

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA ANIMAL



**Padrões ecomorfológicos nos otólitos *asteriscus* de  
peixes teleósteos**

**Mestrado em Ecologia Marinha**

Viviana Sofia Madruga e Silva Soares

Dissertação orientada por:  
Prof. Doutor Carlos A. Assis e Prof. Doutor José Lino Costa

2016



*Á minha mãe, Eunice, e avós,  
Armindo e Maria, que nunca  
desistiram de me dar apoio na  
busca dos meus sonhos, apesar de  
todas as dificuldades e  
contrariedades.  
E a ti, João Silva. Sempre.*



## **Agradecimentos**

Quero agradecer aos meus orientadores, Professores Carlos e Lino, pela sua dedicação e paciência na orientação da presente dissertação de mestrado.

Também não poderia deixar de agradecer aos investigadores do Mare - Nuno Castro (pelo apoio com o Primer), Pedro Félix (pelo apoio com o *software* Leica e dicas de como tirar boas fotografias dos otólitos) e Gilda (pelo apoio que me deu no laboratório). A todos um bem haja!

Um agradecimento especial ao João Silva por me ter aturado em todo este percurso e especialmente na recta final, onde as coisas ficam sempre aflitivas.

Por fim, agradeço aos meus amigos pela ajuda que ofereceram e, muitas vezes não puderam dar, agradeço a intenção e apoio.

# RESUMO

Os otólitos são concreções acelulares de carbonato de cálcio e outros sais inorgânicos, que se desenvolvem sobre uma matriz proteica no ouvido interno dos vertebrados, em estreita associação com as *maculae* sensitivas dos compartimentos do labirinto.

Estudos prévios com base na relação entre a morfologia dos otólitos dos peixes ósseos e algumas características ambientais conseguiram estabelecer padrões ecomorfológicos bastante nítidos. No entanto, a atenção não tem sido equitativamente distribuída pelos três pares distintos de otólitos, resultando num conhecimento pouco aprofundado acerca dos otólitos *asteriscus*. Para colmatar esta lacuna, o presente trabalho pretende relacionar as características morfológicas dos otólitos *asteriscus* com as condições ambientais e modo de vida dos peixes, a fim de verificar a existência de padrões ecomorfológicos, tanto a nível quantitativo como a nível semi-quantitativo.

O estudo foi baseado numa subamostra constituída por *asteriscus* de 50 espécies, distribuídas por 13 ordens e 37 famílias de peixes ósseos de águas costeiras, estuarinas e continentais portuguesas. Foram analisadas as seguintes características dos *asterisci* a nível quantitativo: (1) comprimento e altura do *rostrum*; (2) comprimento e altura do *antirostrum*; (3) comprimento e altura do *lobus major*; (4) comprimento e altura do *lobus minor* e (5) índices biométricos obtidos através da análise biométrica (RCA, RCap E ROP); e a nível semi-quantitativo foram analisadas as seguintes características: (1) relação altura-comprimento; (2) forma da região dorsal; (3) Concordância entre o *rostrum* e *antirostrum*; (4) forma do *rostrum*; (5) forma do *antirostrum*; (6) profundidade da *fossa acustica*; (7) profundidade da *fissura periferica* e (8) individualização dos lobos. A nível ecológico a análise quantitativa assentou em cinco variáveis ecológicas principais: comportamento, deslocação, interacção com o substrato, padrão de coloração corporal e capacidade natatória e a análise semi-quantitativa em três características ecológicas principais: interacção com o substrato, padrão de coloração corporal e profundidade.

Os resultados do presente estudo, mostraram que é possível encontrar padrões ecomorfológicos com base nas características morfológicas dos otólitos *asteriscus*, tanto a nível quantitativo como semi-quantitativo. Contudo, os padrões ecomorfológicos encontrados a nível semi-quantitativo provaram ser mais subtis que os encontrados na outra análise.

**Palavras-chave:** otólitos; *asteriscus*; morfologia; ambiente; comportamento; padrões ecomorfológicos.



# ABSTRACT

Otoliths are acellular concretions of calcium carbonate and other inorganic salts which develop upon a proteic matrix in the inner ear of vertebrates, in close association with the sensitive *maculae* of the labyrinth's compartments.

Previous studies based upon the relationship between the morphology of teleost 'otoliths and some environmental characteristics were able to set distinct ecomorphological patterns. However, the focus of these studies has not been equally distributed amongst the three distinct pairs of otoliths, resulting in a poor knowledge base about the *asteriscus* otoliths. To improve this knowledge base, the present study is intended to relate the morphologic characteristics of *asteriscus* otoliths with the environmental conditions and living habits of the fishes, in order to ascertain the occurrence of ecomorphologic patterns, both at quantitative and semi-quantitative levels.

This study is based in a subsample composed by *asteriscus* of 50 species, distributed by 13 orders and 37 families of teleost fishes from coastal, estuary and continental portuguese waters. The following *asteriscus* characteristics were analysed on a quantitative level: (1) length and height of the rostrum; (2) length and height of the antirostrum; (3) length and height of the lobus major; (4) length and height of *lobus minor* and (5) biometric indexes obtained by biometric analysis (RCA, RCap and ROP). On a semi-quantitative level the characteristics analysed were: (1) height-length relationship; (2) dorsal region shape; (3) concordance between *rostrum* and *antirostrum*; (4) rostrum shape; (5) *antirostrum* shape; (6) *fossa acustica* depth; (7) *fissura periferica* depth and (8) individualization of the *lobi*. On an ecological level the quantitative analysis is based upon five main ecological variables: behavior, migration, interaction with the substrate; body colour pattern and swimming capability. The semi-quantitative analysis is based in three main ecological characteristics: interaction with the substrate; body colour pattern and depth.

The results of the present study confirm that it is possible to uncover ecomorphological patterns based upon morphological characteristics of *asteriscus* otoliths, both at quantitative and semi-quantitative levels. Nonetheless, the ecomorphological patterns found on a semi-quantitative level appear to be less accentuated than the ones exhibited by the other analysis.

Keywords: otoliths, *asteriscus*; morphology; environment; behaviour; ecomorphological patterns.



## Índice

1.Introdução.....	17
2.Objectivos.....	20
3.Metodologia.....	21
3.1.Amostragem.....	21
3.2. Análise morfológica dos otólitos.....	22
3.2.1.Descrição morfológica dos otólitos.....	22
3.2.1.1.Orientação dos otólitos.....	23
3.2.1.2.Características dos <i>asteriscus</i> .....	23
3.3.Análise quantitativa.....	30
3.4.Análise biométrica.....	31
3.5.Características das espécies e do ambiente.....	33
3.6.Tratamento estatístico.....	33
4.Resultados.....	36
4.1.Diferenças morfológicas nos otólitos das espécies estudadas.....	36
4.2.Características morfológicas que mais contribuíram para a similaridade e dissimilaridade entre espécies.....	37
4.3.Padrões ecomorfológicos nos otólitos <i>asteriscus</i> .....	40
4.3.1.Padrões ecomorfológicos obtidos através dos dados quantitativos.....	40
4.3.2.Padrões ecomorfológicos obtidos através dos dados semi-quantitativos.....	45
5.Discussão.....	50
6.Considerações finais e perspectivas de futuro.....	54
7.Referências.....	55
Glossário.....	59
Anexos.....	1



## Índice de figuras

Figura 1.1 - Vista lateral do ouvido interno de um peixe teleósteo e vista superior da sua posição no crânio.

Figura 3.1 – Face interna dos otólitos asteriscus direitos de *Anguilla anguilla* (a) e (b) *Phycis blennoides*, ilustrando a orientação dos otólitos.

Figura 3.2 – Terminologia das partes e estruturas dos otólitos *asteriscus*.

Figura 3.3 – Representação das medições do comprimento (CO) e altura (AO) de um otólito *asteriscus* direito.

Figura 4.1 – Diagrama da Análise em Coordenadas Principais, mostrando a distribuição das espécies.  
Legenda: Espécies – ver tabela 2.1

Figura 4.2 – Diagrama da Análise em Coordenadas Principais, realizada tendo em conta as características morfológicas dos otólitos *asteriscus* na distribuição das espécies.

Figura 4.3 – Diagrama da Análise em Coordenadas Principais, realizada tendo em conta as características ecológicas na distribuição das espécies.

Figura 4.4 – Diagrama da Análise em Componentes Principais, mostrando a distribuição das espécies.

Figura 4.5 – Diagrama da Análise em Componentes Principais, realizada tendo em conta as características morfológicas dos otólitos *asteriscus* na distribuição das espécies.

Figura 4.6 – Diagrama da Análise em Componentes Principais, realizada tendo em conta as características ecológicas na distribuição das espécies.

## Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Lista dos *taxa* representados pelos otólitos *asteriscus* utilizados no presente estudo.

Tabela 4.1 – Detalhes dos resultados da PERMANOVA realizada para comparar os otólitos *asteriscus* das diferentes espécies, considerando as suas características morfológicas (ver espécies – Tabela 1.1).

Tabela 4.2 – Detalhes dos resultados dos testes *a posteriori* da PERMANOVA realizados para comparar os otólitos *asteriscus* das 50 espécies (ver espécies – Tabela 1).

Tabela 4.3 – Desdobramento da similaridade média dentro das diversas espécies, tendo em conta a contribuição e valor acumulado de cada característica morfológica.

Tabela 4.4 – Desdobramento da dissimilaridade média entre as espécies, tendo em conta a contribuição e valor acumulado de cada característica morfológica.

## **Lista de Abreviaturas e siglas**

### **Espécies:**

Aang - *Anguilla anguilla*

Ccon - *Conger conger*

Eenc - *Engraulis encrasicolus*

Spil - *Sardina pilchardus*

Gelo - *Gonostoma elongatum*

Mpun - *Myctophum punctatum*

Mlae - *Malacocephalus laevis*

Nscl - *Nezumia sclerorhynchus*

Mmer - *Merluccius merluccius*

Pble - *Phycis blennoides*

Garg - *Gadiculus argenteus*

Tlus - *Trisopterus luscus*

Hdid - *Halobatrachus didactylus*

Lram - *Liza ramada*

Aboy - *Atherina boyeri*

Bbel - *Belone belone*

Hmed - *Hoplostethus mediterraneus*

Zfab - *Zeus faber*

Hdac - *Helicolenus dactylopterus*

Snot - *Scorpaena notata*

Egur - *Eutrigla gurnardus*

Asph - *Argentina sphyraena*

Dlab - *Dicentrarchus labrax*

Shep - *Serranus hepatus*

Aant - *Anthias anthias*

Ttra - *Trachurus trachurus*

Bboo - *Boops boops*

Dbel - *Diplodus bellottii*  
Paca - *Pagellus acarne*  
Areg - *Argyrosomus regius*  
Msur - *Mullus surmuletus*  
Cmac - *Cepola macrophthalmia*  
Apal - *Acantholabrus palloni*  
Smel - *Symphodus melops*  
Evip - *Echiichthys vipera*  
Boce - *Blennius ocellaris*  
Pgat - *Parablennius gattorugine*  
Clyr - *Callionymus lyra*  
Lsan - *Lesueurigobius sanzoi*  
Pmin - *Pomatoschistus minutus*  
Gnig - *Gobius niger*  
Lcau - *Lepidopus caudatus*  
Scol - *Scomber colias*  
Ssco - *Scomber scombrus*  
Cape - *Capros aper*  
Clin - *Citharus linguatula*  
Lbos - *Lepidorhombus boscii*  
Aimp - *Arnoglossus imperialis*  
Ssen - *Solea senegalensis*  
Mvar - *Microchirus variegatus*

**Características morfológicas dos otólitos:**

AA – Altura do *antirostrum*  
ALM – Altura do *lobus major*  
ALO – Altura do *lobus minor*  
AR – Altura do *rostrum*

CA – Comprimento do *antirostrum*

CLA – Comprimento do *lobus major*

CLO – Comprimento do *lobus minor*

CR – Comprimento do *rostrum*

RCA – Relação Comprimento-Altura

RCAp – Relação Comprimento-Altura padronizada

ROP – Relação Otólito-Peixe

**Características ecológicas das espécies:**

COMP – Comportamento

DES – Deslocação

NAT – Capacidade natatória

COR – Padrões de coloração corporal

INT – Interação com o substrato

## 1. Introdução

Os otólitos são concreções acelulares de carbonato de cálcio e outros sais inorgânicos, que se desenvolvem sobre uma matriz proteica no ouvido interno dos vertebrados, em estreita associação com as *maculae* sensitivas dos compartimentos do labirinto (Assis, 2000). Os peixes ósseos possuem três pares de otólitos – *sagittae*, *lapilli* e *asterisci* – associados a cada uma das câmaras labirínticas, *sacculus*, *utrículus* e *lagena*, respectivamente (Assis, 2000) (figura 1.1). Em cada um destes compartimentos labirínticos, os otólitos são banhados por endolinfa, mantendo a sua posição através da membrana otolítica, que estabelece a ligação entre eles e as *maculae*, e por faixas de tecido conjuntivo, o *marginarium*, que os ligam às paredes internas do labirinto membranoso (Assis, 2000). Sendo três vezes mais densos que o corpo dos peixes, os otólitos têm como principais funções a percepção da posição e do movimento, e a recepção sonora (Tuset *et al.*, 2008).

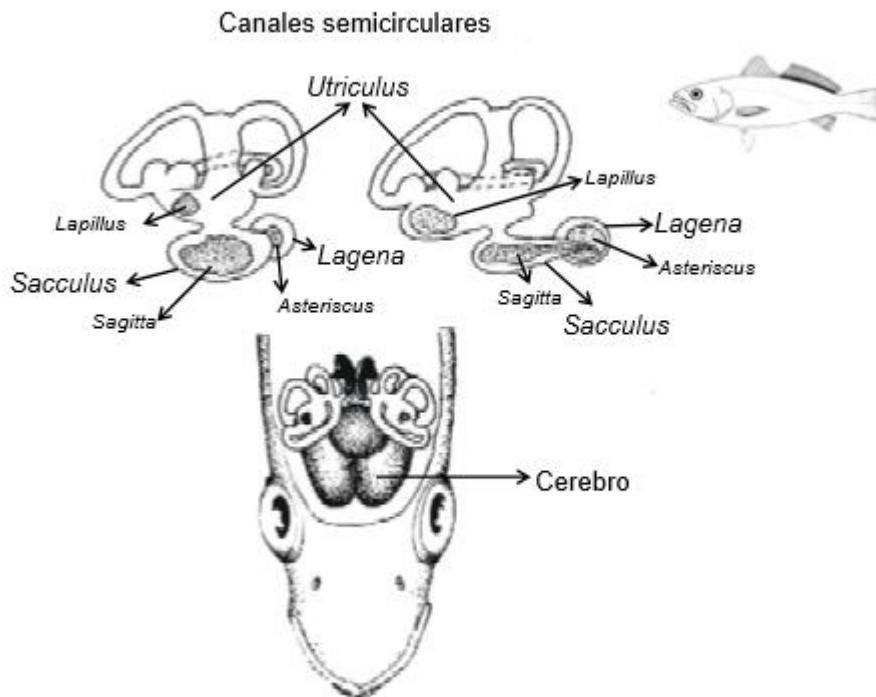


Figura 1.1 – Vista lateral do ouvido interno de um peixe teleosteo e vista superior da sua posição no crânio (Volpedo & Santos, 2015).

Actualmente os otólitos encontram-se entre as peças anômicas mais úteis e cujo estudo tem um maior número de aplicações práticas (Assis, 2000). Isto deve-se essencialmente à dependência de algumas das suas características - dimensões, morfologia, acessibilidade, composição química, microestrutura, ontogenia e modo de crescimento - com a variação dos factores ambientais. Deste modo os otólitos, são utilizados não só no domínio da Ictiologia mas também nos domínios da Paleontologia, da Mamalogia, da Ornitologia, da Arqueologia e da Zoogeografia.

Segundo Gago (1993), a semelhança encontrada em várias características do sistema auditivo de diferentes espécies de peixes pode estar associada ao papel da evolução convergente. No entanto, mesmo que esteja presente o mesmo modelo base de ouvido interno, existe uma diversidade interespecífica notável. Esta diversidade é evidenciada tanto a nível do tamanho do ouvido, do otólito

e de outras estruturas como os canais semicirculares e órgãos otolíticos, mas também na orientação e distribuição dos neuromastos (Popper & Lu, 2000; Popper *et al.*, 2005). Deste modo, podemos supor que as espécies estão adaptadas ao seu modo de vida específico mesmo possuindo uma uniformidade morfológica e funcional do ouvido interno (Caillet *et al.*, 1986).

Ao longo do seu desenvolvimento, os otólitos estão sujeitos a uma dupla regulação: genética e ambiental. A componente genética regula a forma do otólito, enquanto a componente ambiental regula qualitativa e quantitativamente a deposição dos materiais que o constituem (Lombarte & LLeonart, 1993). A genética resulta de um processo evolutivo durante o qual as características seleccionadas dos otólitos são as que melhor garantem um funcionamento otimizado do labirinto membranoso em função do modo de vida e do ambiente particular em que o peixe vive (Lychakov & Rebane, 2000).

