



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

**Avaliação do funcionamento da passagem para  
enguias do Açude-Ponte de Coimbra**

**Carolina Cadete Leite de Sampaio Nunes**

Orientação: Professor Pedro Raposo de Almeida

Professora Isabel Domingos

**Mestrado em Biologia da Conservação**

Dissertação

Évora, 2017





**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

**Avaliação do funcionamento da passagem para  
enguias do Açude-Ponte de Coimbra**

**Carolina Cadete Leite de Sampaio Nunes**

Orientação: Professor Pedro Raposo de Almeida

Professora Isabel Domingos

**Mestrado em Biologia da Conservação**

Dissertação

Évora, 2017

## Agradecimentos

Devo, sem dúvida, um grande obrigada a todos os que me acompanharam neste percurso, tornando possível e realizável esta etapa da minha vida.

Aos meus orientadores, Professor Pedro Raposo de Almeida e Professora Isabel Domingos, pela oportunidade que me deram de abraçar este tema e por todo o apoio.

À equipa do MARE, por toda a paciência, disponibilidade e conhecimentos, não só no âmbito desta dissertação, mas também de todos os projetos em que tive o prazer de participar e durante os quais aprendi imenso.

Ao Professor João Rabaça, pela ajuda a encontrar um rumo para a minha tese.

À minha família, sem a qual não seria quem sou nem faria o que faço. Por toda a força que me transmitiram e interesse que demonstraram.

Aos meus amigos, de Lisboa e de Évora, por serem pessoas com quem posso sempre contar, nos bons e maus momentos. A special thanks to Gil and Aisyah for a much needed help with SPSS!

Ao Afonso, por acreditar em mim e nunca me deixar desistir.

Aos meus colegas de turma, por partilharem dificuldades e felicidades durante este Mestrado.

À Yuki e ao Napoleão, fiéis companheiros de quatro patas sempre ao meu lado enquanto escrevia esta dissertação.

Ao meu avô Cota.

## Resumo

Nesta dissertação, procedeu-se à avaliação do funcionamento de uma passagem para enguias (PPEnguias), instalada no Açude-Ponte de Coimbra, no rio Mondego, visando facilitar a passagem de juvenis desta espécie para montante.

As amostragens realizadas permitiram verificar que a época de migração das enguias com um comprimento inferior a 200mm atinge o pico na primavera e no verão; o troço a jusante do Açude-Ponte é caracterizado por maior número de indivíduos e de menor tamanho, e os troços a montante por menos animais e de maior comprimento. Esta diferença reforça o impacto do obstáculo na migração da espécie e confirma a falta de eficiência da passagem para peixes multiespecífica presente no açude para a população de enguia-europeia.

A PPEnguias mostrou-se bem posicionada e estruturada, permitindo às enguias encontrar a entrada e completar o trajeto. É necessário continuar os estudos de forma a averiguar a eficácia da passagem e o seu impacto a longo prazo.

Palavras-Chave: *Anguilla anguilla*; barragens e açudes; migração; rio Mondego; Portugal

# *Evaluation of the operation of the eel pass installed in the Açude-Ponte dam at Coimbra*

## Abstract

In this dissertation, the operation of an eel passage (PPEnguias), installed in the Açude-Ponte dam at Coimbra, on the Mondego River, to facilitate the passage of this species' juveniles upstream, was evaluated.

Sampling made it possible to determine that eel's under 200mm migration period reaches its peak in spring and summer; downstream of the Açude-Ponte presents larger number of individuals and smaller sizes, and upstream less animals and longer lengths. This difference reinforces the impact of the obstacle on the species' migration and confirms the lack of efficiency of the fish passage present at the weir for the European eel population.

PPEnguias was well positioned and structured, allowing the eels to find the entrance and complete the course. It is necessary to continue studies to ascertain the effectiveness of the passage and its long-term impact.

Key words: *Anguilla anguilla*; dams and weirs; migration; Mondego river; Portugal

# Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
1. Introdução.....	1
1.1 A enguia-europeia.....	1
1.2 Importância comercial.....	4
1.3 Principais ameaças e medidas de conservação.....	5
1.4 As passagens para peixes.....	7
1.5 Objetivos.....	10
2. Materiais e Métodos.....	11
2.1 Área de Estudo.....	11
2.2 Caracterização da passagem para enguias (PPEnguias).....	13
2.3 Caracterização da distribuição de <i>Anguilla anguilla</i> no rio Mondego.....	19
2.3.1 Recolha de dados.....	19
2.3.2 Análise estatística.....	20
2.4 Ensaio de avaliação do funcionamento da passagem para enguias (PPEnguias).....	21
2.4.1 Recolha de dados.....	21
2.4.2 Análise estatística.....	23
2.5 Monitorização da passagem para enguias (PPEnguias).....	23
2.5.1 Recolha de dados.....	23
2.5.2 Análise estatística.....	24
3. Resultados.....	25
3.1 Caracterização da distribuição de <i>Anguilla anguilla</i> no rio Mondego.....	25
3.2 Ensaio de avaliação do funcionamento da passagem para enguias (PPEnguias).....	29
3.3 Monitorização da passagem para enguias (PPEnguias).....	37

4. Discussão.....	39
5. Referências Bibliográficas.....	43

# 1. Introdução

## 1.1 A enguia-europeia

As enguias (Família Anguillidae) são peixes semélparos com o corpo alongado e cabeça ligeiramente estreita e curta, que não possuem barbatanas pélvicas nem cintura pélvica e têm as barbatanas dorsal e anal, confluentes com a barbatana caudal (Figura 1). Entre si, as espécies de enguias são difíceis de distinguir devido às semelhanças morfológicas, e pelo facto de passarem por fases de metamorfose que alteram continuamente a sua forma e coloração (Tesch, 2003).



Figura 1 – Exemplar adulto de *Anguilla anguilla*

A enguia-europeia é uma espécie catádroma que passa por uma fase continental e uma fase oceânica (Tesch, 2003). O seu ciclo de vida (Figura 2) inicia-se no Mar dos Sargaços, após a eclosão dos ovos. A determinação do local de postura desta espécie dependeu de vários estudos: Grassi (1896) inicialmente propôs o Mediterrâneo como local de reprodução, após determinar que a “espécie” *Leptocephalus brevirostris* Kaup, 1856, nomeada após a recolha de um exemplar no estreito de Messina (Tesch, 2003), era apenas o estado larvar de *A. anguilla* (Grassi, 1896). Johannes Schmidt, após a captura de vários exemplares de larvas (Schmidt, 1906) e investigação extensiva, rejeitou esta hipótese (Schmidt, 1912), indicando posteriormente o Mar dos Sargaços como possível zona de postura para ambas as espécies de enguia do Atlântico Norte: a enguia-europeia (*A. anguilla*) e a enguia-americana (*Anguilla rostrata* Lesueur, 1817) (Schmidt, 1923). Apesar das suas semelhanças morfológicas, estas espécies podem ser distinguidas através do número de vértebras: 110-119 (média de 114,7) para *A. anguilla* e 103-111 (média de 107,2) para *A. rostrata* (Schmidt, 1923; Ege, 1939). Tucker (1959) contestou a hipótese de Schmidt, defendendo inclusive a existência de apenas uma espécie de enguia no Atlântico Norte, com dois ecofenótipos. A sua teoria foi, contudo, refutada por vários autores, quer com base em estudos morfológicos (Schoth, 1982; Strehlow, 1996) como genéticos (Jamieson e Turner, 1980; Comparini e Schoth, 1982; Tagliavini *et al.*, 1995).

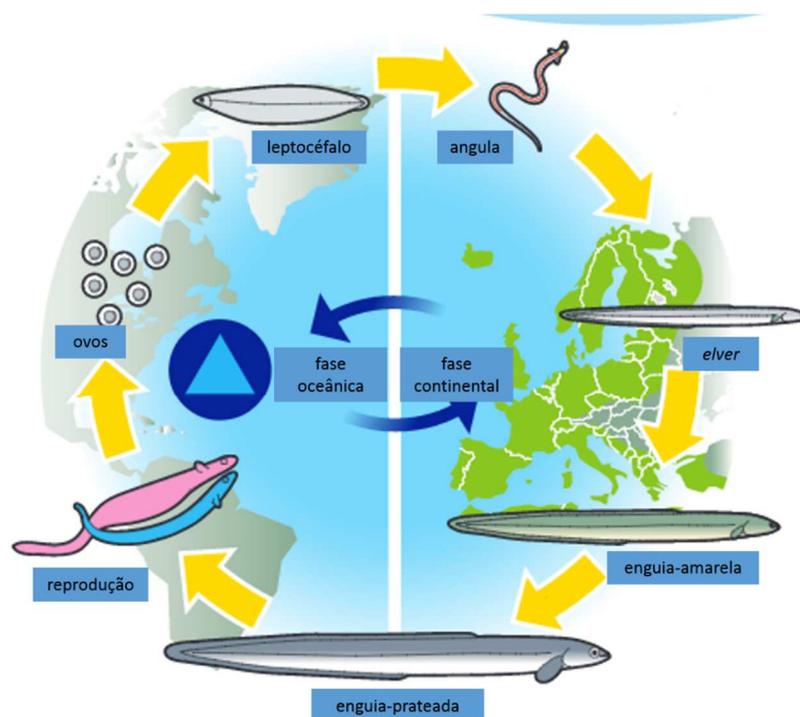


Figura 2 - Ciclo de vida de *A. anguilla* (adaptado de: Eel Stewardship Association, 2016)

Dados apontam para que a época de desova de *A. anguilla* ocorra desde o início de março até julho (McCleave, 1993). Após a eclosão dos ovos, origina-se um preleptocéfalo que se transforma em leptocéfalo (Figura 3), com 7-15 mm de comprimento (Schmidt, 1923).



Figura 3 - Estado larvar de *A. anguilla* (ARKive, 2017)

A transformação dos leptocéfalos em angulas, também conhecidas como meixão ou enguia de vidro (Figura 4), ocorre antes de as enguias atingirem a plataforma continental, após a qual se aproximam das zonas costeiras (Jacoby e Gollock, 2014). A entrada nas águas continentais ocorre entre o outono e a primavera, iniciando-se mais cedo nas regiões a sul da área de distribuição da enguia e mais tarde nas áreas mais a norte. Em Portugal, o meixão entra nos estuários durante todo o ano, com um pico de migração no outono e inverno (Domingos, 1992; 2002).



Figura 4 - Angulas (ARKive, 2017)

Em águas continentais, as angulas adquirem pigmentação e transformam-se em *elvers*, pequenas enguias amarelas que vão crescendo e passam um número de anos variável nesta fase, até sofrerem uma metamorfose e se transformarem em enguias prateadas, o que pode ocorrer entre os 3 e 20 anos (Tesch, 2003; Oliveira, 2007). Esta metamorfose, chamada de “prateação” (Figura 5), ocorre antes da migração oceânica e é acompanhada de adaptações para capacitar as enguias para a grande distância a percorrer, numa migração reprodutora durante a qual não se alimentarão. Os animais passam assim por alterações graduais quer a nível morfológico, como a alteração da coloração para branco/prateado na região ventral e preto na região dorsal, de forma a melhorar a sua camuflagem no ambiente oceânico; aumento do comprimento da barbatana peitoral (Pankhurst e Lythgoe, 1982); aumento do tamanho do olho (van Ginneken *et al.*, 2007) e alteração da cor da retina para dourado, aumentando a sua capacidade de visão nos fundos oceânicos; e desenvolvimento das gónadas (Pankhurst, 1982); quer a nível fisiológico, como a alteração na constituição corporal e regressão do trato digestivo, de forma a adaptar o sistema e as reservas energéticas ao período sem alimentação; e alterações endócrinas, como o aumento dos níveis de cortisol, que auxilia a mobilização de energia para a migração e desenvolvimento das gónadas (van Ginneken *et al.*, 2007).

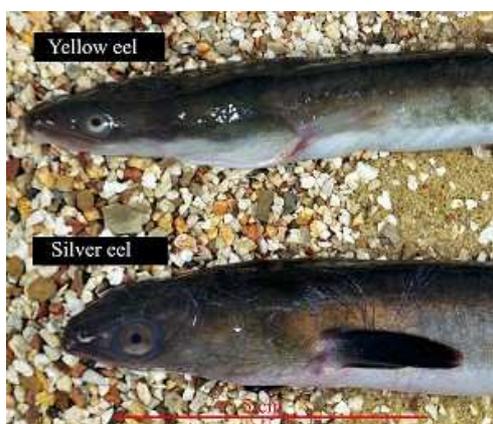


Figura 5 - Comparação entre exemplares de enguia-amarela ("Yellow eel", em cima) e enguia-prateada ("Silver eel", em baixo) de *A. anguilla* (Pisces Conservation Ltd, 2017)

A idade em que as enguias-prateadas iniciam a sua migração reprodutora é bastante variável, sendo influenciada por fatores como latitude, temperatura, barreiras

físicas que bloqueiem as rotas migratórias, taxa de crescimento e sexo (Jacoby e Gollock, 2014). Os mecanismos que guiam os adultos durante este percurso são ainda tema de debate, sendo considerados o campo magnético terrestre, salinidade (Tesch, 1974), caudal (Deelder, 1954; Behrmann-Godel e Eckmann, 2003; Marohn *et al.*, 2014), temperatura (Vollestad e Jonsson, 1988; Marohn *et al.*, 2014) e fase do ciclo lunar (Deelder, 1954; Cullen e McCarthy, 2003), como os que desempenham um papel importante na migração e orientação dos reprodutores.

A área de distribuição da enguia-europeia inclui a costa Atlântica do continente europeu, desde North Cape, na Noruega, abrangendo algumas ilhas Atlânticas (Islândia, Ilhas Féroe, Açores, Madeira e Ilhas Canárias), até costa da Mar Mediterrâneo, e o Norte de África (Schmidt, 1909) (Figura 6). A sua distribuição apresenta um padrão de abundância crescente de norte para sul (Dekker, 2003a), com um máximo nos países do sul da Europa. Em Portugal, está presente em todas as bacias hidrográficas entre o Minho e o Guadiana, e nas ilhas (Schmidt, 1909; Rogado *et al.*, 2005).

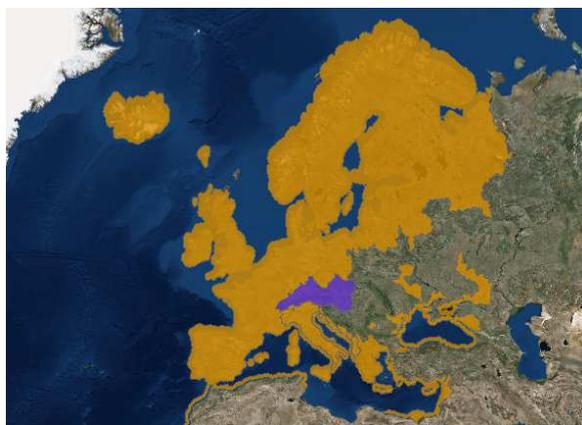


Figura 6 - Distribuição de *A. anguilla*, a amarelo (Kottelat e Freyhof, 2008)

## 1.2 Importância comercial

A enguia-europeia tem um elevado valor comercial, sendo capturada em todas as fases de vida continental e produzida em aquacultura. É comercializada para vários fins: alimentação, repovoamento (FAO, 2004), sendo também comum o uso da sua pele em acessórios, como cintos e carteiras (Jacoby e Gollock, 2014). A sua pesca recorre a variadas artes, adaptadas a cada fase de desenvolvimento do animal e habitat em que se encontra, potenciando as capturas (Tesch, 2003). A aquacultura de enguia é uma atividade extremamente rentável, sendo realizada em vários países europeus, com destaque para a Holanda (que representa 50% da produção europeia), Itália e Dinamarca, e em menor escala no Norte de África. Estima-se que a produção total europeia ultrapasse as 10 500 toneladas anuais (FAO, 2004). Em Portugal, existe uma unidade de engorda sediada na Figueira da Foz, a FindFresh, com capacidade para produzir 500-600 toneladas/ano (P.R. Almeida, com. pess.). O ciclo produtivo está dependente da captura de meixão no meio natural, uma vez que a reprodução em cativeiro ainda não é viável. O sistema de produção é cada vez mais intensivo,

recorrendo a tanques com tecnologia de recirculação de água, controlo de temperatura (24°C) e alimentação através de rações (FAO, 2004). Em Portugal, tem destaque a captura de meixão, que atinge elevado valor apesar de a sua pesca só ser permitida na bacia hidrográfica do rio Minho (Edital n.º 617/2015 da Autoridade Marítima Nacional, 2015), e a exploração comercial da enguia-amarela (Domingos, 2003).

### 1.3 Principais ameaças e medidas de conservação

O recrutamento de enguia-europeia tem vindo a decrescer desde a década de 80 (Dekker, 2003a), o que culminou na sua classificação como espécie ameaçada: classificada como Criticamente Ameaçada pela UICN (Jacoby e Gollock, 2014) e Em Perigo em Portugal (Rogado *et al.*, 2005). Devido à sua larga distribuição, migração e diferentes fases de vida, é difícil avaliar o estado da população. Contudo, estima-se um decréscimo de 90-95% na fuga de reprodutores nas últimas quatro décadas (Jacoby e Gollock, 2014).

