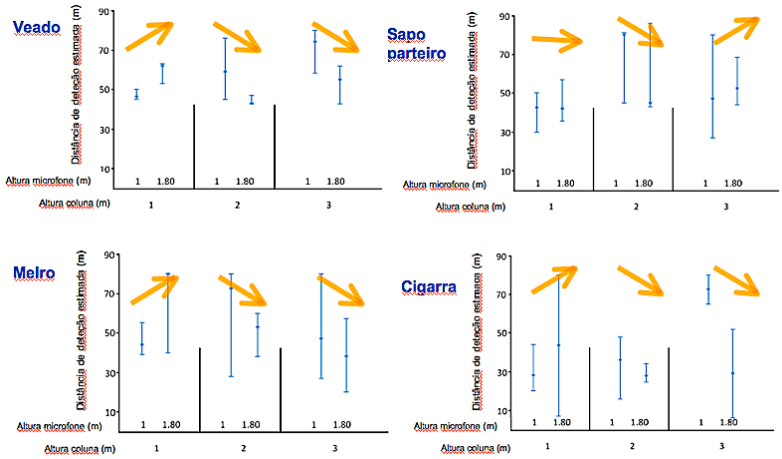

Figura 10: Distâncias de deteção estimadas das quatro vocalizações de animais e relação com as alturas no microfone (1 e 1.8 m) e da coluna (1, 2 e 3 m).

4.3. Ruído

Dentro da variação de ruído detetado no nosso estudo, não foi encontrada uma relação direta entre a distância de deteção estimada e o ruído em nenhuma das vocalizações (ver Figura 9).

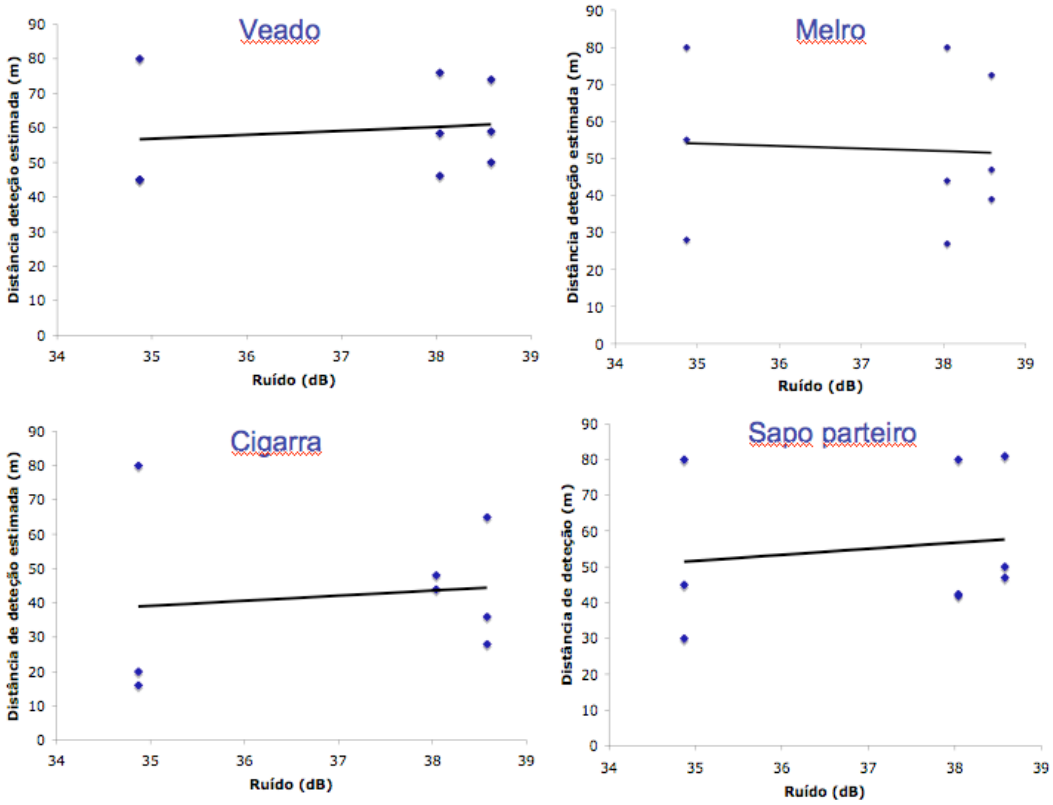

Figura 11: Variação da distância de deteção estimada com o ruído das quatro vocalizações de animais a 1 m de altura do microfone e para as três alturas da coluna (1, 2 e 3 m).

5. Discussão

A figura 8 lustra bem o aumento da degradação do som com a distância entre a fonte e o recetor de som, bem como a diferença entre as distâncias de deteção estimadas das quatro vocalizações de animais testadas nesta experiência.

Os sons de frequência mais alta são esperados sofrer maiores taxas de degradação com a distância quando comparados com sons de frequência mais baixa (Lawrence & Simmons 1982). Este fato pode justificar a cigarra ter apresentado um valor médio de DDE menor em relação às outras espécies. Os insetos emitem, em geral, sinais acústicos com valores de frequência mais elevadas que os restantes grupos de animais testados (mamífero terrestre, anuro e ave).

As grandes variações de DDE registadas para todas as espécies podem dever-se ao pequeno número de amostras realizadas, que originou uma curva logarítmica desajustada com a realidade.

Os valores de DDE registados para as diferentes alturas do microfone e da coluna sugerem que existe uma influência destes dois fatores na mesma. Estudos de investigação demostraram que a degradação do som aumenta com a distância (e.g. Lampe et al. 2007) e é afetada pela altura da fonte e do recetor de som (Mathevon et al. 2005).

No que diz respeiro ao ruído, era esperado que a DDE diminuísse com o seu aumento, no entanto, isso não se observou em nenhuma das vocalizações de animais. Isso pode dever-se a três aspetos. Primeiro, a variação de ruído observada durante os testes pode não ser suficientemente ampla para se detetar um padrão. Segundo, o erro de determinação da DDE é maior que a variação induzida pelo ruído. Finalmente, todos estes resultados estão condicionados pelo baixo número de amostras realizadas nesta experiência. Para uma melhor avaliação do efeito do ruído pode-se realizar uma experiencia com a emissão de *playbacks* de sons em conjunto com *playbacks* de diferentes níveis de ruído.

Estes resultados preliminares necessitam ser confirmados com mais testes. No entanto, sugerem que é possível determinar a distância de deteção de uma instalação de gravação e que ela varia de espécie para espécie. Os resultados também sugerem a necessidade de incorporar o efeito da altura do microfone e da coluna, e do ruído no desenvolvimento de modelos que prevejam a atenuação do som com a distância e, deste modo, a área coberta do ARS.

Em zonas temperadas, o habitat não afeta tanto a transmissão do som como afetam a altura e a frequência a que um som é emitido (Marten & Marler 1977). No entanto, é importante conhecer

a influência do tipo de habitat na distância de deteção estimada de cada sistema de gravação. Neste trabalho não tivemos em conta este fator.

Os investigadores ou gestores de natureza que considerem o uso de métodos de gravação acústica para amostrar espécies, populações ou comunidades de animais, devem conduzir a uma avaliação dos seus sistemas de gravação antes de os usar num estudo, mesmo que tenha sido usado com sucesso noutros tipos de vegetação, durante outras épocas, ou para outras espécies (Celis-Murillo et al. 2009).