Neste contexto, a Ecomorfologia ou morfologia ecológica como disciplina comparativa (Motta *et al.*, 1995), permite relacionar os padrões de variação das características ecológicas com os padrões de variação das características morfológicas medidas entre as unidades taxonómicas (Norton *et al.*, 1995), contemplando ambas as características no presente e ao longo da escala evolutiva (Motta & Kotschal, 1992). Assim, o mecanismo que suporta a Ecomorfologia consiste na variação morfológica interindividual de alguns aspectos que posteriormente desencadeiam diferenças funcionais e de *performance* que, por sua vez, resultam em diferenças na forma como os indivíduos utilizam os recursos disponíveis. O inverso também se aplica, ou seja, os factores ecológicos também influenciam alterações morfológicas de duas formas: (1) os mecanismos evolutivos seleccionam estas características, o que leva a alterações na frequência génica numa população ou através de extinção/especiação dos *taxa*; (2) ao longo do ciclo de vida do organismo, através de alterações morfológicas induzidas pelo uso. Assim, a Ecomorfologia torna-se relevante no processo de avaliar o processo de adaptação (Motta *et al.*, 1995).

Segundo Motta *et al.* (1995), as principais razões para os peixes serem alvo de estudos de âmbito ecomorfológico são: (1) os peixes exibem uma grande diversidade morfológica e ecológica; (2) ocupam uma extensa variedade de nichos ecológicos, demonstram uma imensa variedade de estratégias reprodutoras e utilizam mais modalidades sensoriais que qualquer grupo de organismos; (3) para aceder aos seus nichos ecológicos, evoluíram conjuntos complexos de estruturas de alimentação, locomoção, respiração, reprodução e sensação. Deste modo, como resultado da sua longa história evolutiva, alta biodiversidade e frequentemente, ciclos de vida com múltiplos estádios, os peixes têm provado ser modelos ajustados à investigação da relação entre forma e papel ecológico.

Recentemente, vários estudos ecomorfológicos procuraram estabelecer um paralelo entre a morfologia dos otólitos, o *habitat* e o modo de vida dos peixes (Volpedo & Echeverría, 2003; Morais, 2012). Nesses trabalhos pretende-se discernir quais são os aspectos da morfologia dos otólitos que podem ser indicativos de características particulares do ambiente ao qual as espécies se encontram adaptadas (Norton *et al.*, 1995). Um bom exemplo destas premissas ecomorfológicas é a constatação das diferentes especificações morfológicas e fisiológicas que estão presentes nos peixes que vivem em substrato móvel e nos que vivem em substrato fixo (Volpedo & Echeverría, 2003).

Para testar o carácter adaptativo de uma estrutura morfológica é necessário determinar a relação forma-função e apurar a existência de inércias filogenéticas que possam mascarar padrões ecomorfológicos (Lombarte *et al.*, 2010). Portanto, é necessário um claro entendimento da função básica de uma estrutura, do significado funcional da variação morfológica e da relação entre o papel funcional e biológico, para seleccionar os caracteres morfológicos mais apropriados a serem utilizados num estudo ecomorfológico (Norton *et al.*, 1995).

Entre os três pares de otólitos, os *sagittae* são aqueles que têm sido alvo de mais estudos por parte dos investigadores. Como tal, as suas características morfológicas e diversidade são na actualidade as melhor documentadas. Por esta razão, a contribuição dada pelo estudo dos *sagittae* tem sido essencial para a descoberta dos primeiros padrões ecomorfológicos ao permitir relacionar o ecótipo do peixe com a forma do otólito. Por exemplo, através da demonstração de que os otólitos das espécies pelágicas são mais alongados que os das espécies bentónicas, que possuem formas mais arredondadas (Volpedo & Echeverria, 2003).

Naquele que é o trabalho mais abrangente versando esta problemática, Morais (2012) confirmou a existência de padrões ecomorfológicos bastante nítidos entre os otólitos *sagittae* de peixes teleósteos da costa portuguesa, tendo verificado a existência de variações na forma, volume e espessura dos otólitos consoante o ambiente em que os peixes viviam – pelágico, bentónico ou litoral.

Em contraste com o vasto conhecimento sobre os *sagittae*, os outros dois pares, em particular os *asterisci*, têm sido menos estudados, mantendo-se ainda bastante desconhecidos. Segundo Assis (2003) existem três razões principais que levam a que os otólitos *asterisci* sejam menos utilizados: (1) o facto de por norma serem pequenos e frágeis; (2) a ideia de que são raramente encontrados em estratos geológicos e em conteúdos estomacais; (3) a noção perpetuada de que a sua morfologia não é específica e de que não são úteis como uma fonte de informação taxonómica e filogenética. Como resultado, a morfologia destas partes anatómicas dos peixes é ainda quase desconhecida, apesar das suas potencialidades. Assim, a maioria dos trabalhos publicados que utilizam a morfologia dos *asterisci* para identificar espécies refere-se aos Otophysi, em que os *asterisci* são maiores e mais robustos, quando comparados com os *sagittae* (Assis, 2000).

Mesmo a nível terminológico, Assis (2003) foi o único autor que até à data atribuiu uma terminologia própria para os *asterisci*, uma vez que os autores que prepararam chaves para a sua identificação, limitavam-se a utilizar terminologias provisórias para os seus componentes, semelhantes às usadas nos *sagittae* (Assis, 2003).

De facto, apesar dos dogmas acima referidos, é possível que os *asterisci* venham a fornecer características importantes e únicas em estudos ecomorfológicos. Tal como os *sagittae*, são otólitos achatados lateralmente, sendo o seu plano de desenvolvimento paralelo ao plano sagital do peixe. A nível morfológico, são compostos por dois lobos com dimensões relativas variáveis, unidos ao longo de uma depressão bem notável na face medial, e formando entre si um ângulo orientado para a região medial da cabeça do peixe (Assis, 2000). Em termos de forma, os *asterisci* aparentam ser tão diversos como os *sagittae*. No entanto, a *fossa acustica* não apresenta o grau de diferenciação típico do *sulcus acusticus* e o número de características utilizáveis para a identificação taxonómica é menor, quando comparada com os *sagittae* (Assis, 2003). Apesar disto, já foi demonstrado por Assis (2000), num estudo em que utilizou 183 espécies, que é possível a identificação de *taxa* até à espécie.

Como já foi referido anteriormente, sabe-se que a morfologia dos *sagittae* não só está relacionada com o ancestral comum mas também com o ambiente onde o peixe vive e a especialização anatómica ligada à capacidade auditiva. O mesmo provavelmente acontecerá com os *asterisci*, uma vez que tanto o *sacculus* como a *lagena* estão especialmente ligados à detecção de som e parecem ter evoluído em estreita associação com a especialização do sistema auditivo (Assis, 2003).

## 2. Objectivos

O presente trabalho teve como objectivo principal detectar e analisar padrões ecomorfológicos nos otólitos *asteriscus* de peixes teleósteos recolhidos na costa e águas interiores portuguesas. Este objectivo foi subdividido nos seguintes objectivos específicos:

- verificação da existência de padrões ecomorfológicos, tanto a nível semi-quantitativo como quantitativo;
- clarificação da forma como esses padrões relacionam a morfologia dos otólitos com as condições do *habitat* das espécies;
- comparação dos resultados obtidos através dos dados quantitativos e semi-quantitativos.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Amostragem

O presente trabalho teve por base uma amostra de otólitos *asteriscus* previamente colhidos, parte de uma colecção composta pelos três pares de otólitos pertencentes a teleósteos da fauna portuguesa, disponível na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. As amostras de peixes ósseos utilizadas para a criação da colecção foram obtidas através de campanhas especificamente dirigidas à captura de exemplares e também através de aproveitamento e/ou cedência de exemplares colhidos no âmbito de outros projectos (vd. Assis,2000).

A subamostra de otólitos *asteriscus* foi seleccionada por forma a cobrir uma diversidade taxonómica e ecológica tão grande quanto possível e uma variabilidade representativa de cada espécie seleccionada. Deste modo, à semelhança do estudo realizado por Morais (2012), foi efectuada uma subamostra estratificada por tipo de ambiente/modo de vida. Tendo em conta a componente ecomorfológica deste trabalho, foram contempladas três características dos peixes: comportamento, capacidade natatória e interacção com o substrato. Cada uma destas características foi subdividida em duas classes, respectivamente espécie solitária e de cardume, capacidade natatória reduzida e elevada, acima do substrato e dentro do substrato. Em relação à interacção com o substrato foram ainda contempladas três variantes: substrato fixo, substrato móvel e substrato misto.

Para assegurar que os otólitos constituíam uma forma definitiva, foram apenas utilizados os que foram retirados de indivíduos adultos, totalizando 5 indivíduos por cada espécie. Deste modo, o presente estudo incidiu sobre a morfologia dos otólitos *asteriscus* de 250 indivíduos, pertencentes a 50 espécies, distribuídas por 37 famílias e 13 ordens (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Lista dos *taxa* representados pelos otólitos *asteriscus* utilizados no presente estudo segundo a classificação de Nelson, 2016.

ORDEM	FAMÍLIA	ESPÉCIE	CÓDIGO
Anguilliformes	Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758)	Aang
	Congridae	<i>Conger conger</i> (Linnaeus, 1758)	Ccon
Clupeiformes	Engraulidae	<i>Engraulis encrasicolus</i> (Linnaeus, 1758)	Eenc
	Clupeidae	<i>Sardina pilchardus</i> (Walbaum, 1792)	Spil
Stomiiformes	Gonostomatidae	<i>Gonostoma elongatum</i> (Günther, 1878)	Gelo
Myctophiformes	Myctophidae	<i>Myctophum punctatum</i> (Rafinesque, 1810)	Mpun
Gadiformes	Macrouridae	<i>Malacocephalus laevis</i> (Lowe, 1843)	Mlae
		<i>Nezumia sclerorhynchus</i> (Valenciennes, 1838)	Nscl
	Merlucciidae	<i>Merluccius merluccius</i> (Linnaeus, 1758)	Mmer
	Phycidae	<i>Phycis blennoides</i> (Brünnich, 1768)	Pble
	Gadidae	<i>Gadiculus argenteus</i> (Guichenot, 1850)	Garg
		<i>Trisopterus luscus</i> (Linnaeus, 1758)	Tlus
Batrachoidiformes	Batrachoididae	<i>Halobatrachus didactylus</i> (Schneider, 1801)	Hdid
Mugiliformes	Mugilidae	<i>Liza ramada</i> (Risso, 1827)	Lram
Atheriniformes	Atherinidae	<i>Atherina boyeri</i> (Risso, 1810)	Aboy
Beloniformes	Belonidae	<i>Belone belone</i> (Linnaeus, 1761)	Bbel
Beryciformes	Trachichthyidae	<i>Hoplostethus mediterraneus</i> (Cuvier, 1829)	Hmed

Zeiformes	Zeidae	<i>Zeus faber</i> (Linnaeus, 1758)	Zfab
Scorpaeniformes	Scorpaenidae	<i>Helicolenus dactylopterus</i> (Delaroche, 1809)	Hdac
		<i>Scorpaena notata</i> (Rafinesque, 1810)	Snot
Osmeriformes	Triglidae	<i>Eutrigla gurnardus</i> (Linnaeus, 1758)	Egur
	Argentiniidae	<i>Argentina sphyraena</i> (Linnaeus, 1758)	Asph
Perciformes	Moronidae	<i>Dicentrarchus labrax</i> (Linnaeus, 1758)	Dlab
	Serranidae	<i>Serranus hepatus</i> (Linnaeus, 1758)	Shep
		<i>Anthias anthias</i> (Linnaeus, 1758)	Aant
	Carangidae	<i>Trachurus trachurus</i> (Linnaeus, 1758)	Ttra
	Sparidae	<i>Boops boops</i> (Linnaeus, 1758)	Bboo
		<i>Diplodus bellottii</i> (Steindachner, 1882)	Dbel
		<i>Pagellus acarne</i> (Risso, 1826)	Paca
	Sciaenidae	<i>Argyrosomus regius</i> (Asso, 1801)	Areg
	Mullidae	<i>Mullus surmuletus</i> (Linnaeus, 1758)	Msur
	Cepolidae	<i>Cepola macrophtalma</i> (Linnaeus, 1758)	Cmac
	Labridae	<i>Acantholabrus palloni</i> (Risso, 1810)	Apal
		<i>Symphodus melops</i> (Linnaeus, 1758)	Smel
	Trachinidae	<i>Echiichthys vipera</i> (Cuvier, 1829)	Evip
	Blenniidae	<i>Blennius ocellaris</i> (Linnaeus, 1758)	Boce
		<i>Parablennius gattorugine</i> (Brünnich, 1768)	Pgat
		<i>Callionymus lyra</i> (Linnaeus, 1758)	Clyr
	Gobiidae	<i>Lesueurigobis sanzoi</i> (De Buen, 1918)	Lsan
		<i>Pomatoschistus minutus</i> (Pallas, 1970)	Pmin
		<i>Gobius niger</i> (Linnaeus, 1758)	Gnig
	Trichiuridae	<i>Lepidopus caudatus</i> (Euphrasen, 1788)	Lcau
	Scombridae	<i>Scomber colias</i> (Gmelin, 1789)	Scol
		<i>Scomber scombrus</i> (Linnaeus, 1758)	Ssco
	Caproidae	<i>Capros aper</i> (Linnaeus, 1758)	Cape
Pleuronectiformes	Citharidae	<i>Citharus linguatula</i> (Linnaeus, 1758)	Clin
	Scophthalmidae	<i>Lepidorhombus boscii</i> (Risso, 1810)	Lbos
	Bothidae	<i>Arnoglossus imperialis</i> (Rafinesque, 1810)	Aimp
	Soleidae	<i>Solea senegalensis</i> (Kaup, 1858)	Ssen
		<i>Microchirus variegatus</i> (Donovan, 1808)	Mvar

O procedimento metodológico foi realizado nas instalações da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e incluiu as seguintes etapas:

- análise morfológica dos otólitos (análise semi-quantitativa);
- análise merística dos otólitos e cálculo de índices biométricos (análise quantitativa);
- tratamento estatístico.

## 3.2 Análise morfológica dos otólitos

### 3.2.1 Descrição morfológica dos otólitos

A análise morfológica dos otólitos pressupõe a utilização de uma terminologia adequada. Deste modo, para garantir a uniformidade de critérios, a terminologia utilizada neste trabalho baseou-se nas definições postuladas por Assis (2000).

### 3.2.1.1 Orientação dos otólitos

Para garantir consistência na utilização dos termos de posição relativa, foi estabelecida uma orientação padrão independente da disposição dos otólitos na caixa craniana dos peixes. Deste modo, as regiões do otólito foram orientadas segundo os eixos medial (proximal), lateral (distal), dorsal (superior) e ventral (inferior).

A face medial ou interna dos otólitos *asteriscus* possui um maior número de características utilizáveis na caracterização morfológica dos otólitos (Assis, 2000). Por esta razão, no presente trabalho foi utilizada a face medial do otólito direito de cada par, orientada como disposto na figura 2.1. No entanto, em alguns exemplares, também foi utilizada a face lateral para confirmar a existência da *excisura major*. Quando o otólito direito estava partido ou danificado foi utilizado o otólito esquerdo para efeitos de reconhecimento das regiões otolíticas a caracterizar.

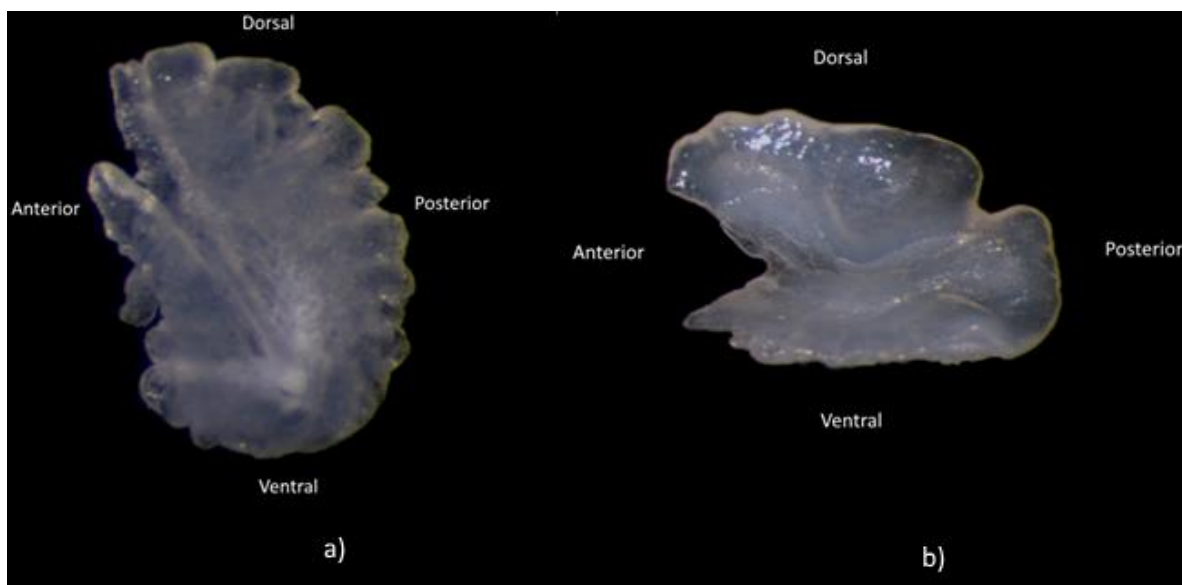


Figura 3.1 – Face interna dos otólitos *asteriscus* direitos de *Anguilla anguilla* (a) e (b) *Phycis blennoides*, ilustrando a orientação dos otólitos.