As causas deste declínio são atribuídas a fatores naturais e antropogénicos, mas ainda não estão totalmente esclarecidas. Consideram-se como principais ameaças a esta espécie a perda e fragmentação de habitat, incluindo a presença de obstáculos, como açudes e barragens; poluição; alterações climáticas e nas correntes oceânicas; predação; doenças e parasitas e sobrepesca (Moriarty e Dekker, 1997; Jacoby e Gollock, 2014). Contudo, cada uma destas causas individualmente não teria tido impacto que justificasse o declínio observado, pelo que se considera um efeito sinérgico entre todas (Dekker, 2003b).

A perda e fragmentação de habitat é potenciada pelo desenvolvimento antropogénico, que altera os cursos de água e a área envolvente. Esta degradação, juntamente com a poluição, à qual a enguia é sensível (Bruslé, 1994) pode levar à diminuição da condição corporal das enguias ou ter efeitos letais (Jacoby e Gollock, 2014).

A influência das alterações climáticas e das correntes oceânicas no declínio da enguia é amplamente discutida (Jacoby e Gollock, 2014). Alguns autores defendem que estas influenciam a abundância de enguia-europeia, afetando o transporte e a metamorfose de larvas no Oceano Atlântico, bem como a disponibilidade de alimento (Miller *et al.*, 2009) e, finalmente, o recrutamento do meixão para águas continentais (Durif *et al.*, 2011). Por outro lado, existem estudos que defendem que esta influência não é significativa (Dekker, 2004; Henderson *et al.*, 2012; Pacariz *et al.*, 2014). O facto de pouco se saber acerca da fase de vida oceânica desta espécie dificulta a compreensão das causas do seu declínio (ICES, 2013).

A enguia-europeia é presa de diversos animais, como outros peixes, garças, focas, baleias e corvos-marinhos (*Phalacrocorax carbo* Linnaeus, 1758) (ICES, 2003). A população destes últimos tem vindo a aumentar e a hipótese de este aumento se traduzir num decréscimo do número de enguias é considerada (Dekker, 2004), embora difícil de avaliar (Engström, 2001). Por outro lado, nos anos 80 foi introduzido na Europa

do parasita não nativo *Anguillicola crassus*, vindo da Ásia, que afeta a capacidade de natalidade da enguia e, conseqüentemente, a migração de reprodutores (Køie, 1991; Moriarty e Dekker, 1997)

A sobrepesca de enguia incide sobretudo na captura de meixão para a aquacultura europeia e para a exportação para países asiáticos, onde o decréscimo da população da espécie nativa *Anguilla japonica* Temminck e Schlegel, 1847 promoveu a substituição da espécie produzida (Tesch, 2003). Apesar de o seu impacto na população de enguia não ser bem estudado (Feuteun, 2002), a pesca parece reduzir a fuga de reprodutores (Moriarty e Dekker, 1997).

A presença de obstáculos nos cursos de água, como barragens e açudes, é um fator de ameaça com impacto abrangente nas populações piscícolas. As barragens e açudes são infraestruturas construídas com o objetivo de armazenar ou desviar água para uso doméstico, agricultura, produção de energia ou regularização de um canal. Na Europa, existem mais de 7 000 grandes barragens (EEA, 2008), cerca de 52 em Portugal (FAO, 2016). Estas estruturas ampliam a perda e degradação do habitat e são uma causa de morte direta por colisão dos peixes com turbinas e outros componentes mecânicos (Larinier e Dartiguelongue, 1989). Além disso, interrompem a continuidade longitudinal dos cursos de água, funcionando como uma barreira e impedindo o curso natural da migração, atrasando ou bloqueando a passagem das enguias de jusante para montante, na fase juvenil, e de montante para jusante, na fase adulta (Jacoby e Gollock, 2014). Por outro lado, a elevada concentração de indivíduos da espécie a jusante dos obstáculos, aumenta a competição por espaço e alimento e favorece o desenvolvimento de machos em vez de fêmeas, afetando a reprodução da espécie (Domingos, 2003; Rogado *et al.*, 2005; Costa *et al.*, 2008). O combate a esta ameaça passa pela captura, transporte e libertação de exemplares após o obstáculo e pela implementação de estruturas, como passagens para peixes, que restabeleçam a continuidade dos rios, permitindo a passagem das barreiras, sempre que as condições do habitat a montante sejam favoráveis à presença e posterior migração reprodutora da espécie (Jacoby e Gollock, 2014).

Face a estas ameaças, em 2007, *A. anguilla* foi incluída no Apêndice II de CITES, o que veio limitar a exportação da União Europeia, principalmente para a Ásia (Jacoby e Gollock, 2014). No mesmo ano, a Comissão Europeia estabeleceu um plano de recuperação da população de enguia (Regulamento (CE) n.º 1100/2007 do Conselho de 18 de setembro, 2007). Pretendia-se reduzir a mortalidade de enguias por causas antropogénicas, com o objetivo de permitir a fuga para o mar de, pelo menos, 40% da biomassa de enguias-prateadas correspondente à melhor estimativa de fuga que existiria na ausência de influências antropogénicas com impacto na população. Como resposta ao regulamento, os Estados-Membros tiveram que elaborar Planos de Gestão de Enguia (PGE) para cada bacia hidrográfica, podendo, no entanto, considerar o país inteiro como Unidade de Gestão da Enguia (UGE), possibilidade que foi adotada por Portugal. No entanto, a meta dos 40% não tem sido totalmente atingida, sendo que das 81 Unidades de Gestão de Enguias analisadas em 2013, apenas 17 atingiram o objetivo

de fuga de biomassa e 22 não reportaram resultados (ICES, 2013). Este Regulamento prevê também a utilização de 60% das enguias menores de 12 cm capturadas para ações de repovoamento.

Os PGE preveem ações de combate às diversas ameaças à população de enguia-europeia, como ações de melhoramento e restabelecimento do habitat para mitigar a sua fragmentação e perda; medidas de controlo de predadores, maioritariamente dirigidos a *P. carbo*; a regulamentação da pesca de enguia-europeia tem sido alterada e reforçada, existindo limites de tamanho, quotas de capturas, licenças de pesca, ações de repovoamento, controlo das artes utilizadas e épocas de defeso em vários países europeus (ICES, 2013).

Em Portugal, propôs-se medidas para redução do esforço de pesca, como a limitação da pesca de meixão à bacia hidrográfica do rio Minho, com limite de licenças emitidas e controlo de capturas e artes de pesca. A pesca lúdica e desportiva da enguia é proibida e a pesca comercial de enguia está sujeita a um período de defeso entre outubro e dezembro, sendo permitida em todas as bacias hidrográficas do país exceto a do rio Minho (Edital n.º 617/2015 da Autoridade Marítima Nacional, 2015). Existe, contudo, pesca ilegal, principalmente dirigida ao meixão para fins comerciais, estimando-se a captura ilegal de 6 862 kg/ano, segundo o PGE nacional, de 2008. Este PGE prevê medidas de restabelecimento da continuidade longitudinal dos cursos de água, como a instalação de passagens para peixes adequadas à enguia-europeia em todas as novas barragens e açudes construídos, sempre que viável; recuperação de passagens existentes que não sejam eficazes e desenvolvimento de programas de monitorização e avaliação de viabilidade das passagens.

#### 1.4 As passagens para peixes

As passagens para peixes constituem uma medida de mitigação dos impactes resultantes da presença de obstáculos de origem antropogénica, como barragens e açudes, que permitem restabelecer a continuidade dos habitats dulçaquícolas, ao criar zonas de ligação entre montante e jusante. Referências a estruturas deste tipo existem desde o século XVII, na Europa (Clay, 1995), e 1892 em Portugal (Santo, 2005). Uma passagem para peixes tem o objetivo de atrair os migradores para uma zona do rio a jusante do obstáculo a partir da qual estes sejam estimulados ou obrigados a fazer um percurso até montante. Usualmente, consiste numa série de bacias que os peixes devem atravessar nadando ou saltando, contruídas de forma a dissipar a energia da água e diminuir o stress dos animais durante o percurso (Figura 7) (Clay, 1995; Santo, 2005). Contudo, estes dispositivos podem ter variadas configurações, uma vez que devem ser adaptados consoante as espécies-alvo, o sentido da migração, as características da área e os custos (Porcher e Larinier, 2002).

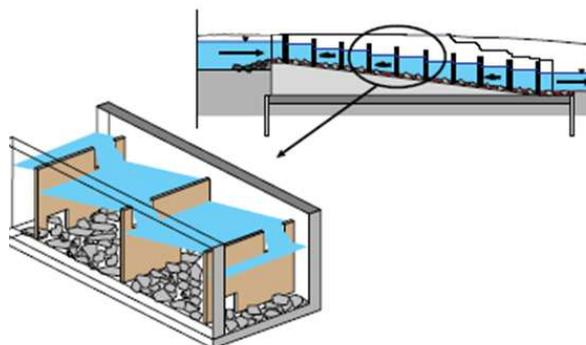


Figura 7 - Esquema de uma passagem para peixes convencional, com bacias sucessivas (adaptado de: FAO/DVWK, 2002)

Em Portugal, o número de passagens para peixes tem vindo a aumentar, contudo é ainda insuficiente face à quantidade de barragens e açudes. Atualmente, existem nas principais bacias hidrográficas nacionais (Santo, 2005).

Existem diversos tipos de passagens, tanto multiespecíficas como direcionadas para certas espécies, como é o caso da enguia. As passagens para enguias são diferentes das passagens para peixes clássicas dada a biologia e baixa capacidade de natação da espécie. Estas estruturas devem considerar o elevado volume de animais a atravessar num período de tempo limitado (na época de migração) e o seu tamanho, que normalmente aumenta de jusante para montante (Porcher, 2002).

As passagens para enguias (PPEnguias) (Figura 8), quando direcionadas para indivíduos mais jovens e pequenos, dividem-se em duas secções: i) uma rampa ascendente a jusante, coberta com substrato adequado e com o fluxo de água necessário para facilitar a progressão, aproveitando a capacidade de reptação de superfícies inclinadas; ii) a zona montante, que permite o acesso ao nível da água através de uma zona de transição adequada (Porcher, 2002; Solomon e Beach, 2004).

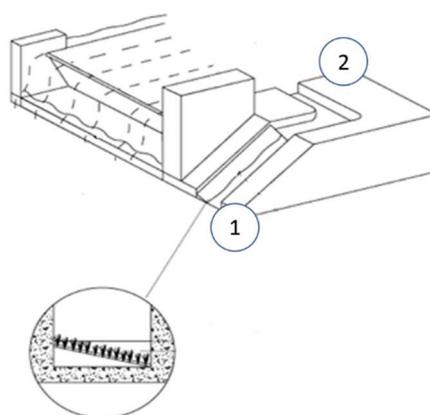


Figura 8 - Esquema de uma passagem para enguias (adaptado de: Porcher, 2002)

A entrada da passagem para enguias deve localizar-se o mais próximo possível do obstáculo e num local apropriado e atrativo para as enguias, permitindo a entrada sem esforço ou stress (Porcher, 2002; Solomon e Beach, 2004). Tanto o substrato como o declive da rampa têm influência na eficiência da passagem, devendo ser adaptados

consoante o tamanho dos animais presentes (Legault, 1992). O substrato pode ser natural (pedras, pequenos ramos e troncos, palha, plantas...) ou artificial (tapetes de cerdas de vários materiais, tamanhos e espaçamentos, redes...), sendo que os materiais naturais requerem maior manutenção e reposição (Porcher, 2002; Solomon e Beach, 2004). Em passagens mais longas é comum incluir-se locais de repouso, como bacias ou tanques com substrato e caudal reduzido (Solomon e Beach, 2004). Este tipo de passagens pode ser também combinado com outras passagens para peixes (Porcher, 2002; FAO/DVWK, 2002).

Este tipo de estruturas é utilizado há já várias décadas, na Europa, Japão, América do Norte e Austrália (Larinier e Marmulla, 2004) e os dispositivos instalados têm-se mostrado importantes para a conservação das diversas espécies de enguias (Laffaille *et al.*, 2005), reduzindo a concentração de indivíduos menores abaixo dos obstáculos (Schmidt *et al.*, 2009) e aumentando a densidade populacional acima deste (Briand *et al.*, 2005). Estudos apontam as fases menos luminosas da Lua, o aumento do nível das águas (Hildebrand, 2005; Schmidt *et al.*, 2009) e o odor da espécie (Briand *et al.*, 2002) como fatores de aumento do número de animais a utilizar as passagens.

Limitações ao bom funcionamento destas estruturas poderão ser: localização inadequada, dificultando o acesso das enguias à entrada; caudal demasiado fraco, reduzindo a atratividade, ou forte, impedindo a aproximação; inadaptação às diferenças no nível da água e inundações; má configuração da zona de montante, não proporcionando uma saída segura para as enguias e/ou arrastando-as de volta para jusante; colmatação do substrato com algas ou outros materiais; ausência de proteção contra predadores; falta de manutenção; falta de monitorização e consequente avaliação do funcionamento e eficiência da passagem (Solomon e Beach, 2004).

A monitorização das passagens para peixes é importante para verificar se os animais conseguem encontrar a entrada do dispositivo e percorrê-lo. Esta tarefa pode ser realizada através da colocação de armadilhas no final da estrutura que capturem os animais que completaram a passagem, sendo verificadas frequentemente para evitar elevadas densidades prejudiciais para os peixes, e estes analisados consoante o plano de monitorização e libertados, de seguida, a montante. Outros métodos de monitorização destas passagens incluem a marcação, libertação e recaptura de exemplares, pesca-elétrica, bloqueio da saída da passagem para remoção e análise de todos os indivíduos presentes, e contagem do número de animais que atravessam a estrutura com recurso a equipamento automático, como sensores ou vídeos (FAO/DVWK, 2002).

Em Portugal, a primeira passagem para enguias foi instalada em 2015, no Açude-Ponte de Coimbra (Almeida *et al.*, 2016). Este local é relevante para a espécie uma vez que a bacia hidrográfica do rio Mondego é uma das mais importantes para os peixes diádromos do país e o açude é o primeiro obstáculo que dificulta a sua migração para montante (Domingos *et al.*, 2006).

## 1.5 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivos:

1. Caracterizar a distribuição de *Anguilla anguilla* no rio Mondego;
2. Avaliar o funcionamento da PPEnguias;
3. Monitorizar a passagem para enguias (PPEnguias) do Açude-Ponte de Coimbra.

A caracterização da distribuição da espécie na área de estudo permitirá conhecer a sua situação, principalmente no que toca a diferenças entre montante e jusante do obstáculo estudado, o Açude-Ponte de Coimbra, aferindo o impacto deste nos indivíduos de *Anguilla anguilla*. A avaliação do funcionamento da PPEnguias e a sua monitorização serão cruciais na determinação do efeito desta estrutura na população de enguias, e o seu papel na conservação da espécie.

Esta informação aumentará o conhecimento acerca da espécie no rio Mondego e, principalmente, sobre o funcionamento da primeira PPEnguias instalada em Portugal, disponibilizando dados referentes a este projeto, pioneiro no país.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Mondego localiza-se na região centro de Portugal, abrangendo uma área de 6 644km<sup>2</sup>. O rio Mondego, com 234km, nasce na Serra da Estrela, a 1 425m de altitude, e desagua no Oceano Atlântico, na Figueira da Foz. Esta bacia pode dividir-se em três regiões: i) Baixo Mondego, com zonas de planícies entre a Figueira da Foz e Coimbra, ii) Médio Mondego, com diversos vales encaixados entre Coimbra e as faldas da Serra da Estrela, e iii) Alto Mondego, no maciço da Serra. O rio tem como principais afluentes os rios Dão na margem direita, e Alva, Ceira, Arunca e Pranto na margem esquerda (Figura 9) (Loureiro *et al.*, 1986).

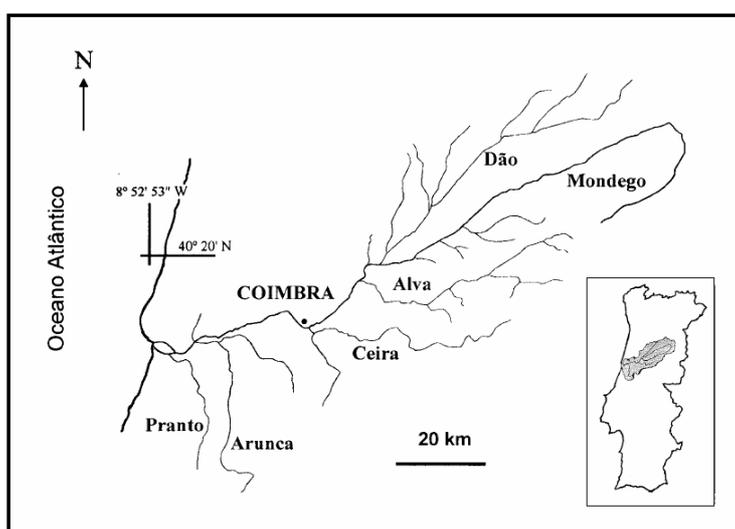


Figura 9 - Rede hidrográfica do Rio Mondego com os seus principais afluentes (Domingos, 2003)

Esta área é caracterizada por um clima entre temperado e húmido, com temperatura média anual de 13°C e precipitação média anual de 1 233mm (Loureiro *et al.*, 1986).