CAPÍTULO V – DISCUSSÃO FINAL

1. O desenvolvimento da bioacústica em Portugal e a sua relação com o estudo e conservação da biodiversidade

A história da bioacústica em Portugal começou mais tarde em comparação com outros países, com os primeiros registos a datar o ano de 1977. Desde essa data até 2010, tem-se verificado um aumento no número de gravadores de sons de animais e expansões ao nível dos grupos taxonómicos registados nas áreas científicas abordadas. A bioacústica em Portugal auxiliou no estudo e documentação de várias espécies, especialmente dos grupos das aves, insetos, morcegos, anuros, peixes e mamíferos marinhos. Em alguns casos o seu uso foi fundamental para descrever novas espécies. O contributo da bioacústica no aprofundamento do conhecimento sobre a ecologia e biologia de várias espécies em Portugal constitui a base para a união entre a bioacústica e a conservação das mesmas. Desde 1995 que a bioacústica se revela um instrumento valioso e essencial para estudos e planos de conservação de morcegos e cetáceos. A aplicabilidade da bioacústica na conservação de morcegos e cetáceos que se observa em Portugal pode estender-se a outros grupos de animais como as aves, os anuros e os insetos, caso se verifique uma tendência nacional semelhante à internacional.

Atualmente existem ferramentas bioacústicas poderosas que podem ser implementadas, por exemplo, em regiões inóspitas, como o fundo do mar ou em falésias de ilhas oceânicas, para registarem grandes quantidades de sinais acústicos autonomamente por longos períodos de tempo. A existência de uma gama variada de equipamentos (microfones, gravadores, hidrofones, etc.) disponíveis comercialmente com preços variados, e cada vez mais acessíveis, permite a construção de unidades de gravação automáticas personalizadas adaptadas aos objetivos e orçamentos dos investigadores. Vários estudos demonstram a aplicabilidade destes sistemas de gravação automáticos na monitorização de várias espécies ou populações dos grupos das aves, morcegos, anuros, insetos, mamíferos terrestres e marinhos, e peixes. Ao nível da análise de sinais acústicos, novas técnicas estão a emergir no sentido de detetar e identificar automaticamente sinais bioacústicos. Embora existam ainda muitas limitações nestas técnicas, verifica-se um rápido desenvolvimento nesta área cuja aplicação se estende a todos os grupos animais anteriormente citados.

Outra limitação é a ausência de um arquivo de som nacional que preserve e disponibilize sons de animais representativos da fauna sonora portuguesa, que iria permitir desenvolver novos estudos em várias áreas bem como auxiliar no desenvolvimento de programas de

reconhecimento automático de sons de animais mais adequados às populações animais que ocorrem em Portugal. Um bom conjunto de amostras de treino proporciona uma melhor discriminação entre sinais similares, particularmente entre vocalizações de diferentes indivíduos da mesma espécie (Trifa 2008), permitindo a obtenção de maiores taxas de reconhecimento de sons de animais. O estudo sobre a história da bioacústica em Portugal esclareceu quais as espécies e locais gravados em Portugal. Este conhecimento pode permitir a inventariação do material existente.

Na análise de uma instalação específica de equipamentos de gravação automática de sons, verificou-se a necessidade de ter em conta vários fatores como o tipo de espécie em estudo e as alturas da fonte e recetor para estimar a área de amostragem da instalação. A calibração destes sistemas é essencial para estudos de densidades.

O objetivo central desta dissertação foi fazer um ponto de situação sobre o desenvolvimento da bioacústica em Portugal e o seu contributo na conservação, e perspetivar o desenvolvimento futuro da relação bioacústica e conservação. Deste modo, são aprofundadas de seguida as potencialidades da bioacústica para a gestão e conservação da natureza, ao nível dos grupos taxonómicos e ao nível geral.

2. Potencialidades da bioacústica numa perspetiva taxonómica

Para animais que produzem som as gravações acústicas são uma forma eficaz para amostrar populações e comunidades, para identificar a presença de espécies, e potencialmente, para estimar as suas abundâncias (Blumstein et al. 2011). A bioacústica apresenta potencialidades para a gestão de populações de animais de espécies com importância de conservação, como é o caso de muitas espécies de aves, morcegos, anuros, insetos e mamíferos marinhos e terrestres que ocorrem em Portugal.

2.1. Morcegos

A monitorização eficaz de sinais de ecolocalização é vital em muitos estudos de ecologia e conservação de morcegos (Fenton 1997). As vocalizações emitidas pelos morcegos permite estudar a distribuição e comportamento, e têm o potencial para a identificação de espécies. Em Portugal, a bioacústica tem permitido inventariar morcegos existentes em áreas protegidas portuguesas e estudar impactos das alterações antropogénicas da paisagem em populações de

morcegos para definição de medidas de minimização e compensação. Investigadores na área da conservação de morcegos consideram que a bioacústica de morcegos é um campo em ascensão havendo ainda muito para explorar, como por exemplo, na identificação das diferentes espécies de morcegos e na identificação individual. Ao nível do equipamento, existem diferentes tecnologias disponíveis para monitorizar e gravar ultrassons e recentes abordagens promissoras para o reconhecimento automático estão a emergir (Obrist et al. 2010). Contudo, os custos do equipamento continuam a ser muito elevados podendo limitar a sua aplicação.

2.2. Mamíferos marinhos

No caso dos cetáceos, o som é provavelmente o modo preferido de transferência de informação para distâncias acima dos 100 m, e, deste modo, os métodos acústicos oferecem um progresso significativo em relação aos métodos visuais tirando proveito da propensão natural dos animais para produzir sons (Mellinger & Clarck 2006). O Departamento de Oceanografia e Pescas dos Açores implementou em 2007 um dispositivo EAR para estudar a atividade antropogénica na Reserva Natural Regional dos Ilhéus das Formigas. Atualmente estão 4 EARs a gravar em permanência nas águas oceânicas dos Açores, com o objetivo adicional de monitorizar a ocorrência de cetáceos. Os dispositivos ARS de uso marinho além da capacidade de documentar a presença de cetáceos também têm valor como ferramenta de monitorização ecológica, na medida que sendo consumidores de topo, a sua presença numa área reflete a ocorrência de certos recursos (Lammers et al. 2007). Os investigadores na área da conservação de cetáceos entrevistados neste estudo, consideram que as ferramentas bioacústicas apresentam uma importância cada vez maior para o estudo dos cetáceos.

2.3. Aves

As aves são acusticamente conspícuas e são regularmente monitorizadas através dos sons que produzem especialmente em habitats com baixa visibilidade. As aves são boas indicadoras das alterações na biodiversidade porque estão distribuídas numa larga gama de paisagens, são fáceis de detetar em comparação com outros grupos de animais e existe um bom conhecimento sobre a biologia da maioria das espécies (Bardeli et al. 2010). Resultados de um estudo de Vielliard (2000) confirmam que a estrutura de uma comunidade de aves é um bom indicador de biodiversidade, sendo particularmente útil onde a biodiversidade é elevada. Contudo existe a

necessidade de estudos que esclareçam a relação entre a riqueza de comunidades de aves e a biodiversidade de uma área.

Algumas aves marinhas apresentam geralmente habitats de nidificação inóspitos e de difícil acesso (e.g. falésias, encostas, ilhas oceânicas, etc.) e a maioria nidifica em colónias. O uso de ARS para monitorizar estas aves pode permitir o estudo das suas populações sem as perturbar, e poderá registar dados importantes sobre a sua ecologia, distribuição e estimativas sobre as suas populações. Em Portugal ocorrem várias espécies de aves marinhas com estatutos de conservação elevados. É necessário estudar a viabilidade do uso de ferramentas acústicas na monitorização de populações de aves marinhas em Portugal.