A observação dos otólitos foi feita com recurso a uma lupa binocular com luz reflectida e ampliação adequada às dimensões de cada espécime. As imagens foram registadas através de fotografia digital, utilizando o software *Leica Application Suit*.

### 3.2.1.2 Características dos *asteriscus*

Tendo em vista a procura de padrões ecomorfológicos, foram escolhidas as características morfológicas com maior variabilidade, de modo a caracterizar os otólitos das diferentes espécies. Assim, as características incluídas no presente trabalho basearam-se nas descrições efectuadas por Assis (2000), e foram as seguintes:

#### a) Relação altura/comprimento

A relação altura/comprimento foi tipificada através de um intervalo de categorias compreendidas entre otólitos com formas mais estreitas até formas mais alongadas.

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
<b>1</b>	Otólito mais alto que longo
<b>2</b>	Otólito tão longo como alto
<b>3</b>	Otólito mais longo que alto

#### **b) Forma Geral**

A forma geral é considerada uma característica muito subjectiva na medida em que é inexistente uma classificação padrão e a sua definição depende do observador. Assim, neste estudo foi adoptada a terminologia descrita por Assis (2000).

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
<b>1</b>	Paralelogramo
<b>2</b>	Quadrado
<b>3</b>	Trapezoidal
<b>4</b>	Triangular
<b>5</b>	Bastonete
<b>6</b>	Claviforme
<b>7</b>	Discóide
<b>8</b>	Semi-discóide
<b>9</b>	Reniforme
<b>10</b>	Oval
<b>11</b>	Piriforme
<b>12</b>	Semi-elíptico
<b>13</b>	Crescente
<b>14</b>	Falciforme
<b>15</b>	Fungiforme
<b>16</b>	Angular
<b>17</b>	Estrelado
<b>18</b>	Irregular

#### **c) Tipo de Margem**

Em relação ao tipo de margem aplica-se o mesmo conceito de subjectividade inerente à forma geral. Como tal, foi adoptada a terminologia proposta por Assis (2000).

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
1	Lisa
2	Ondulada
3	Lobada
4	Digitada
5	Denteada
6	Serrilhada
7	Dentada
8	Crenulada
9	Irregular
10	Com entalhes
11	Truncada

**d) Forma da região dorsal**

Com a análise desta característica pretende-se descrever a forma da região dorsal – afilada ou arredondada.

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
1	Afilada
2	Arredondada

**e) Concordância do *rostrum* com o *antirostrum***

Considera-se que o *rostrum* e *antirostrum* são concordantes quando a curvatura de ambos se direcciona para o mesmo lado; são discordantes sempre que a respectiva curvatura se dá em direcções opostas.

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
1	Concordantes
2	Discordantes

**f) Forma do *rostrum* e *antirostrum***

Ao contrário do que acontece com os otólitos *sagitta*, o *rostrum asterici* quando evidente é geralmente menos marcado que o *antirostrum*. Assim, para a classificação da sua forma,

foram consideradas três categorias: indiferenciado, triangular (em que se evidencia no perfil um extremo afilado ou pontiagudo) e globoso.

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
<b>0</b>	Indiferenciado
<b>1</b>	Triangular
<b>2</b>	Globoso

O *antirostrum* varia ao nível da espécie e de acordo com a dimensão dos otólitos. Quando é diferenciado, pode apresentar uma forma triangular ou globosa (arredondada e pouco destacada no perfil).

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
<b>0</b>	Indiferenciado
<b>1</b>	Triangular
<b>2</b>	Globoso

**g) Dimensão do *rostrum* e *antirostrum***

Com a análise desta característica pretende-se categorizar a dimensão do otólito em pequeno, médio ou grande.

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
<b>1</b>	Pequeno
<b>2</b>	Médio
<b>3</b>	Grande

**h) Extremo do *rostrum* e *antirostrum***

Os extremos do *rostrum* e *antirostrum* podem ser categorizados em arredondado ou pontiagudo.

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
<b>1</b>	Arredondado
<b>2</b>	Pontiagudo

**i) Orientação do *rostrum*/*antirostrum***

A orientação do *rostrum* e do *antirostrum* é definida pela direcção seguida pela bissectriz do ângulo formado pelos seus bordos.

Codificação	Significado
1	Horizontal
2	Vertical
3	Antero-dorsal

**j) Dimensão relativa dos lobos**

Frequentemente, os lobos do otólito possuem dimensões diferentes. Como tal, através da análise desta característica pretende-se categorizar a dimensão relativa do *lobus major* em relação ao *lobus minor*.

Codificação	Significado
1	<i>Lobus major</i> maior que o <i>lobus minor</i>
2	<i>Lobus major</i> semelhante ao <i>lobus minor</i>
3	<i>Lobus major</i> menor que o <i>lobus minor</i>

**k) Profundidade da *fossa acustica***

Esta característica é uma das que possui maior poder diagnosticante na distinção entre espécies, utilizando a face medial ou interna dos otólitos (Assis, 2000) e pode ser categorizada em: superficial ou profunda (ver Glossário).

Codificação	Significado
1	Superficial
2	Profunda

**l) Profundidade da *excisura major***

A variabilidade da *excisura major*, localizada na margem anterior do otólito, pode ser traduzida pela categorização em: ausente, pouco profunda e muito profunda.

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
<b>0</b>	Ausente
<b>1</b>	Pouco profunda
<b>2</b>	Muito profunda

**m) Profundidade da *excisura minor***

A variabilidade da *excisura minor*, tal como acontece com a *excisura major*, pode ser traduzida pela categorização em: ausente, pouco profunda e muito profunda.

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
<b>0</b>	Ausente
<b>1</b>	Pouco profunda
<b>2</b>	Muito profunda

**n) Tipo de otólito**

Existem três tipos básicos de otólitos *asteriscus*, consoante a orientação dos *lobi* e da *fossa acustica*: o tipo horizontal, o tipo vertical e o tipo giro (ver Glossário e figura 3.2).

<b>Codificação</b>	<b>Significado</b>
<b>1</b>	Horizontal
<b>2</b>	Vertical
<b>3</b>	Giro

**o) Profundidade da *crista medial***

A variabilidade da crista medial está relacionada com o seu grau de destaque da face do *lobus major* (ver Glossário). Deste modo, pode ser categorizada em superficial, pouco escavada ou muito escavada.

Codificação	Significado
0	Superficial
1	Pouco escavada
2	Muito escavada

**p) Profundidade da *fissura periferica***

A variabilidade da fissura periferica está relacionada com o grau de destaque da *crista medial* pois define-se como uma depressão ou socalco que ocorre entre a *crista medial* e a superfície dos *campus major* (ver Glossário). Deste modo, a *fissura periferica* pode ser categorizada em superficial, pouco profunda ou muito profunda.

Codificação	Significado
0	Superficial
1	Pouco profunda
2	Muito profunda

**q) Individualização dos lobos**

A individualização dos lobos vai implicar também a existência de *excisura major* ou *excisura minor*. Deste modo, os lobos podem ser categorizados em: não individualizados, individualizados na zona anterior, individualizados na zona posterior ou individualizados na zona anterior e posterior.

Codificação	Significado
0	Não individualizados
1	Individualizados na zona anterior
2	Individualizados na zona posterior
3	Individualizados na zona anterior e posterior

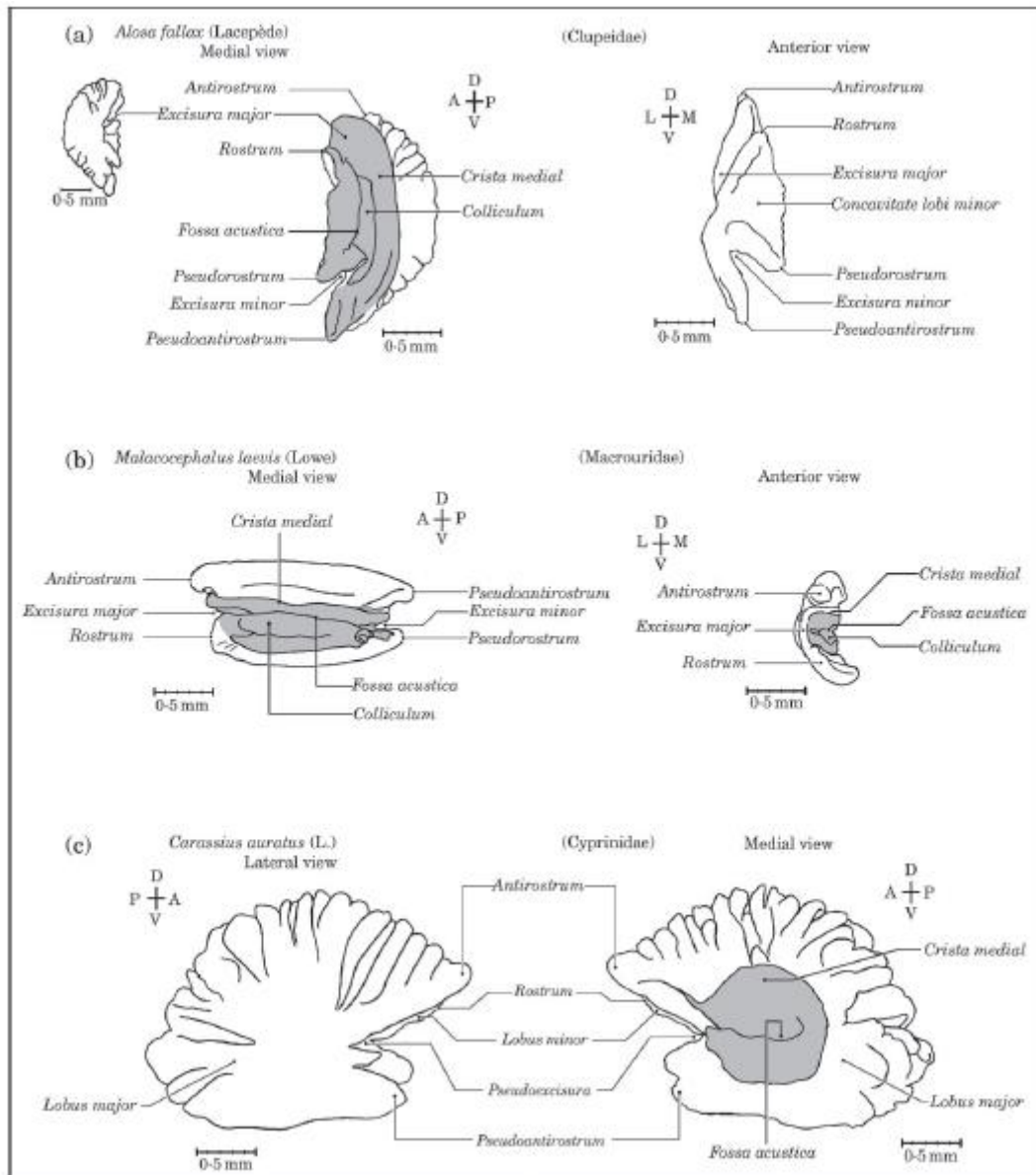


Figura 3.2 – Terminologia das partes e estruturas dos otólitos *asteriscus*. Três tipos de *asterisci* estão representados: A e B, respectivamente, face interna e vista anterior do *asteriscus* direito de *Alosa fallax*; C e D, respectivamente, face interna e vista anterior do *asteriscus* direito de *Malacocephalus laevis*; E e F, respectivamente, faces externa e interna do *asteriscus* direito de *Carassius auratus*. D, V, A, P, E e I representam respectivamente as direcções dorsal, ventral, anterior, posterior, externa (distal) e interna (proximal). A zona sombreada corresponde à *fossa acustica* (Assis, 2003).

### 3.3 Análise quantitativa dos otólitos

Foram escolhidas as características morfológicas com maior variabilidade procedendo depois à sua análise quantitativa, com recurso a uma lupa binocular com luz reflectida e ampliação adequada às dimensões de cada espécime e utilizando o software *Leica Application Suit* para capturar imagens dos otólitos e efectuar as seguintes medições (figuras 3.2 e 3.3):

- comprimento e altura do otólito;
- comprimento e altura do *antirostrum*;

- comprimento e altura do *rostrum*;
- comprimento e altura do *lobus major*;
- comprimento e altura do *lobus minor*;
- ângulo entre os *lobi*;
- profundidade da *excisura major*;
- profundidade da *excisura minor*;
- perímetro da crista medial.

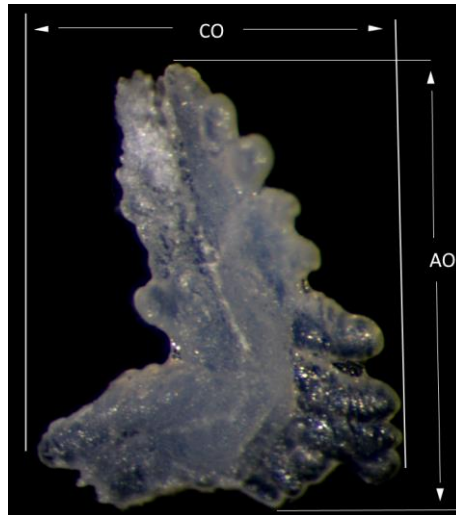


Figura 3.3 – Representação das medições do comprimento (CO) e altura (AO) de um otólito *asteriscus* direito.

### 3.4 Análise biométrica

Para a realização da análise biométrica foram utilizados índices biométricos, calculados a partir das dimensões dos otólitos. Os dados relativos ao comprimento total do peixe (CT) foram obtidos através da consulta das medidas da colecção e os dados relativos ao comprimento (CO) e altura dos otólitos (AO) foram obtidos através de medições utilizando o software *Leica Application Suit*, como explicado anteriormente na secção análise quantitativa.

Deste modo, foram calculados os seguintes índices biométricos (ver Anexos):

#### Relação Comprimento-Altura dos otólitos (RCA)

Este índice foi calculado para cada indivíduo utilizando as dimensões correspondentes de comprimento e altura do otólito direito, sendo dado por:

$$3.1 \text{ RCA} = \frac{CO_{oi}}{AO_{oi}}$$

em que: *o* representa o otólito *asteriscus* direito;

$i$  representa o indivíduo da amostra;

O índice RCA tem um valor mínimo de zero e permite obter informação acerca da forma geral do otólito, de tal modo que (Assis, 2000):

Se  $RCA < 1$  o otólito é mais longo que alto;

Se  $RCA = 1$  o otólito tem comprimento e altura semelhantes;

Se  $RCA > 1$  o otólito é mais alto que longo.

### **Relação Comprimento-Altura dos otólitos padronizada (RCAp)**

Tendo em conta que o índice RCA não considera a dimensão do exemplar a partir do qual foram retirados os otólitos e porque esta é relevante na detecção de padrões ecomorfológicos em análise, foi ainda utilizado o índice RCA padronizado pelo comprimento total dos exemplares.

$$3.2 \text{RCAp} = \frac{RCA}{CT} \times 1000$$

em que :  $RCA$  representa a relação entre o comprimento e altura de cada otólito;

$CT$  representa o comprimento total do peixe.

### **Relação Otólito-Peixe (ROP)**

Este índice foi calculado para cada exemplar das diversas espécies analisadas e traduz a relação percentual entre o comprimento do otólito direito e o comprimento total do peixe.

$$3.3 \text{ROP} = \frac{CO_{oi}}{CT} \times 100$$

em que:  $o$  representa o otólito *asteriscus* direito;

$i$  representa o indivíduo da amostra;

$CT$  representa o comprimento total do peixe.

O índice ROP tem um valor mínimo de zero e indica uma informação sobre a dimensão relativa do otólito em função do comprimento do peixe, de tal modo que (Assis, 2000; Morais, 2012):

Se  $ROP \leq 1$  o otólito é considerado pequeno;

Se  $1 < ROP \leq 3$  o otólito é considerado de dimensão média;

Se  $ROP > 3$  o otólito é considerado grande.

Os índices calculados foram depois adicionados aos dados quantitativos, de modo a serem analisados.

### 3.5 Caracterização das espécies e do ambiente

A caracterização das espécies e do ambiente consistiu na descrição do seu modo de vida e *habitat* e foi realizada recorrendo a informação bibliográfica.

Foram considerados os aspectos descritos por Moraes (2012):

#### AMBIENTE

- Tipo de ambiente: pelágico, bentónico ou demersal;
- Profundidade: superficial, intermédia ou profunda;
- Interação com o substrato: sobre ou dentro do substrato;
- Tipo de substrato: móvel, fixo ou misto.