A qualidade da água é superior nas regiões do Alto e Médio Mondego, onde o impacto negativo se deve maioritariamente a efluentes domésticos. O Baixo Mondego é uma área mais poluída, influenciada pela maior concentração populacional e industrial, com a proximidade às cidades de Coimbra e Figueira da Foz (Domingos, 2003).

O estuário do rio Mondego foi designado Sítio da Convenção de Ramsar em 2005, pela importância dos seus habitats, em especial para aves migradoras como o alfaiate (*Recurvirostra avosetta* Linnaeus, 1758) e o flamingo-americano (*Phoenicopterus ruber* Linnaeus, 1758) (Ramsar, 2006).

Neste rio encontram-se também diversas espécies piscícolas, num total de 23 taxa. Destas, destacam-se as migradoras de elevado interesse comercial lampreia-marinha (*Petromyzon marinus* Linnaeus, 1758), sável (*Alosa alosa* Linnaeus, 1758), savelha (*Alosa fallax* Lacépède, 1803) e a enguia-europeia. Além disso, estão presentes

seis endemismos ibéricos: boga-comum (*Pseudochondrostoma polylepis* Steindachner, 1865), escalo do Norte (*Squalius carolitertii* Doadrio, 1988), bordalo (complexo de *Squalius alburnoides*), ruivaco (*Achondrostoma oligolepis* Steindachner, 1866), barbo-comum (*Luciobarbus bocagei* Steindachner, 1864) e verdemã (*Cobitis paludica* De Buen, 1930) (Cabral *et al.*, 2005).

O rio Mondego é um curso de água fortemente regularizado desde 1981, com a presença de várias barragens e pequenos açudes, implementados para proteção contra cheias e produção de energia elétrica. Para este trabalho tem destaque o Açude-Ponte de Coimbra, contruído em 1981, que até recentemente representava a primeira barreira à migração de jusante para montante no rio Mondego (Figura 10) (Domingos *et al.*, 2006).



Figura 10 - Açude-Ponte de Coimbra, jusante (APA, 2017a)

Neste açude foi instalada, em 2011, uma passagem multiespecífica para a fauna piscícola (PPPeixes) visando facilitar a sua migração e substituir um antigo dispositivo considerado ineficaz (Santo, 2005). Esta estrutura, de 125m de comprimento, é constituída por 23 bacias sucessivas com fendas verticais. Cada bacia tem 3m x 4m, e existe uma queda entre bacias sucessivas de 0,25m (Figura 11). O encaminhamento dos peixes para este sistema é garantido através de um canal de acesso na margem esquerda do rio, a jusante, e por um canal de atração (Barbosa *et al.*, 2004).



Figura 11 – PPFeixes (APA, 2017b)

Esta tipologia de passagem proporciona áreas de descanso durante o percurso e reduz a velocidade da água por dissipação de energia, o que diminui o esforço dos animais (Larinier, 2001). As principais espécies a utilizar a PPFeixes são a lampreia-marinha, sável, savelha, barbo-comum, boga-comum, truta (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758), muge (*Liza ramada* Risso, 1827) e enguia-europeia, sendo que o dispositivo tem apresentado resultados positivos ao longo dos anos, permitindo a transposição do obstáculo (Cardoso, 2014; Monteiro, 2015).

Estudos recentes acerca da população de enguia-europeia do rio Mondego permitem a sua caracterização: Domingos (2003) descreve uma população jovem, com a maioria dos indivíduos com comprimento inferior a 350mm, predominância de machos e com o tamanho das enguias capturadas a aumentar de jusante para montante, concentrando-se muitos animais e mais pequenos a jusante, fruto dos obstáculos à migração existentes no curso principal do rio Mondego. Domingos *et al.* (2006), num estudo sobre fatores que influenciam a distribuição longitudinal e abundância da enguia-europeia no rio Mondego, sugere uma fragmentação da população, com a maioria das enguias com menos de 150mm presentes a jusante do Açude-Ponte de Coimbra, sendo raras as capturas de animais com comprimento inferior a 100mm, e uma diminuição da abundância a montante deste obstáculo. Monteiro (2015) reafirma a população jovem e a predominância de machos, bem como a distribuição da abundância e tamanhos dos exemplares, e encontra um efeito positivo da PPFeixes na população de enguias. Contudo, este efeito não é significativo, muito provavelmente devido ao facto de a PPFeixes não estar dimensionada para juvenis de *A. anguilla*.

## 2.2 Caracterização da PPEnguias

A instalação da passagem para enguias (PPEnguias) no Açude-Ponte de Coimbra foi concluída em dezembro de 2015, com o objetivo de reabilitar o habitat para esta espécie na bacia hidrográfica do rio Mondego (Almeida *et al.*, 2016). Esta estrutura, a primeira deste tipo em Portugal, foi implementada neste local uma vez que este açude

constitui o primeiro obstáculo à migração trófica da enguia-europeia no curso principal do rio (Domingos *et al.*, 2006).

A entrada da PPEnguias localiza-se a jusante, na margem esquerda do Mondego, junto à entrada da passagem de peixes multiespecífica (Figura 12). Esta constitui a primeira zona da PPEnguias, denominada Zona de Entrada (Figura 13).

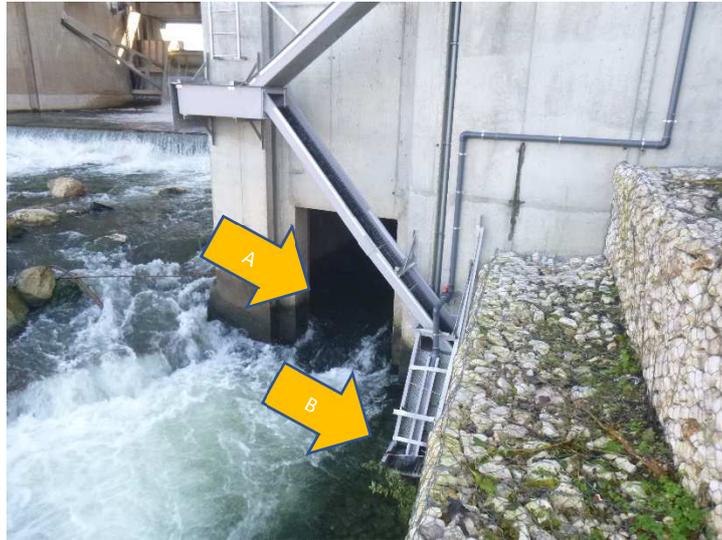


Figura 12 - Entrada da PPeixes (A) e PPEnguias (B), na margem esquerda do rio Mondego

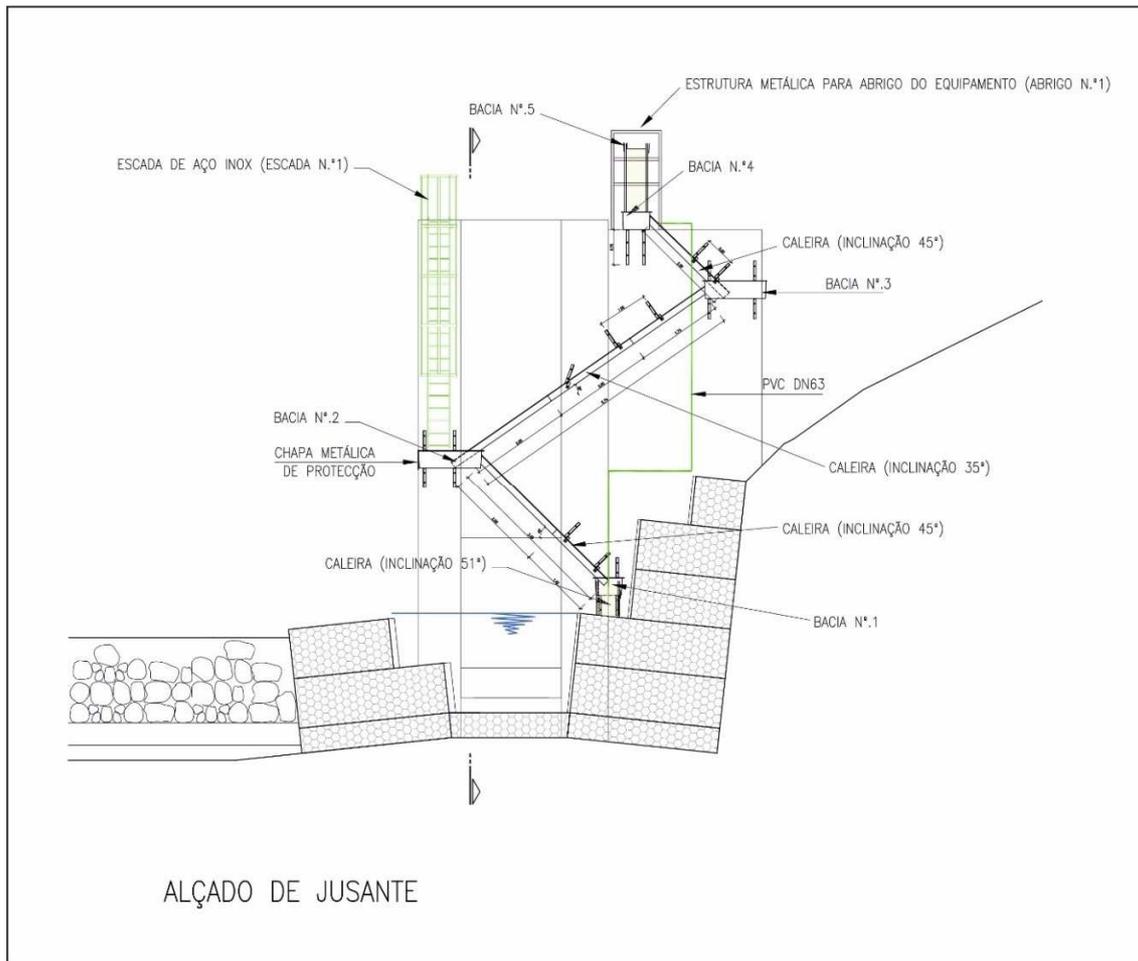


Figura 13 - Esquema da Zona de Entrada da PPEnguias

Segue-se um complexo de 5 caleiras em fibra de vidro, com inclinações de entre 35-51° e cobertas com tapetes de cerdas. Estas têm um fluxo de água contínuo e estão intercaladas com 4 bacias de descanso, que permitem aos animais a recuperação do esforço físico (Figuras 14 e 15). O tapete de cerdas é um substrato artificial que facilita a progressão das enguias, e a disposição das cerdas – mais próximas umas das outras ao centro e mais afastadas nas extremidades – permite a deslocação de enguias com diferentes dimensões.



Figura 14 - Área jusante da PPEnguias, composta por caleiras intercaladas com bacias de descanso



Figura 15 - Bacia de descanso (à esquerda) e caleira com substrato artificial (à direita) da PPEnguias

Após a quinta bacia, que constitui o primeiro abrigo (Figura 16), encontra-se a Zona de Progressão. Esta parte é constituída por tubos de PRFV DN 200, que se estendem por 60m ao longo da passagem multiespecífica, apresentando um ligeiro declive com a cota mais elevada na extremidade de montante (Figura 17). Esta configuração pretende promover a passagem das enguias até uma zona a montante onde já não haja o risco de estas serem arrastadas para jusante pelas comportas do açude, após a libertação.



*Figura 16 - Primeiro abrigo da PPEnguias, após a Zona de Entrada*



*Figura 17 - Zona de Progressão da PPEnguias, composta por um tubo de 60m*

Este percurso termina na sétima bacia, onde se inicia a terceira e última zona da PPEnguias, a Zona de Monitorização-Libertação. Após esta bacia, encontra-se uma nova caleira com tapetes de cerdas que termina na oitava bacia, a bacia de contenção-monitorização (Figuras 18 e 19). É neste dispositivo, coberto por um abrigo metálico, que as enguias ficam contidas para fins de monitorização, numa rede amovível com malha inferior a 1mm. Esta bacia pode funcionar também como sistema aberto, libertando os indivíduos diretamente na albufeira do Açude-Ponte de Coimbra.



Figura 18 - Zona de Monitorização-Libertação da PPEnguias



Figura 19 - Bacia de contenção da PPEnguias

Este sistema encontra-se implantado no interior da passagem multiespecífica (PPPeixes) existente no local, sendo que o tubo da Zona de Progressão passa dentro desta. Além disso, existe ainda um sistema de *air lift* que foi adicionado ao sistema e que liga a décima quinta bacia da PPPeixes à bacia de descanso no final deste percurso (sétima bacia), permitindo a recolha de indivíduos de enguia-europeia que se encontram nesta zona da PPPeixes, encaminhando-os diretamente para o final da PPEnguias (Figura 20).



Figura 20 - Sistema de air lift da PPEnguias, conectando a décima quinta bacia da PPPeixes e a sétima bacia da PPEnguias

## 2.3 Caracterização da distribuição de *Anguilla anguilla* no rio Mondego

### 2.3.1 Recolha de dados

Numa fase pré-operacional da PPEnguias, nos anos 2014 e 2015, foram realizadas campanhas de amostragem de enguia-europeia no rio Mondego, com recurso a pesca elétrica, de acordo com o Manual para a Avaliação Biológica da Qualidade da Água em Sistemas Fluviais segundo a Diretiva Quadro da Água: Protocolo de Amostragem e Análise para a Fauna Piscícola (INAG, I.P., 2008).

Estas campanhas decorreram 3 vezes por ano, na primavera, verão e outono. O inverno foi excluído por baixa eficácia do método de amostragem nesta época, devido à precipitação. Foram selecionadas 33 estações de amostragem no troço principal (entre a mini-hídrica de Penacova e o Açude da Formoselha) e afluentes, com 10 pontos no troço principal a jusante do Açude-Ponte de Coimbra, 15 pontos no troço a montante deste obstáculo e os restantes 8 em afluentes (Figura 21). Em cada estação foi registado o tempo e área de amostragem e o número de enguias capturadas, juntamente com o seu comprimento total (mm) e peso individuais (g), tendo os animais sido libertados, de seguida, no mesmo local. Para este estudo, foram considerados relevantes os 25 pontos no troço principal do rio Mondego.

Os dados recolhidos pretendem ajudar a caracterizar a abundância, estrutura dimensional e distribuição da população de *A. anguilla* no troço principal do rio Mondego, anteriormente à instalação da passagem para enguias no Açude-Ponte de

Coimbra, e servir de base a uma futura monitorização que permita aferir os efeitos do funcionamento da PPEnguias, na população de enguias.

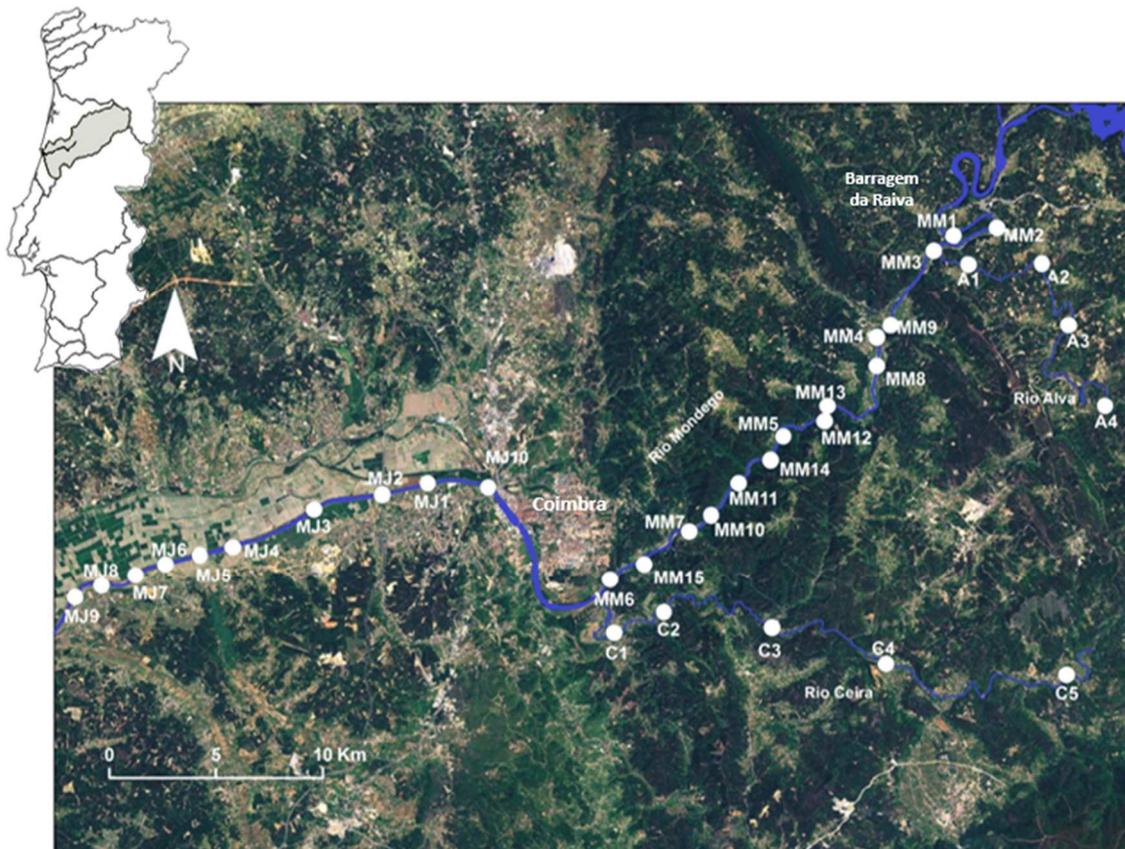


Figura 21 - Mapa do rio Mondego com a localização dos 10 pontos de amostragem situados a jusante (MJ) e os 15 pontos de amostragem situados a montante (MM) do Açude-Ponte de Coimbra

### 2.3.2 Análise estatística

Os valores de captura por unidade de esforço (CPUE), expressa em indivíduos capturados por unidade de tempo (60 minutos) em cada estação de amostragem, foram calculados no *software* Microsoft Office Excel (2016). Estes dados foram agrupados nas em três classes dimensionais (mm), *i.e.* ]0;200], ]200;450] e ]450;700].

