



UNIVERSIDADE D  
**COIMBRA**

João Mendes Videira Sousa

**EFEITOS A LONGO PRAZO DA VARIABILIDADE  
CLIMÁTICA NA DINÂMICA POPULACIONAL DE  
CAMARÃO-MOURO *CRANGON CRANGON***

Dissertação no âmbito do Mestrado em Ecologia orientada pelo Doutor Ivan Daniel dos Santos Martins Viegas e pelo Doutor Filipe Miguel Duarte Martinho e apresentada ao Departamento de Ciências da Vida Universidade de Coimbra

Outubro de 2021

Departamento de Ciências da Vida da Faculdade de Ciências e  
Tecnologia da Universidade de Coimbra

**EFEITOS A LONGO PRAZO DA VARIABILIDADE  
CLIMÁTICA NA DINÂMICA POPULACIONAL DE  
CAMARÃO-MOURO *CRANGON CRANGON***

João Mendes Videira Sousa

Dissertação no âmbito do Mestrado em Ecologia orientada pelo Doutor Ivan Daniel dos Santos Martins Viegas e pelo Doutor Filipe Miguel Duarte Martinho e apresentada ao Departamento de Ciências da Vida Universidade de Coimbra

Outubro de 2021



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

# Financiamentos

Projecto “ReNATURE - Valorização dos Recursos Naturais Endógenos da Região Centro” (CENTRO-01-0145-FEDER-000007), financiado pela Comissão de Coordenação da Região Centro (CCDR-C) e o Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

PT2020 Partnership Agreement and COMPETE 2020 by the Centre for Functional Ecology Strategic Project (UID/BIA/04004/2021).



# Agradecimentos

A realização deste trabalho não é meramente resultado de um esforço individual, mas sim com a ajuda e apoio de várias pessoas, às quais quero deixar aqui o meu especial agradecimento.

Ao Professor Doutor Miguel Pardal por me ter dado a oportunidade de entrar num excelente grupo de trabalho. Mas também por tudo o que aprendi com ele enquanto aluno e por sempre fomentar o meu espírito crítico.

Aos meus orientadores Dr. Ivan Viegas e Dr. Filipe Martinho, pessoas que sem dúvida tornaram este trabalho possível, sempre prontos a ajudar, partilhar o seu conhecimento científico, sabedoria, amizade e motivação. Um especial agradecimento ao Dr. Ivan que mesmo quando as coisas pareciam não ter solução, esteve cá para me apoiar e não me deixou desistir.

A restante equipa do Marine Research Lab – CEF por todo o apoio e ajuda prestados no laboratório e saídas de campo.

Aos meus amigos de longo termo que me acompanharam neste processo aos quais eu partilhei as minhas frustrações e sempre estiveram prontos para me ajudar a encontrar soluções. Obrigado André Proença, Catarina Falcão, Cláudia Leão, Fábio Mota, Mariana Madeira, Miguel Correia, Miguel Fonseca, Tiago Maceiras e muitos outros que podiam ficar esquecidos se escrevesse a todos.

Aos meus Bio amigos que me acompanham desde o início da licenciatura que não podia deixar de agradecer, sem dúvida que todos eles também foram uma peça fundamental para a realização deste trabalho. Obrigado Bruno Costa, Cátia Torres, Gonçalo Pereira, Maria Inês, Pedro Pires, Paulo Tenreiro e a todos os outros que me acompanharam no meu percurso por Coimbra.

A minha família, em especial a minha mãe pilar enorme da minha vida, que sempre me encorajou e fez acreditar que eu conseguia. Bem como as minhas tias, Isabel e Lurdes

que sem dúvida sem a vossa ajuda nunca teria chegado onde cheguei hoje, estarei eternamente grato por tudo.

Posto isto, dedico esta projeto a todos vocês, pois de certa forma todos contribuíram para que ele fosse realizado.