#### COMPORTAMENTO

- Social: espécie solitária ou de cardume;
- Deslocação: espécie sedentária ou migradora.

#### OUTRAS CARACTERÍSTICAS

- Capacidade natatória: reduzida, média ou elevada;
- Capacidade de produção de sons: ausência ou presença;
- Padrões de coloração corporal: simples ou complexos.

### 3.6 Tratamento estatístico

Tendo em conta a natureza dos dados e o objectivo principal deste trabalho, procurou-se uma técnica estatística multivariada que permitisse evidenciar padrões ecomorfológicos tanto a nível quantitativo como semi-quantitativo. Assim, para analisar os dados de natureza quantitativa, realizou-se uma análise de coordenadas principais – PCO (*Principal Coordinates Analysis*) - e para analisar os dados de natureza semi-quantitativa realizou-se uma análise de Componentes Principais – PCA (*Principal Component Analysis*). A escolha das metodologias a aplicar no presente estudo baseou-se em pesquisa bibliográfica (Dillon & Goldstein, 1984; Manly, 1994; Jongman et al., 1995; Hair *et al.*, 1998; Costa *et al.*, 2003; Costa, 2004) e na observação preliminar dos dados obtidos. Deste modo, através da realização destas duas técnicas estatísticas pretende-se testar como é que as espécies se distinguem entre si, em relação às características morfológicas dos otólitos. Em ambas as análises, PCO e PCA, foram adicionadas características ecológicas sob a forma de vectores, tendo apenas sido consideradas as características para as quais a correlação de Pearson foi superior a 0,2.

Na fase inicial de preparação dos dados, os dados quantitativos foram alvo de uma transformação de modo a extrair o efeito do comprimento do otólito, uma vez que as variáveis morfométricas se encontram estreitamente relacionadas com o comprimento do otólito. Assim, as medidas das características morfométricas foram ajustadas com uma modificação da fórmula descrita por Costa *et al.* (2003):

$$3.4 \text{ AC}_i = \log(\text{OC}_i + 2) - [\beta \times ((\log(\text{TL}_i + 2) - \log(\text{MTL} + 2)))]$$

em que:  $\text{AC}_i$  é a medida ajustada de cada espécimen;

$\text{OC}_i$  é o valor sem ajuste de cada espécimen;

$\beta$  - *common slope* - é o declive comum de cada característica, após a transformação logarítmica de ambas as variáveis (obtido através de uma ANCOVA -Análise de Co-variância - em que a co-variada é o comprimento do otólito);

$\text{TL}_i$  é o comprimento total do otólito;

$\text{MTL}$  é a média total do comprimento dos otólitos.

Os valores de beta foram obtidos recorrendo ao programa BIOMSTAT, versão 3.0 para Windows (Rohlf & Slice, 1995). Os cálculos necessários à realização da transformação dos dados foram efectuados em EXCEL, versão 10 para Microsoft Windows.

De modo a testar a significância dos padrões ecomorfológicos, evidenciados pela análise de coordenadas principais (PCO), realizou-se uma análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA - *permutational multivariate analysis of variance*) utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis obtido com 9999 permutações (Anderson, 2005). Deste modo, pretendeu-se testar se existiam ou não diferenças entre as espécies em relação à morfologia dos otólitos. Também foram efectuados testes pareados *a posteriori* para determinar de que forma as espécies diferiam entre si, no caso de existirem diferenças significativas nos testes principais.

Finalmente, de forma a obter uma melhor compreensão das principais semelhanças dentro de cada espécie e semelhanças entre as espécies, em relação à morfologia dos otólitos, foi realizada uma análise SIMPER (*Similarity Percentage Breakdown*). Assim, pretendeu-se determinar quais as características que mais contribuíram para as semelhanças entre os indivíduos da mesma espécie e quais as características que mais contribuíram para a dissemelhança entre indivíduos de espécies diferentes. Para este efeito, foram apenas seleccionadas para uma análise detalhada as espécies ou pares de espécies com valor de contribuição acima dos 90%, no que respeita à similaridade, e acima de 10%, no que respeita à dissimilaridade. Para seleccionar as características morfológicas que mais contribuíram, tanto para as similaridades, como para as dissimilaridades, escolheram-se as características que contribuíram acima de 10% e apresentaram um valor acumulado de 50%.

É importante referir que certas características morfológicas não foram incluídas nos dados para análise estatística multivariada. Entre as características excluídas da análise de PCO encontram-se: ângulo entre os lobos, perímetro da *crista medial*, profundidade da *excisura major* e profundidade da *excisura minor*. Estas características não foram tidas em conta pois continham muitos valores nulos que iriam enviesar os resultados.

No que respeita às características excluídas da análise de PCA encontram-se: forma geral do otólito, tipo de margem, região dorsal, concordância do *rostrum* e *antirostrum*, dimensão do *rostrum* e *antirostrum*, extremo do *rostrum* e *antirostrum*, orientação do *rostrum* e *antirostrum*, tipo de otólito, profundidade da *fossa acustica*, profundidade da *excisura major*, profundidade da *excisura minor* e profundidade da *crista medial*. De facto, a maioria destas características apresentam grande variabilidade intraespecífica, o que desde logo as exclui logo como bons indicadores de variabilidade interespecífica e também pelo facto de algumas destas características consistirem em variações de estruturas, resultantes do desdobramento de características originais.

A análise estatística dos dois conjuntos de dados foi realizada com recurso ao *software* estatístico Primer 6 (versão 6.1.13) & PERMANOVA<sup>+</sup> (versão 1.03) for Windows.

## 4. Resultados

### 4.1 Diferenças morfológicas nos otólitos das espécies estudadas

Como esperado, os resultados da PERMANOVA indicaram que a existências de diferenças significativas, a nível morfológico, entre os otólitos *asteriscus* das diferentes espécies (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Detalhes dos resultados da PERMANOVA realizada para comparar os otólitos *asteriscus* das diferentes espécies, considerando as suas características morfológicas (ver espécies – Tabela 1.1).

Fatores	g.d.l.	SQ	MQ	Pseudo-F	P(perm)	perms
<b>Espécies</b>	49	2766,4	56,458	68,128	<b>0,001</b>	999
<b>Residual</b>	200	165,74	0,8287			
<b>Total</b>	249	2932,2				

g.d.l – graus de liberdade; SQ – soma dos quadrados; MQ – média dos quadrados;  
Nível de significância  $p < 0,05$  assinalado a negrito

Os resultados dos testes PERMANOVA pareados indicaram que as espécies não seriam todas diferentes, a nível da morfologia dos otólitos (na Tabela 4.2 estão indicados os pares não significativamente diferentes).

Tabela 4.2 - Detalhes dos resultados dos testes *a posteriori* da PERMANOVA realizados para comparar os otólitos *asteriscus* das 50 espécies (ver espécies – Tabela 1).

Grupos	t	P(MC)
<b>Mmer, Nscl</b>	1,7734	0,058
<b>Ssen, Shep</b>	1,7915	0,063
<b>Ssen, Paca</b>	1,5697	0,126
<b>Snot, Shep</b>	1,2877	0,198
<b>Snot, Paca</b>	1,4933	0,150
<b>Aboy, Paca</b>	1,4631	0,154
<b>Egur, Shep</b>	1,7978	0,066
<b>Zfab, Eenc</b>	1,6921	0,060
<b>Zfab, Shep</b>	1,7098	0,086
<b>Hdac, Paca</b>	1,4068	0,155
<b>Bbel, Shep</b>	1,2997	0,203
<b>Clyr, Smel</b>	1,7541	0,055
<b>Msur, Paca</b>	1,5320	0,147
<b>Dbel, Paca</b>	1,5083	0,113
<b>Aimp, Shep</b>	1,2125	0,212
<b>Aimp, Paca</b>	1,6415	0,102
<b>Cape, Paca</b>	1,4489	0,150

<b>Aang, Paca</b>	1,4130	0,174
<b>Eenc, Shep</b>	0,8490	0,478
<b>Evip, Shep</b>	1,7439	0,094
<b>Evip, Paca</b>	1,4762	0,131
<b>Shep, Spil</b>	1,8417	0,061
<b>Shep, Apal</b>	1,6292	0,090
<b>Shep, Aant</b>	1,7982	0,074
<b>Shep, Paca</b>	1,6364	0,112
<b>Spil, Paca</b>	1,2696	0,209
<b>Apal, Paca</b>	1,8584	0,055
<b>Bboo, Paca</b>	1,2817	0,189
<b>Aant, Paca</b>	1,3851	0,172
<b>Garg, Nscl</b>	1,2617	0,190
<b>Cgur, Zfab</b>	1,5134	0,097
<b>Zfab, Bbel</b>	1,7503	0,075
<b>Zfab, Lbos</b>	1,7258	0,065
<b>Aang, Aant</b>	1,2866	0,177

## 4.2 Características morfológicas que mais contribuíram para a similaridade intra-espécie e dissimilaridade inter-espécie

A análise de SIMPER permitiu determinar quais as características dos otólitos *asteriscus* que mais contribuíram para as dissimilaridades encontradas entre as várias espécies bem como a similaridade dentro de cada espécie. Assim, as características que mais contribuíram para a similaridade intra-espécies foram: “comprimento do *lobus minor*”, “altura do *lobus minor*”, “altura do *lobus major*”, “comprimento do *lobus major*” e as que mais contribuíram para a dissimilaridade entre espécies foram: “altura do *lobus major*”, “altura do *lobus minor*” e “comprimento do *lobus major*”(Tabelas 4.3 e 4.4).

Tabela 4.3 - Desdobramento da similaridade média dentro das diversas espécies, tendo em conta a contribuição e valor acumulado de cada característica morfológica. *Caract.morf* = Características morfológicas; *Comp.lobus major* = Comprimento do *lobus major*; *Comp. lobus minor* = comprimento do *lobus minor*; *Alt. lobus major* = altura do *lobus major*; *Alt. lobus minor* = altura do *lobus minor*; *Alt. antirostrum* = altura *antirostrum*; *Comp. antirostrum* = comprimento do *antirostrum*; *Alt. rostrum* = altura do *rostrum*; *Comp. do rostrum* = comprimento do *rostrum*; *Dens. Méd* = Densidade média; *Sim.média* = Similaridade média; *Sim/SD* = Similaridade/ Desvio padrão; *%Contrib* = Percentagem de contribuição; *%Acumu* = % Valor acumulado; *Espécie* (ver tabela I).

<b>Espécie</b>	<b>Caract.morf</b>	<b>Dens.média</b>	<b>Sim. média</b>	<b>Sim/DP</b>	<b>%Contrib</b>	<b>%Acum</b>
<b>Pble</b>	<i>Comp.lobus minor</i>	0,76	14,32	278,56	14,43	14,43
	<i>Comp.lobus major</i>	0,76	14,32	98,40	14,43	28,86
	<i>Alt.lobus major</i>	0,67	12,74	166,09	12,83	41,69
	<i>Alt. antirostrum</i>	0,67	12,69	315,7	12,79	54,47
<b>Egur</b>	<i>Alt.lobus major</i>	0,70	14,54	283,86	14,64	14,64

	<i>Comp. lobus major</i>	0,62	12,84	241,78	12,93	27,58
	<i>Alt.lobus minor</i>	0,62	12,64	115,50	12,74	40,32
	<i>Comp.lobus minor</i>	0,60	12,21	141,95	12,30	52,61
<b>Gelo</b>	<i>Alt.lobus major</i>	0,63	13,67	370,31	13,73	13,73
	<i>Alt.lobus minor</i>	0,58	12,69	162,85	12,74	26,47
	<i>Comp. lobus major</i>	0,57	12,49	417,19	12,55	39,02
	<i>Comp. lobus minor</i>	0,57	12,29	241,54	12,34	51,36
<b>Pgat</b>	<i>Alt.lobus major</i>	0,68	14,03	438,33	14,12	14,12
	<i>Comp. lobus major</i>	0,64	13,15	191,67	13,24	27,36
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,63	12,81	52,78	12,89	40,25
	<i>Comp. lobus minor</i>	0,60	12,21	132,35	12,29	52,54
<b>Aim</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,68	14,03	438,33	14,12	14,12
	<i>Comp. lobus major</i>	0,64	13,15	191,67	13,24	27,36
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,63	12,81	52,78	12,89	40,25
	<i>Comp. lobus minor</i>	0,60	12,21	132,35	12,29	52,54
<b>Boce</b>	<i>Alt.lobus major</i>	0,66	13,92	750,30	13,97	13,97
	<i>Comp. lobus major</i>	0,61	12,94	191,94	12,99	26,96
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,60	12,70	225,28	12,74	39,70
	<i>Comp. lobus minor</i>	0,58	12,16	195,58	12,2	51,90
<b>Apal</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,68	14,15	897,33	14,23	14,23
	<i>Alt.lobus minor</i>	0,65	13,44	373,15	13,51	27,74
	<i>Comp. lobus major</i>	0,63	13,00	149,16	13,07	40,81
	<i>Comp. lobus minor</i>	0,59	12,08	141,05	12,14	52,95
<b>Pmin</b>	<i>Comp. lobus major</i>	0,62	13,33	197,51	13,39	13,39
	<i>Alt. lobus major</i>	0,62	13,26	426,78	13,33	26,72
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,59	12,69	121,28	12,75	39,47
	<i>Alt. antirostrum</i>	0,57	12,25	112,66	12,31	51,78
<b>Mvar</b>	<i>Alt. rostrum</i>	0,56	13,16	154,18	13,23	13,23
	<i>Alt. lobus major</i>	0,55	12,91	482,43	12,98	26,21
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,55	12,88	204,61	12,96	39,17
	<i>Comp. rostrum</i>	0,55	12,87	528,5	12,95	52,12
<b>Gnig</b>	<i>Comp. rostrum</i>	0,54	13,30	244,25	13,4	13,4
	<i>Comp. lobus major</i>	0,54	13,16	124,19	13,26	26,66
	<i>Alt. rostrum</i>	0,53	12,88	179,11	12,98	39,63
	<i>Comp. antirostrum</i>	0,51	12,42	324,75	12,51	52,14

Tabela 4.4 - Desdobramento da dissimilaridade média entre as espécies, tendo em conta a contribuição e valor acumulado de cada característica morfológica. *Caract.morf.* = características morfológicas; *Comp.lobus major* = Comprimento do *lobus major*; *Comp. lobus minor* = comprimento do *lobus minor*; *Alt. lobus major* = altura do *lobus major*; *Alt. lobus minor* = altura do *lobus minor*; *Alt. antirostrum* = altura *antirostrum*; *Comp. antirostrum* = comprimento do *antirostrum*; *Alt. rostrum* = altura do *rostrum*; *Comp. do rostrum* = comprimento do *rostrum*; *Dens. méd.esp1* = densidade média espécie 1; *Dens.méd.esp2* = densidade média espécie 2; *Sim.média* = similaridade média; *Sim/SD* = Similaridade/ Desvio padrão; *%Contrib* = percentagem de contribuição; *%Acumu* = % valor acumulado; *Espécies* (ver tabela I).

<b>Espécies</b>	<b>Caract.morf.</b>	<b>Dens.méd. esp1</b>	<b>Dens.méd esp2</b>	<b>Sim. média</b>	<b>Diss/DP</b>	<b>%Contrib</b>	<b>%Cum</b>
<b>Lram &amp; Mvar</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,87	0,55	3,34	216,3	27,37	27,37
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,79	0,55	2,45	8,20	20,09	47,46
	<i>Comp. lobus major</i>	0,75	0,53	2,33	12,84	19,04	66,50
<b>Areg &amp; Mvar</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,85	0,55	3,02	102,97	21,83	21,83
	<i>Comp. lobus major</i>	0,76	0,53	2,33	16,25	16,86	38,69
	<i>Comp. lobus minor</i>	0,74	0,51	2,27	8,11	16,46	55,15
<b>Ttra &amp; Mvar</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,82	0,55	2,81	125,52	23,16	23,16
	<i>Comp. lobus major</i>	0,76	0,53	2,39	10,83	19,75	42,92
	<i>Alt. antirostrum</i>	0,70	0,50	2,06	15,55	17,00	59,91
<b>Tlus &amp; Gnig</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,80	0,46	3,59	33,33	25,99	25,99
	<i>Larg. lobus minor</i>	0,76	0,51	2,63	19,10	19,06	45,05
	<i>Alt. antirostrum</i>	0,69	0,51	1,96	10,90	14,21	59,25
<b>Pblen &amp; Gnig</b>	<i>Comp. lobus minor</i>	0,76	0,51	2,62	18,47	20,68	20,68
	<i>Comp.lobus major</i>	0,76	0,54	2,34	19,63	18,48	39,16
	<i>Alt. lobus major</i>	0,67	0,46	2,32	26,24	18,33	57,49
<b>Dbel &amp; Gnig</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,79	0,46	3,52	131,27	27,8	27,8
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,71	0,48	2,52	14,14	19,93	47,73
<b>Lram &amp; Gnig</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,87	0,46	4,38	222,7	31,12	31,12
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,79	0,48	3,30	10,45	23,44	54,56
<b>Areg &amp; Gnig</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,82	0,46	3,83	157,87	26,76	26,76
	<i>Comp. lobus major</i>	0,76	0,54	2,29	10,61	15,98	42,74
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,67	0,48	2,05	6,29	14,32	57,06
<b>Dlab &amp; Gnig</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,81	0,46	3,82	66,32	31,16	31,16
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,72	0,48	2,65	10,86	21,67	52,83
<b>Ttrac &amp; Gnig</b>	<i>Alt. lobus major</i>	0,82	0,46	3,83	157,87	26,76	26,76
	<i>Comp. lobus major</i>	0,76	0,54	2,29	10,61	15,98	42,74
	<i>Alt. lobus minor</i>	0,67	0,48	2,05	6,29	14,32	57,06

### 4.3 Padrões ecomorfológicos nos otólitos *asteriscus*

Atendendo ao objectivo principal deste estudo, realizaram-se as análises de coordenadas principais e componentes principais, que em termos gráficos se traduziram na relação entre as espécies e as características morfológicas e ecológicas. No entanto, estes gráficos iniciais não permitiram com clareza e eficácia analisar os padrões ecomorfológicos procurados. Por esta razão, foram realizados gráficos finais em que para tal, se calculou para cada espécie o ponto médio referente a cada característica morfológica e a cada característica ecológica (figuras 4.1, 4.2 e 4.3). Esta opção foi aceitável pois obtiveram-se resultados semelhantes mas que possibilitaram uma interpretação mais imediata.