De forma a analisar a influência da época do ano e do troço do rio no tamanho dos animais capturados foi realizado um teste estatístico de análise de variância multivariada, não paramétrico, PERMANOVA (“Permutational Multivariate Analysis of Variance”) (Anderson, 2001) com dois fatores, com recurso ao *software* PRIMER v6 (Clarke e Gorley, 2006) e à extensão PERMANOVA+ (Anderson *et al.*, 2008). O primeiro fator considerado foi “Época”, com 3 níveis, primavera, verão e outono; o segundo foi “Troço”, com 2 níveis, montante e jusante. Estes dados foram transformados ( $\text{Log}(x+1)$ ), calculou-se a matriz de semelhança (método de Bray-Curtis) e a análise PERMANOVA foi então corrida. O nível de significância considerado foi 0,05.

A *posteriori*, recorrendo igualmente ao PRIMER v6, foram realizados testes pareados relativos aos fatores “Troço”, “Época” e “TroçoxÉpoca”, que permitem verificar entre que níveis dos fatores as diferenças são mais significativas, e procedeu-se a uma análise PCO (“Principal Coordinates Analysis”).

De forma a completar a análise PERMANOVA e testes *a posteriori*, foram construídos gráficos de barras representando as variações consoante anos (2014 e 2015), épocas do ano (primavera, verão e outono), classes dimensionais ([0;200], ]200;450] e ]450;700]mm) e troços do rio (montante e jusante), utilizando o *software* Microsoft Office Excel (2016).

## 2.4 Ensaio de avaliação do funcionamento da passagem para enguias (PPEnguias)

### 2.4.1 Recolha de dados

Em agosto de 2016, foram capturadas, com recurso a 2 camaroeiros, 195 enguias na passagem multiespecífica (PPPeixes) do Açude-Ponte de Coimbra. Os animais foram mantidos em nassas submersas num tanque com 600 L de água do rio, uma bomba de arejamento e um filtro físico e biológico.

Um total de 195 exemplares foram marcados com elastómeros coloridos, de acordo com a classe dimensional (comprimento total em mm):

- [100;130[ com azul, num total de 40 indivíduos;
- [130;160[ com vermelho, num total de 84 indivíduos;
- [160;210[ com amarelo, num total de 70 indivíduos;
- [210;250[ com azul e amarelo, num total de 1 indivíduo.

Este processo iniciou-se com a anestesia dos indivíduos com uma solução 2-phenoxyethanol a 0,3 ml.dm<sup>3</sup>, seguida da medição do comprimento dos animais. A marcação realizou-se com implantes visíveis de elastómero fluorescente de cores distintas de acordo com a classe dimensional, na região dorsal, entre a cabeça e a inserção da barbatana dorsal, seguindo o procedimento do manual Northwest Marine Technology, Inc. (2011) (Figuras 22 e 23).



Figura 222 - Procedimento de marcação com elastômero

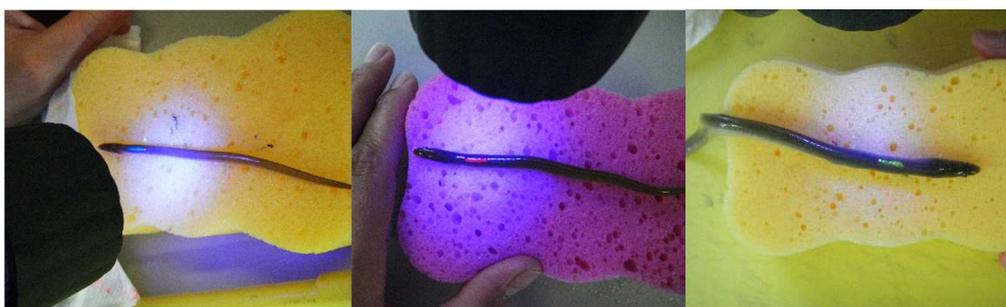


Figura 23 - Exemplos marcados com elastômeros, iluminados com luz UV. Da esquerda para a direita: azul, vermelho, amarelo

Estabeleceu-se um período de recobro e monitorização de 10 dias, recomendado pelo fabricante, com o fim de monitorizar o comportamento das enguias e a despistar possíveis rejeições da marca (Northwest Marine Technology, Inc., 2011). Durante este período, morreram 4 exemplares, 1 marcado a azul, 2 a vermelho e 1 a amarelo, por causas não apuradas. Todas as marcas se mantiveram visíveis ao fim do tempo de recobro.

As restantes 191 enguias foram libertadas na primeira bacia de descanso da Zona de Entrada da PPEnguias às 20h53. A monitorização dos animais foi realizada periodicamente em dois locais estratégicos da estrutura: um na quinta bacia, uma bacia intermédia localizada sensivelmente a meio do trajeto, e outro na oitava bacia, a bacia de monitorização localizada no final da passagem.

Das 20h53 à 1h55, a monitorização decorreu em intervalos de 5 minutos. A partir daí, e até às 3h35, realizou-se de 10 em 10 minutos, dado o volume de indivíduos ter diminuído e já não justificar a maior frequência de monitorizações. Posteriormente, pela mesma razão, esta ocorreu em intervalos de 15 minutos, até ao final do ensaio.

Em cada ponto e a cada intervalo de tempo contabilizou-se o número de enguias presente, com recurso a baldes com fundos de rede colocados na entrada das bacias, bem como a cor da sua marca de elastômero, representante da classe dimensional, com recurso a lanternas UV, sendo os animais libertados em seguida na respetiva bacia, sem serem manipulados.

O ensaio teve início às 20h53 e terminou às 7 horas do dia seguinte na bacia intermédia e às 7h30 na bacia de monitorização, compreendendo o período noturno, correspondente ao de maior atividade das enguias.

## 2.4.2 Análise estatística

Os dados recolhidos foram tratados com recurso ao software Microsoft Office Excel (2016) para construção de gráficos de barras referentes aos tempos de chegada dos indivíduos às bacias monitorizadas, no total e por classes dimensionais. O *software* IBM SPSS Statistics 22 (IBM Corp., 2013) foi utilizado para a construção de caixas de bigodes referentes aos tempos de passagem por classe dimensional. Na realização de testes não-paramétricos de Kruskal-Wallis e testes *a posteriori* para determinar a influência do comprimento das enguias no tempo que demoraram a alcançar ambas as bacias monitorizadas, recorreu-se aos *softwares* R-package (R Core Team, 2013) e Microsoft Office Excel (2016). Nestes testes, definiu-se o tempo, em minutos, como a variável contínua dependente e a classe dimensional, em milímetros, como a variável independente, com 3 categorias. A quarta classe dimensional, [210;250[mm, foi excluída da análise por conter apenas um indivíduo, não sendo estatisticamente relevante. O nível de significância utilizado foi 0,05.

## 2.5 Monitorização da passagem para enguias (PPEnguias)

### 2.5.1 Recolha de dados

A PPEnguias foi monitorizada, com uma periodicidade semanal, entre junho de 2016 e fevereiro de 2017, período que compreende a duração do estudo. Esta monitorização consistiu na medição do comprimento total (mm) e contagem dos exemplares de enguia presentes na rede da bacia de monitorização (oitava bacia), estrutura instalada no final da passagem onde os animais permanecem até serem analisados e libertados a montante.

Os animais foram cuidadosamente retirados da rede presente na bacia e colocados numa solução anestésiante de 2-phenoxyethanol a 0,3 ml.dm<sup>3</sup> (Figura 24). Quando devidamente anestesiados, foram contados, medidos e verifica-se a presença de marca de elastómero fluorescente com uma lanterna UV. Os dados foram anotados e os animais colocados num recipiente com água do rio, onde repousaram até passar o efeito da anestesia, tendo sido posteriormente libertados no troço do rio a montante do açude.

Foi também recolhida informação referente à temperatura (°C) da água, recorrendo a uma sonda colocada na PPEixes.



Figura 244 - Enguias em solução anestésica

### 2.5.2 Análise estatística

Os dados das monitorizações semanais foram reunidos por meses. Foi construído um gráfico de barras para ilustrar o volume de passagens por mês e a média da temperatura mensal (°C), e uma caixa de bigodes para a distribuição dos comprimentos (mm) por meses.

Os dados foram tratados no *software* Microsoft Office Excel (2016) e IBM SPSS Statistics 22 (IBM Corp., 2013), com vista à construção de gráficos de barras e caixa de bigodes, respetivamente.

### 3. Resultados

#### 3.1 Caracterização da distribuição de *Anguilla anguilla* no rio Mondego

As amostragens realizadas em 2014 e 2015, numa fase pré-operacional da PPEnguias, permitiram comparar a distribuição de abundância e classes de comprimentos das enguias entre os dois troços do rio (montante e jusante do Açude-Ponte de Coimbra/PPPeixes) e entre as três épocas do ano (primavera, verão e outono). Estes dados fornecem informação acerca da influência da PPeixes na população de enguias do rio Mondego, e oferecem um panorama geral acerca da distribuição e abundância das classes de comprimento da espécie antes da implementação da PPEnguias.

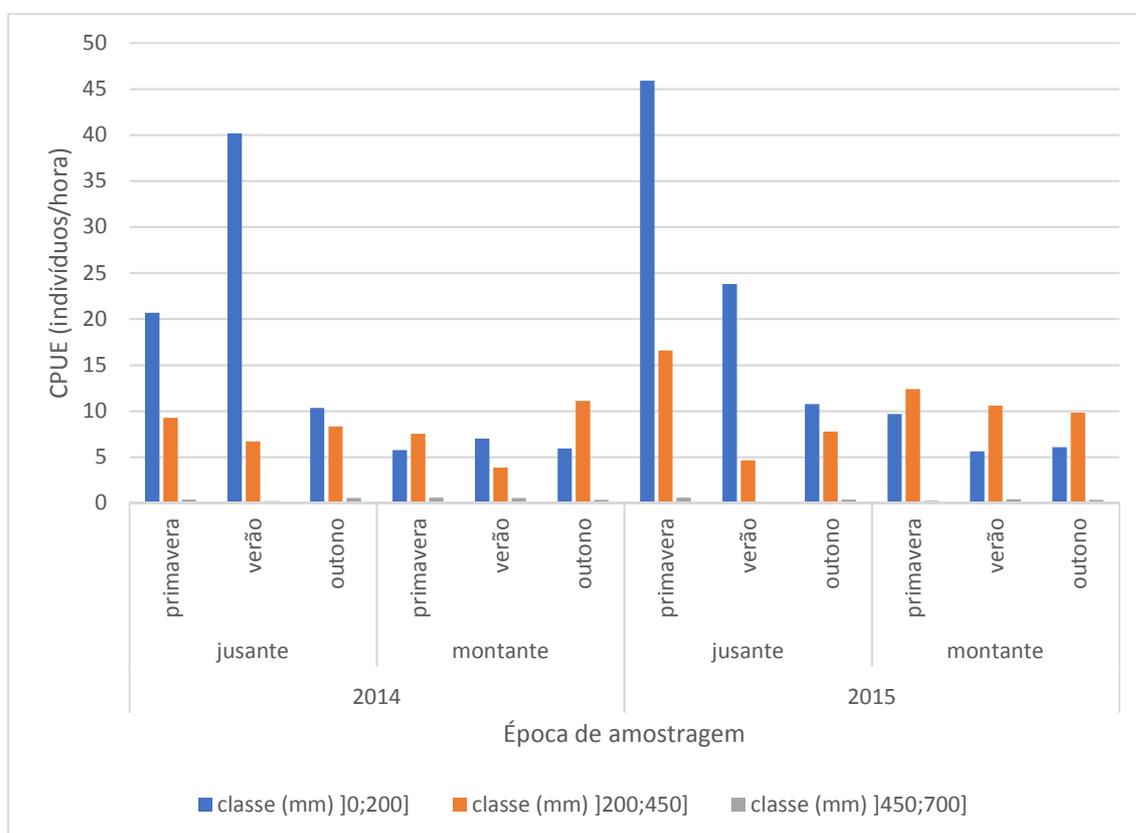


Figura 25 – Variação dos valores de CPUE (indivíduos/hora) no rio Mondego, por época de amostragem e por classe dimensional (mm)

A Figura 25 apresenta a relação de CPUE (indivíduos/hora) por cada classe dimensional estabelecida, entre cada época de amostragem, considerando o ano e o troço do rio. De uma forma geral, no troço a montante registou-se menor número de indivíduos comparativamente ao troço de jusante; por outro lado, os indivíduos mais pequenos ( $\leq 200$ mm) são mais abundantes a jusante e os de classe intermédia, ]200;450], a montante; a classe superior ( $>450$ mm) é muito pouco expressiva em todas as épocas de amostragem e locais.

Os resultados obtidos através da análise PERMANOVA revelaram diferenças significativas entre os vários níveis dos fatores “Troço” e “Época” e entre ambos os fatores ( $p < 0,05$ ) (Tabela 1). Isto indica que existe relação entre a classe dimensional (mm) dos indivíduos capturados no rio Mondego, indicada pelo CPUE, e o troço do rio (montante ou jusante do Açude-Ponte de Coimbra), a época do ano amostrada (primavera, verão e outono), e com a combinação de ambas as variáveis.

Tabela 1 - Resultado da análise PERMANOVA para determinar a influência da época do ano e do troço do rio no tamanho dos animais capturados. Os números a negrito indicam situações em que existe diferença significativa ( $p < 0,05$ )

<b>Fator</b>	<b>Pseudo-F</b>	<b>P(perm)</b>
Troço	12,618	<b>0,001</b>
Época	2,6791	<b>0,014</b>
TroçoxÉpoca	2,7752	<b>0,023</b>

Como testes *a posteriori*, foram realizados testes pareados relativos aos fatores “Troço”, “Época” e “TroçoxÉpoca” (Tabela 2) e uma análise PCO (Figura 29).

Tabela 2 - Resultados dos testes pareados. Os números a negrito indicam os pares onde existe diferença significativa ( $p < 0,05$ )

<b>Fator</b>	<b>Grupos</b>	<b>t</b>	<b>P(perm)</b>	
Troço	montante, jusante	3,5521	<b>0,001</b>	
Época	primavera, verão	1,0988	0,35	
	primavera, outono	2,0138	<b>0,009</b>	
	verão, outono	1,7208	<b>0,04</b>	
TroçoxÉpoca	montante	primavera, verão	1,1095	0,296
		primavera, outono	0,55604	0,74
		verão, outono	1,1602	0,284
	jusante	primavera, verão	1,802	<b>0,033</b>
		primavera, outono	2,369	<b>0,007</b>
		verão, outono	2,7054	<b>0,002</b>
	primavera	montante, jusante	2,6193	<b>0,002</b>
	verão	montante, jusante	3,1946	<b>0,001</b>
	outono	montante, jusante	0,65736	0,674

Nas Figuras 26 a 28 é representada, para cada classe dimensional, a relação entre os valores de CPUE (indivíduos/hora) e os diferentes fatores.