A geografia de Portugal apresenta um grande potencial para o estudo das migrações de aves. Muitas aves emitem vocalizações de voo durante a sua migração noturna, especialmente aves aquáticas e aves canoras (Schrama 2006). A monitorização acústica de vocalizações de voo noturno de aves migradoras oferece um enorme potencial para melhorar a compreensão das rotas migratórias, os períodos da migração, a composição de espécies em locais específicos e monitorizar as alterações populacionais de algumas aves migradoras. Sugere-se o estudo da potencialidade em implementar estações de monitorização de vocalizações noturnos de aves migradoras em Portugal, com matrizes de microfones direcionados para o céu, em locais com grande fluxo de migração de aves a baixas altitudes. Esta metodologia será especialmente valiosa quando usada em conjunto com outras técnicas mais convencionais, como a anilhagem ou as contagens diurnas (Evans 2000). Ao nível de técnicas ACR, as técnicas de Análise de picos espectrais e o DTW tiveram sucesso no reconhecimento de vocalizações de voo noturno de aves migradoras. Aparentemente, o reconhecimento automático deste tipo de vocalizações é facilmente mais alcançável.

2.4. Anuros

Os anfíbios apresentam geralmente uma distribuição agregada em climas temperados distribuindo-se junto de linhas de água. Esta característica conjugada com o facto de emitirem sinais acústicos durante a sua época de reprodução torna este grupo de animais fáceis de monitorizar e de estimar as suas populações usando o som. As revisões mais recentes sobre a conservação de espécies de anuros em todo o mundo indicam que eles estão entre os grupos mais ameaçados, mais do que os mamíferos e aves (Stuart et al. 2004). Entre os muitos fatores que estão relacionados com essa ameaça, a alteração climática global parece estar relacionada com o declínio das populações de anuros. A localização geográfica da Península Ibérica torna-os particularmente vulnerável a estas alterações (Márquez 2008). No projeto Tempura, por exemplo, Márquez et al. (2008) usaram gravações acústicas automáticas para estudar a fenologia reprodutiva dos anuros em muitos locais em relação com a temperatura e humidade para obter conhecimento sobre os impactos das alterações climáticas nas populações de anuros em Espanha e Portugal. Nesse estudo usaram uma rede de ARS's personalizados cuja calibração incluindo a metodologia para definir níveis de gravação similares em todas as unidades, determinaram a forma e extensão da área coberta por cada unidade, que finalmente permitiu determinar a percentagem da população total e o número correspondente de adultos. A implementação de planos de monitorização das populações de anuros em Portugal torna-se uma tarefa urgente face às alterações climáticas que se observam a um ritmo cada vez maior. Técnicas ACR mostraram ser eficientes para este fim e o fato das vocalizações variarem muito menos nos anuros que nas aves, alivia a deteção e identificação automáticas de espécies de anuros (Brandes et al. 2006).

2.5. Insetos

A maioria da investigação em Portugal concentra-se na Ordem Hemiptera, nas sub-famílias Cicadidae e Tibicininae (cigarras). Existe ainda muito para explorar na área da bioacústica dos insetos, nomeadamente em estudos de sistemática e conservação.

O grupo das cigarras é de grande interesse para estudos de biodiversidade e de conservação, devido às suas características biológicas e ecológicas. As cicarras da sub-família Tibicininae podem ser usadas como espécies bioindicadoras de hotspots de endemismo (Villet & van Noort 1999) enquanto as cigarras da sub-família Cicadinae são indicadoras da diversidade de habitats e saúde de um ecossistema (Milton & Dean 1992).

2.6. Mamíferos terrestres

Embora seja o grupo com menos investigadores na área da bioacústica em Portugal, a monitorização de vocalizações de cervídeos (*Cervus elaphus* e *Capreolus capreolus*) em Portugal através de ferramentas acústicas poderá fornecer estimativas populacionais de grupos selvagens ou mesmo cinegéticos. Por exemplo, Reby et al. 1999 descobriram que é possível distinguir através das vocalizações de corço (*C. capreolus*) diferentes indivíduos, sexos e idades.

3. Potencialidades da bioacústica numa perspetiva geral

- **Estudar a distribuição geográfica de algumas espécies animais.**

O registo sonoro é, em alguns casos (insetos, aves tímidas, espécies raras de observar e mesmo raras), muito mais fácil de adquirir que outro tipo de registo (visual, captura, etc.). O estudo da distribuição geográfica das espécies é essencial para a gestão adequada das populações. Pode-se usar a biocústica para mapear os territórios e monitorizar a dinâmica espacial de espécies de interesse para a conservação.

- **Estudar a fenologia de espécies e populações**

A conjugação de ferramentas bioacústicas com instrumentos de medição de dados abióticos e a monitorização acústica ao longo de um ciclo anual permitem o conhecimento mais profundo da fenologia das espécies e deste modo permite uma melhor gestão das suas populações.

- **Avaliar alterações de longo prazo relacionadas com atividades humanas, modificação de habitat e alterações climáticas.**

A terra está atualmente sujeita à alteração climática e alteração de habitat a escalas sem precedentes (Jones 2009). Com a tecnologia bioacústica é possível monitorizar o efeito destes fatores na biodiversidade.

- **Identificação de zonas importantes para a biodiversidade.**

As ferramentas bioacústicas mostraram ser eficazes e adequadas para a monitorização de áreas sensíveis de grande interesse de conservação, por serem, não só, ferramentas não invasivas mas também pela possibilidade de serem implementadas no campo durante longos períodos de tempo mesmo em condições adversas. A implementação de uma rede de ARS's

em áreas protegidas terrestres e marinhas, especialmente em locais inóspitos e de difícil acesso, pode facilitar a monitorização destes locais ao nível dos impactos antropogénicos potenciais. Por exemplo, a implementação de ARS's em AMPs (Áreas Marinhas Protegidas) permite monitorizar não só a diversidade biológica acústica mas também a atividade antropogénica do local, como a pesca e atividades de lazer que normalmente são interditas nestas áreas.

Usando vários ARS's em múltiplos locais de interesse de conservação em simultâneo é possível, por comparação, detetar os locais com maior biodiversidade. Este conhecimento permite concentrar esforços de gestão e conservação em locais de maior biodiversidade.

BIBLIOGRAFIA

Agranat, I. (2009) Automatically identifying animal species from their vocalizations Wildlife Acoustics Inc.

Ahtiainen, J.J., Alatalo, R.V., Mappes, J., Vertainen, L. (2004) Decreased sexual signalling reveals reduced viability in small populations of the drumming wolf spider Hygrolycosa rubrofasciata. Proc. Roy. Soc. London Ser B: Biol. Sci. 271, 1839–1845.

Algoritmos (2011). Acedido em 11 de agosto de 2011, em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Algoritmos

Allen, M., Girod, L., Newton, R., Madden, S., Blumstein, D.T. & Estrin, D. (2008) VoxNet: an interactive, rapidly-deployable acoustic monitoring platform. IPSN '08: Information Processing in Sensor Networks, pp. 371–382: Cogent Comp.,ARC, CoventryUniversity, Coventry.

Alström P. & Ranft R. (2003) The use of sounds in bird systematics, and the importance of bird sound archives. Bull Brit Orn Club (Suppl.) 123A: 114-135.

Amorim, M. C. P., Simões, J. M., Fonseca, P. J. & Almada, V. C. (2010) Patterns of shelter usage and social aggregation by the vocal Lusitanian toadfish. Marine Biology, 157, 495-503.

Anderson, S. E., Dave, A. S. & Margoleash, D. (1996) Template-based automatic recognition of birdsong syllables from continuous recordings. - Journal of the Acoustical Society of America 100: 1209-1219.