#### 4.3.1 Padrões ecomorfológicos obtidos através dos dados quantitativos

Tendo em conta a respectiva Análise em Coordenadas Principais, houve uma clara separação da amostra em associações de espécies, consoante as características morfológicas e ecológicas (figura 4.1). O primeiro eixo da análise PCO explica 67% da variação e o segundo explica 19,9%.

De acordo com o valor da correlação de Pearson obtido, as características morfológicas que mais contribuíram para a variação ao longo do eixo 1 foram “altura do *rostrum*” (AR), “comprimento do *rostrum*” (CR), “comprimento do *lobus major*” (CLM), “comprimento do *lobus minor*” (CLO), “relação comprimento-altura do otólito” (RCA), “relação comprimento-altura padronizado do otólito” (RCAp) e “relação otólito-peixe” (ROP). As características morfológicas que mais contribuíram para a variação na distribuição das espécies ao longo do eixo 2 foram “altura do *antirostrum*” (AA), “comprimento do *antirostrum*” (CA), “altura do *lobus major*” (ALM) e “altura do *lobus minor*” (ALO). Relativamente às características ecológicas, as que mais contribuíram para a variação ao longo do eixo 1 foram “comportamento” e “deslocação” e as que mais contribuíram para a variação ao longo do eixo 2 foram “interacção com o substrato”, “padrão de coloração corporal” e “capacidade natatória”.

O eixo 1 separa principalmente as espécies com *rostrum* mais desenvolvido, em comprimento e altura, das espécies com *lobus major* e *lobus minor* mais desenvolvidos, em comprimento, e com maiores índices de RCA, RCap e ROP; enquanto o eixo 2 distingue, sobretudo, as espécies com *antirostrum* mais desenvolvido, em comprimento e altura, e com maior altura do *lobus minor* e *lobus major*, das espécies que possuem estas características menos desenvolvidas.

As espécies que possuem *asterisci* com *rostrum* mais desenvolvido (*Phycis blennoides*, *Argyrossomus regius*, *Trachurus trachurus*, *Liza ramada*, *Pagellus acarne*, *Boops boops*, *Scomber scombrus*, *Helicolenus dactylopterus*, *Dicentrarchus labrax*, *Anguilla anguilla* e *Belone belone*) estão associadas ao lado direito do eixo 1 e caracterizam-se por ser, em geral, espécies solitárias e migradoras (figuras 4.2 e 4.3).

As espécies que possuem *asteriscus* com *lobus major* e *lobus minor* mais desenvolvidos, em comprimento, e com maiores índices de RCA, RCap e ROP) estão presentes no quadrante 4 (Q4) do diagrama e caracterizam-se por ser, em geral, espécies migradoras e gregárias ou de cardume (figuras 4.2 e 4.3). Por outro lado, as espécies que possuem menores índices de RCA

(*Acantholabrus palloni*, *Callionymus lyra*, *Conger conger*, *Halobatrachus didactylus*, *Engraulis encrasicolis*, *Scorpaena notata*, *Atherina boyeri* e *Arnoglossus imperialis*), RCap (*Serranus Hepatus*, *Capros aper*, *Helicolenus dactylopterus*, *Pagellus acarne*, *Scomber scombrus* e *Argentina sphyraena*) e ROP (*Blennius ocellaris*, *Symphodus melops*, *Microchirus variegatus*, *Gonostoma elongatum* e *Lepidopus caudatus*) estão associadas ao lado positivo do eixo 1 e caracterizam-se por ser, em geral, espécies solitárias e sedentárias (figuras 4.2 e 4.3).

As espécies com *antirostrum* mais desenvolvido, em comprimento e altura, e com maior altura do *lobus minor* e do *lobus major* (*Trisopterus luscus* e *Malacocephalus laevis*), estão associadas ao lado positivo do eixo 2 e caracterizam-se por possuir capacidade natatória média e não ter interação com o substrato (figuras 4.2 e 4.3). Por outro lado, as espécies em que estas características são menos notórias (*Serranus hepatus*, *Symphodus melops*, *Parablennius gattorugine* e *Lesueurigobius sanzoi*), estão associadas ao lado negativo do eixo 2 e caracterizam-se por ser espécies com reduzida capacidade natatória, com elevada interação com o substrato e padrões de coloração complexos (Figuras 4.2 e 4.3).



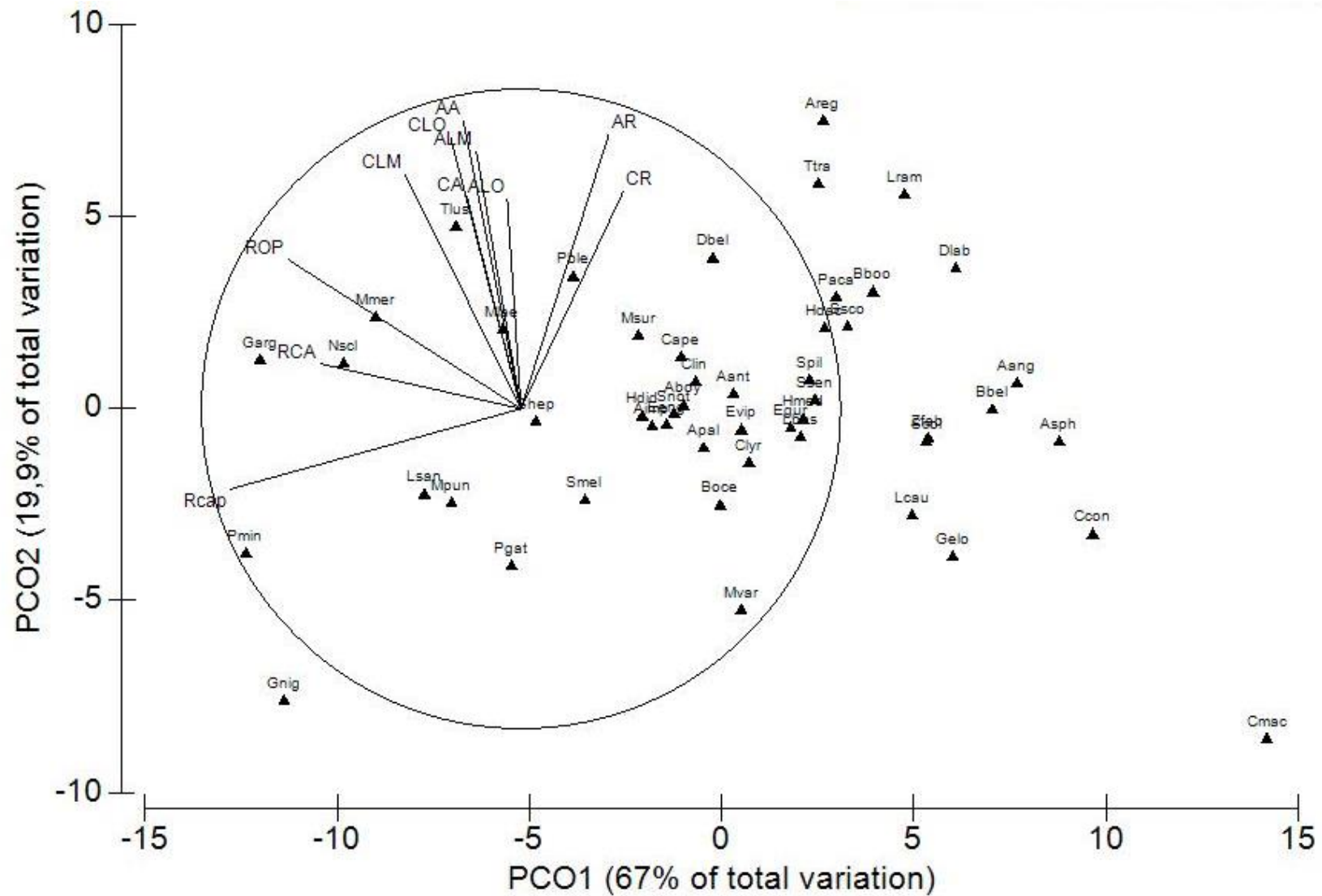


Figura 4.2 - Diagrama da Análise em Coordenadas Principais realizada tendo em conta as características morfológicas dos otólitos *asteriscus* na distribuição das espécies. Neste diagrama apenas são apresentadas as características cuja correlação de Pearson foi maior que 0,2. Legenda: AA – Altura do *antirostrum*; ALM – Altura do *lobus major*; ALO – Altura do *lobus minor*; AR – Altura do *rostrum*; CA – Comprimento do *antirostrum*; CLA – Comprimento do *lobus major*; CLO – Comprimento do *lobus minor*; CR – Comprimento do *rostrum*; RCA – Relação Comprimento-Altura; RCap – Relação Comprimento-Altura padronizada; ROP – Relação Otolito-Peixe. Espécies – ver tabela 2.1.



### 4.3.2 Padrões ecomorfológicos obtidos através dos dados semi-quantitativos

Tendo em conta a respectiva Análise em Componentes Principais houve uma separação da amostra em associações de espécies, ainda que menos clara que no caso da análise quantitativa, consoante as características morfológicas e ecológicas (figuras 4.4, 4.5 e 4.6). O primeiro eixo explica 32,9% da variação e o segundo eixo explica 21,3% da variação. As características morfológicas que mais contribuíram para a variação ao longo do eixo 1 foram “forma do *rostrum*” (FR), “profundidade da *fissura periferica*” (PFP) e “individualização dos lobos”(IL). As características morfológicas que mais contribuíram para a variação ao longo do eixo 2 foram “relação altura-comprimento” (RAC) e “forma do *antirostrum*” (FA). Segundo os valores de correlação de Pearson, as características ecológicas que mais contribuíram para a variação do eixo 1 foram: “interacção com o substrato” e “padrão de coloração corporal” e a que mais contribuiu para a variação do eixo 2 foi a “profundidade”.

O eixo 1 separa principalmente as espécies em que o *rostrum* apresenta forma triangular ou globosa das espécies em que o *rostrum* é indiferenciado; e também separa as espécies em que a *fissura periferica* é profunda e em que os lobos são individualizados das espécies em que a *fissura periferica* é superficial e cujos lobos não são individualizados. O eixo 2 distingue sobretudo as espécies em que o otólito é mais longo que alto das espécies em que o otólito é mais alto que longo; e também separa as espécies em que o *antirostrum* apresenta forma triangular ou globosa das espécies em que o *antirostrum* é indiferenciado.

As espécies que possuem *asterisci* em que o *rostrum* apresenta forma triangular ou globosa e cuja *fissura periferica* é profunda, estão associadas ao quadrante quatro (Q4) do diagrama, caracterizando-se por possuir padrões de coloração simples e não interagirem com o substrato. As espécies em que o *rostrum* é indiferenciado e cuja *fissura periferica* é superficial estão associadas ao quadrante 3 (Q3) e caracterizam-se por possuir interacção com o substrato e ter padrões de coloração complexos (figuras 4.5 e 4.6).

As espécies em que os lobos são individualizados na zona anterior e posterior (*Malacocephalus laevis*, *Citharus linguatula*, *Cepola macrophtalma*, *Boops boops*, *Trisopterus luscus*, *Gadiculus argenteus*, *Nezumia sclerorhynchus*) sem interacção com o substrato e com padrões de coloração simples. Por outro lado, as espécies em que os lobos não são individualizados ou apenas são individualizados na zona anterior ou posterior (*Halobatrachus didactylus*, *Zeus faber*, *Serranus hepatus*, *Acantholabrus palloni*, *Anthias anthias*, *Lesueurigobius sanzoi*, *Lepidopus caudatus*) caracterizam-se por possuir interacção com o substrato e padrões de coloração complexos.

As espécies em que o otólito é mais longo que alto (*Halobatrachus didactylus*, *Merluccius merluccius*, *Gobius niger*, *Trisopterus luscus*, *Nezumia sclerorhynchus*, *Gadiculus argenteus*, *Phycis blennoides*, *Malacocephalus laevis*, *Callionymus lyra* e *Lepidopus caudatus*) estão associadas ao lado positivo do eixo 2 e caracterizam-se por ser espécies de profundidade média a elevada. Por outro lado, as espécies em que o otólito é mais alto que longo (*Capros aper*, *Blennius ocellaris*, *Conger conger*) estão associadas ao lado negativo do eixo 2 e caracterizam-se por ser espécies de superfície ou profundidade intermédia (figuras 4.5 e 4.6).

As espécies em que o *antirostrum* apresenta forma triangular ou globosa estão associadas ao quadrante quatro (Q4) do diagrama e caracterizam-se por ser, em geral, espécies de

profundidade intermédia a elevada. Por outro lado, as espécies em que o *antirostrum* é indiferenciado estão associadas ao quadrante 3 (Q3) do diagrama e são típicas de profundidade superficial a intermédia (figuras 4.5 e 4.6).

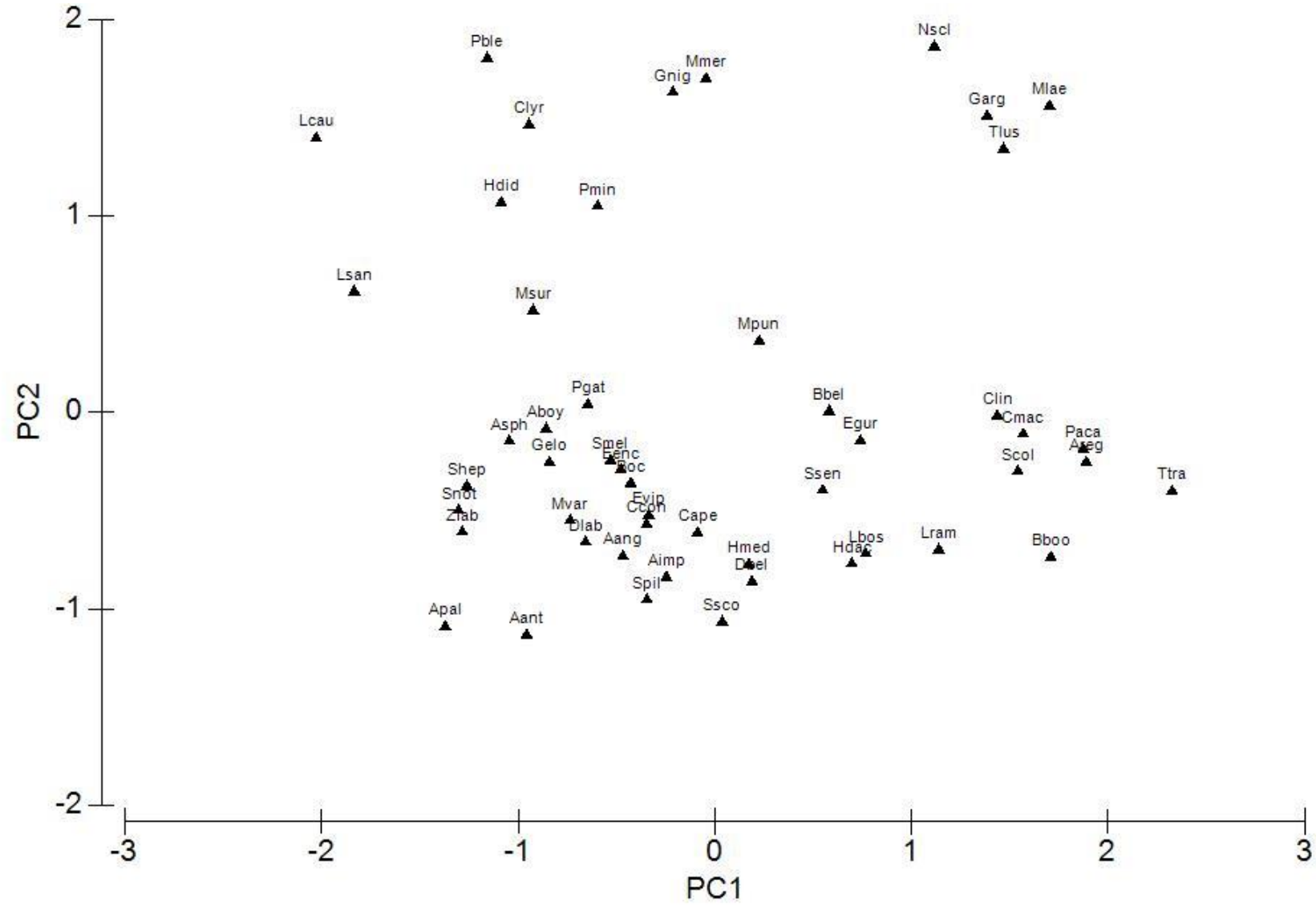


Figura 4.4 – Diagrama da Análise em Componentes Principais mostrando a distribuição das espécies. Legenda: Espécies – ver tabela 2.1.