# Índice

<i>Resumo</i> .....	<b>1</b>
<i>Abstract</i> .....	<b>3</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>4</b>
1.1 – Ecossistemas estuarinos.....	<b>5</b>
1.2 - Estuário do Mondego.....	<b>6</b>
1.2.1 – Descrição e localização geográfica .....	6
1.2.2 – Impactos gerais .....	7
1.3 – Eventos climáticos extremos.....	<b>8</b>
1.4 - Camarão-mouro ( <i>Crangon crangon</i> ).....	<b>9</b>
1.4.1 - Considerações gerais.....	9
1.4.2 – Ciclo de Vida.....	10
1.4.3 – Papel trófico .....	11
1.4.4 - Valor comercial .....	12
1.5 – Objetivos.....	<b>13</b>
<b>2. Materiais e métodos</b> .....	<b>14</b>
2.1 - Amostragem .....	<b>15</b>
2.2 – Processamento e análise das amostras.....	<b>16</b>
2.2.1 – Procedimentos laboratoriais.....	16
2.2.2 - Medição e determinação do sexo .....	16
2.3 – Parâmetros ambientais.....	<b>17</b>
2.4 – Análise dos dados .....	<b>18</b>
2.4.1 - Estrutura da população .....	18
2.4.2 - Distribuição temporal e espacial.....	18
2.4.3 – Análise CUSUM.....	19
<b>3. Resultados</b> .....	<b>20</b>
3.1 – Aquisição de dados biológicos e ambientais.....	<b>21</b>
3.2 - Caracterização da população de <i>C. crangon</i> .....	<b>24</b>
3.2.1 – Dados gerais da população .....	24
3.2.2 – Distribuição intra-anual da população.....	26
3.2.3 – Distribuição inter-anual da população .....	28
3.3 – Distribuição temporal e espacial.....	<b>30</b>
3.4 – Análise CUSUM de <i>C. crangon</i> ao longo do tempo .....	<b>32</b>
<b>4. Discussão</b> .....	<b>35</b>
4.1 - Bases de dados de longa duração .....	<b>36</b>
4.2 - Dinâmica populacional .....	<b>36</b>
4.3 - Impacto dos eventos climáticos extremos na população de <i>C. crangon</i> .....	<b>39</b>
4.4 – Considerações finais.....	<b>41</b>
<i>Referências</i> .....	<b>43</b>

## Resumo

A monitorização de espécies é uma ferramenta importante para detetar alterações nos ecossistemas. Os eventos climáticos extremos têm vindo a aumentar a sua frequência e intensidade nas últimas décadas. A criação de bases de dados de longa duração permite-nos perceber como é que estas estão a responder a estas variações climáticas. Os objetivos deste estudo foram descrever a dinâmica populacional do camarão-mouro *Crangon crangon* no estuário do Mondego em termos de variação temporal e espacial, e os efeitos da variabilidade climática e de eventos climáticos extremos (secas e cheias) nesta população. *C. crangon* é uma espécie-chave neste ecossistema sendo uma importante presa para espécies de peixes com interesse comercial, bem como um importante predador de outros invertebrados bentónicos. As amostragens foram realizadas mensalmente desde 2003 a 2015, durante a noite recorrendo a uma rede de arrasto de vara de 2 metros. As densidades *C. crangon* foram padronizadas em indivíduos por 1000 m<sup>2</sup>.

Analisando a distribuição intra-anual de *C. crangon*, foi possível caracterizar o seu ciclo de vida no estuário do Mondego. Fêmeas e machos deslocam-se para o estuário na primavera, e no inverno migram de volta ao mar. Já os juvenis começam a aparecer dentro do estuário no início da primavera, ocorrendo de forma quase contínua até novembro. Analisando a variação inter-anual é possível ter uma perceção de como está espécie variou ao longo dos anos de estudo. A análise RDA permitiu diferenciar a distribuição espacial e temporal dos juvenis e machos ao longo dos anos caracterizados pelos períodos de seca, cheia e regulares. Através da análise das somas cumulativas (CUSUM) verificou-se uma correlação entre os juvenis e a maioria das variáveis ambientais e padrões climáticos como a Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e o Padrão do Atlântico Este (EAP). As fêmeas apresentam correlação apenas com o caudal e salinidade. Os machos não obtiveram nenhuma conexão com as variáveis ambientais utilizadas.

A ocorrência de eventos climáticos extremos leva à alteração da dinâmica populacional de *C. crangon*. Os nossos resultados demonstram que esta espécie beneficia de períodos de cheia, quando a salinidade é inferior e o caudal do rio maior, levando a um maior recrutamento de juvenis e ao aumento da densidade populacional dentro do estuário do Mondego.