Autonomous recording units (2011). Acedido em 9 de março de 2011, em: http://www.birds.cornell.edu/brp/hardware/autonomous-recording-units

Bardeli R., Wolff D., Kurth F., Koch M., Tauchert K.-H, Frommolt K.-H (2010) Detecting bird sounds in a complex acoustic environment and application to bioacoustic monitoring. Pattern Recognition Letters 31(12): 1524-1534.

Barker N.K., Dabelsteen T., Mennill D.J. (2009) Degradation of rufous-and-white wren songs in a tropical forest: Effects of sex, perch height, and habitat. *Behaviour* 146:1093-1122.

Blumstein, D. T., Mennill, D. J., Clemins, P., Girod, L., Yao, K., Patricelli, G., Deppe, J. L., Krakauer, A. H., Clark, C., Cortopassi, K. A., Hanser, S. F., McCowan, B., Ali, A. M. & Kirschel, A. N. G. (2011) Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus. Journal of Applied Ecology 48, 758-767.

Brandes, T. S., Nasrecki, P. & Fihueroa, H. K. (2006) Using image processing to detect and classify narrow-band cricket and frog calls. - Journal of the Acoustical Society of America 120: 2950 – 2957.

Brandes, T. S, (2008a) Automated sound recording and analysis techniques for bird survey and conservation. Bird Conserv. Internat. 18, 163–173.

Brandes, T. S. (2008b) Feature vetor selection and use with hidden Markov models to identify narrow-band frequency modulated bioacoustic sounds amidst noise.in review

Brandes T. S. (2008c) Techniques for bioacoustic signal detection using image processing, pp. 103-110 in Computational bioacoustics for assessing biodiversity, Frommolt, Bardeli, and Clausen 3 (Eds), Bundesamt fur Naturschutz, Bonn, Germany; 4.

Brenowitz, E. A. (1982) The ative space of the red winged blackbird song. *Journal of Comparative Physiology* 147: 511-522.

Brown, J. C., Hodgins-Davis, A., and Miller, P. J. O. (2006) "Classification of vocalizations of killer whales using dynamic time warping'' J. Acoust. Soc. Am. 119, EL34-EL40.

Buckland, S.T ., Anderson D. R., Burnham K. P., Laake J. L., Borchers D. L. & Thomas L. (2001) Introduction to Distance Sampling. Oxford University Press, Oxford. 432 pp.

Bybee, R. W., Powell, J. C., Ellis, J. D., Giese, J. R., Parisi, L. & Singleton, L. (1991) Integrating the History and Nature of Science and Technology in Science and Social Studies Curriculum. *Science Education,* 75, 143-155.

Celis-Murillo, A., Deppe, J. L. & Allen, M. F. (2009) Using soundscape recordings to estimate bird species abundance, richness, and composition. Journal of FieldOrnithology, 80, 64–78.

Chen, Z. & Maher R. C. (2006) Semiautomatic classification of bird vocalizations using spectral peak tracks. - Journal of the Acoustical Society of America 120: 2974-2984.

Chesmore, E. D. (2001) Application of time domain signal coding and artificial neural networks to passive acoustical identification of animals. - Applied Acoustics 62: 1359- 1374.

Chesmore, E. D. (2004) Automated bioacoustic identification of species. - Anais da Academia Brasileira de Ciencias 76: 435-440.

Collier, T. C., Kirschel, A. N. G. & Taylor, C. E. (2010) Acoustic localization of antbirds in a Mexican rainforest using a wireless sensor network. Journal of the Acoustical Society of America, 128, 182–189.

Dabelsteen T. (1981) The sound pressure level in the dawn song of the blackbird Turdus merula and a method for adjusting the level in experimental song tot he level in natural song. Z. Tierpsychol., 56, 137-149.

Dabelsteen, T., Larsen, O. N. & Pedersen, S. B. (1993) Habitat-induced degradation of sound signals: quantifying the effects of communication sounds and bird location on blur ratio, excess attenuation, and signal-to-noise ratio in blackbird song. — J. Acoust. Soc. Am. 93: 2206-2220.

Daston, L. (2004) Type Specimens and Scientific Memory. Critical Inquiry, 31, 153-182.

Daston, L., Renn, J. r. & Rheinberger, H.-J. r. (2005) International Max Planck Research Network "History of Scientific Objects".

Dawson, D. K., Efford, M. G. (2009) Bird population density estimated from acoustic signals. J. Appl. Ecol. 46, 1201–1209.

Dooling R. J., Mulligan J. A. & Miller J. D. (1971) Auditory Sensitivity and Song Spectrum of the Common Canary (Serinus canarius). JASA, 50, 700-709.

Ecolocalização (2011). Acedido em 11 de agosto de 2011, em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ecolocalização

Evans, W. R. & Rosenberg K. V. (2000) Acoustic monitoring of night-migrating birds: a progress report. In Bonney, Rick, David N. Pashley, Robert J. Cooper, and Larry Niles, eds. Strategies of Bird Conservation: The Partners in Flight Planning Process. Proceedings of the 3rd Partners in Flight Workshop; 1995 October 1-5; Cape May, NJ. Proceedings RMRS-P16. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain.

Faustino, C. E. S., Silva M. A., Marques T. A. & Thomas L. (2010) Designing a shipboard line transect survey to estimate cetacean abundance off the Azores archipelago. Arquipelago. Life and Marine Sciences 27: 49-58.

Favaretto, A., de Battisti, R. & Pavan, G. (2006) Acoustic features of red deer (*Cervus elaphus*) stags vocalizations in the cansiglio forest (NE italy, 2001-2002). *Advances in Bioacoustics II, Proceedings of the XX International Bioacoustics Congress (Piran, Slovenia, 2005)*: 125-138.

FCT (2002) FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia • 1997-2001, cinco anos de atividades, Ministério da Ciência e da Tecnologia Lisboa.

Feature vetor (2011). Acedido em 11 de agosto de 2011, em: http://en.wikipedia.org/wiki/Feature_vetor

Fenton, M. B., Audet D., Obrist M. K. & Rydell J. (1995) Signal strength, timing, and selfdeafening: The evolution of echolocation in bats. Paleobiology 21: 229-242.

Fenton, M. B. (1997). Science and the conservation of bats. *J. Mammal.* 78, 1–14.

Fletcher, N. (2007) Animal Bioacoustics. Springer Handbook of Acoustics (eds T. D. Rossing & N. Fletcher), pp. 785-804. Springer New York.

Fletcher Jr., R. J. (2008) Social information and community dynamics: nontarget effects from simulating social cues for management. Ecol. Appl. 18, 1764–1773.

Fonseca, P. J., Serrão, E. A., Pina-Martins, F., Silva, P., Mira, S., Quartau, J. A., Paulo, O. S. & Cancela, L. (2008) The evolution of cicada songs contrasted with the relationships inferred from mitochondrial DNA (Insecta, Hemiptera). Bioacoustics, 18, 17-34.

Frommolt, K.-H., Bardeli, R. & Clausen, M. (2008) Computational bioacoustics for assessing biodiversity. International Expert meeting on IT-based detection of bioacoustical pattern. Federal Agency for Nature Conservation, International Academy for Nature Conservation (INA), Isle of Vilm. BfN-Skripten 234: 160 pp.

Gain (2011). Acedido em 11 de agosto de 2011, em: http://en.wikipedia.org/wiki/Gain

Galeotti, P. & Pavan, G. (1991) Individual recognition of male Tawny owls (*Strix aluco*) using spectrograms of their territorial calls. *Ethology, Ecology & Evolution* 3: 113-126.

Garfield, E. (2007) Charting The Growth Of Science, Presented at the Chemical Heritage Foundation, May 17, 2007.

Gay, P. D. (1997) Doing cultural studies: the story of the Sony Walkman, Sage, London.