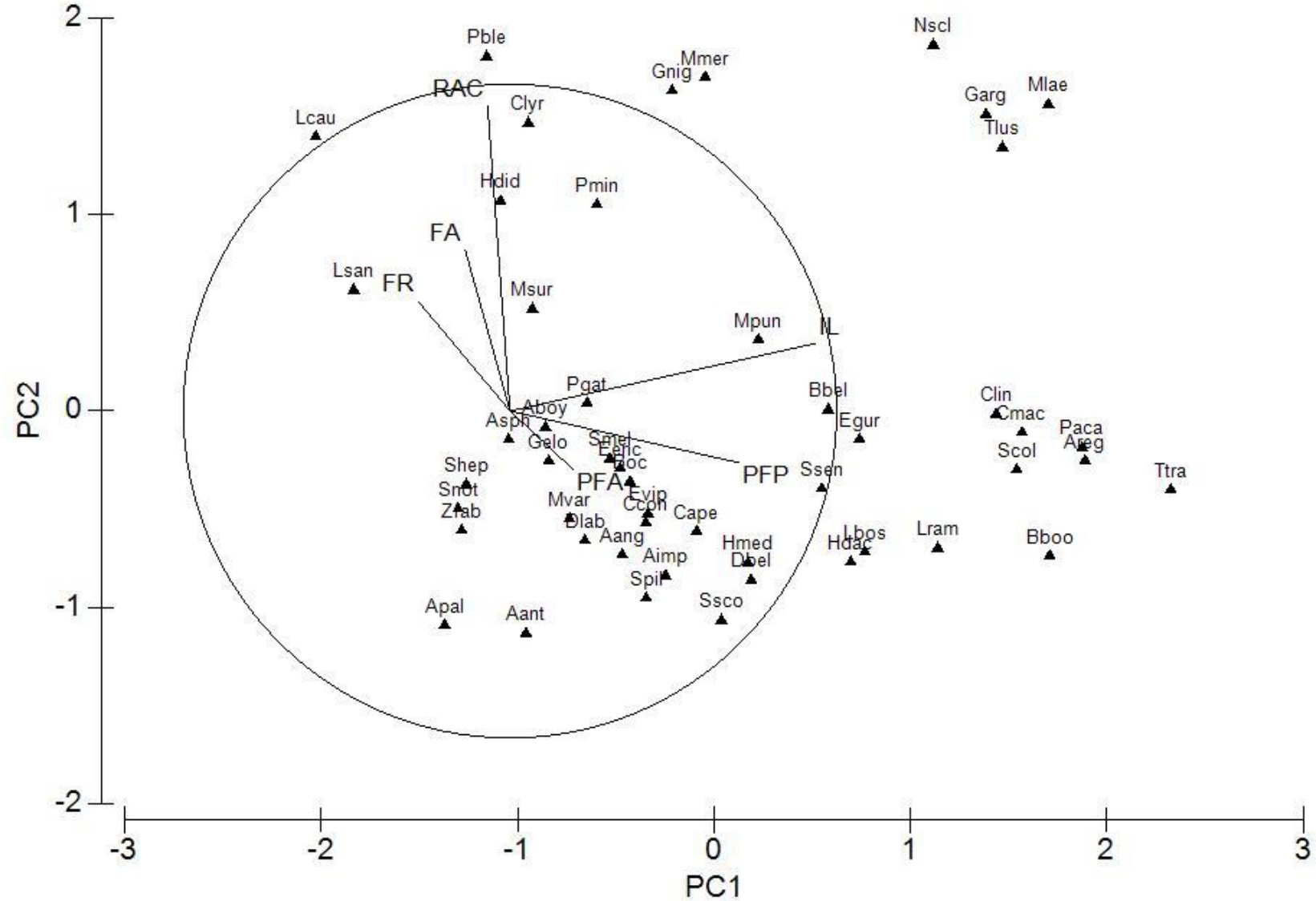


Figura 4.5 - Diagrama da Análise em Componentes Principais realizada tendo em conta as características morfológicas dos otólitos *asteriscus* na distribuição das espécies. Neste diagrama apenas são apresentadas as características cuja correlação de Pearson foi maior que 0,2. Legenda: FA – Forma do *antirostrum*; FR – Forma do *rostrum*; IL – Individualização dos lobos; PFA – Profundidade da *fossa acustica*; PFP – Profundidade da *fissura periferica*; Espécies – ver tabela 2.1.

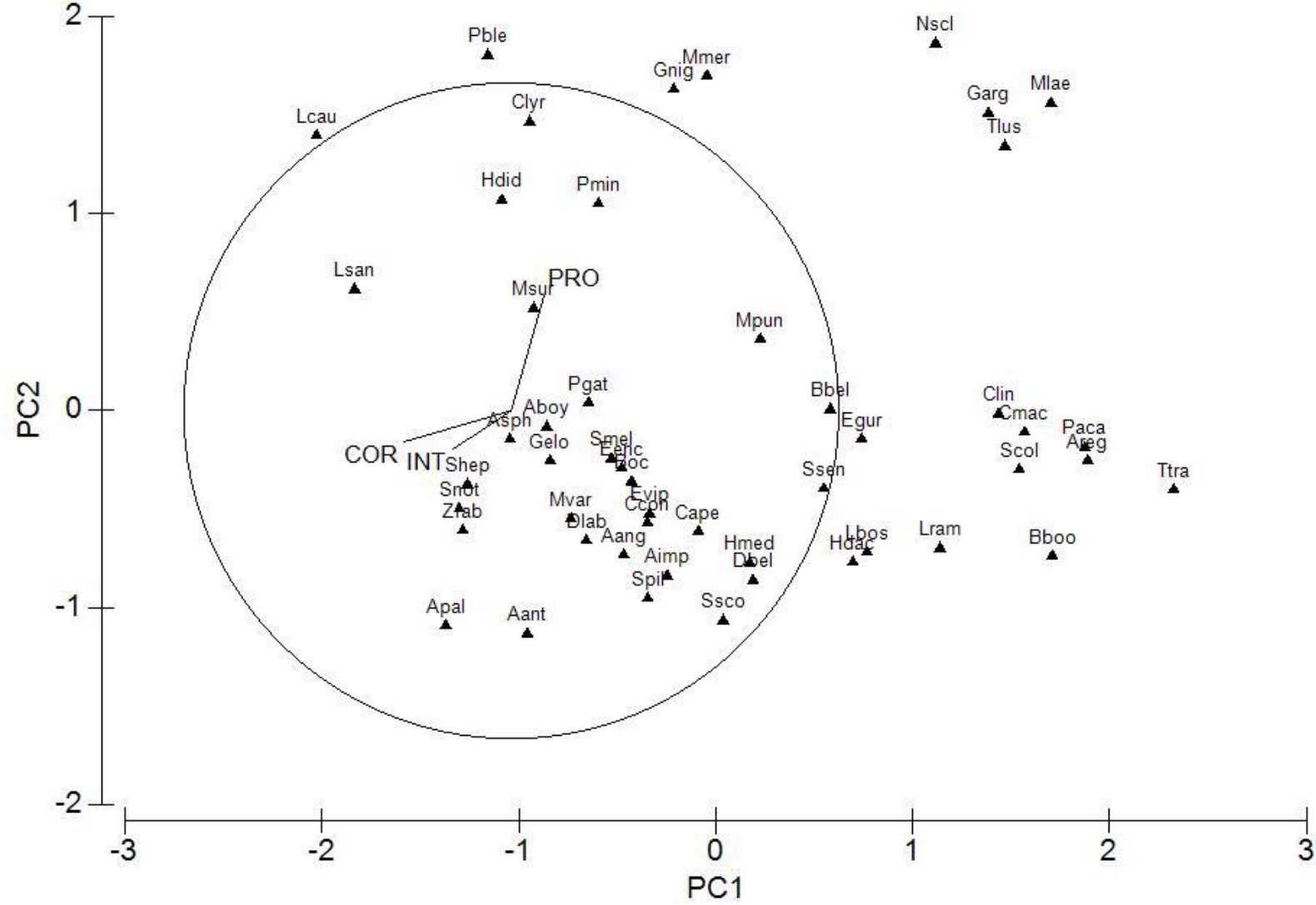


Figura 4.6 - Diagrama da Análise em Componentes Principais realizada tendo em conta as características ecológicas na distribuição das espécies. Neste diagrama apenas são apresentadas as características cuja correlação de Pearson foi maior que 0,2. Legenda: COR – Padrão de coloração corporal; INT – Interação com o substrato; PRO – Profundidade. Espécies – ver tabela 2.1.

## 5. Discussão

De acordo com os conhecimentos empíricos existentes desde há muito tempo, a morfologia dos otólitos dos peixes teleósteos varia segundo o tipo de ambiente e modo de vida das espécies. Assim, se para os otólitos *sagitta* existem vários estudos que relacionam as características morfológicas dos otólitos com as características ambientais (Lombarte, 1992; Lombarte & Lleonart, 1993; Volpedo & Echeverría, 2003; Paxton, 2000; Cardinale, 2004; Cruz & Lombarte, 2004; Lombarte & Cruz, 2007; Lombarte *et al.*, 2010; Zorica *et al.*, 2010; Capoccioni *et al.*, 2011), o mesmo ainda não foi provado para os otólitos *asteriscus*.

### Padrões ecomorfológicos nos otólitos *asteriscus* e relação entre a morfologia dos otólitos e condições do habitat das espécies

O principal objectivo deste trabalho consistia em procurar padrões ecomorfológicos nos otólitos *asteriscus* de peixes ósseos, tanto a nível quantitativo como a nível qualitativo, recorrendo ao estudo de 50 espécies, distribuídas por 37 famílias e 13 ordens. Como objectivo secundário, o presente trabalho também contemplava clarificar a forma como esses padrões relacionam a morfologia dos otólitos com as condições do *habitat* das espécies.

A análise de PERMANOVA revelou que existiam diferenças significativas entre as espécies em relação à morfologia dos otólitos *asteriscus* (tabela 4.1), o que confirmou os conhecimentos já existentes de que utilizando as características morfológicas dos *asteriscus* é possível a identificação dos *taxa* até à espécie (Assis, 2000). Os testes pareados *a posteriori* (tabela 4.2) revelaram ainda pares de espécies que não apresentavam diferenças significativas, contrariamente aos restantes pares de espécies, para os quais estas diferenças foram comprovadas. Isto pode estar relacionado com o facto de algumas destas espécies pertencerem à mesma ordem ou à mesma família, e portanto os otólitos terem algumas características morfológicas em comum, ou de as características morfológicas distintivas entre as espécies em causa serem suficientemente subtis e difíceis de codificar de forma objectiva, pelo que a codificação de características empregue no presente estudo não foi sensível a elas.

A análise de SIMPER permitiu determinar que as características que mais contribuíram para a similaridade intra-espécie foram: “comprimento do *lobus minor*”, “altura do *lobus minor*”, “altura do *lobus major*”, “comprimento do *lobus major*” e as que mais contribuíram para a dissimilaridade entre espécies foram: “altura do *lobus major*”, “altura do *lobus minor*” e “comprimento do *lobus major*” (tabelas 4.3 e 4.4). No entanto, embora estes resultados tenham possibilitado perceber a um nível taxonómico mais baixo quais são realmente as características mais importantes na diferenciação inter e intra-espécie, ficou evidenciado que nenhuma característica contribuiu, por si só, particularmente para as diferenças encontradas, uma vez que as percentagens de contribuição foram baixas (sempre inferiores a 30%) para todos os *taxa* em todas as comparações efectuadas. Ou seja, as diferenças entre as várias espécies resultam, sobretudo, do conjunto das características e não de determinada característica em particular, e, neste caso em concreto, ficou evidente que muitas vezes as mesmas características (“altura do *lobus major*” e “comprimento do *lobus major*”) podem ser importantes tanto na homogeneidade intra-espécie como na distinção inter-espécie.

A análise de coordenadas principais evidenciou que a distribuição das espécies mediante os vetores morfológicos e ecológicos, diferenciou a amostra em associações que se destacaram claramente umas das outras, ao longo dos dois eixos (figura 4.1).

Esta análise mostrou que as espécies que possuem *asterisci* com *rostrum* mais desenvolvido (*Phycis blennoides*, *Argyrossomus regius*, *Trachurus trachurus*, *Liza ramada*, *Pagellus acarne*, *Boops boops*, *Scomber scombrus*, *Helicolenus dactylopterus*, *Dicentrarchus labrax*, *Anguilla anguilla* e *Belone belone*) e as espécies que possuem *asterisci* com *lobus major* e *lobus minor* mais desenvolvidos (*Trisopterus luscus*, *Malacocephalus laevis* e *Phycis blennoides*) são, em geral, espécies migradoras. Por outro lado, as espécies em que estas características não são tão desenvolvidas (*Parablennius gattorugines*, *Symphodus melops*, *Gobius niger*, *Halobatrachus didactylus*, *Nezumia sclerorhynchus*, *Gadiculus argenteus*) são, em geral, espécies sedentárias (figuras 4.2 e 4.3). Na bibliografia, estudos focados nos *sagitta* relacionam a morfologia do otólito com as migrações verticais (Arellano *et al.*, 1995; Volpedo *et al.*, 2008). Contudo, estudos semelhantes são inexistentes para os *asterisci*, o que não permite confirmar a relação desenvolvimento do *lobus major* e *lobus minor*/ desenvolvimento do *rostrum* com a deslocação das espécies.

As espécies que possuem maiores índices de RCA (*Nezumia sclerorhynchus* e *Gadiculus argenteus*), e que possuem portanto otólitos horizontais, maiores índices de RCAp (*Pomatochistus minutus*, *Gobius niger*, *Parablennius gattorugine*, *Leusirogobius sanzoi* e *Myctophum punctatum*) e maiores índices de ROP (*Merluccius merluccius*, *Gadiculus argenteus* e *Nezumia sclerorhynchus*) são, em geral, espécies sedentárias. Por outro lado, as espécies que possuem menores índices de RCA, e que possuem portanto otólitos verticais, (*Acantholabrus palloni*, *Callionymus lyra*, *Conger conger*, *Engraulis encrasicolus*, *Scorpaena notata*, *Atherina boyeri* e *Arnoglossus imperialis*) , menores índices de RCAp (*Serranus hepatus*, *Capros aper*, *Helicolenus dactylopterus*, *Pagellus acarne*, *Scomber scombrus*) e menores índices de ROP (*Blennius ocellaris*, *Microchirus variegatus*, *Symphodus melops*, *Gonostoma elongatum* e *Lepidopus caudatus*) também são, em geral, espécies sedentárias (figuras 4.2 e 4.3). Contudo, existem espécies que não se encaixam no perfil sedentário - *Merluccius merluccius* e *Pomatochistus minutus*, *Conger conger*, *Engraulis encrasicolus*, *Atherina boyeri*, *Gonostoma elongatum* e *Lepidopus caudatus*. Também ficou evidenciado que as espécies não seguem um padrão a nível ambiental (estão presentes espécies pelágicas, demersais e bentónicas) demonstrando que os índices biométricos não estão a distinguir claramente as espécies a nível ecológico.

De facto, no que respeita à utilização dos índices de relação comprimento-altura (RCA) e relação comprimento-altura padronizado (RCAp), pode ter ocorrido uma limitação dos resultados pois a maioria das espécies possui otólitos mais altos que longos (tipo vertical), e apenas uma minoria possui otólitos tão altos como longos e otólitos mais longos que altos (tipo horizontal). Em relação ao índice relação otólito-peixe (ROP), a limitação dos resultados pode ter ocorrido devido à definição dos valores que limitavam cada uma das classes, ou então no uso do ROP em vez do comprimento do otólito, facto que já havia sido reportado por Morais (2012), em relação aos *sagitta*. Efectivamente, os otólitos *asteriscus* apresentam pouca variabilidade no que respeita às classes de comprimento: a maioria dos otólitos inserem-se na categoria “pequeno” e apenas alguns indivíduos são considerados “médios”, não tendo impacto na discriminação dos *taxa*. Deste modo, persistiram algumas dúvidas no que diz respeito à relação das características ecológicas com a dimensão dos *asteriscus*.