**PALAVRAS – CHAVES:** *Crangon crangon*, Eventos climáticos extremos, Recrutamento, Dinâmica populacional.



## Abstract

Species monitoring is an important tool for detecting changes in ecosystems. Extreme weather events have been increasing in frequency and intensity in recent decades. The creation of long-term databases allows us to understand how they are responding to these climatic variations. The objectives of this study were to describe the population dynamics of the brown shrimp *Crangon crangon* in the Mondego estuary in terms of temporal and spatial variation, and the effects of climate variability and extreme weather events (droughts and floods) on this population. *C. crangon* is a key species in this ecosystem being an important prey for fish species of commercial interest, as well as an important predator of other benthic invertebrates. Samplings were carried out monthly from 2003 to 2015, at night using a 2-meter beam trawl. *C. crangon* densities were standardized in individuals per 1000 m<sup>2</sup>.

By analyzing the intra-annual distribution of *C. crangon*, it was possible to characterize its life cycle in the Mondego estuary. Females and males move into the estuary in spring, and in winter migrate back to the sea. Juveniles, on the other hand, start appearing inside the estuary at the beginning of spring, occurring almost continuously until November. By analyzing the inter-annual variation, it was possible to understand how the species varied over the years studied. The RDA analysis allowed differentiating the spatial and temporal distribution of juveniles and males over the years characterized by drought, flood and regular periods. Through the analysis of cumulative sums (CUSUM) a correlation was found between juveniles and most environmental variables and weather patterns such as the North Atlantic Oscillation (NAO) and the East Atlantic Pattern (EAP). Females show correlation only with flow rate and salinity. Males revealed no correlation with the environmental variables used.

The occurrence of extreme climatic events leads to changes in the population dynamics of *C. crangon*. Our results show that this species benefits from flood periods, when salinity is lower and river flow is higher, leading to greater recruitment of juveniles and increased population density in the Mondego estuary.

**Keywords:** *Crangon crangon*, Extreme weather events, Recruitment, Population dynamics.

# 1. Introdução

## 1.1 – Ecossistemas estuarinos

Os estuários são zonas de transição entre os rios e o mar, onde água doce e salina se misturam criando um gradiente de salinidade, oxigênio e temperatura que define a especificidade das características bióticas e abióticas deste ecossistema de transição. Estes fatores possuem uma grande influência na diversidade e densidade de peixes e invertebrados que podem ser encontrados nestes sistemas (Whitfield 1999). Os estuários são altamente dinâmicos e heterogêneos em termos de parâmetros físico-químicos, suportando assim uma enorme biodiversidade aquática, mas também terrestre.

Ecologicamente, os estuários são muito importantes para as comunidades de peixes e invertebrados, incluindo espécies de valor comercial, uma vez que fornecem habitats de reprodução, zonas viveiro, rotas para peixes migratórios e proteção contra predadores (Baptista et al. 2013; Cariou et al. 2020; Martinho et al. 2008; Nyitrai et al. 2013). A distribuição temporal das comunidades biológicas nestes locais é muitas vezes o resultado do estabelecimento sazonal ou ondas de migração dos estádios juvenis. A maioria das espécies desovam em águas profundas junto à costa e invadem, como larvas tardias ou juvenis iniciais, os estuários na primavera/verão, quando essas áreas são relativamente quentes e ricas em alimento (Bergman et al. 1988; Beukema et al. 1998; Guerreiro et al. 2021; Marchand 1991).

Para além dos serviços ecológicos como zonas viveiro, estes ecossistemas providenciam diversos serviços e bens importantes para a humanidade. Devido à sua localização, geralmente perto de grandes cidades, estes fornecem áreas de lazer e turismo, proteção contra eventos climáticos, reposição dos stocks pesqueiros, reciclagem de sedimentos e nutrientes, entre outros, que tornam estes locais extremamente valiosos (Barbier et al. 2012) e que, por conseguinte, faz com que sejam dos sistemas naturais mais ameaçados globalmente. Ao longo das últimas décadas, a sua deterioração tem sido intensificada pela atividade humana (Barbier et al. 2011). É necessário reconhecer os serviços dos ecossistemas que constituem as contribuições diretas e indiretas destes ecossistemas para o bem estar humano (De Groot et al. 2012) e essenciais a sobrevivência humana (Kremen 2005). Classificando-os de uma forma abrangente assim poderemos entender os seus benefícios e protegê-los de forma a preservar o seu valor.