Gerhardt, H.C. (1994) The evolution of vocalization in frogs and toads. Annual Review of Ecology and Systematics 25: 293–324.

Gilbert, G., McGregor P. K. & Tyler G. (1994) Vocal Individuality as a Census Tool: practical considerations illustrated by a study of two rare species. J. Field Ornith., 65:335-348.

Gilbert, G., Tyler, G. A., Smith, K. W. (2002) Local annual survival of booming male Great Bittern Botaurus stellaris in Britain, in the period 1990–1999. Ibis 144, 51–61.

Heuwinkel H. (1978). Der Gesang des Teichrohrsängers (Acrocephalus scirpaceus) unter besonderer Berücksichtigung der Schalldruckpegel-(”Lautstärke“-) Verhältnisse. Journal Of Ornithology, 119, 450-461.

Hobson, K. A., Rempel, R. S., Hamilton, G., Turnbull, B. & Wilgenburg, S. L. V. (2002) Acoustic surveys of birds using electronic recordings: New potential from an omnidirectional microphone system. *Wildlife Society Bulletin* 30: 709-720.

Instruments & Techniques for bioscoustics (2011). Acedido em 2 de março de 2011, em: Disponível http://www-3.unipv.it/cibra/edu_equipment_uk.html

Jones, G., Jacobs D. S., Kunz T. H., Willig M. R., and Racey P. A. (2009) Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. Endangered Species Research . 8:93-115.

Kettle, R. & Vielliard, J. (1991) Documentation standards for wildlife sound recordings. Bioacoustics 3, 235-238.

Kirschel, A. N. G., Cody, M. L., Harlow, Z. T., Promponas, V., Vallejo, E. E. & Taylor, C. E. (2011) Territorial dynamics ofMexican Antthrushes revealed by individual recognition of their songs. IBIS, 153, 255–268.

Kogan, J. A. & Margoliash, D. (1998): Automated recognition of bird song elements from continuous recordings using dynamic time warping and hidden Markov models: A comparative study. - Journal of the Acoustical Society of America 103: 2185-2196.

Kroodsma D.E., Budney G.F., Grotke R.W., Vielliard J.M.E., Gaunt S.L.L., Ranft R. and Veprintseva O.D. (1996) Natural Sounds Archives: Guidance for Recordist and a Request for Cooperation. In: Kroodsma DE and Miller EH. (Eds), Ecology and Evolution of Acoustic Communication in Birds. Ithaca, NY: Cornell University Press, p. 474-486. Kroodsma D. (2005) The Singing Life of Birds: The Art and Science of Listening to Birdsong. Houghton Mifflin Harcourt.

Kwan, C., Mei, G., Zhao, X., Ren, Z., Xu, R., Standford, V., Rochet, C., Aube, J. & Ho, K. C. (2004) Bird classification algorithms: Theory and experimental results. - IEEE Int. Conf. Acoust. Speech and Signal Processing (ICASSP'2004). V: 289-292.

Ladich, F., Bischof, C., Schleinzer, G. & Funchs, A. (1992) Intra- and interspecific differences in agonistic vocalization in croaking gouramis (genus: Trichopsis, Anabantoidei, Teleostei). Bioacoustics 4: 131-141.

Laiolo, P., Tella, J. L. (2006) Landscape bioacoustics allows detection of the effects of habitat patchiness on population structure. Ecology 87, 1203–1214.

Laiolo, P., Jovani, R., (2007) The emergence of animal culture conservation. Trends Ecol. Evol. 22, 5.

Laiolo, P., Tella, J. L. (2007) Vocal diversity patterns – reply. Front. Ecol. Environ. 8, 406–407.

Laiolo, P., Vögeli, M., Serrano, D., Tella, J. L. (2008) Song diversity predicts the viability of fragmented bird populations. PLoS-ONE 3, e1822.

Laiolo, P. (2010) The emerging significance of bioacoustics in animal species conservation. Biological Conservation, 143, 1635-1645.

Lammers, M. O., Brainard, R. E. and Au, W. W. L., Mooney, T. A. and Wong K. (2008) An Ecological Acoustic Recorder (EAR) for long-term monitoring of biological and anthropogenic sounds on coral reefs and other marine habitats." J. Acoust. Soc. Am. 123:1720-1728.

Lampe, H. M., Larsen, O. N., Pedersen, S. B. & Dabelsteen, T. (2007) Song degradation in mthe hole-nesting pied flycatcher *Ficedula hypoleuca*: implications for polyterritorial behaviour in contrasting habitat-types. —Behaviour 144: 1161-1178.

Lawrence, B. D. & Simmons J. A. (1982) Measurements of atmospheric attenuation at ultrasonic frequencies and the significance for echolocating bats. The Journal of the Acoustical Society of America **71**: 585-590.

Leadley, P.W., Pereira, H.M., Alkemade, R., Fernandez-Manjarrés, J., Proença, V., Scharlemann, J.P.W. & Walpole, M. (2010) Biodiversity Scenarios: Projections of 21st century change in biodiversity and associated ecosystem services. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.

Lynch, A. & Baker, A. J. (1994) A population memetics approach to cultural evolution in chaffinch song: diferentiation among populations. Evolution, 48, 351-359.

Maienschein, J. (2000) "Why Study History for Science?", Biology and Philosophy, Vol. 15, 2000, p. 340.

Marques, P. A. M., Leonard, M. L., Horn, A. G. & Contasti, A. (2011) How Nestling Tree Swallows (Tachycineta bicolor) Integrate their Responses to Hunger and Signalling by Nestmates. Ethology, 163-170.

Márquez R., Bosch J. & Penna M. (2006). Sound pressure level of advertisement calls of Alytes cisternasii and Alytes obstetricans (Anura, Discoglossidae). Bioacoustics 16(1):27-37.

Márquez, R., Llusia, D., Beltrán, J. F., do Amaral, J. P. & Bowkers, R. G. (2008) Anurans, the group of terrestrial vertebrates most vulnerable to climate change: a case study with acoustic monitoring in the Iberian Peninsula. Computational Bioacoustics for Assessing Biodiversity (eds K.H. Frommolt, R. Bardeli & M. Clausen), pp. 4–52. BfN-Skripten, Isle of
Vilm, Germany.

Márquez, R., de la Riva, I., Gil, D., Sueur, J., Marques, P. A. M., Llusia, D., Eekhout, X., Gonzalez, L., Perez, M., Solis, G., Beltrán, J. F. & do Amaral, J. P. S. (2011) Los sonidos de los animales: una forma de su indentidad. [The sounds of animals: an identity]. Quercus, 399, 34-44.

Marten K. & Marler P. (1977) Sound transmission and its significance for animal vocalization. Behav. Ecol. Sociobiol., 2, 271-290.

Mathevon N., Dabelsteen T., Blumenrath S. (2005) Are high perches in the Blackcap *Sylvia atricapilla* song or listening posts? A sound transmission study. Journal of the Acoustical Society of America, 117:442-449.

McComb, K. & Reby D. (2005) Vocal communication networks in large terrestrial mammals. Pages 372–389 in McGregor P, ed. Animal Communication Networks. Cambridge University Press.

Mellinger, D. K., and Clark, C. W. (2006) MobySound: A reference archive for studying automatic recognition of marine mammal sounds. Applied Acoustics 67(11-12):1226-1242.

Milton, S. J. & Dean, W. R. J. (1992) An underground index of rangeland degradation: cicadas in arid southern Africa. Oecologia 91: 288-291.