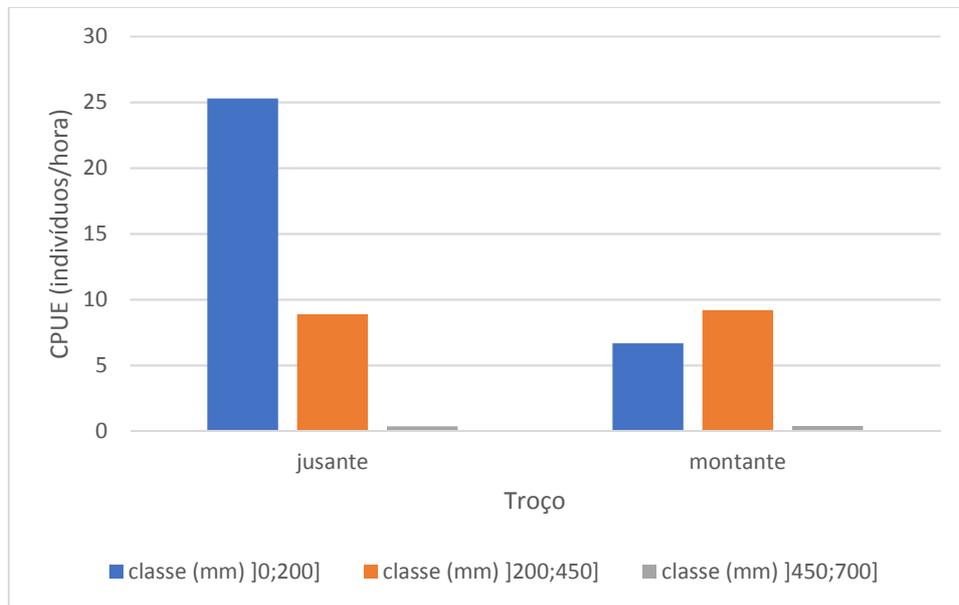


Figura 26 - Comparação dos valores de CPUE (indivíduos/hora) entre os níveis montante e jussante do fator "Troço", por classes dimensionais (mm)

Em relação ao fator "Troço", foram encontradas diferenças significativas entre os troços a montante e a jussante do Açude-Ponte de Coimbra. Na Figura 26, representativa deste fator, é possível observar que a captura de indivíduos mais pequenos ( $\leq 200$ mm) foi superior a jussante, enquanto que a montante a classe ]200;450] foi mais representada.

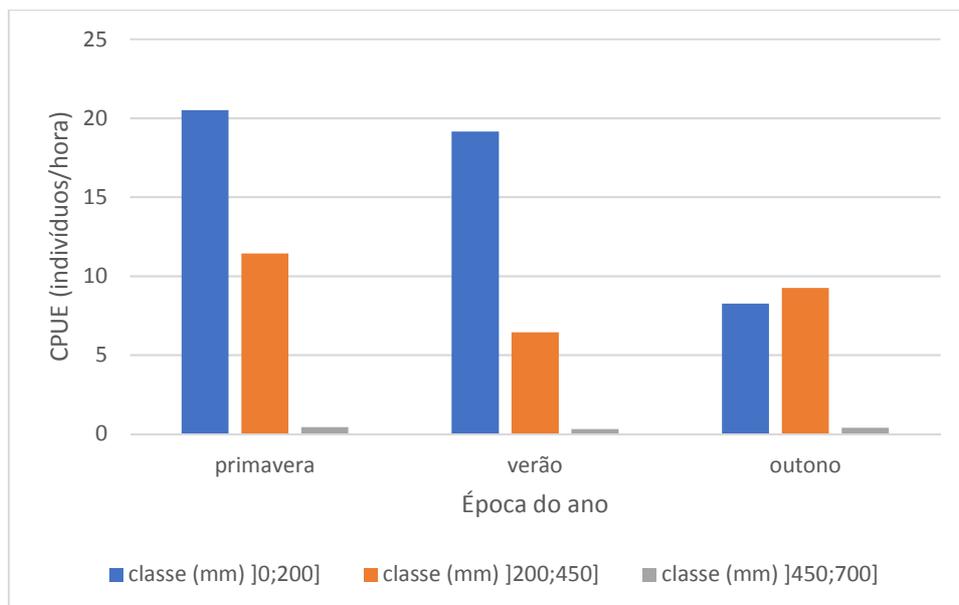


Figura 27 - Valores de CPUE (indivíduos/hora) entre os níveis do fator "Época", por classes dimensionais (mm)

Em relação ao fator "Época", encontraram-se diferenças significativas entre o outono e as restantes épocas consideradas. Tanto na primavera como no verão a classe

mais expressiva é a menor, ]0;200]. No outono, esta situação inverte-se, capturando-se mais exemplares da classe intermédia, ]200;450] (Figura 27).

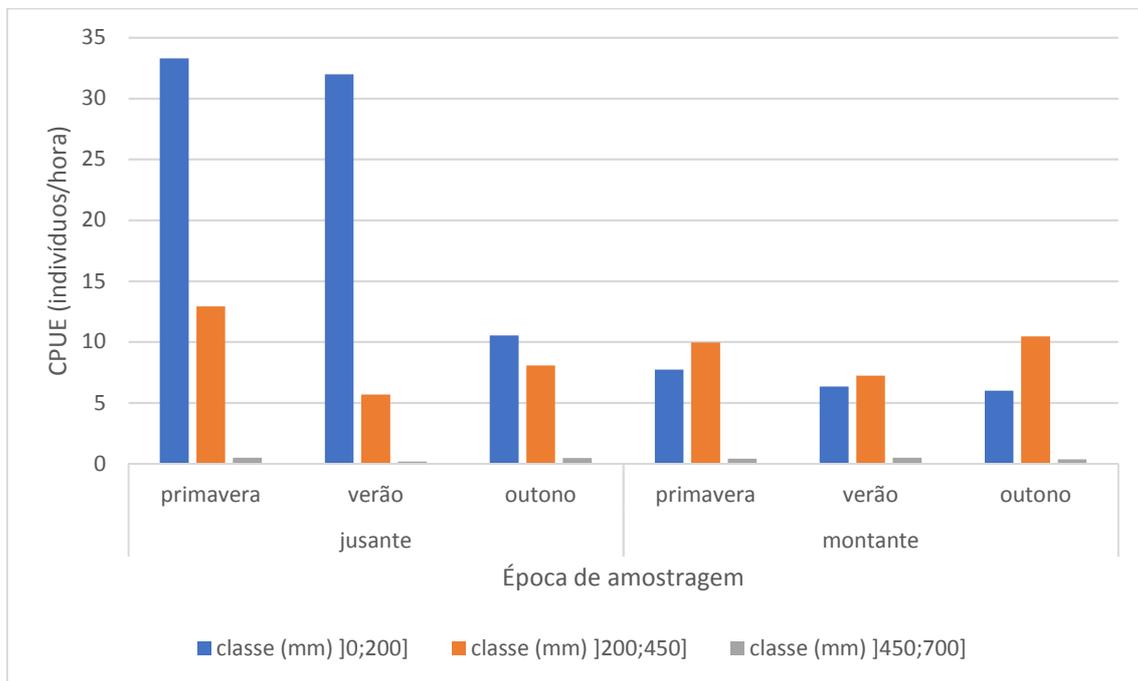


Figura 28 - Comparação dos valores de CPUE (indivíduos/hora) entre os fatores "Troço" e "Época", por classes dimensionais (mm)

Existem diferenças significativas entre épocas do ano apenas em relação ao troço a jusante do açude, ou seja, as classes dimensionais presentes apenas variam de época para época neste troço, mantendo-se no troço a montante. Dentro de cada época, obtemos diferença significativa entre os troços a montante e jusante do açude na primavera e no verão.

A Figura 28 apresenta o panorama geral. A montante, as capturas de indivíduos maiores prevalecem, apesar da variação entre o CPUE das duas classes menores não ser muito marcada, razão para a qual não existirem diferenças significativas entre épocas neste troço; a jusante, predominam indivíduos menores ( $\leq 200$ mm) em todas as épocas, sendo que a diferença entre classes é elevada, em especial na primavera e verão. Neste mesmo troço, o único onde a diferença entre classes se acusou significativa, a presença de enguias mais pequenas é superior na primavera e verão, decrescendo bastante no outono. Na primavera e no verão é também possível observar maior expressão de enguias no troço a jusante do açude do que no troço a montante.

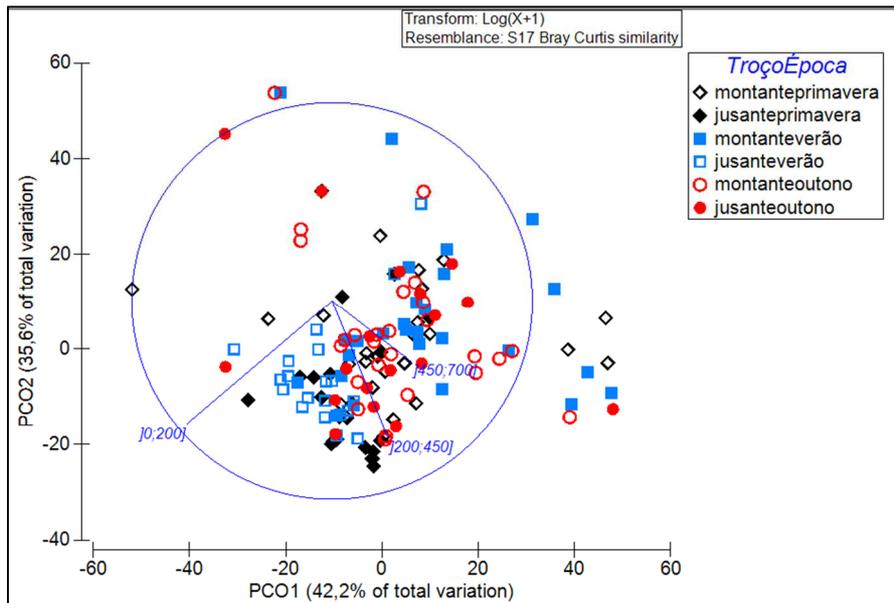


Figura 29 - Resultado da análise PCO

A análise PCO indica que o primeiro eixo (PCO1) representa 42,2% da variabilidade e o segundo (PCO2) 35,6%, sendo que ambos explicam 77,8% da variabilidade total (Figura 29).

A separação entre montante (símbolos não preenchidos) e jusante (símbolos preenchidos) é clara, existindo agregação dos valores de jusante na primavera e verão.

Ao avaliarmos a correlação dos valores com os eixos, encontramos uma relação mais significativa entre a classe dimensional ]0;200] e o primeiro eixo; a classe ]200;450] com o segundo; e a classe ]450;700] com o primeiro. PCO1 separa assim os animais com menores comprimentos dos maiores.

No geral, a montante observam-se maior abundância relativa da classe dimensional maior comparativamente a jusante, e na primavera e no verão ocorrem mais exemplares da classe menor, comparativamente com o outono.

### 3.2 Ensaio de avaliação do funcionamento da PPEnguias

No primeiro segmento da passagem considerado no ensaio (Figuras 32 e 33), da bacia de libertação à bacia intermédia, a primeira enguia chegou aos 52 minutos, tratando-se de um exemplar marcado a amarelo, *i.e.* ]160;210[mm. O maior número de chegadas ocorreu aos 77 minutos (23 enguias), tendo diminuído de forma constante a partir daí. Quando o ensaio terminou, aos 607 minutos, tinham chegado a esta bacia 176 indivíduos, representando 92% do total de exemplares marcados, e 73% dos que continham marca azul, 95% vermelha e 94% amarela. Este percurso demorou, em média, 127 minutos. O indivíduo da classe maior, ]210;250[, atingiu este ponto aos 112 minutos.

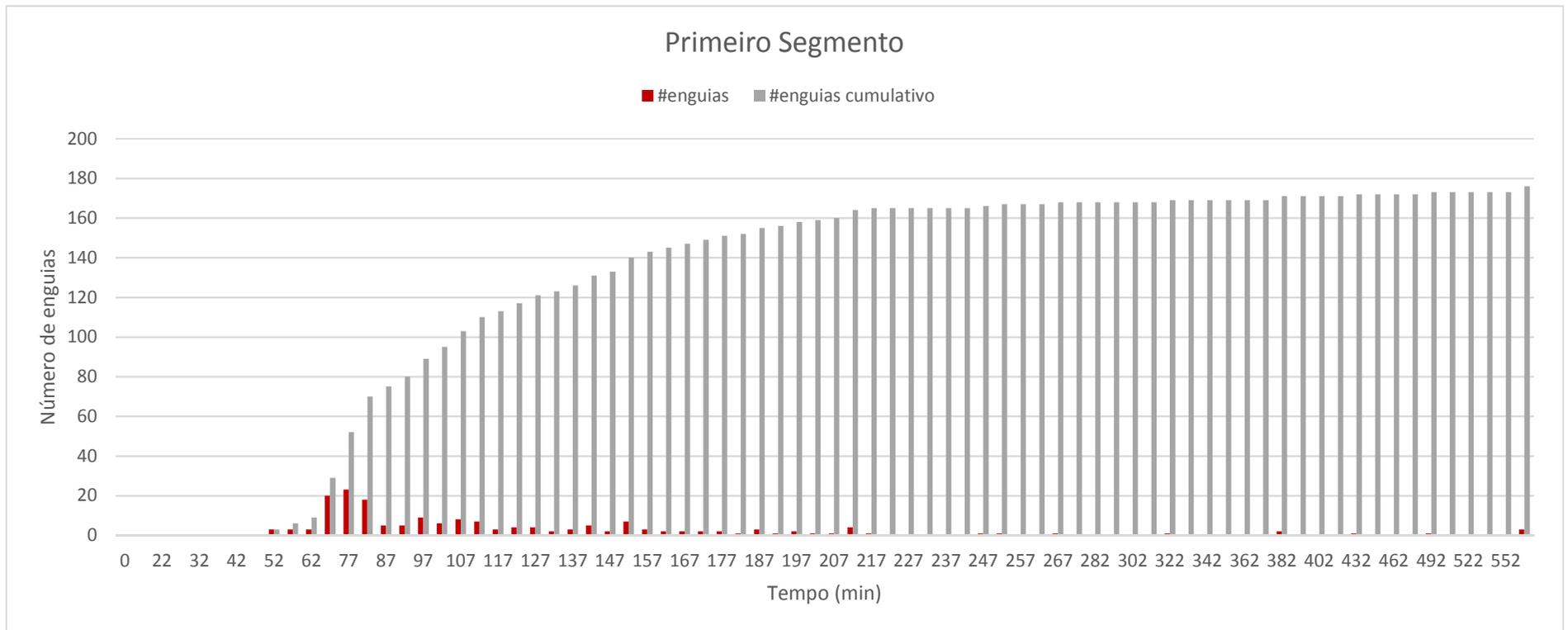


Figura 30- Representação gráfica do número de chegadas à bacia intermédia ao longo do ensaio

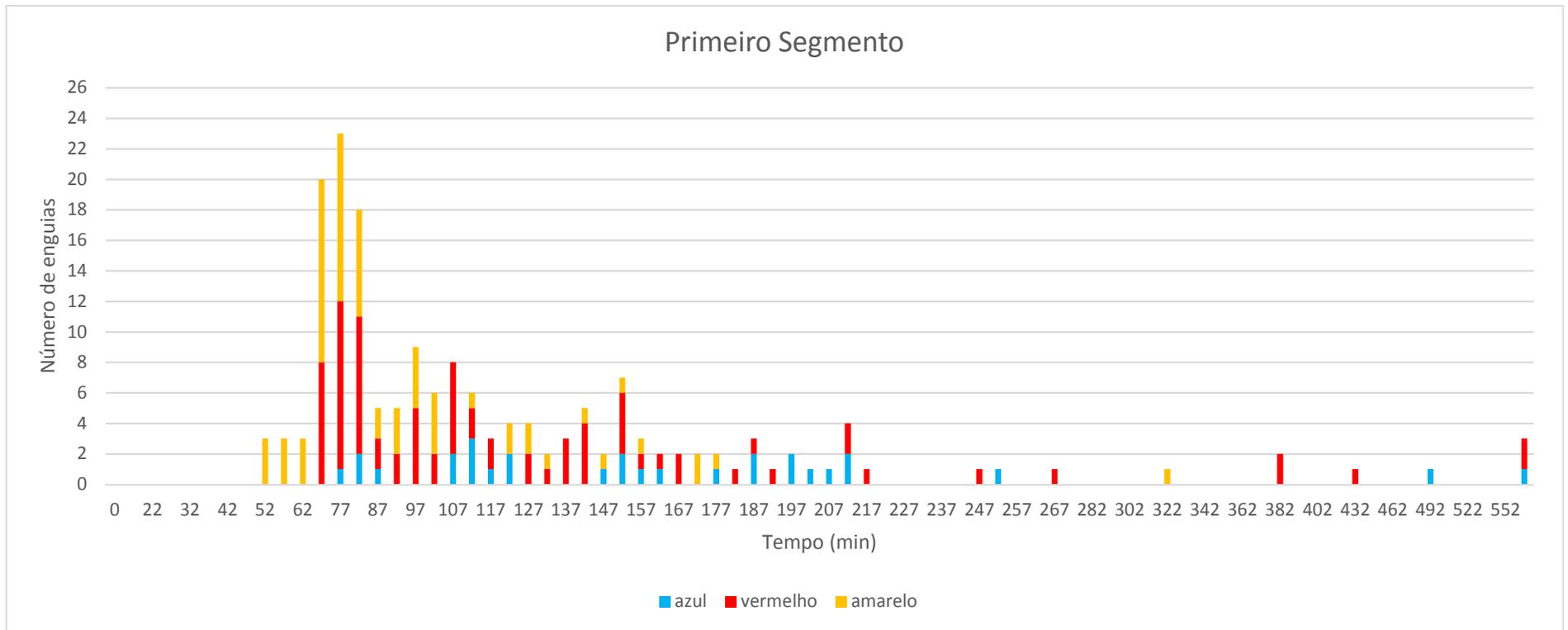


Figura 31 - Representação gráfica do número de chegadas à bacia intermédia por classe dimensional (segundo a coloração dos elastómeros: [100;130[ azul, [130;160[ vermelho e [160;210[ amarelo) por intervalo de tempo (min)

A primeira chegada ao final do percurso, a bacia de monitorização, ocorreu aos 110 minutos, tratando-se de 2 exemplares marcados a vermelho e 3 a amarelo (Figura 34). Verificaram-se duas fases de maior número de chegadas: entre os 110 min e os 205 min, com a chegada de cerca de 50 indivíduos, e entre os 355 min os 408 min, em que chegaram cerca de 30 enguias (Figura 35). Nos restantes intervalos de tempo e até ao final do ensaio as enguias chegaram de forma gradual e constante. O segundo pico de chegadas ocorreu após o intervalo entre monitorizações na bacia intermédia aumentar para 10 minutos e depois para 15 minutos. O indivíduo da classe maior, [210;250], chegou a esta bacia aos 473 minutos.