## 1.2 - Estuário do Mondego

### 1.2.1 – Descrição e localização geográfica

O estuário do Mondego situa-se na costa oeste de Portugal (40°08 N, 8°50 W). Caracteriza-se por possuir um clima mediterrânico, com uma forte variação sazonal e inter-anual do caudal associado a eventos de cheia e seca. Recebe a grande maioria de água doce proveniente do rio Mondego que nasce na Serra da Estrela a 1525 m de altitude e que ao longo de uma extensão de 258 km possui uma bacia hidrográfica com 6670 km<sup>2</sup>. Possui uma forma peculiar, a cerca de 7 km da foz divide-se em dois braços (norte e sul), criando uma ilha de aluvião conhecida como ilha da Murraceira. Estes dois braços, possuem características morfológicas e hidrológicas muito distintas, no entanto perto da embocadura juntam-se de novo.

O braço norte é mais profundo (5 a 10 m durante a preia mar, amplitude de maré de 2 a 3 m), sendo este o canal principal de navegação do porto comercial da Figueira da Foz. Como consequência dos efeitos do caudal de água doce e penetração das marés, o braço norte apresenta maiores mudanças diárias de salinidade, e os seus sedimentos de fundo são constituídos por sedimentos de granulometria mais grosseira (Augusto et al. 2016).

O braço sul é mais raso (2 a 4 m de profundidade durante a preia mar) e é caracterizado por grandes áreas de planícies intertidais expostas durante a maré baixa (Nyitrai et al. 2013) e constituído essencialmente por sedimentos vasosos, característicos de áreas com maior estabilidade e de menor hidrodinamismo (Folha 2011). Apresenta uma flora típica de sapal, como *Scirpus maritimus* (Linnaeus, 1758), que ocupam as zonas da vasa mais interiores, *Spartina maritima* ((Curtis) Fernald) que ocorrem nas zonas mais a jusante, e por bancos de *Zostera noltii* (Hornemann 1832), que ocupam as zonas intermédias de vasa e areia (Lillebø et al. 2004). A água depende principalmente das marés e das descargas de água doce provenientes do Rio Pranto que são controladas de acordo com as necessidades hídricas dos campos agrícolas do vale do Mondego (Augusto et al. 2016; Martins et al. 2001) , havendo maior variação de temperatura.

Vários estudos realizados no estuário do Mondego, indicam que este é um importante berçário para espécies marinhas de peixe tais como o robalo *Dicentrarchus*

*labrax*, solha-das-pedras *Platichthys flesus* e linguado *Solea solea* (Dolbeth et al. 2010; Leitão et al. 2007; Martinho et al. 2007, 2009; Primo et al. 2021; Tanner et al. 2011; Vasconcelos et al. 2008). O mesmo acontece para espécies de invertebrados como *C. crangon* e o caranguejo *Carcinus maenas* os quais ocorrem no estuário em diferentes estágios de vida e estações do ano (Monteiro et al. 2021; Viegas et al. 2012). Devido à sua diversidade e abundância de alimento, é também um local muito importante para aves limícolas migratórias restabelecerem as suas energias no seu percurso de migração e um bom local de invernada (Lopes et al. 2000).

O valor do estuário do Mondego também envolve uma componente socio-cultural e económica. Com o aumento da oferta de ecoturismo, esta região têm sido muito procuradas pelas diversas oportunidades, como lazer, observação de aves, observação do processo tradicional de extração de sal *in situ* e no Ecomuseu do sal (Costa et al. 2013). Com o abandono de algumas salinas a partir de 1986 iniciou-se uma conversão de salinas inativas da Ilha da Murraceira e margens do braço sul em pisciculturas semi-intensivas de robalo (*Dicentrarchus labrax*) e dourada (*Sparus aurata*), representando atualmente uma importante atividade económica na região (Pinto et al. 2010).

### **1.2.2 – Impactos gerais**

Devido ao porto comercial da Figueira da Foz estar implantado no meio do estuário do Mondego, este ao longo das últimas décadas têm sido alvo de diversas perturbações antropogénicas. Vários projetos de construção e engenharia foram realizados especialmente no braço norte, como a intensa dragagem e mineração de areia para ampliar e facilitar o acesso dos navios ao porto comercial, alterando as suas características físicas (ex: profundidade e hidrodinâmica), sendo estas responsáveis pela diminuição da qualidade ambiental no estuário, que se refletiu na diminuição de biodiversidade (Baptista et al. 2015; Crespo et al. 2015).