Mooney, H.A., Agard, J., Capristano, D., Carpenter, S., DeFries, R., Díaz, S., Dietz, T., Duraiappah, A., Yeboah, A.O., Pereira, H.M.,Perrings, C., Reid, W., Sarukhan, J., Scholes, B. & Whyte, A. (2008) Ecosystem Change and Human Well-being. Research and MonitoringPriorities Based on the Findings of the Millennium Ecosystem Assessment. International Council for Science, Paris.

Nemeth, E., Winkler, H. & Dabelsteen, T. (2001) Differential degradation of antbird songs in a Neotropical rainforest: adaptation to perch height? *Journal of the Acoustical Society of America* **110,** 3263 – 3274.

Nickerson, C. M., Bloomfield, L. L., Dawson, M. R. W., & Sturdy, C. B. (2006) Artificial neural network discrimination of black-capped chickadee (Poecile atricapillus) call notes. Journal of the Acoustical Society of America, 120(2), 1111-1117. Reprinted in the Virtual Journal of Biological Physics Research under "Biological Networks".

Obrist, M. K., Boesch, R. & Flückiger, P. F. (2008) Probabilistic evaluation of synergetic ultrasound pattern recognition for large scale bat surveys. In: Frommolt, K.-H., BARDELI, R. & CLAUSEN, M. (Eds). International Expert meeting on IT-based detection of bioacoustical pattern. Federal Agency for Nature Conservation, International Academy for Nature Conservation (INA), Isle of Vilm. BfN-Skripten 234: 29-42.

Obrist, M. K., Pavan, G., Sueur, J., Riede, K., Llusia, D. & Márquez, R. (2010) Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories (eds J. Eymann, J. Degreef, C. Häuser, J. C. Monje, Y. Samyn & D. VandenSpiegel), pp. 68-99. ABC Taxa.
Pao, Y.-H. (1989). Adaptive Pattern Recognition And Neural Networks (Addison-Wesley, Reading, MA)

Parsons, S. & Jones, G. (2000): Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminative function analysis and artificial neural networks. Journal of Experimental Biology 203: 2641-2656.

Parsons, S. (2001): Identification of New Zealand bats (Chalinolobus tuberculatus and Mystacina tuberculata) in flight from analysis of echolocation calls by artificial neural mnetworks. Zoological Society of London 253: 447-456.

Penna, M., Gormaz, J. & Narins, P. (2009) When signal meets noise: immunity of the frog ear to interference. Naturwissenschaften, 96, 835-843.

Pijanowski, B.C., Villanueva-Rivera L. J., Dumyahn S. L., Farina A., Krause B. L., Napoletano B. M., Gage S. H. & Pieretti N. (2011) Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape. BioScience 61: 203–216

Quartau, J. A. & Boulard, M. (1995) *Tettigetta mariae*, nouvelle Cigale lusitanienne (Homoptera cicadoidea; Tibicinidae). EPHE, Biol. Evol. Insectes, 7/8, 105-110.

Rebelo H. & Rainho A. (2009) Bat conservation and large dams: spatial changes in habitat use caused by Europe's largest reservoir. *Endangered Species Research* 8: 61-68.

Reby D., Lek S., Dimopoulos I., Joachim J., Lauga J. & Aulagnier S. (1997) Artificial neural networks as a classification method in the behavioural sciences. Behavioural Processes; 40:35–43.

Rainho, A. (2007) Summer foraging habitats of bats in a Mediterranean region of the Iberian Peninsula. – Ata Chiropterologica, 9: 171-181.

Ranft R. (1997) The Wildlife Section of the British Library National Sound Archive. Bioacoustics 7: 315-319.

Ranft, R. (2004) Natural sound archives: past, present and future. An. Acad. Bras. Cienc. 76, 455-465.
Reby D., Cargnelutti B., Joachim J., Aulagnier S. (1999) Spectral acoustic structure of barking in roe deer (*Capreolus capreolus*). Sex-, age- and individual-related variations. C R Acad Sci III. 1999 Apr;322(4):271-9.

Roediger, H. L. & Wertsch, J. V. (2008) Creating a new discipline of memory studies. Memory Studies, 1, 9-22.

Rossing, T. D. & Fletcher, N. (2007) Animal Bioacoustics. Springer Handbook of Acoustics, pp. 785-804-804. Springer New York.

Saraiva, T. (2005) Contribuição para o estudo do comportamento vocal da Rola-brava (Streptopelia turtur L., 1758). Tese de Mestrado em Ecologia Aplicada. FCUP

Schrama T., Poot M., Robb M., Slabbekoorn H. (2006) Automated recording, detection and identification of noturnal flight calls: Results of a pilot study during autumn migration in the Netherlands, poster presentation for the 24th International Ornithological Congress 2006, Hamburg, Germany. Briaire JJ.,

Song meter (2011). Acedido em 9 de março de 2011, em: http://www.wildlifeacoustics.com/index.php

Stuart, S.N., Chanson, J.S., Cox, N.A., Young, B.E, Rodrigues, A. S. L., Fischman, D. L., Waller, R.W. (2004) Status and Trends of Amphibian Declines and Extinctions Worldwide. Science 306: 1783-1786.

Sueur, J., Puissant, S., Simões, P. C., Seabra, S., Boulard, M. & Quartau, J. A. (2004) Cicadas from Portugal: revised list of species with ecoethological data (Hemiptera: Cicadidae). Insects Systematics and Evolution, 35, 177-187.

Sueur, J., Pavoine, S., Hamerylck, O. & Duvail, S. (2008) Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *PLoS ONE*, 3/12: e4065.

Tanttu, J. T., Turunen, J., Selin, A. and Ojanen, M. (2006) Automatic feature extraction and classification of crossbill (Loxia spp.) flight calls. Bioacoustics 15: 251-269.

TEEB, The Economics and Ecosystems of Biodiversity: An Interim Report (European Communities, Cambridge, 2008).

Torricelli, P., Lugli, M. & Pavan, G. (1990) Analysis of sounds produced by male Padogobius martensi (Pisces, Gobiidae) and factors affecting their structural properties. Bioacoustics 2: 261-275.

Trifa, V., A. Kirschel, & C. E. Taylor (2008) Automated species recognition of antbirds in a mexican rainforest using hidden markov models. - Journal of the Acoustical Society of America.

Triggers (2011). Acedido em Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Triggers>. Acesso em 11/08/2011

Tripp, T. & Otter, K. A., (2006) Vocal individuality as a potential long-term monitoring tool for adult male Western Screech Owls. Can. J. Zool. 84, 744–753.

Vielliard, J. M. E. (2000) Bird community as an indicator of biodiversity: results from quantitative surveys in Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 72 (3): 323-330.

Vielliard, J. M. E. (2000) Estado atual das pesquisas em bioacústica e sua contribuição para o estudo e a proteção das aves no Brasil. In: A ornitologia brasileira: Pesquisa atual e perspetives. Alves, M.A., da Silva, J.M.C., Van Sluys, M., Bergallo, H.G., da Rocha, C.F.D., 2000. Rio de Janeiro: EdURRJ – 352p.

Vielliard, J. M. E. (2003) A brief history of Bioacoustics. Consultado em 20/02/2011 em http://www2.ib.unicamp.br/profs/jacques/ibac2003/history.html, 1.

Villet, M. H. & Capitao, I. R. (1996) Cicadas (Homoptera: Cicadidae) as indicators of habitat and veld condition in valley bushveld in the Great Fish River Valley. African Entomology 4: 280-284.

Villet, M. H. & Van Noort, S. (1999) Cicadas (Hemiptera, Homoptera: Cicadoidea) of Mkomazi. In: Coe, M.J., McWilliam, N.C., Stone, G.N. & Packer, M.J. (Eds) Mkomazi: the ecology, biodiversity and conservation of a Tanzania savanna. 223-234. Royal Geographical Society (with the Institute of British Geographers), London.