No final do ensaio, tinham chegado a esta bacia um total de 144 indivíduos, correspondendo a 75% dos indivíduos libertados, representando 48% dos animais marcados a azul, 82% a vermelho e 79% a amarelo. No total, 82% das enguias que atingiram a bacia intermédia durante o ensaio atingiram a bacia de monitorização. Os indivíduos levaram, em média, 356 minutos a completar o percurso.

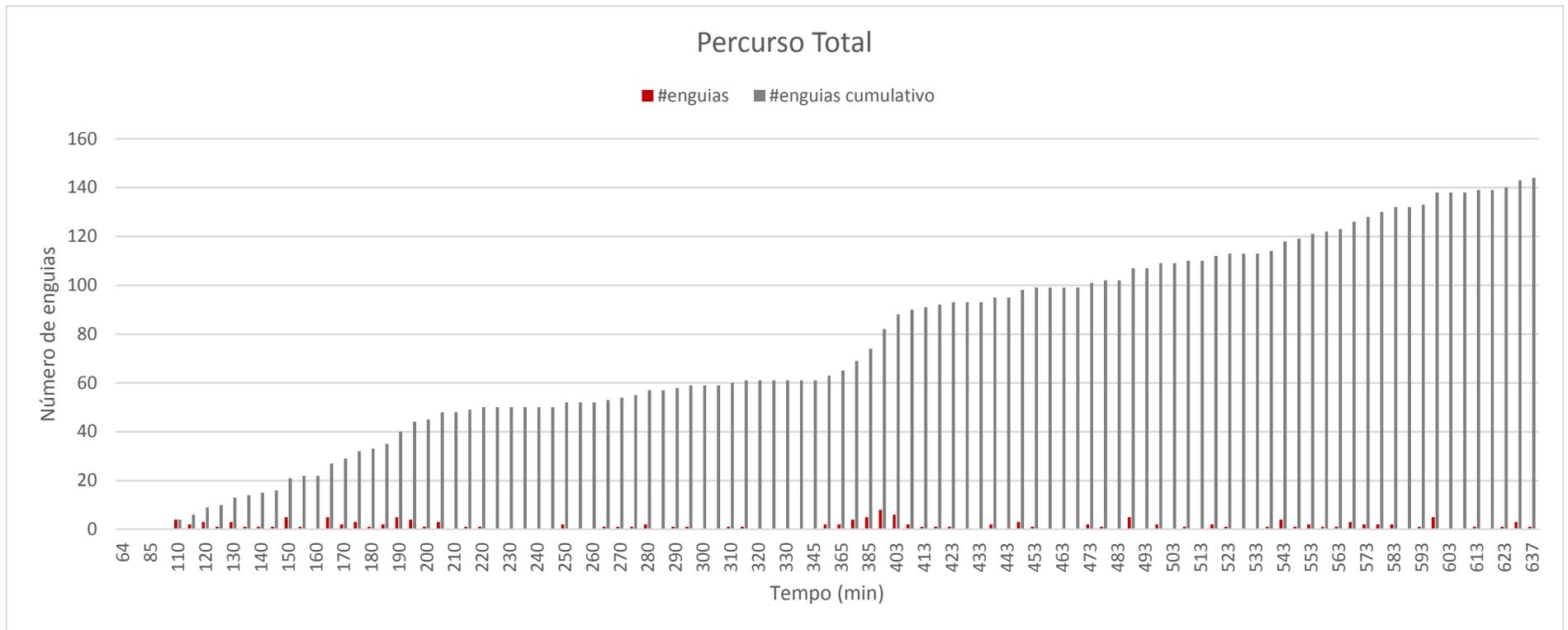


Figura 32 - Representação gráfica do número de chegadas à bacia de monitorização ao longo do ensaio

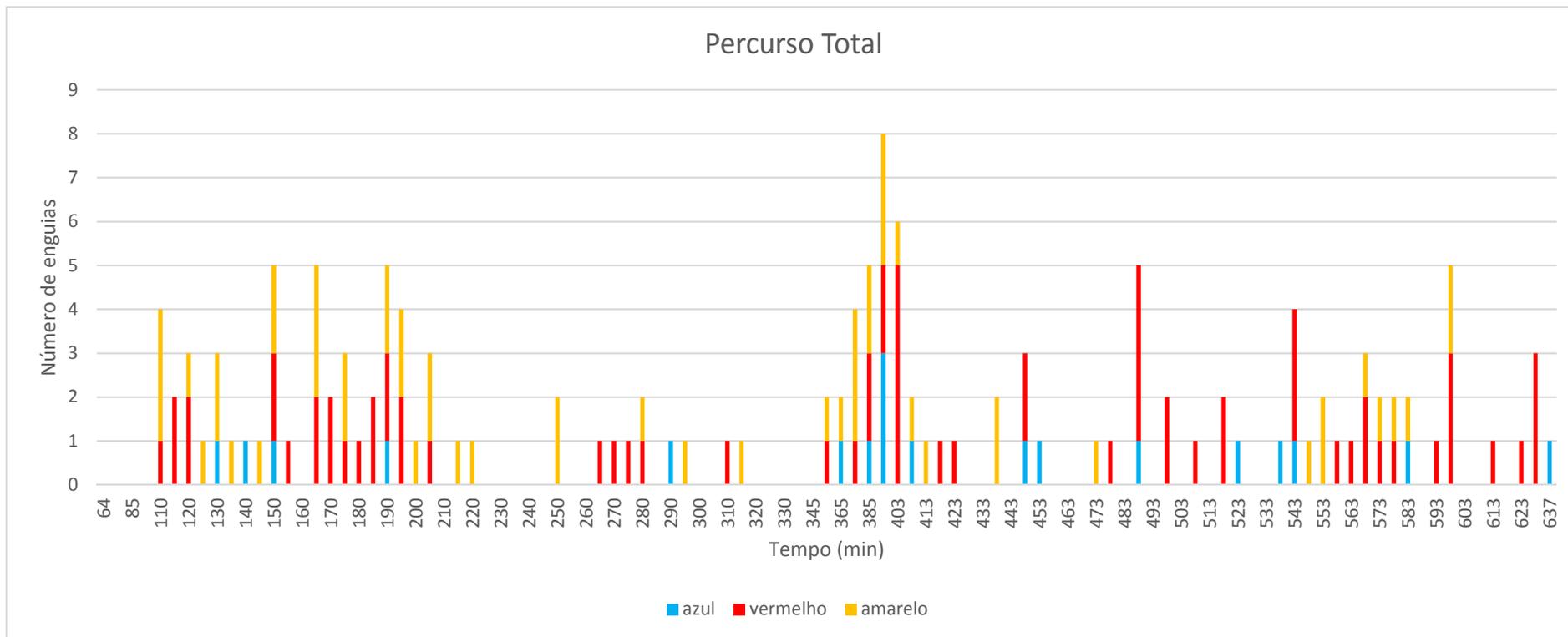


Figura 33 - Representação gráfica do número de chegadas à bacia de monitorização por classe dimensional (segundo a coloração dos elastómeros: [100;130[ azul, [130;160[ vermelho e [160;210[ amarelo) por intervalo de tempo (min)

As Figuras 36 e 37 representam, respetivamente, os tempos de passagem (em minutos) dos exemplares de enguia-europeia até à bacia intermédia e até à bacia de monitorização, por classes dimensionais (em milímetros).

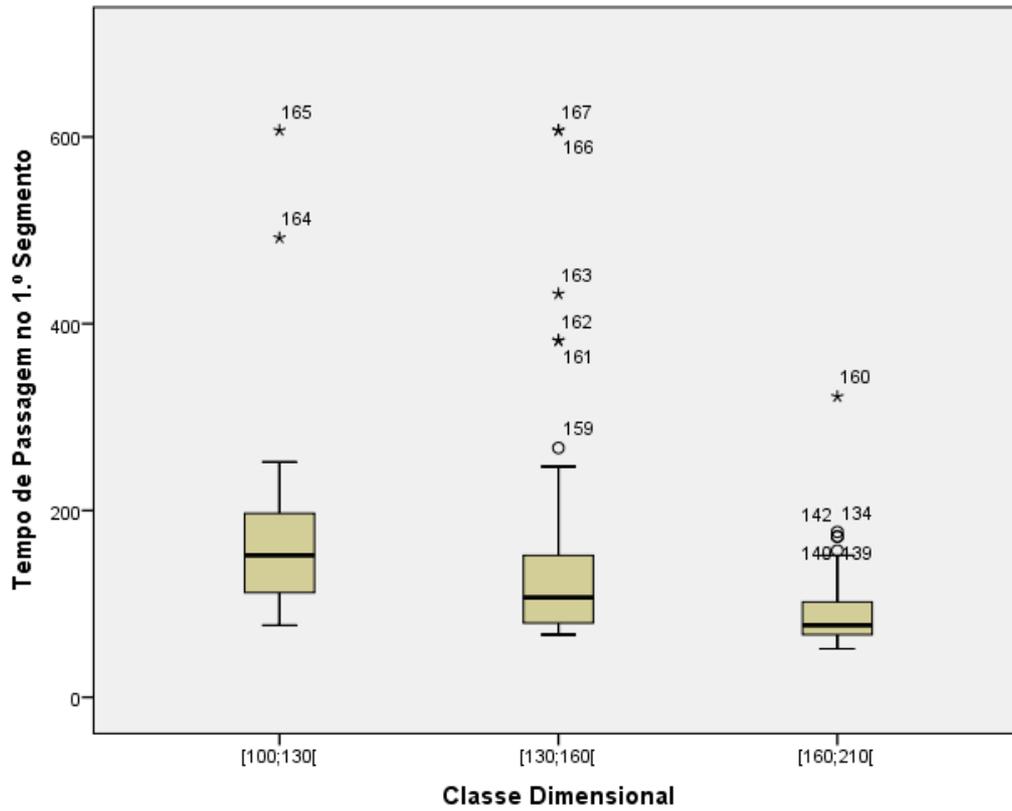


Figura 34 - Representação gráfica do tempo de passagem no 1.º segmento (min), por classes dimensionais (mm)

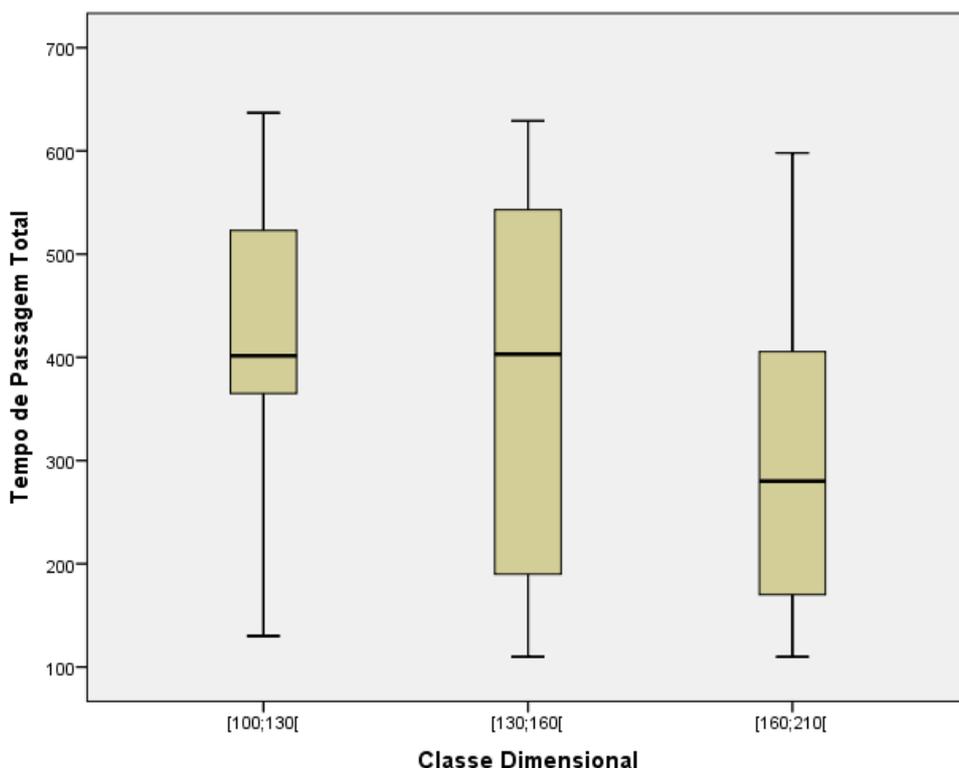


Figura 35 - Representação gráfica do tempo de passagem total (min), por classe dimensional (mm)

Observando as medianas (Tabela 4), verifica-se que as enguias de maior classe dimensional percorreram os percursos em menor tempo, e as menores em maior, sendo que as diferenças são mais acentuadas na passagem no primeiro segmento, em relação ao percurso total.

Tabela 3- Medianas de tempo de passagem (min) por classe dimensional (mm)

Classe Dimensional (mm)	Mediana (minutos)	
	1º Segmento	Total
[100;130[	152	395
[130;160[	107	403
[160;210[	77	309

Relativamente ao tempo que as enguias levaram a atingir a primeira bacia, o teste de Kruskal-Wallis revelou diferenças significativas ( $p=0,00$ ) entre as classes dimensionais, sendo que a classe dimensional tem influência no tempo de passagem do primeiro segmento, da bacia de libertação à bacia intermédia.

Os testes *a posteriori* revelaram diferenças significativas entre todas as classes dimensionais.

Relativamente ao percurso total, o nível de significância ( $p= 0,06337$ ) indica a ausência de diferenças significativas, ou seja, a classe dimensional não tem influência no tempo de passagem total.

### 3.3 Monitorização da PPEnguias

Os resultados da monitorização semanal da passagem para enguias (PPEnguias) que decorreu entre junho de 2016 e fevereiro de 2017, juntamente com a média mensal de temperatura da água (°C), foram organizados por meses (Figura 30).

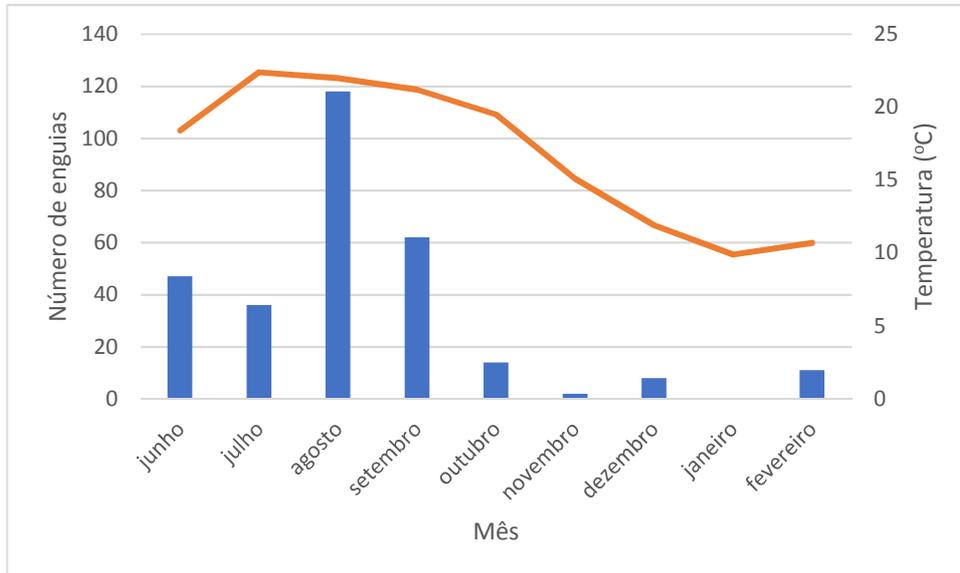


Figura 36 - Variação mensal da temperatura (°C) e do número de enguias (n=298) que utilizaram a PPEnguias entre junho de 2016 a fevereiro de 2017

No total, foram contabilizadas 298 enguias-europeias na PPEnguias. O mês com maior número de indivíduos foi agosto (#118), seguido de setembro (#62), sendo que os meses de novembro (#2) e janeiro (#0) foram os que apresentaram um menor número de indivíduos contabilizados. Os meses mais quentes (julho, agosto e setembro) corresponderam aproximadamente aos meses com mais recolhas de enguias.

A Figura 31 apresenta os comprimentos (mm) das enguias contabilizadas por mês.