Para além dos impactos causados pela dragagem, existem outros impactos antropogénicos, tal como a intensa exploração dos recursos biológicos de interesse económico, como peixes e invertebrados (Crespo et al. 2010; Martinho et al. 2015; Vasconcelos et al. 2007). Com a contínua exploração aquícola no estuário e desenvolvimento dos cultivos de arroz, predominantes no baixo Mondego, em

substituição, respetivamente, das culturas agrícolas tradicionais e salicultura, levou ao aumento das descargas de efluentes carregados de nutrientes, derivados dos tanques de aquacultura e dos fertilizantes e outros produtos químicos provenientes das culturas agrícolas do baixo Mondego (Teixeira et al. 2018).

A maioria dos estuários europeus foi, ou ainda é afetado pela poluição orgânica e descargas de nutrientes, que são responsáveis pela eutrofização (Marques et al. 1997). O estuário do Mondego não é exceção, havendo um incremento da eutrofização desde os anos 80 (Marques et al. 2003). A eutrofização é a resposta ao excesso de nutrientes, que tem como consequência o aumento da produção primária, e a proliferação de espécies oportunistas de algas verdes como a *Chaetomorpha sp.*, *Enteromorpha sp.* e *Ulva sp.*, que podem cobrir extensas áreas da zona intertidal estuarina (Pardal et al. 2000). Foi no braço sul do estuário que o maior impacto da eutrofização se fez sentir no passado. Desde 1980 que se têm verificado *blooms* de macroalgas verdes, que ameaçam o estabelecimento de *Z. noltii* sendo este considerado o habitat mais rico em termos de biodiversidade e produtividade (Cardoso et al. 2004; Marques et al. 1997). No entanto a partir de 1998 foram tomadas medidas de forma a mitigar o impacto da eutrofização no braço sul, reduzindo a quantidade de nutrientes de forma a melhorar a qualidade do ambiente (Cardoso et al. 2010; Lillebø et al. 2012). O sistema apresenta sinais de recuperação manifestadas pela ausência de *blooms* de macroalgas verdes, e pelo aumento da biomassa de ervas marinhas e cobertura espacial (Dolbeth et al. 2013).

De uma forma geral o estuário do Mondego em termos de stress antropogénico é classificado como moderado (Martinho et al. 2015), principalmente devido a baixas cargas químicas e industrialização na bacia hidrográfica quando comparado a outros estuários próximos (Vasconcelos et al. 2007).

### **1.3 – Eventos climáticos extremos**

A atividade humana é responsável pelo contínuo aumento de emissão de gases de efeito estufa responsáveis pelas alterações climáticas (IPCC 2018). Alguns desses efeitos já se fazem a sentir por todo o planeta, representando uma ameaça para as zonas costeiras e estuarinas como por exemplo, o aumento da temperatura média global, acidificação dos oceanos, aumento do nível do mar e aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos extremos (IPBS 2019).

Os eventos climáticos extremos podem ser vistos como impulsos discretos, que quando sobrepostos à pressão subjacente das alterações climáticas, tem maior potencial para ampliar o impacto na distribuição das populações e espécies, levando a respostas ao nível comunitário, tais como alterações na riqueza, composição e/ou dominância das espécies (Harris et al. 2018; Smale and Wernberg 2013). Devido à sua posição geográfica, as zonas costeiras e estuarinas encontram-se mais suscetíveis aos efeitos dos eventos climáticos extremos, como períodos de seca e chuvosos (Chang et al. 2018). Além disso alterações nos padrões globais climáticos como o Padrão Norte Atlântico (NAO), Padrão Este Atlântico (EAP) ou até mesmo a escalas locais como a mudanças na temperatura, fluxo de água doce, vento, circulação de marés e correntes, são previsíveis que sejam induzidas pelas alterações climáticas, provocando alterações nas comunidades biológicas locais (Bento et al. 2016; Henderson et al. 2011; Koenigstein et al. 2016).