As espécies com *antirostrum* mais desenvolvido, em comprimento e altura, e com maior altura do *lobus minor* e *lobus major* (*Trisopterus luscus* e *Malacocephalus laevis*) caracterizam-se por possuir capacidade natatória reduzida e padrão de coloração corporal simples. Por outro lado, as espécies em que estas características são menos notórias (*Serranus hepatus*, *Symphodus melops*, *Parablennius gattorugine*, *Lesueurigobius sanzoi*) caracterizam-se por serem espécies com capacidade natatória média, com elevada interacção com substrato e padrões de coloração complexos (figuras 4.2 e 4.3).

No que respeita à relação entre a capacidade natatória dos peixes e a morfologia dos otólitos, já foi comprovado para os *sagitta*, que os peixes com reduzida capacidade natatória, associados ao substrato, possuem *rostrum* reduzido ou inexistente, contrariamente aos peixes com elevada capacidade natatória que possuem o *rostrum* mais alongado (Nolf, 1985, 1993; Volpedo & Echeverría, 2003). Contudo, no presente estudo está em questão a relação do *antirostrum* com a capacidade natatória, e a função biológica desta estrutura ainda não foi comprovada, nem para os otólitos *sagitta* nem para os otólitos *asteriscus*.

Relativamente à relação entre a morfologia dos otólitos e a interacção com o substrato e o padrão de coloração corporal, Cruz e Lombarte (2004) postularam que existe uma relação entre o tamanho dos otólitos *sagitta*, a produção de som e os padrões de coloração corporal das espécies. Estes autores demonstraram que espécies com otólitos pequenos possuem padrões de coloração brilhantes ou contrastantes, associados à comunicação visual, e que as espécies com otólitos de grandes dimensões pertencem a grupos especializados na produção de sons, associados à comunicação acústica. Defendem assim que as espécies de *habitats* superficiais apostam numa comunicação mais visual e que as espécies de *habitats* mais profundos apostam numa comunicação acústica. Esta relação não foi comprovada nos otólitos *asteriscus* pois na presente análise, os factores “profundidade” e “produção de sons” não foram significativos (correlação de pearson inferior a 20%) e, como já foi explicado anteriormente, a dimensão dos otólitos (sob a forma do índice ROP) tornou-se limitativa para explicar a distribuição das espécies.

A análise de componentes principais, utilizada para encontrar padrões ecomorfológicos a nível semi-quantitativo, evidenciou que a distribuição das espécies mediante as características morfológicas e ecológicas, também diferenciou a amostra em associações distintas umas das outras, embora de forma mais subtil do que no caso da análise de natureza quantitativa (figura 4.4).

As espécies que possuem *asterisci* em que o *rostrum* apresenta forma triangular ou globosa e cuja *fissura periferica* é profunda caracterizam-se por possuir padrões de coloração simples e não interagem com o substrato. As espécies em que o *rostrum* é indiferenciado e cuja *fissura periferica* é superficial caracterizam-se por possuir interacção com o substrato e ter padrões de coloração complexos (figuras 4.5 e 4.6). Como já foi referido anteriormente, ainda não foi provado para os *asterisci* a relação entre o desenvolvimento do *rostrum* e a interacção com o substrato, e o mesmo acontece no que respeita a padrões ecomorfológicos relacionados com a morfologia da *fossa acustica asterisci*. Relativamente à relação entre a característica interacção com o substrato e padrão de coloração corporal, Seehausen *et al.* (1997) postularam que ambientes iluminados, com substrato rochoso ou arenoso ou composto por ervas marinhas podem estar associados a uma comunicação mais visual, baseada na coloração, o que poderá explicar os padrões encontrados nestas espécies.

As espécies em que os lobos são individualizados na zona anterior e posterior (*Malacocephalus laevis*, *Citharus linguatula*, *Cepola macrophtalma*, *Boops boops*, *Trisopterus luscus*, *Gadiculus argenteus*, *Nezumia sclerorhynchus*) sem interacção com o substrato e com padrões de coloração simples. Por outro lado, as espécies em que os lobos não são individualizados ou apenas são individualizados na zona anterior ou posterior (*Halobatrachus didactylus*, *Zeus faber*, *Serranus hepatus*, *Acantholabrus palloni*, *Anthias anthias*, *Lesueurigobius sanzoi*, *Lepidopus caudatus*) caracterizam-se por possuir interacção com o substrato e padrões de coloração complexos (figuras 4.5 e 4.6). Segundo Assis, (2000) esta característica será importante na distinção entre os *taxa*, constando inclusivamente, nas chaves elaboradas pelo autor na distinção entre espécies da mesma família ou ordem. Deste modo, os resultados obtidos com os padrões ecomorfológicos acima referidos, parecem reforçar esta premissa.

As espécies em que o otólito é mais longo que alto (*Halobatrachus didactylus*, *Merluccius merluccius*, *Gobius niger*, *Trisopetrus luscus*, *Nezumia sclerorhynchus*, *Gadiculus argenteus*, *Phycis blennoides*, *Malacocephalus laevis*, *Callionymus lyra*, *Lepidopus caudatus*) caracterizam-se por ser espécies de profundidade média a elevada. Por outro lado, as espécies em que o otólito é mais alto que longo (*Capros aper*, *Blennius ocellaris*, *Conger conger*, *Arnoglossus imperialis*, *Scomber scombrus*, *Symphodus melops*, *Echiichthys vipera*, *Gonostoma elongatum*, *Anguilla anguilla*, *Parablennius gattorugine*) caracterizam-se por ser espécies de superfície ou profundidade intermédia (figuras 4.5 e 4.6). Tal como ocorreu na análise quantitativa, o facto de existirem mais espécies com otólitos mais altos que longos poderá ter enviesado os resultados, o que explica o facto do padrão não ser claro no que respeita à sua distribuição em profundidade.

As espécies em que o *antirostrum* apresenta forma triangular ou globosa caracterizam-se por, ser em geral, espécies de profundidade intermédia a elevada. Por outro lado, as espécies em que o *antirostrum* é indiferenciado e cuja *fissura periferica* é superficial caracterizam-se por ocorrer a profundidade superficial a intermédia (figuras 4.5 e 4.6). A característica “forma do *antirostrum*” não permitiu uma divisão clara das espécies em termos de profundidade. No entanto, é interessante notar que, mediante a análise do *antirostrum* dos otólitos *asteriscus*, a espécie *Halobatrachus didactylus* se comporta como espécie da zona profunda quando é conhecido que, na costa portuguesa, esta espécie é mais comumente encontrada na batimetria entre os 10 e 50 metros, considerada a zona superficial (Costa, 2004). Deste modo, as características morfológicas dos otólitos *asteriscus* podem denunciar a capacidade da espécie se poder deslocar até à batimetria dos 250 metros, onde é mais frequente a áreas a sul da sua distribuição (Roux, 1981).

#### Comparação dos resultados obtidos através dos dados quantitativos e semi-quantitativos

Na sequência dos resultados obtidos através da análise de coordenadas principais conjugados com os obtidos através da análise de componentes principais pode-se verificar que existem diferenças claras no que respeita à variância explicada – a PCO permitiu explicar 86,9% da variação dos dados quantitativos e a PCA permitiu explicar 54,3% da variação dos dados semi-quantitativos. Estas diferenças podem dever-se, não só à natureza dos dados, como também, no caso dos dados semi-quantitativos, ao desdobramento das características em categorias, que poderão não ter reflectido de forma realista a morfologia dos otólitos na análise realizada. Por exemplo, para desdobrar em categorias as características “forma do *rostrum* e do *antirostrum*”, categorizou-se a sua forma em gradiente: indiferenciado, triangular e globoso. Contudo, na análise de componentes principais a forma globoso, acabou por pesar mais na divisão das espécies por estar associada ao valor máximo da categoria. Deste modo, a PCO também pelo facto dos dados serem quantitativos e deste modo mais precisos, permitiu uma obtenção de padrões ecomorfológicos mais vinculados. Assim, uma possível solução para otimizar a *performance* dos dados semi-quantitativos seria rever a categorização das características morfológicas dos otólitos e reavaliar o peso das mesmas na diferenciação inter-específica.

## 6. Considerações finais e perspectivas de futuro

Os resultados obtidos com a PCO (dados quantitativos) permitiram afirmar a existência de padrões ecomorfológicos entre os otólitos *asteriscus* dos peixes teleósteos da costa portuguesa definidos por uma conjugação de variáveis ecológicas entre as quais se destacam a comportamento, deslocação, interacção com o substrato, padrão de coloração corporal e capacidade natatória.

- As **espécies migradoras** têm *asteriscus* com *rostrum*, *lobus major* e *lobus minor* mais desenvolvidos.
- As **espécies sedentárias** têm *asteriscus* com *rostrum*, *lobus major* e *lobus minor* menos desenvolvidos.
- As **espécies com capacidade natatória elevada e padrão de coloração corporal complexo** apresentam *antirostrum* menos desenvolvido, em comprimento e altura, e menor altura do *lobus major* e *lobus minor*.
- As espécies **com capacidade natatória reduzida e padrão de coloração corporal simples** apresentam *antirostrum* mais desenvolvido, em comprimento e altura, e maior altura do *lobus minor* e *lobus major*.

Os resultados obtidos através da PCA (dados semi-quantitativos) não revelam padrões ecomorfológicos tão evidentes como os encontrados na PCO relativa aos dados quantitativos. As variáveis ambientais que mais se destacaram na análise de PCA foram: a profundidade, a interacção com o substrato e o padrão de coloração corporal.

- As **espécies com padrão de coloração corporal complexo e que interagem com o substrato** possuem *rostrum* indiferenciado, *fissura periferica* superficial e lobos não individualizados.
- As **espécies com padrão de coloração corporal simples e que não interagem com o substrato**, que possuem *asteriscus* em que o *rostrum* apresenta forma triangular ou globosa, *fissura periferica* profunda e lobos individualizados.
- As **espécies de profundidade superficial a intermédia** têm *antirostrum* indiferenciado e otólitos mais altos que longos (tipo vertical).
- As **espécies de profundidade média a elevada** têm *antirostrum* triangular ou globoso e otólitos mais longos que altos (tipo horizontal).

O presente estudo permitiu aprofundar os conhecimentos relativos aos otólitos *asteriscus* na área da Ecomorfologia. Os resultados apresentados permitiram avançar com novos conhecimentos nesta área, através da quantificação das características morfológicas seleccionadas e cálculo de índices biométricos, da verificação da existência de padrões ecomorfológicos a nível quantitativo e semi-quantitativo e da sua relação com a morfologia dos otólitos e as condições do *habitat* das espécies e, sobretudo, levantar ainda mais questões tais como: de que forma se podem otimizar as análises com dados semi-quantitativos? Que outras regiões dos otólitos poderão ser importantes para analisar padrões ecomorfológicos?

Deste modo, futuramente será necessária a realização de mais estudos dirigidos aos otólitos *asteriscus*, utilizando amostras com um maior efectivo (pelo menos 50 indivíduos por espécie), divididas por classes de tamanho que permitam a utilização de análises estatísticas mais robustas, índices biométricos e índices de forma (área, perímetro, circularidade, retangularidade, elipsidade) e análise de *fourier*, entre outras técnicas de análise morfológica que actualmente já são utilizadas nos *sagitta*.

## 7. Referências

- Anderson, M. J., 2005. PERMANOVA: a fortran Computer Program for Permutational Multivariate Analysis of Variance, Department of Statistics, University of Auckland. 24pp.
- Arellano, R. V.; Hamerlynck, O.; Vinex, M.; Mees, J.; Hostens, K. & Gijssels, W. (1995). Changes in the ratio of the sulcus acusticus area to the sagitta area of *Pomatoschistus minutus* and *P. lozanoi* (Pisces, Gobiidae). *Marine Biology*. 122: 355–360.
- Assis, C. A., 2000. Estudo morfológico dos otólitos *sagitta*, *asteriscus* e *lapillus* de teleósteos (Actinopterygii, Teleostei) de Portugal Continental – a sua aplicação em estudos de filogenia, sistemática e ecologia. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa, Lisboa, 1004pp.
- Assis, C. A., 2003. The lagenar otholiths of teleosts: their morphology and its application in species identification, phylogeny and systematics. *Journal of Fish Biology*, 62: 1268-1295.
- Caillet, G. M.; Love, M. S., & Ebeling, A. W., 1986. Fishes – A Field and Laboratory Manual on their structure, Identification, and Natural History. Wadsworth Publishing Co., Belmont, 194 pp.
- Capoccioni, F.; Costa, C.; Aguzzi, J.; Menesatti, P.; Lombarte, A. & Ciccotti, E., 2011. Ontogenetic and environmental effects on otolith shape variability in three Mediterranean European eel (*Anguilla anguilla*, L.) local stocks. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 397: 1–7.
- Cardinale, M.; Doering-Arjes, P.; Kastowsky, M. & Mosegaard, H., 2004. Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 61: 158–167.
- Clarke, K. R & Warwick, R.M., 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth, 172pp.
- Clayton, R. R., MacCrimmon, H. R. & Gots, B. R., 1991. Continental and ecological variance components of european and north american atlantic salmon (*Salmo salar*) phenotypes. *Biological Journal of the Linnean Society*, 44: 203-229.
- Costa, J. L.; Almeida, P. R. & Costa, M. J., 2003. A morphometric and meristic investigation of Lusitanian toadfish *Halobatrachus didactylus* (Bloch and Schneider, 1801): evidence of population fragmentation on Portuguese coast. *Scientia Marina*, 67: 219-231.
- Costa, J. L., 2004. A biologia do xarroco, *Halobatrachus didactylus* (Bloch & Schneider, 1801), e o seu papel na estruturação e funcionamento das comunidades em que se insere; referência especial à população do estuário do Mira. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa, Lisboa, 892 pp.
- Cruz, A. & Lombarte, A., 2004. Otolith size and their relationship with colour pattern and sound production. *Journal of Fish Biology*, 65: 1512-1525.

- Dillon, W.R. & Goldstein, M. , 1984. Multivariate analysis. Methods and applications. John Wiley & Sons. 608 pp.
- Food And Agriculture Organization & American Society Of Ichthyologists And Herpetologists, 2002. The living marine resources of the Western Central Atlantic, volumes 2 e 3.
- Froese, R. & D. PAULY. Editors, 2015.FishBase.
- Gago, F. J., 1993. Morphology of the saccular otoliths of six species of lanternfishes of the genus *Symbolophorus* (Pisces: Myctophidae). *Bulletin of Marine Science*, 52: 949-960.
- Hair, J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W.C., 1998. Multivariate Data Analysis, Fifth Edition. Prentice-Hall International, Inc. 768 pp.
- Jongman, R.H.G.; Ter Braak, C.J.F. & Van Tongeren, O.F.R., 1995. Data analysis in community and landscape ecology. Second edition. Cambridge University Press. 324 pp.
- Lombarte A., 1992. Changes in otolith area: sensory area ratio with body size and depth. *Environmental Biology of Fishes*, 33:405–410.
- Lombarte, A. & Leonart, J., 1993. Otolith size changes related with body growth, *habitat*, depth and temperature. *Environmental Biology of Fishes*. 37: 297-306.
- Lombarte, A. & Cruz., A., 2007. Otolith size trends in marine communities from different depth strata. *Journal of Fish Biology*. 71: 53-76.
- Lombarte, A.; Palmer, M.; Matallanas, J.; Gómez-Zurita, J. & Morales-Nin, B., 2010. Ecomorphological trends and phylogenetic inertia of otolith *sagittae* in Nototheniidae. *Environmental Biology of Fishes*, 89: 607-618.
- Lychacov, D. & Rebane, Y. T., 2000. Otolith regularities. *Hearing research*, 143: 83-102.
- Manly, B. F. J., 1994. Multivariate statistical methods: a primer. Second edition. Chapman & Hall. 232 pp.
- Morais, A. T., 2012. Padrões ecomorfológicos nos otólitos *sagitta* de peixes teleósteos. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Motta, P. J. & Kotrschal, K. M., 1992. Correlative, experimental and comparative evolutionary approaches in ecomorphology. *Netherlands Journal of Zoology*, 42: 400-415.
- Motta, P. J., Norton, S. F. & Luczkovich, J. J., 1995. Perspectives on the ecomorphology of bony fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 44: 11-20.
- Norton, S. F., Luczkovich, J. J. & Motta, P. J., 1995. The role of ecomorphological studies in the comparative biology of fishes. *Environmental Biology of Fishes*. 44: 287-304.