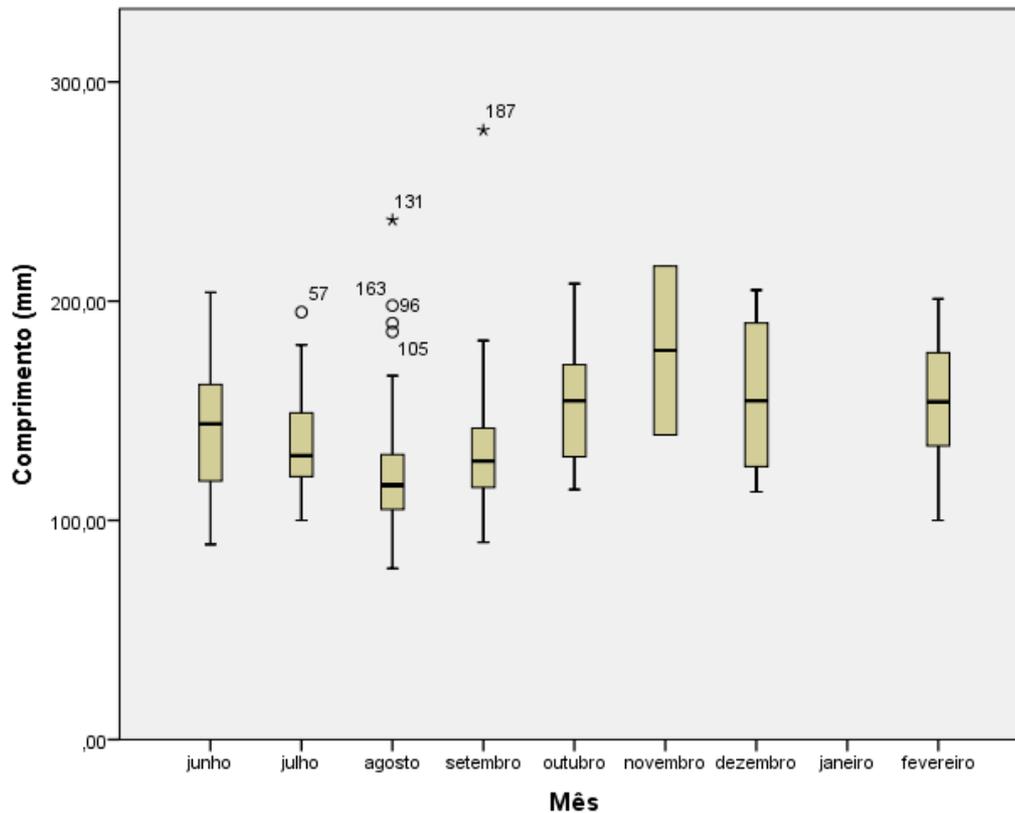


Figura 37 - Representação gráfica da variação mensal do comprimento total (mm) das enguias (n=279) que utilizaram a PPEnguias entre junho de 2016 a fevereiro de 2017

Observando os dados, verifica-se que novembro foi o mês em que o comprimento total médio (177,50mm) foi maior, por oposição a agosto, em que se registou o menor valor (120,64mm). O exemplar maior foi capturado em setembro (278,00mm) e o menor em agosto (78,00mm). Os animais mais pequenos utilizaram a passagem nos meses de julho, agosto e setembro, *i.e.*, durante o verão.

## 4. Discussão

A abundância de enguias nos cursos de água continentais está dependente do recrutamento em cada ano. A entrada no sistema dulçaquícola ocorre de forma faseada: primeiro, as angulas entram nos estuários, recorrendo ao transporte passivo como mecanismo de dispersão (Domingos, 2003), e influenciadas pela diminuição da temperatura (Tori *et al.*, 1990; Chen *et al.*, 1994; McKinnon e Gooley, 1998; Domingos, 2003), baixa salinidade (Tori *et al.*, 1990; McKinnon e Gooley, 1998), maré enchente (McKinnon e Gooley, 1998), elevada precipitação (Chen *et al.*, 1994; Domingos, 2003) e respetivo aumento do caudal dos rios (Domingos, 2003). Em Portugal, esta migração ocorre principalmente nos meses de outono e inverno (Weber, 1986; Domingos, 2003), sendo que se regista a entrada de meixão no rio Mondego ao longo de todo o ano (Domingos, 2003).

As enguias permanecem entre os estuários e o limite da maré por um período de tempo variável, durante o qual adquirem pigmentação e começam a alimentar-se, transformando-se em juvenis de enguia (Deelder, 1958; Weber, 1986; Domingos, 2003). Após este período, inicia-se a fase de progressão para montante, que geralmente tem início nos meses de primavera e verão (Domingos, 2003), de acordo com os resultados obtidos no presente estudo, em que o aumento da presença de juvenis a jusante do Açude-Ponte de Coimbra e, igualmente, na passagem para enguias (PPEnguias), ocorreu durante estas estações do ano.

A migração de enguias para montante dos rios é principalmente influenciada pelo aumento da temperatura (Gascuel, 1986; White e Knights, 1997; Domingos *et al.*, 2006), iniciando-se, normalmente, no caso do rio Mondego, quando esta atinge valores superiores a 20°C (Domingos, 2003). Esta influência justifica o aparecimento do pico de migração de juvenis nos meses mais quentes de primavera e verão, durante os quais a temperatura aumenta de forma significativa e se mantém, geralmente, acima do valor mínimo de estimulação. Deve-se, contudo, ter em conta que esta análise não incluiu todos os meses do ano, o que poderá ter influência nestes resultados.

Determinar o pico de migração da espécie-alvo numa passagem para peixes é um ponto fulcral ao seu bom funcionamento, uma vez que permite fazer uma gestão racional das ações de monitorização e manutenção (Porcher e Larinier, 2002). No caso da PPEnguias do Açude-Ponte de Coimbra, este implicará a preparação prévia do dispositivo para o maior fluxo de passagens (limpeza, substituição de componentes, etc.) e a diminuição do intervalo entre monitorizações durante os meses mais quentes.

O padrão normal de distribuição de enguia-europeia num rio inclui o máximo de abundância a meio do estuário, diminuindo para jusante e montante, e aumento do tamanho dos indivíduos ao longo do percurso de jusante para montante (Naismith e Knights, 1993; Tzeng *et al.*, 1995; Costa *et al.*, 2008; Lasne *et al.*, 2008). No rio Mondego, este gradiente apresenta uma quebra abrupta ao nível do Açude-Ponte de Coimbra (Domingos, 2003; Domingos *et al.*, 2006; Monteiro, 2015), o que demonstra o efeito

barreira que esta infraestrutura tem na continuidade longitudinal do rio, limitando a migração da enguia-europeia neste troço. Esta quebra está representada pela acumulação de enguias a jusante do dispositivo, sendo reduzida a proporção de juvenis que consegue transpor este obstáculo, para montante, e prosseguir o percurso migratório. Além disso, esta diferenciação entre os troços a jusante e a montante do Açude-Ponte de Coimbra sugere que a passagem multiespecífica para peixes (PPPeixes) não atenua o efeito barreira do obstáculo. O diminuto impacto positivo desta passagem na população de enguia-europeia no rio Mondego confere maior importância à implementação da PPEnguias neste local.

As enguias apresentam elevada capacidade de reptação, optando, geralmente, por rastejar em vez de nadar na coluna de água, característica aproveitada no desenho das passagens, que oferecem um substrato que, conforme o material, dimensão e espaçamento, facilite a progressão das enguias (Solomon e Beach, 2004). No caso da seleção de tapetes de cerdas como substrato, observa-se a influência da densidade das cerdas na progressão das enguias, sendo que maior densidade promove a passagem de indivíduos de menor comprimento, e menor densidade a passagem de enguias maiores (Legault, 1992). As caleiras inclinadas da PPEnguias, cobertas com este tipo de substrato, apresentam densidades diferenciadas, o que permitiu a passagem de exemplares de uma elevada gama de comprimentos, aumentando a amplitude da ação do dispositivo.

Relativamente ao interior do dispositivo, uma passagem para enguias deve manter um caudal que permita a subida dos juvenis sem os arrastar, sendo que a água apenas escorre pelo percurso. Contudo, o caudal tem que ser o suficiente para encaminhar as enguias pela passagem, o que pode ser providenciado, quando necessário, por fornecimento adicional de água (FAO/DVWK, 2002; Solomon e Beach, 2004).

Na PPEnguias, a primeira zona apresenta declive acentuado, devido à disposição das caleiras, o que se reflete num caudal elevado, mas adequado à subida dos juvenis, dada a sua facilidade de progressão. Por outro lado, a segunda zona, representada por um tubo de 60m sem substrato, oferece uma inclinação suave. Esta transição demonstra uma quase anulação do declive após a bacia de descanso que separa estas duas zonas. A fraca inclinação implica a redução do caudal, o que, aliado à ausência de substrato, se poderá traduzir na diminuição do estímulo que a água proporciona e que impulsiona a deslocação das enguias. Assim, os juvenis poderão ficar acumulados na bacia intermédia durante algum tempo até entrarem na Zona de Progressão, e depois reduzir a velocidade durante este percurso, demorando mais tempo a entrar no tubo e a atravessá-lo. Isto poderá explicar o facto de não existir influência do tamanho dos indivíduos no tempo de conclusão do percurso da PPEnguias: após provável acumulação de enguias das várias classes dimensionais na bacia intermédia, e um possível abrandamento na progressão durante a segunda zona, as diferenças encontradas para a primeira zona acabam por ser anuladas.

A configuração da segunda zona é, no entanto, imprescindível para garantir que a PPEnguias permita um local de libertação no troço a montante do Açude-Ponte de Coimbra que seja seguro. Devido à baixa capacidade de natação dos juvenis de enguia,

a saída da passagem tem de se localizar numa zona a uma distância apropriada do açude e com um caudal adequado, de forma a garantir que os animais não são arrastados para jusante (FAO/DVWK, 2002; Solomon e Beach, 2004). Apesar de esta disposição desacelerar o percurso das enguias pela PPEnguias, não se mostrou limitativa, ou seja, os animais concluem o trajeto com sucesso.

Durante o ensaio de funcionamento realizado neste estudo, a contabilização de indivíduos através da captura com baldes, apesar de não ter envolvido manipulação direta, parece ter afetado o comportamento das enguias, tendo-se notado uma maior movimentação de animais com o aumento do intervalo entre contagens. A diminuição na manipulação terá reduzido o stress das enguias, o que fez com que estas progredissem mais rapidamente no trajeto até à bacia de monitorização. Numa situação normal, com ausência de manipulação, as enguias teriam eventualmente terminado o trajeto mais rapidamente.

O desempenho de uma passagem para peixes pode ser qualificado tendo em conta a sua eficácia e eficiência. A eficácia de um dispositivo deste tipo está relacionada com as espécies-alvo que a utilizam, tendo em conta as variações do meio durante o período de migração, sendo um conceito qualitativo (Larinier e Marmulla, 2004). Desta forma, podemos assumir que a PPEnguias do Açude-Ponte de Coimbra é eficaz, uma vez que permite a utilização desta estrutura por parte da espécie-alvo ao longo de todo o período deste estudo. Além disso, durante o ensaio, 75% das enguias libertadas completaram o percurso, indicando a adequabilidade do seu desenho e localização à situação do açude.

A eficiência, por outro lado, é um conceito quantitativo. Segundo Larinier e Marmulla (2004): “Pode ser definida como a proporção de *stock* presente na barragem que depois entra e com sucesso se move através da passagem para peixes no que é considerado um período de tempo aceitável.” Segundo estes autores, pode ser expressa como a percentagem da população que transpõe o obstáculo, ou o tempo que demora a fazê-lo. O cálculo da eficiência implica, assim, o conhecimento do estado da população, em particular a abundância no troço a jusante, dados não disponíveis para o ano de monitorização da PPEnguias do Açude-Ponte de Coimbra. Para obter este parâmetro, seria importante realizar ações de marcação da população de enguia-europeia existente a jusante do Açude-Ponte de Coimbra, em simultâneo com a monitorização da passagem para enguias.

Com o objetivo de melhorar o acesso de enguias à PPEnguias, foi instalado um sistema de *air lift* conectando esta passagem à PPeixes. Este permite que enguias que entram na PPeixes sejam encaminhadas por um tubo que dá acesso à sétima bacia da PPEnguias, conectada à bacia de monitorização. Assim, garante-se que maior número de exemplares atravesse, com segurança, para o troço a montante do açude, e que esta travessia seja registada na monitorização da passagem.

Contudo, o impacto do *air lift* não está, ainda, aferido, uma vez que o atual processo de monitorização de ambas as passagens não permite observar a captura de animais através deste sistema, uma vez que não existe, na bacia de monitorização da

PPEnguias, nenhum método de separação dos juvenis que entraram pela PPEnguias dos que entram pelo *air lift*. Seria relevante aferir a sua utilização por parte dos animais, de forma a determinar se é um melhoramento funcional e que limitações apresenta, de forma a corrigi-las. Tal poderia ser alcançado implementando uma monitorização através de vídeo ou fotografia, ou colocando uma manga de rede na saída do *air lift*, na sétima bacia, de forma a assegurar a separação entre as enguias que a alcançassem através do percurso da PPEnguias e através do *air lift*. Outro estudo possível seria a realização de um ensaio de avaliação do funcionamento, semelhante ao definido para a PPEnguias, que fornecesse dados acerca do comportamento dos animais neste sistema e a sua capacidade para alcançar a entrada e percorrer o trajeto até ao final.

Em termos de metodologia de monitorização aplicada na PPEnguias, a recolha de exemplares com rede na bacia de monitorização revelou-se adequada, uma vez que a mortalidade neste espaço foi nula e a frequência de visitas e manutenção impediu a acumulação de indivíduos. O seu acesso e o processo de monitorização não implicam atividades ou ações potencialmente perigosas, fator limitante do funcionamento de algumas passagens para peixes (Solomon e Beach, 2004).

É comum que problemas como a avaria de bombas que regulam o caudal, que ocorreu pontualmente na PPEnguias; a colmatação de redes, que afetou este dispositivo a partir de novembro de 2017, implicando limpeza regular; e a acumulação de lixo e de algas nos segmentos da passagem afetem o normal funcionamento de infraestruturas deste tipo. Assim, a sua manutenção ganha elevada importância, sendo necessário definir a frequência de visitas consoante as características de cada passagem (Solomon e Beach, 2004). No caso da PPEnguias, esta revela-se crucial na época de migração de juvenis, para garantir o sucesso da monitorização, e nos meses mais húmidos, quando existe maior propensão para a acumulação de algas na estrutura.

Por se tratar da primeira passagem dedicada a juvenis de *A. anguilla* instalada em Portugal, a PPEnguias é um projeto pioneiro a nível nacional. A continuidade da sua monitorização e avaliação do seu funcionamento é de extrema importância, e permitirá aferir o real impacto desta infraestrutura na população de enguia-europeia no rio Mondego. Será favorável o estudo de uma monitorização anual, bem como ao longo de vários anos, e a repetição de ensaios de funcionamento, garantindo a manutenção de resultados positivos. A determinação da eficiência da PPEnguias permitirá aplicar eventuais melhoramentos de forma a otimizar a sua prestação, tendo em conta os fatores que influenciam o desempenho de uma passagem e possíveis limitações. Todos os dados obtidos serão úteis em futuras implementações de dispositivos deste tipo no país e na restante área de distribuição da espécie na Europa.

## 5. Referências Bibliográficas

Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26: 32-46.

Anderson, M., Gorley, R. N., e Clarke, K. (2008). *PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods*. PRIMER-E Ltd.

Anónimo. (2008). Plano de Gestão da Enguia – Resposta do Estado Português ao Regulamento (CE) nº1100/2007, de 18 de setembro. Dezembro de 2008.

APA. (2017a). Passagem Para Peixes do Açude-Ponte de Coimbra. Obtido em 20 de fevereiro de 2017, de Agência Portuguesa do Ambiente:  
<https://www.apambiente.pt/index.php?ref=19&subref=138&sub2ref=766&sub3ref=1307>

APA. (2017b). A nova Passagem Para Peixes do Açude-Ponte de Coimbra. Obtido em 20 de fevereiro de 2017, de Passagem para Peixes, Coimbra:  
<http://apambiente.wixsite.com/pppeixescoimbra/page3>

Arai, T., Otake, T., e Tsukamoto, T. (2000). Timing of metamorphosis and larval segregation of the Atlantic eels *Anguilla rostrata* and *A. anguilla*, as revealed by otolith microstructure and microchemistry. *Marine Biology*, 137: 33-45.

ARKive. (2017). European eel (*Anguilla anguilla*). Obtido em 17 de fevereiro de 2017, de ARKive: <http://www.arkive.org/european-eel/anguilla-anguilla/image-A24607.html>

Autoridade Marítima Nacional. (9 de julho de 2015). Edital n.º 617/2015 de 9 de julho de 2015 da Autoridade Marítima Nacional. Diário da República: II série, n.º 132. Obtido de [www.dre.pt](http://www.dre.pt)

Barbosa, A., Ramos, C., e Jorge, G. (2004). *Dimensionamento da Passagem de Peixes do Açude-Ponte de Coimbra*. 7th National Water Congress.

Behrmann-Godel, J., e Eckmann, R. (2003). A preliminary telemetry study of the migration of silver European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the River Mosel, Germany. *Ecology of Freshwater Fish*, 12: 196-202.