Estes eventos terão um forte impacto em ecossistemas estuarinos, tal como o Mondego. Isto significa que muito provavelmente os parâmetros hidrológicos vão sofrer oscilações, o que pode levar a alterações nos padrões de reprodução e recrutamento de espécies que ocorrem no mesmo. Estudos recentes demonstraram que espécies que habitam no estuário do Mondego estão a responder as alterações provocadas pelos eventos climáticos extremos como secas e cheias (Baptista et al. 2010; Bento et al. 2016; Gonçalves et al. 2012; Monteiro et al. 2021; Verdelhos et al. 2014)

## **1.4 - Camarão-mouro (*Crangon crangon*)**

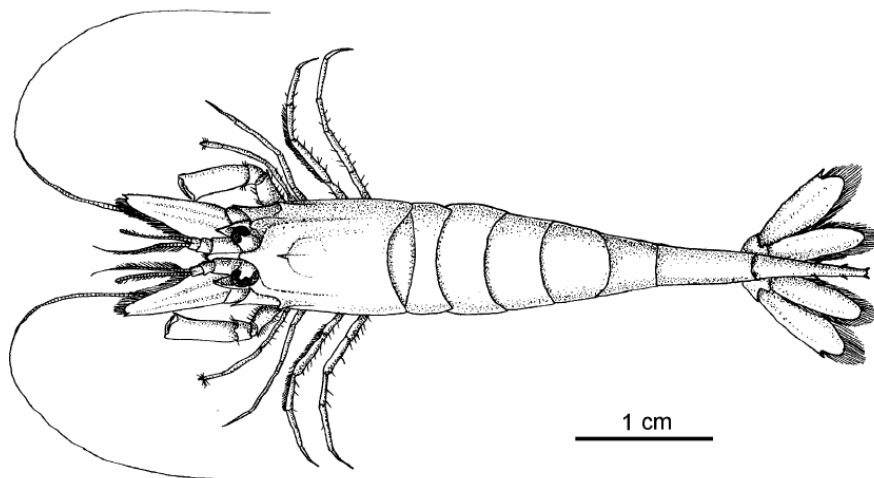
### **1.4.1 - Considerações gerais**

O camarão-mouro *Crangon crangon* (Linnaeus, 1758) é um crustáceo que pertence à ordem Decapoda e família Crangonidae (Figura 1). Apresenta uma distribuição por toda a costa Norte Atlântica desde o Noroeste da Rússia até Marrocos, incluído o mar Mediterrâneo e o mar Negro (Lagardere 1981). O camarão-mouro continua a expandir-se, em 2003 foi detetado pela primeira vez na costa da Islândia (Gunnarsson et al. 2007).

É uma espécie epibentónica dominante nos estuários do Norte da Europa (Campos et al. 2012; Neves et al. 2007; Viegas et al. 2007). Ocupa zonas costeiras e

estuários, com preferência por habitats com substratos de fundo plano (areia, lama arenosa e lamacenta) (Tiews, 1970). Apresenta dimorfismo sexual quando atinge a maturidade (Tiews, 1970): as fêmeas são maiores que os machos, e o sexo é distinguível a partir de cerca de 20 mm de comprimento total (Campos and van der Veer 2008). Possuem a capacidade de alterar o seu sexo, mas aparentemente é pouco frequente, sendo considerado uma espécie hermafrodita protândrica facultativa (Schatte and Saborowski 2006).

Como organismos ectotérmicos, estes respondem as alterações dos fatores ambientais, especialmente da temperatura e, em menor, grau a salinidade, à intensidade luminosa/duração do dia e abundância de alimento (Tiews 1970; Boddeke 1976; Cuesta et al. 2006; Gelin et al. 2000; Henderson and Holmes 1987; Spaargaren 2000). Estes são os principais fatores abióticos responsáveis pelos padrões de migração observados entre marés, tanto diária como sazonalmente (Campos 2008).



**Figura 1** – Representação de *Crangon crangon* (Fonte: FAO)

#### **1.4.2 – Ciclo de Vida**

O ciclo de vida do camarão-mouro inclui uma fase pelágica (larvar) e uma fase bentônica (juvenil-adulto), com diferenças ecológicas inerentes entre as duas fases. A sua abundância nos estuários segue um padrão sazonal que está relacionado com o seu próprio ciclo de vida e os padrões de migração (Campos et al. 2009; Viegas et al. 2007) e que difere ao longo da sua distribuição latitudinal (Luttikhuisen et al. 2008).