- Paxton, J.R., 2000. Fish otoliths: do sizes correlate with taxonomic group, *habitat* and/or luminescence?, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 355: 1299-1303.
- Pielou, E. C., 1984. The interpretation of ecological data; a primer on classification and ordination. John Wiley & Sons, Inc. 263 pp.
- Pooper, A. N & Lu, Z., 2000. Structure-function relationships in fish otolith organs. *Fisheries Research*, 46: 15-25.
- Popper, A. N; Ramcharitar, J. & Campana, S. E., 2005. Why otoliths? Insights from inner ear physiology and fisheries biology. *Marine and Freshwater Research*, 56: 497-504.
- Rohlf, F. J. & D. E. Slice, 1995. BIOMSTAT for Windows: statistical software for biologists. Version 3.0. Exeter Software, Setauket, USA.
- Roux, C. 1981. Batrachoididae: non pag. In: W. Fischer, G. Bianchi & W.B. Scott (eds.). Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Atlantique centre-est: zones de pêche 34, 47 (en partie). Vol. I. Canada Fonds de Dépôt, Ottawa, Canada.
- Seehausen, O.; van Alphen, J.J.M & Witte, F., 1997. Cichlid fish diversity threatened by eutrophication that curbs sexual selection. *Science*. 277, Vol. 277, Issue 5333, pp. 1808-1811.
- Sokal, R. R. & F. J. Rohlf, 1995. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3rd edition. W.H. Freeman, New York, USA.
- Tuset, V. M.; Lombarte, A. & Assis, C. A., 2008. Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, 72S1: 7-198.
- Volpedo, A. & Echeverría, D. D., 2003. Ecomorphological patterns of the *sagitta* in fish on the continental shelf off Argentina. *Fisheries Research*, 60: 551-560.
- Volpedo, A. & Santos, A., 2015. *Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones/ Métodos de estudos com otólitos: princípios e aplicações*. 1ª edição bilíngue, Buenos Aires, 2015.
- Zorica, B., Sinovcic, G. & Cikes Kec, V., 2010. Preliminary data on the study of otolith morphology of five pelagic fish species from the Adriatic Sea (Croatia). *Acta Adriatica*, 51: 89-96.



# GLOSSÁRIO

***Antirostrum asterisci (sin. Antirostrum)*** – Ponto mais anterior ou dorsal da curvatura do *lobus major*, nem sempre conspícuo, que se encontra frequentemente ao longo de uma curva regular. Quando é notório, o *antirostrum asterisci* limita superiormente uma indentação mais ou menos estreita e profunda na margem anterior do otólito, a *excisura major asterisci*. Para caracterizar a orientação do antirostrum, é considerada a direcção seguida pela bissetriz do ângulo formado pelos seus bordos.

***Asteriscus do tipo Giro*** – otólito *asteriscus* em que o *lobus major* descreve uma circunferência de quase 360 graus em redor da região média do otólito e da *fossa acustica*, constituindo a maior parte do otólito; o *lobus minor* é muito reduzido e usualmente dobrado pelo meio, com concavidade anterior ou completamente indiferenciado; a *fossa acustica* possui orientação horizontal e a *excisura minor* quando diferenciada ocupa sempre uma posição anterior.

***Asteriscus do tipo Horizontal*** – otólito *asteriscus* em que os *lobi* possuem os maiores eixos em posição horizontal; o *lobus minor* é menos desenvolvido que o *lobus major*; a *fossa acustica* tem orientação horizontal e a *excisura minor* quando presente ocupa uma posição posterior.

***Asteriscus do tipo Vertical*** – otólito *asteriscus* em que os *lobi* têm os maiores eixos em posição vertical; o *lobus minor* é menos desenvolvido que o *lobus major*; a *fossa acustica* é orientada na vertical e a *excisura minor* quando presente ocupa uma posição ventral ou anterior.

***Campus major*** – Superfície da face interna do *lobus major asterisci*.

***Campus minor*** – Superfície da face interna do *lobus minor asterisci*.

***Crista medial (sin. Crista)*** – Aresta elevada, normalmente muito visível, contínua ou interrompida, que delimita a *fossa acustica* e constitui a união entre a parede desta e a superfície do *lobus major*.

***Excisura major asterisci (sin. Excisura major)*** – Reentrância mais ou menos estreita e profunda, angulosa ou arredondada, na margem anterior dos *asteriscus*, limitada superiormente pelo *antirostrum asterisci* inferiormente pelo *rostrum asterisci*. A *excisura major asterisci* está sempre associada à abertura, quando ampla, da *fossa acustica* na margem anterior do otólito. Quando a *excisura* é obturada e profunda, são consideradas três regiões no seu perfil: o *ramus lobi major*, que corresponde ao bordo inferior do *antirostrum*, a *comissura* ou *vertice* e o *ramus lobi minor*, que corresponde ao bordo superior do *rostrum*. À semelhança do que acontece com as *excisurae* dos *sagitta*, também a *excisura major* pode ser considerada nua ou obturada. Para caracterizar a orientação da *excisura major asterisci* é considerada a direcção seguida pela bissetriz do ângulo formado pelos seus *rami*.

***Excisura minor asterisci*** – Reentrância mais ou menos estreita e profunda, angulosa ou arredondada, usualmente vestigial ou muito reduzida, localizada na margem anterior ou posterior do otólito. Quando diferenciada, a *excisura minor asterisci* pode estar associada à abertura da região terminal da *fossa acustica* na margem do otólito. No perfil da *excisura minor asterisci* podem ser consideradas três regiões: o *ramus lobi minor*, a *comissura* ou *vertice* e o *ramus lobi major*, cuja designação não está associada à posição relativa na *excisura*, mas antes ao lobo que marginam. À semelhança do que acontece com as *excisurae* dos *sagitta*, também a *excisura major* pode ser considerada nua ou

obturada. Para caracterizar a orientação da *excisura minor asterisci* é considerada a direcção seguida pela bissectriz do ângulo formado pelos seus *rami*.

***Fossa acustica asterisci* (sin. *Sulcus acusticus*)** – Depressão alongada, mais ou menos notória e profunda, horizontal e rectilínea, ou fortemente curvada no sentido ventral, com origem na margem anterior do *asteriscus*, onde normalmente se abre em associação com a *excisura major asterisci*. A *fossa acustica* corresponde à região onde se dá a fusão entre os dois *lobi*.

***Lobus major*** – Lobo de maiores dimensões, e geralmente mais recortado, que constitui o corpo dos otólitos *asterisci*. Embora na maior parte dos *taxa*, o *lobus major* tenha uma disposição posterior em relação ao *lobus minor*, nos *Paracanthopterygii* ocupa uma posição dorsal, e nos *Ostariophysi* quase envolve o *lobus minor*.

***Lobus minor*** – Lobo de menores dimensões, frequentemente reduzido a uma estreita crista ou mesmo inconspícuo. Embora na maior parte dos *taxa*, o *lobus minor* tenha uma disposição anterior em relação ao *lobus major*, nos *Paracanthopterygii* ocupa uma posição ventral, e nos *Ostariophysi* está limitado a uma pequena região médio-anterior ou é indistinto.

***Rostrum asterisci* (sin. *Rostrum*)** – Protuberância normalmente estreita e mais ou menos conspícua na região anterior do *lobus minor*, cuja extremidade constitui, em alguns casos, o ponto mais anterior do otólito. Quando notório, o *rostrum asterisci* limita inferiormente uma indentação mais ou menos estreita e profunda na margem anterior do otólito, a *excisura major asterisci*. Para caracterizar o *rostrum* em termos de orientação, é considerada a direcção tomada pela bissectriz do ângulo formado pelos seus bordos.



# **Anexos**

Tabela 1 – Matriz com a codificação das características morfológicas dos *astericus* das espécies presentes na amostra. Legenda: RCA – Relação Comprimento-Altura; FG – Forma Geral; TM – Tipo de margem; RD – Região dorsal; CRA – Concordância do *rostrum* e *antirostrum*; FR – forma do *rostrum*; DR – Dimensão do *rostrum*; ER – Extremo do *rostrum*; OR – Orientação do *rostrum*; FA – forma do *antirostrum*; DA – Dimensão do *antirostrum*; EA – Extremo do *antirostrum*; OA – Orientação do *antirostrum*; DL – Dimensão relativa dos *lobi*; PFA – Profundidade da *fossa acustica*; PE – Profundidade da *excisura major*; PMI – Profundidade da *excisura minor*; PCM – Profundidade da *crista medial*; PFP – Profundidade da *fissura periférica*; IL – Individualização dos *lobi* e TO – Tipo de otólito; Espécies – ver lista de abreviaturas.

	RCA	FG	TM	RD	CRA	FR	DR	ER	OR	FA	DA	EA	OA	DL	PFA	PE	PEMI	PCM	PFP	IL	TO
Hdid	3	9	1	2	1	2	3	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	0	2
Tlus	3	2	1	2	2	0	1	1	1	1	3	2	1	1	2	1	1	1	1	3	1
Mmer	3	12	8	2	1	0	2	1	1	2	3	1	2	1	2	1	0	2	0	2	1
Garg	3	2	1	2	1	0	1	2	1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	1	3	1
Nscl	3	18	5	2	1	2	1	1	1	1	3	2	1	1	2	2	0	1	1	3	1
Pbl	3	3	2	1	1	1	1	2	1	2	3	1	3	2	1	2	0	2	0	1	1
Mlae	3	4	1	2	1	1	1	2	1	1	3	2	1	1	1	2	1	2	2	3	1
Ssen	1	8	1	2	1	1	1	1	3	0	3	1	3	1	2	2	1	1	1	2	1
Snot	1	10	1	2	1	2	1	1	1	0	0	0	0	2	1	1	0	1	0	1	2
Mpun	1	12	1	1	2	2	1	1	2	2	3	1	1	1	2	1	0	1	1	2	1
Abo	1	8	2	1	2	0	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	0	2	0	1	1
Egur	1	9	2	2	1	0	1	1	1	1	3	2	3	1	1	1	1	0	0	3	2
Lram	1	8	3	1	1	0	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	0	2	2	2	1
Zfab	1	4	2	2	1	2	2	1	3	1	3	2	1	1	2	0	0	1	1	0	2
Hdac	1	12	1	1	1	0	1	2	1	0	3	2	3	1	2	0	1	2	1	2	2
Bbel	1	10	1	2	2	1	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
Gelo	1	5	1	2	0	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	0	0	0	1	2
Ssco	1	4	1	2	1	0	1	1	1	0	3	1	1	1	2	0	0	1	1	1	2
Clyr	3	16	1	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	0	1	2
Msur	2	8	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1	0	1	2
Dbel	1	4	2	2	1	1	2	1	3	1	3	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2
Pgat	1	9	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	0	0	0	2	1	1	2
Areg	1	12	8	2	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1	2	2	1	2	2	3	2
Aimp	1	8	1	2	1	0	1	1	1	1	3	1	1	1	2	1	0	2	1	1	2
Ttra	1	1	10	3	1	2	2	1	1	0	2	2	2	1	2	2	1	2	3	3	2
Cape	1	13	2	2	1	0	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	0	1	1	1	2
Boce	1	9	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	0	1	1	1	2
Lbos	1	8	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	0	2	2	2	1
Aang	1	11	5	2	1	0	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	0	0	0	1	2
Eenc	1	12	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	0	1	1	1	2
Dlab	1	4	3	2	1	0	1	1	1	1	2	1	1	1	2	0	1	0	0	1	2
Evip	1	11	1	1	1	2	1	1	1	0	3	1	2	1	2	1	0	0	0	2	2
Shep	1	9	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	2
Spil	1	10	2	2	2	0	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2
Apal	1	10	2	2	1	0	1	2	2	0	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	2
Smel	1	11	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	0	0	0	0	1	2
Bboo	1	9	6	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2
Aant	1	11	1	2	2	1	1	2	1	0	3	1	3	1	2	0	0	1	1	0	2
Pmin	2	10	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	0	1	1	1	1
Lsan	2	7	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	3
Clin	1	11	7	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	3	2
Ccon	1	18	3	1	1	1	2	1	1	1	3	2	2	1	2	2	0	1	1	1	2
Cma	1	4	2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	3	1	1	1	1	2	2	3	2
Paca	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	0	2	2	3	2
Scol	1	1	1	1	1	1	1	2	3	0	2	1	1	1	1	2	0	1	1	3	2
Hmed	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	0	2	2	1	2
Mva	1	2	1	1	1	1	1	2	3	1	3	1	3	1	2	2	0	2	0	1	2
Asph	1	4	1	2	1	2	1	1	3	1	2	1	3	1	1	2	1	0	0	1	2
Lcau	3	2	1	1	1	2	1	1	3	1	3	2	3	1	1	0	0	0	0	0	2
Gnig	3	1	1	2	1	2	2	1	1	2	3	1	1	1	1	1	0	2	2	1	2

Tabela 2 - Matriz com a codificação das características ecológicas dos *astericus* das espécies presentes na amostra. Legenda: AMB – Ambiente; PRO – Profundidade; INT – Interacção com o substrato; TS – Tipo de substrato; COMP – Comportamento; DES – Deslocação; NAT – Capacidade natatória; SOM – Produção de sons; COR – Padrão de coloração corporal. Espécies – ver lista de abreviaturas.

	AMB	PRO	INT	TS	COMP	DES	NAT	SOM	COR
Hdid	2	1	2	3	1	1	1	1	0
Tlus	2	2	1	3	2	2	2	0	0
Mmer	2	2	0	0	2	2	2	0	0
Garg	1	3	1	3	2	1	2	0	0
Nscl	2	3	0	0	1	1	2	0	0
Pbl	2	3	1	1	1	2	2	0	0
Mlae	3	3	0	0	2	1	1	0	0
Ssen	3	2	2	1	1	1	1	0	0
Snot	2	2	1	2	1	1	2	0	1
Mpun	1	3	0	0	2	2	2	0	0
Abo	2	1	0	0	2	2	2	0	0
Egur	3	2	1	3	1	1	2	1	0
Lram	3	1	0	0	2	2	2	0	0
Zfab	2	2	1	1	1	2	2	0	1
Hdac	3	1	1	1	1	1	2	0	0
Bbel	1	1	0	0	1	2	2	0	0
Gelo	1	3	0	0	2	2	2	0	0
Ssco	1	1	0	0	2	2	3	0	0
Clyr	3	1	1	1	1	1	2	0	1
Msur	3	2	1	3	2	2	2	0	1
Dbel	2	1	1	3	2	1	2	0	1
Pgat	3	1	2	2	1	1	2	0	1
Areg	2	2	0	0	1	2	2	0	0
Aimp	3	2	2	1	1	1	1	0	0
Ttra	1	1	0	0	2	2	3	0	0
Cape	2	2	1	3	2	1	2	0	0
Boce	3	2	1	2	1	1	2	0	1
Lbos	3	2	2	1	1	1	1	0	0
Aang	2	1	0	0	1	2	2	0	0
Eenc	1	1	0	0	2	2	2	0	0
Dlab	2	1	1	3	1	2	2	0	0
Evip	3	1	2	3	1	1	2	0	0
Shep	2	1	1	3	1	1	2	0	1
Spil	1	1	0	0	2	2	3	0	0
Apal	2	1	1	3	1	1	2	0	1
Smel	3	1	1	3	2	1	2	0	1
Bboo	2	1	1	3	2	2	2	0	1
Aant	3	2	2	2	2	1	1	0	1
Pmin	3	1	1	1	1	2	2	0	0
Lsan	3	1	1	1	1	1	2	0	1
Clin	3	2	2	1	1	1	1	0	0
Ccon	2	2	1	3	1	2	2	0	0
Cma	3	1	1	1	1	1	2	0	0
Paca	3	2	1	3	1	2	2	0	0
Scol	1	2	0	0	1	2	2	0	1
Hmed	3	3	2	1	2	1	1	0	0
Mva	3	2	1	1	2	1	2	0	0
Asph	2	2	0	0	1	2	2	0	0
Lcau	3	3	1	1	1	2	2	0	0
Gnig	2	1	1	1	2	1	1	0	1

Tabela 3 - Resumo da análise biométrica, contendo os índices biométricos referentes às espécies presentes na amostra. Legenda: RCA – Relção comprimento-altura; Rcap – Relação comprimento-altura padronizada e ROP – Relação otólito-peixe. Espécies – ver lista de abreviaturas.

	<b>RCA</b>	<b>Rcap</b>	<b>ROP</b>
Hdid	1,58	3,79	0,35
Tlus	1,38	5,67	0,92
Mmer	1,63	7,50	0,69
Garg	1,45	10,91	0,90
Nscl	1,90	8,32	0,58
Pbl	1,40	4,14	0,55
Mlae	1,86	5,17	0,49
Ssen	0,77	2,78	0,29
Snot	0,70	4,35	0,49
Mpun	0,65	9,07	0,64
Abo	0,57	4,29	0,52
Egur	0,65	3,08	0,35
Lram	0,68	1,55	0,59
Zfab	0,64	2,01	0,20
Hdac	0,66	2,55	0,41
Bbel	0,71	1,44	0,16
Gelo	0,35	2,45	0,12
Ssco	0,70	2,24	0,41
Clyr	0,86	3,53	0,27
Msur	1,04	4,00	0,56
Dbel	0,65	3,41	0,72
Pgat	0,68	7,86	0,42
Areg	0,90	1,89	0,58
Aimp	0,77	4,69	0,43
Ttra	0,81	2,08	0,56
Cape	0,58	4,14	0,59
Boce	0,61	4,17	0,29
Lbos	0,81	2,95	0,26
Aang	0,74	1,27	0,13
Eenc	0,73	4,47	0,49
Dlab	0,56	1,51	0,39
Evip	0,49	3,72	0,44
Shep	0,76	6,44	0,69
Spil	0,59	2,87	0,39