Briand, C., Fatin, D., e Legault, A. (2002). Role of eel odour on the efficiency of an eel, *Anguilla anguilla*, ladder and trap. *Environmental Biology of Fishes*, 65: 473-477.

Briand, C., Fatin, D., Fontenelle, G., e Feunteun, E. (2005). Effect of re-opening of a migratory pathway for eel (*Anguilla anguilla*, L.) at a watershed scale. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 378-379: 67-86.

Bruslé, J. (1994). L'anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 335: 237-260.

- Cabral, M. J., Almeida, J., Almeida, P. R., Delliger, T., Ferrand de Almeida, N., Oliveira, M. E., . . . Santos-Reis, M. (2005). *Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal*. Lisboa: Instituto da Conservação da Natureza.
- Cardoso, G. R. (2014). Monitorização da passagem para peixes do Açude-Ponte em Coimbra: otimização da metodologia de contagem. Master's thesis, Universidade de Évora.
- Chen, Y. L., Chen, H., e Tzeng, W. (1994). Reappraisal of the Importance of Rainfall in Affecting Catches of *Anguilla japonica* Elvers in Taiwan. *Marine and Freshwater Research*, 45: 185-190.
- Clarke, K. R., e Gorley, R. N. (2006). *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. Plymouth: PRIMER-E.
- Clay, C. H. (1995). *Design of Fishways and Other Fish Facilities*. CRC Press.
- Comparini, A., e Schoth, M. (1982). Comparison of electrophoretic and meristic characters of 0-group eel larvae from the Sargasso Sea. *Helgoländer Meeresunters*, 35: 289-299.
- Costa, J.L., Domingos, I., Assis, C.A., Almeida, P.R., Moreira, F., Feunteun, E. e Costa, M.J. (2008). Comparative ecology of the European eel, *Anguilla anguilla* (L., 1758), along a large Iberian River. *Environmental Biology of Fishes*, 81: 421-434.
- Cullen, P., e McCarthy, T. K. (2003). Hydrometric and meteorological factors affecting the seaward migration of silver eels (*Anguilla anguilla*, L.) in the lower River Shannon. *Environmental Biology of Fishes*, 67: 349-357.
- Deelder, C. L. (1954). Factors affecting the migration of the silver eel in Dutch inland waters. *Journal du Conseil*, 20: 177-185.
- Deelder, C. L. (1958). On the behaviour of elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.) migrating from the sea into fresh water. *Journal du Conseil*, 24: 135-146.
- Dekker, W. (2003a). On the distribution of the European eel (*Anguilla anguilla*) and its fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60: 787-799.
- Dekker, W. (2003b). Status of the European eel stock and fisheries. In *Eel biology*, (pp. 237-254). Springer Japan.
- Dekker, W. (2004). Synthesis and discussion: Population dynamics of the European eel. In *Slipping through our hands*, 127.
- Domingos, I. (1992). The fluctuation of glass eel migration in the Mondego estuary (Portugal). *Irish Fisheries Investigations, Series A (Freshwater)*, 36: 1-4.
- Domingos, I. (2002). Glass Eel Migration and Fisheries in the Mondego Estuary - Future Perspectives: 493-503. In *Aquatic Ecology of the Mondego River Basin. Global Importance of Local Experience*. (Pardal, M.A., Marques, J.C. e Graça, M.A. Eds.). Imprensa Universidade de Coimbra.

- Domingos, I. (2003). A Enguia-Europeia, *Anguilla anguilla* (L., 1758), na bacia hidrográfica do rio Mondego. PhD Thesis. Portugal: Universidade de Lisboa.
- Domingos, I., Chainho, P., Costa, J. L., Almeida, P. R., e Costa, M. J. (2002). Factors affecting the distribution of fish communities in the river Mondego and main tributaries. In *Aquatic ecology of the Mondego River basin global importance of local experience*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Domingos, I., Costa, J. L., e Costa, M. J. (2006). Factors determining length distribution and abundance of the European eel, *Anguilla anguilla*, in the River Mondego (Portugal). *Freshwater Biology*, 51: 2265–2281.
- Durif, C. M., Gjørseter, J., e Vøllestad, L. A. (2011). Influence of oceanic factors on *Anguilla anguilla* (L.) over the twentieth century in coastal habitats of the Skagerrak, southern Norway. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 278: 464-473.
- EEA (2008) Reservoirs and dams. Obtido em 26 de março de 2017, de EEA European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/reservoirs-and-dams>
- Eel Stewardship Association. (2016). Der Europäische Aal (*Anguilla anguilla*). Obtido em 20 de fevereiro de 2017, de Eel Stewardship Fund: <http://www.esf.international/de/the-european-eel-anguilla-anguilla/>
- Ege, V. (1939). *A revision of the genus Anguilla Shaw, a systematic, phylogenetic and geographical study*. Oxford University Press.
- Engström, H. (2001). Effects of Great Cormorant predation on fish populations and fishery. PhD Thesis. Acta Universitatis Upsaliensis.
- FAO. (1 de janeiro de 2004). Cultured Aquatic Species Information Programme. *Anguilla anguilla*. Cultured Aquatic Species Information Programme. Obtido em 25 de janeiro de 2017, de FAO Fisheries and Aquaculture Department: [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Anguilla\\_anguilla/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Anguilla_anguilla/en)
- FAO. (2016). AQUASTAT website. Obtido em 17 de fevereiro de 2017, de Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dams/index.stm>
- FAO/DVWK. (2002). Fish passes – Design, dimensions and monitoring. Roma: FAO.
- Feunteun, E. (2002). Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): an impossible bargain. *Ecological Engineering*, 18: 575-591.
- Gascuel, D. (1986). Flow-carried and active swimming migration of the glass eel (*Anguilla anguilla*) in the tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast. *Helgoländer Meeresunters*, 40: 321-326.

Grassi, G. B. (1896). The reproduction and metamorphosis of the common eel (*Anguilla vulgaris*). *Proceedings of the Royal Society of London*, 60: 260-271.

Henderson, P. A., Plenty, S. J., Newton, L. C., e Bird, D. J. (2012). Evidence for a population collapse of European eel (*Anguilla anguilla*) in the Bristol Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92: 843-851.

Hildebrand, H. (2005). Size, age composition, and upstream migration of American eels at the at the Millville Dam eel ladder, Shenandoah River, West Virginia. PhD Thesis. West Virginia University.

IBM Corp. (2013). *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0*. Armonk, NY: IBM Corp.

ICES. (2003). Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels. ICES C.M. 2003/ACFM: 06. França: International Council for the Exploration of the Sea.

ICES. (2013). Report of the Workshop on Evaluation Progress Eel Management Plans (WKEPEMP). ICES Advisory Committee.

INAG, I.P. (2008). Manual para a avaliação biológica da qualidade da água em sistemas fluviais segundo a Diretiva Quadro da Água – Protocolo de amostragem e análise para a fauna piscícola. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água, I. P.

Jacoby, D., e Gollock, M. (2014). *Anguilla anguilla*. Obtido de The IUCN Red List of Threatened Species 2014: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T60344A45833138.en>

Jamieson, A., e Turner, R. J. (1980). Muscle protein differences in two eels *Anguilla anguilla* L. and *Anguilla rostrata* (Le Seuer). *Biological journal of the Linnean Society*, 13: 41-45.

Køie, M. (1991). Swimbladder nematodes (*Anguillicola* spp.) and gill monogeneans (*Pseudodactylogyrus* spp.) parasitic on the European eel (*Anguilla anguilla*). *Journal du Conseil: ICES Journal of Marine Science*, 47: 391-398.

Kottelat, M., e Freyhof, J. (2008). *Anguilla anguilla*. In *The IUCN Red List of Threatened Species* (2016-3 ed.).

Laffaille, P., Acou, A., Guillouët, J., e Legault, A. (2005). Temporal changes in European eel, *Anguilla anguilla*, stocks in a small catchment after installation of fish passes. *Fisheries Management and Ecology*, 12: 123-129.

Larinier, M. (2001). Environmental issues, dams and fish migration. *FAO fisheries Technical Paper*, 419: 45-89.

Larinier, M., e Dartiguelongue, J. (1989). La circulation des poissons migrateurs: le transit à travers les turbines des installations hydroélectriques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 312-313: 1-87.

- Larinier, M., e Marmulla, G. (2004). Fish passes: types, principles and geographical distribution—an overview. *Proceedings of the second international symposium on the management of large rivers for fisheries*, 2: 183-206.
- Lasne, E., Acou, A., Vila-Gispert, A., e Laffaille, P. (2008). European eel distribution and body condition in a river floodplain: effect of longitudinal and lateral connectivity. *Ecology of Freshwater Fish*, 17: 567-576.
- Lecomte-Finiger, R. (1994). The early life of the European eel. *Nature*, 370: 424.
- Legault, A. (1992). Étude de quelques facteurs de sélectivité de passes à anguilles. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 325: 83-91.
- Loureiro, J., Almeida, M., Machado, M., e Teixeira, E. (1986). *Monografias hidrológicas dos principais cursos de água de Portugal continental*. Lisboa.
- Marohn, L., Progge, E., e Hanel, R. (2014). Escapement success of silver eels from a German river system is low compared to management-based estimates. *Freshwater Biology*, 59: 64-72.
- McCleave, J. (1993). Physical and behavioral controls on the oceanic distribution and migration of leptocephali. *Journal of Fish Biology*, 43: 243-273.
- McCleave, J., Brickley, P., O'Brien, K., Kistner, D., Wong, M., Gallagher, M., e Watson, S. (1998). Do Leptocephali of the European Eel Swim to Reach Continental Waters? Status of the Question. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 78: 285-306.
- McKinnon, L. J., e Gooley, G. J. (1998). Key environmental criteria associated with the invasion of *Anguilla australis* glass eels into estuaries of south-eastern Australia. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 349: 117-128.
- Miller, M. J., Kimura, S., Friedland, K. D., Knights, B., Kim, H., Jellyman, D. J., e Tsukamoto, K. (2009). Review of ocean-atmospheric factors in the Atlantic and Pacific oceans influencing spawning and recruitment of anguillid eels. *American Fisheries Society Symposium*, 69: 231-249.
- Minegishi, Y., Aoyama, J., Inoue, J. G., Miya, M., Nishida, M., e Tsukamoto, K. (2005). Molecular phylogeny and evolution of the freshwater eels genus *Anguilla* based on the whole mitochondrial genome sequences. *Molecular phylogenetics and evolution*, 34: 134-146.
- Monteiro, R. (2015). A enguia-europeia no Rio Mondego: estrutura populacional, taxa de prateação e fuga de reprodutores. PhD Thesis. Universidade de Lisboa.
- Moriarty, C., e Dekker, W. (1997). *Management of the European Eel*. Marine Institute.
- Naismith, I. A., e Knights, K. (1993). The distribution, density and growth of the European eel, *Anguilla anguilla*, in the freshwater catchment of the River Thames. *Journal of Fish Biology*, 42: 217-226.

- Northwest Marine Technology, Inc. (2011). *Manual Elastomer Injection Systems. Instructions for 10:1 Visible Implant Elastomer.*
- Olivera, J. (2007). Ecologia dos peixes Continentais da Bacia Hidrográfica do rio Tejo: uma síntese. PhD Thesis. Instituto Superior de Agronomia, Secretária de Engenharia Florestal, Lisboa.
- Pacariz, S., Westerberg, H., e Björk, G. (2014). Climate change and passive transport of European eel larvae. *Ecology of Freshwater Fish*, 23: 86-94.
- Pankhurst, N. W. (1982). Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology*, 21: 127-140.
- Pankhurst, N. W., e Lythgoe, J. N. (1982). Structure and colour of the integument of the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology*, 21: 279-296.
- Pisces Conservation Ltd. (2017). All about eels. Obtido em 21 de fevereiro de 2017, de The Eels (England e Wales) Regulations 2009: [http://www.eelregulations.co.uk/content-007.html](http://www.eelregulations.co.uk/content/007.html)
- Porcher, J. P. (2002). Fishways for eels. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 364: 147-155.
- Porcher, J. P., e Larinier, M. (2002). Designing fishways, supervision of construction, costs, hydraulic model studies. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 364: 156-165.
- R Core Team. (2013). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Obtido de [www.R-project.org](http://www.R-project.org)
- Ramsar. (11 de maio de 2006). Portugal designates five varied Ramsar sites. Obtido em 17 de fevereiro de 2017, de Ramsar: Portugal designates five varied Ramsar sites
- Rodinò, E., e Comparimi, A. (1978). Biochemical polymorphism in teleosts. The eel problem. *Italian Journal of Zoology*, 45: 47-61.
- Rogado L. (coord.), Alexandrino P., Almeida P.R., Alves J., Bochechas J., Cortes R., Domingos I., Filipe F., Madeira J., Magalhães F. (2005). *Anguilla anguilla* Enguia-europeia pp 67-68. In *Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal* (Cabral, M. J. et al. (eds.)). Instituto da Conservação da Natureza. Lisboa
- Santo, M. (2005). *Dispositivos de passagem para peixes em Portugal*. Direção-Geral dos Recursos Florestais Lisboa: Editideias-Edição e Produção, Lda.
- Schmidt, J. (1906). Contributions to the life-history of the eel (*Anguilla vulgaris*, Flem.). *Rapports et Procès-verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 5: 137-264.
- Schmidt, J. (1909). On the distribution of the freshwater eels (*Anguilla*) throughout the world. I. Atlantic Ocean and adjacent region. *Meddelelser fra Kommissionen for Havundersøgelser. Serie Fiskeri*, 3: 1-45.

- Schmidt, J. (1912). The reproduction and spawning-places of the fresh-water eel (*Anguilla vulgaris*). *Nature*, 89: 633-636.
- Schmidt, J. (1923). The Breeding Places of the Eel. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 211: 179-208.
- Schmidt, R. E., O'Reilly, C. M., e Miller, D. (2009). Observations of American Eels Using an Upland Passage Facility and Effects of Passage on the Population Structure. *North American Journal of Fisheries Management*, 29: 715-720.
- Schoth, M. (1982). Taxonomic studies on the 0-group eel larvae (*Anguilla* sp.) caught in the Sargasso Sea in 1979. *Helgolander Meeresunters*, 35: 279-287.
- Solomon, D. J., e Beach, M. H. (2004). *Fish pass design for eel and elver (Anguilla anguilla)*. Bristol: Environment Agency.
- Strehlow, B. (1996). Biometric studies on premetamorphic eel larvae of *Anguilla anguilla* (*Anguilliformes*). *Helgolander Meeresuntersuchungen*, 50: 415-424.
- Tagliavini, J., Gandolfi, G., Cau, A., Salvadori, S., e Deiana, A. M. (1995). Mitochondrial DNA variability in *Anguilla anguilla* and phylogenetical relationships with congeneric species. *Italian Journal of Zoology*, 62: 147-151.
- Tesch, F. W. (1974). Influence of geomagnetism and salinity on the directional choice of eels. *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 26: 382-395.
- Tesch, F. W. (2003). *The Eel*. (Thorpe, J. E. Ed.) Blackwell Science.
- Tosi, L., e Sola, C. (1993). Role of Geosmin, a Typical Inland Water Odour, in Guiding Glass Eel *Anguilla anguilla* (L.) Migration. *Ethology*, 95: 177-185.
- Tzeng, W.-N., Cheng, P.-W., e Lin, F.-Y. (1995). Relative abundance, sex ratio and population structure of the Japanese eel *Anguilla japonica* in the Tanshui River system of northern Taiwan. *Journal of Fish Biology*, 46: 183-200.
- União Europeia. (18 de setembro de 2007). Regulamento (CE) n.º 1100/2007 do Conselho, de 18 de setembro de 2007, que estabelece medidas para a recuperação da unidade populacional de enguia europeia. Jornal Oficial da União Europeia L 248/17. Obtido de <http://data.europa.eu/eli/reg/2007/1100/oj>
- van Ginneken, V. J., e Maes, G. E. (2005). The European eel (*Anguilla anguilla*, Linnaeus), its lifecycle, evolution and reproduction: a literature review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15: 367-398.
- van Ginneken, V., Durif, C., Balm, S. P., Boot, R., Verstegen, M. W., Antonissen, E., e Thillart, G. V. (2007). Silvering of European eel (*Anguilla anguilla* L.): seasonal changes of morphological and metabolic parameters. *Animal Biology*, 57: 63-77.
- Vollestad, L. A., e Jonsson, B. (1988). A 13-year study of the population dynamics and growth of the European eel *Anguilla anguilla* in a Norwegian river: evidence for

density-dependent mortality, and development of a model for predicting yield. *The Journal of Animal Ecology*, 57: 983-997.

Watanabe, S. (2003). Taxonomy of the freshwater eels, genus *Anguilla* Schrank, 1798. In *Eel biology* (pp. 3-18). Springer Japan.

Weber, M. (1986). Fishing methods and seasonal occurrence of glasseels (*Anguilla anguilla* L.) in the Rio Minho, West Coast of the Iberian Peninsula. *Vie et Milieu*.

White, E. M., e Knights, B. (1997). Environmental factors affecting migration of the European eel in the Rivers Severn and Avon, England. *Journal of Fish Biology*, 50: 1104-1116.