Estudos sobre o ciclo de vida desta espécie tem sido efetuado essencialmente nas populações do mar do Norte (Boddeke 1976; Henderson et al. 2006; Hünerlage et al. 2019; Kuipers and Dapper 1984; Tulp et al. 2012), onde a pesca desta espécie representa um elevado valor económico (ver secção 1.4.4.). Nestas populações no outono, com a diminuição das temperaturas os juvenis e adultos iniciam uma migração para as zonas costeiras, regressando aos estuários na primavera seguinte (Henderson et al. 2006; Kuipers and Dapper 1981, 1984). As populações mediterrâneas, por outro lado, movem-se para águas salobras no outono, regressando ao mar na primavera (Gelin et al. 2001). O ciclo de vida desta espécie também já foi descrito para o estuário do Mondego (Viegas et al. 2007; Viegas, et al. 2012), cuja reprodução ocorre junto à costa em águas pouco profundas e quase continuamente ao longo do ano, e com principais épocas de desova na primavera/verão. Na primavera após eclosão ao largo, estas migram através das correntes para os estuários e outras águas de transição onde encontram quantidades abundantes de alimento (Tiews 1970). Os juvenis até um ano ocupam permanentemente os estuários enquanto os indivíduos adultos efetuam uma migração de volta ao mar quando a temperatura começa a decrescer no outono. A presença de fêmeas ovígeras ao longo de todo o ano permite distinguir dois picos de recrutamento: um de primavera/verão e outro de outono/inverno, caracterizado por ser menos intenso comparativamente com o primeiro (Viegas et al. 2007).

### **1.4.3 – Papel trófico**

Devido à sua elevada abundância desempenha um papel importante nas redes tróficas e é uma das principais presas para fases de juvenis e adultas de espécies de peixe (França et al. 2011; Whitfield et al. 2012). No estuário do Mondego, já foi descrito como uma presa importante para várias espécies de peixes como o ruivo *Chelidonichthys lucerna*, o rodovalho *Scophthalmus rhombus*, o salmonete *Mullus surmuletus*, faneca *Trisopterus luscus*, robalo *Dicentrarchus labrax*, solha-das-pedras *Platichthys flesus* e linguado-comum *Solea solea* (Dolbeth et al. 2008; Martinho et al. 2008) todas com valor económico relevante.

Para além de ser uma importante presa, também é um importante predador de outros invertebrados bentónicos (Boddeke et al. 1986; Pihl and Rosenberg 1984). Com um regime omnívoro, a diversidade trófica e equidade da dieta desta espécie varia com

a época do ano e com as classes de comprimento (Oh et al. 2001). Possui uma dieta variada predando vários tipos de organismos de microbentos, meiobentos e estádios juvenis de macrobentos (Campos and van der Veer 2008). O impacto desta espécie manifesta-se de forma direta na estrutura e função da epifauna (Evans 1984), através da predação de outros invertebrados (Bonsdorff et al. 1995; Kamermans and Huitema 1994) e pela interferência no estabelecimento de juvenis de peixes (Wennhage and Gibson 1998).

#### **1.4.4 - Valor comercial**

A pesca do camarão-mouro é sócio-economicamente uma das mais importantes no mar do Norte (Neudecker and Damm 2010). Devido ao seu elevado valor comercial esta espécie tem sido estudada de forma intensiva. Existe literatura extensa sobre a sua abundância e *stock* (Siegel et al. 2005; Tulp et al. 2012, 2016), captura acidental e rejeições pesqueiras (Catchpole et al. 2008; Lancaster and Frid 2002; Pascoe and Revill 2004), perspectivas para produção em aquacultura (Delbare, et al. 2014), assim como relatórios pormenorizados realizados por instituições como a *Food and Agriculture Organization* (FAO) (ver relatório técnico elaborado por Gillett, 2008) ou o *International Council for the Exploration of the Sea* (ICES) (ver ICES 2008).

Capturado sobretudo em estuários e águas costeiras adjacentes ao mar do Norte por arrasto de vara, estima-se que na última década o total de desembarques anuais oscila em torno de 35.000 t (Tulp et al. 2016). Entre 2009 e 2013, a pesca de *C. crangon* no mar do Norte ocupou a 23ª posição em desembarques, mas a 6ª em valor, com uma média anual de 109 milhões de euros (Base de dados - <http://www.fao.org/faostat>). Além do número de licenças e a adaptação das redes para reduzir capturas acidentais, a pesca de camarão atual não é regulamentada (ICES 2013). A pesca decorre ao longo de todo o ano, atingindo os valores máximos no outono (Spaargaren 2000). Até ao presente não existe um tamanho mínimo de desembarque para *C. crangon* na UE (Campos and van der Veer 2008), no entanto para evitar as capturas acidentais foi determinado um mínimo de malha da rede de 31 mm para a captura desta espécie (Council of the European Union 2019). Em Portugal a medida mínima para a captura está estabelecida nos 50 mm de comprimento total (Fonte: Tabela de tamanhos mínimos de captura pela

Direção – Geral de Recursos naturais, Segurança e Serviços Marítimos; DGRM, online).