Vögeli, M., Laiolo, P., Serrano, D., Tella, J. L. (2008) Who are we sampling? Apparent survival differs between methods in a secretive species. Oikos 117, 1816–1823.

Walker, T. J. (1962) Factors responsible for intraspecific variation in the calling songs of crickets. Evolution 16: 407–428.

White noise (2011). Acedido em 11 de agosto de 2011, em: http://en.wikipedia.org/wiki/White_noise

Whittaker, R. H. (1972) Evolution and measurement of species diversity. Taxon 21: 213-251.

Williams, K. S., Simon C. (1995) The ecology, behavior and evolution of periodical cicadas. Annual Review of Entomology 40: 269–295.

ANEXOS

Anexo I – Entrevista ou inquérito usado no estudo da história da bioacústica em Portugal.

Ficha de dados

Coletor(es):_____
Data: _____ Referencia gravação:_____
Local: _____
Entrevistado: _____
Licenciatura/Ano/Universidade_____
Grau Académico/Ano/Universidade:_____
Morada/Contacto do entrevistado:_____

A - O investigador / gravador

1 - Como e quando nasceu o interesse em Bioacústica?
2 - Quando e qual foi o primeiro contacto com a Bioacústica (artigo, congresso ou conferência, colegas, etc)?
3 - Qual era a sua área de conhecimento anterior?
4 - Em que ano começou a trabalhar com Bioacústica?
   4.1 – Campo ou Laboratório?
   4.2 – Isolado ou em Grupo?
   4.2.2 - Qual Grupo e seu Coordenador?
   4.3 - Onde?
   4.4- Que tipo de projeto (descrição sumária)?
   4.5 - Em que fase da carreira académica estava?
   4.6 - Com que equipamento?
5 – Em relação ao seu interesse científico na altura que começou a trabalhar em Bioacústica.
5.1 - Qual a espécie ou grupo?
5.2- Área cientifica e questões iniciais?
5.3- Área geográfica?
6 – Em relação ao seu interesse científico atual.
   6.1 - Qual a espécie ou grupo?
   6.2 - Área científica e questões iniciais?
   6.3 - Área geográfica?
7 - Qual o grupo de investigação a que está associado atualmente?
8 - Colaboradores com que tenha trabalhado na área da Bioacústica? Equipas que tenha integrado e colaborações internacionais.
9 - Poderia estimar quanto, em percentagem, da sua atividade científica dedicou à Bioacústica? E quais as outras grandes áreas e as suas percentagens?
10 - Tem trabalhos publicados em Bioacústica? Teses, Papers
Se sim, podemos ter acesso aos mesmos?

B - Equipamento

11 - Relativamente ao equipamento que usou inicialmente.
11.1 Como adquiriu o mesmo?
11.2 - Onde está?
12 - Além do equipamento inicial que outros utilizou ou utiliza até hoje?
(Marca/Modelo/Projeto em que foi usado/Localização/Quando o adquiriu)

C- As gravações

13 - Tem gravações próprias? Sim Não
14 - Projeto, espécie, data e localização das gravações realizadas.
15 - Em que suporte estão registadas? HD CF CD-DVD
Outros (cassetes, bobines, dat):
16 - Dimensão, estimativa? 5Gb 100 Gb 1Tb
Outras unidades de medida
17 - Se está conservada de alguma forma especial, tipo backup?
Meio de suporte? HD CF ou outro tipo CD-DVD
18 - Depositou algum material em museus ou arquivos? Sim Não
Qual?
19 - A informação associada à gravação como o local e a data está na gravação?
Sim Não
20 - Considera que este tipo de gravações sejam peças com valor histórico, que interessaria preservar (espécimes científicos), como qualquer outra parte do património científico-natural português?

D - Arquivo de Som

21 - Pensa algum dia depositar/doar as gravações? Sim Não
22 - Estaria disponível para depositar as suas gravações no Museu Nacional de História Natural?
Sim Não

E - Outros

23 - Conhece alguém que, fora do meio científico, tenha gravado em Portugal?
24 - Quem, na sua opinião, foram os pioneiros da Bioacústica em Portugal?
25 - Como investigador com experiência em Bioacústica, sente que a área tem potencialidades que não teve oportunidade de explorar?

Anexo II - Projetos de gestão e conservação da vida selvagem que recorreram à bioscústica.

- 1995-1997 (ICN - LIFE Project) Morcegos das Áreas Protegidas Portuguesas.
- 1998-2004: Projeto "Fundamentos biológicos para a definição de períodos de dependência e medidas de gestão cinegética de algumas espécies de aves migradoras; Codorniz (*Coturnix c. coturnix*); Rola-brava (*Streptopelia turtur*); Turdídeos e Scolopacídeos".
- 1999-2002: Projeto LIFE (LIFE98NAT/P/5275) - "Gestão Integrada de Zonas Costeiras e Marinhas dos Açores".
- 1999-2003 - (ICN/EDIA) Ações de conservação de morcegos na área de regolfo de Alqueva + Pedrogão.
- 2000-2002: Projeto de Monitorização da Atividade de *Whale-watching* no Arquipélago dos Açores", financiado pela Secretaria Regional da Economia (SER/DRT).
- 2000-2004: Projeto Cetáceos-Madeira: Projeto para a conservação dos cetáceos no Arquipélago da Madeira;
- 2001 - Morcegos dos arquipélagos dos Açores e da Madeira: Contributo para a sua conservação.
- 2004-2005 - Monitorização de impactos das atividades agrossilvo-pastoris sobre as populações de quirópteros do Sítio de Monfurado com vista à elaboração de Planos de Gestão. Ação integrada no Projeto Life GAPS – Gestão Ativa e Participada do Sítio de Monfurado (LIFE03/NAT/P/000008).
- 2006-2008: Projeto Emecetus: Estudo, Monitorização e Educação para a Conservação de Cetáceos na Macaronésia;
- 2007-2008: Projeto MARMAC II - Conhecimento, promoção e valorização para o uso sustentável dos ecossistemas e da biodiversidade marinha na Macaronésia – Fase II (INTERREGIIIB/05/MAC/4.2/A4).
- 2009-2013: Projeto Cetáceos-Madeira II: Identificação de áreas marinhas críticas para o roaz e vigilância do estatuto de conservação dos cetáceos no Arquipélago da Madeira;
- 2005-2008: Projeto Tempura – "Adaptações dos anuros às alterações climáticas: estudo comparativo de populações em extremos térmicos", fundado pelo Ministério de Educação e Ciência de Espanha.

Anexo III – Listas de *taxa* gravados acústicamente

AVES				
Accipiter nisus	*Calonectris diomedea*	*Fringilla coelebs moreletti*	*Oceanodrome monteiroi*	*Remiz pendulinus*
Accipiter nisus granti	*Calonectris diomedea borealis*	*Fringilla coelebs maderensis*	*Oenanthe hispanica*	*Riparia riparia*
Acrocephalus arundinaceus	*Caprimulgus ruficollis*	*Fringilla montifringilla*	*Oenanthe oenanthe*	*Saxicola torquatus*
Acrocephalus scirpaceus	*Carduelis cannabina*	*Galerida cristata*	*Oriolus oriolus*	*Scolopax rusticola*
Actitis hypoleucos	*Carduelis carduelis*	*Galerida theklae*	*Otis tarda*	*Serinus canaria*
Aegithalos caudatus	*Carduelis chloris*	*Gallinago gallinago*	*Otus scops*	*Serinus serinus*
Aegypius monachus	*Carduelis spinus*	*Gallinula chloropus*	*Parablennius parvicornis*	*Sitta europaea*
Aix sponsa	*Carpodacus erythrinus*	*Garrulus glandarius*	*Parus ater*	*Sterna albifrons*
Alauda arvensis	*Cercotrichas galactotes*	*Haematopus ostralegus*	*Parus caeruleus*	*Sterna dougallii*
Alca torda	*Certhia brachydactyla*	*Hieraaetus fasciatus*	*Parus cristatus*	*Sterna fuscata*
Alcedo atthis	*Cettia cetti*	*Hieraaetus pennatus*	*Parus major*	*Sterna hirundo*
Alectoris rufa	*Charadrius alexandrinus*	*Hippolais polyglotta*	*Passer domesticus*	*Sterna sandvicensis*
Amandava amandava	*Charadrius dubius*	*Hirundo daurica*	*Passer hispaniolensis*	*Streptopelia decaocto*
Anas platyrhynchos	*Charadrius hiaticula*	*Hirundo rustica*	*Passer montanus*	*Streptopelia turtur*
Anas rubripes	*Charadrius morinellus*	*Junco hyemalis*	*Pastor roseus*	*Strix aluco*
Anser anser	*Ciconia nigra*	*Jynx torquilla*	*Pelagodroma marina*	*Sturnus unicolor*
Anthus berthelotii	*Cignus atratus*	*Lanius meridionalis*	*Petronia petronia*	*Sturnus vulgaris*
Anthus campestris	*Cisticola juncidis*	*Lanius senator*	*Phoenicurus ochruros*	*Sturnus vulgaris granti*
Anthus cervinus	*Clamator glandarius*	*Larus cachinnans*	*Phoenicurus phoenicurus*	*Sylvia atricapilla gularis*
Anthus godlewskii	*Coccothraustes coccothraustes*	*Larus michahellis*	*Phylloscopus bonelli*	*Sylvia atricapilla heineken*
Anthus pratensis	*Columba palumbus*	*Larus michahellis atlantis*	*Phylloscopus collybita*	*Sylvia borin*
Anthus richardi	*Columba palumbus azorica*	*Limosa lapponica*	*Phylloscopus ibericus*	*Sylvia cantillans*
Anthus trivialis	*Columba trocaz*	*Locustella luscinioides*	*Phylloscopus inornatus*	*Sylvia communis*
Apus caffer	*Corvus corax*	*Loxia curvirostra*	*Phylloscopus trochilus*	*Sylvia conspicillata*
Apus melba	*Corvus corone*	*Lullula arborea*	*Pica pica*	*Sylvia conspicillata orbitalis*
Apus pallidus	*Coturnix coturnix*	*Luscinia megarhynchos*	*Picus viridis*	*Sylvia hortensis*
Apus unicolor	*Coturnix coturnix conturbans*	*Luscinia svecica*	*Plegadis falcinellus*	*Sylvia melanocephala*
Aquila adalberti	*Cuculus canorus*	*Melanocorypha calandra*	*Pluvialis apricaria*	*Sylvia undata*
Aquila chrysaetos	*Cyanopica cooki*	*Merops apiaster*	*Pluvialis dominica*	*Tachybaptus ruficollis*
Ardea cinerea	*Cyanopica cyana*	*Monticola solitarius*	*Podiceps nigricollis*	*Tetrax tetrax*
Arenaria interpres	*Delichon urbicum*	*Morus bassanus*	*Porphyrio porphyrio*	*Tringa nebularia*
Asio flammeus	*Dendrocopos minor*	*Motacilla alba*	*Prunella modularis*	*Tringa ochropus*
Athene noctua	*Elanus caeruleus*	*Motacilla alba yarrellii*	*Pterocles orientalis*	*Tringa totanus*
Botaurus stellaris	*Emberiza calandra*	*Motacilla cinerea*	*Pterodroma madeira*	*Troglodytes troglodytes*
Bubo bubo	*Emberiza cia*	*Motacilla cinerea patriciae*	*Ptyonoprogne rupestris*	*Turdus iliacus*
Bulbucus ibis	*Emberiza cirlus*	*Motacilla cinerea schmitzi*	*Puffinus assimilis baroli*	*Turdus iliacus coburni*
Bulweria bulwerii	*Emberiza hortulana*	*Motacilla flava*	*Puffinus baroli*	*Turdus merula azorensis*
Burhinus oedicnemus	*Emberiza schoeniclus*	*Motacilla flava flava*	*Pyrrhocorax pyrrhocorax*	*Turdus merula cabrerae*
Buteo buteo	*Erithacus rubecula*	*Motacilla flava flavissima*	*Pyrrhula pyrrhula*	*Turdus philomelos*
Calandrella brachydactyla	*Estrilda astrild*	*Motacilla flava iberiae*	*Rallus aquaticus*	*Turdus pilaris*
Calandrella rufescens	*Falco tinnunculus*	*Muscicapa striata*	*Regulus ignicapilla*	*Tyto alba*
Calidris alba	*Falco tinnunculus canariensis*	*Myiopsitta monachus*	*Regulus madeirensis*	*Tyto alba schmitzii*
Calidris alpine	*Ficedula hypoleuca*	*Numenius phaeopus*	*Regulus regulus azoricus*	*Upupa epops*
Calidris canutus	*Ficedula parva*	*Oceanites oceanicus*	*Regulus regulus inermis*	*Vanellus vanellus*
Calidris ferruginea	*Fringilla coelebs*	*Oceanodroma castro*	*R. regulus sanctae-mariae*	

Morcegos	Anfíbios	Insetos	Peixes	Mamíferos Terrestres
Barbastella barbastellus	*Alytes cisternassi*	*Cicada barbara lusitanica*	*Eutrigla gurnardus*	*Canis lupus*
Eptesicus isabelinus	*Alytes obstetricians*	*Cicada orni*	*Gaidropsarius mediterraneos*	*Cervus elaphus*
Eptesicus serotinus	*Hyla arborea*	*Euryphara contentei*	*Halobatrachus didactylus*	*Felis sylvestris*
Hypsugo savii	*Hyla meridionalis*	*Lyristes plebejus*	*Pomatochistus pictus*	*Lutra lutra*
Myotis blythii	*Pelodytes ibericus*	*Melapsalta varipes*	*Pseudotropheus spp*	*Meles meles*
Myotis daubentonii	*Pelodytes punctatus*	*Tettigetta argentata*	*Salaria pavo*	*Microtus duodecimcoscatus*
Myotis emarginatus	*Pelophylax perezi*	*Tettigetta estrellae*	*Trigla lucerna*	*Microtus lusitanicus*
Myotis escalerai	*Rana iberica*	*Tettigetta josei*	*Trigloporus lastoviza*	*Ovis aries*
Myotis myotis	*Pelobates cultripes*	*Tettigetta mariae*		*Rattus rattus*
Nyctalus azoreum	Répteis	*Tibicina garricola*		*Sus scrofa*
Nyctalus lasiopterus	*Tarentola mauretanica*	*Tibicina quadricignata*		*Vulpes vulpes*
Nyctalus leisleri leisleri		*Tibicina tomentosa*		Mamíferos marinhos
Nyctalus leisleri verrucosus		*Tynpanistalna gastrica*		*Tursiops truncatus*
Nyctalus noctula				*Physeter macrocephalus*
Pipistrellus kuhli				outros cetáceos
Pipistrellus madeirensis				
Pipistrellus pipistrellus				
Pipistrellus pygmaeus				
Plecotus auritus				
Plecotus austriacus				
Rhinolophus euryale				
Rhinolophus ferrumequinum				
Rhinolophus hipposideros				
Rhinolophus mehelyi				
Tadarida teniotis				

Texto escrito conforme o Acordo Ortográfico - convertido pelo Lince.