## 1.5 – Objetivos

Os eventos climáticos extremos são responsáveis por alterações repentinas nos parâmetros hidrológicos dos estuários, expondo as espécies estuarinas a uma maior pressão, no sentido de terem de ser adaptar rapidamente, o que poderá levar a mudanças na estrutura macrobentónica do estuário do Mondego.

*C. crangon* é considerado uma espécie-chave neste ecossistema estuarino, pelo que é necessário ter uma visão abrangente sobre os impactos que os eventos climáticos extremos poderão ter sobre esta espécie a longo prazo. Por conseguinte, os principais objetivos deste estudo foram:

1. Compilação, organização, revisão e uniformização da base de dados de *C. crangon* no estuário do Mondego.
2. Descrever a dinâmica populacional de *C. crangon* no estuário do Mondego entre 2003-2015 em termos de:
  - Estrutura populacional
  - Padrões de abundância temporal e espacial
3. Avaliar o impacto da variação climática na sua dinâmica populacional.

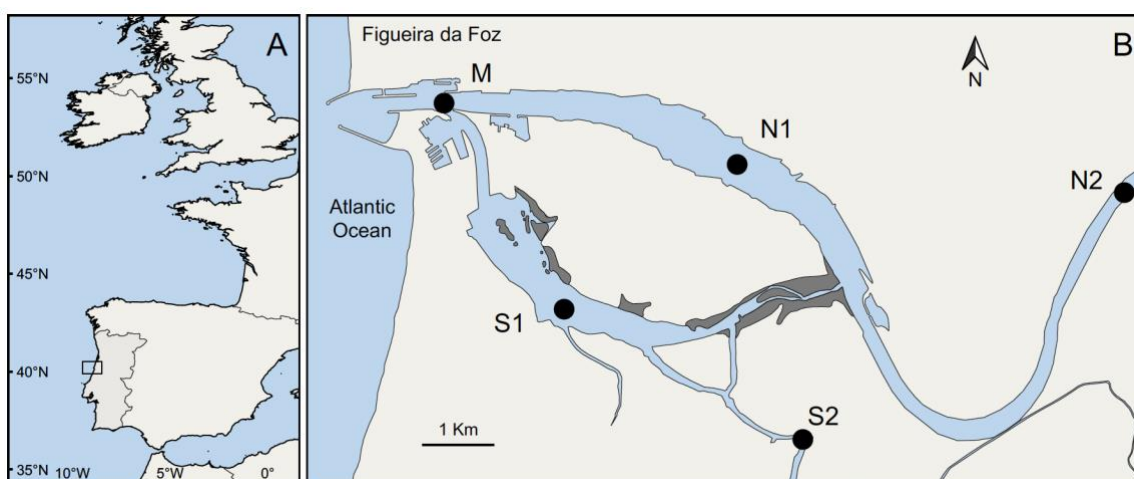
## **2. Materiais e métodos**

## 2.1 - Amostragem

A monitorização das espécies estuarinas no estuário do Mondego é um trabalho de longo termo que é realizado desde 2003 até aos dias de hoje por membros do grupo *Marine Research Lab Centre for Functional Ecology - Science for People & the Planet*. As campanhas de amostragem são realizadas mensalmente sempre que as condições climáticas assim o permitam em cinco estações do estuário (Figura 2) na embocadura do estuário (M), no braço sul (S1 e S2) e braço norte (N1 e N2). Neste estudo usaram-se os dados de amostragem de *C. crangon* de 2003 a 2015.

O método utilizado na recolha das amostras foi uma rede de arrasto com uma vara de 2 m de comprimento, patins metálicos, corrente metálica no arraçal e malha de rede de 10 mm e de 5 mm no saco terminal. Os arrastos foram realizados em maré cheia, durante a noite para maximizar a captura dos indivíduos, efetuando 3 réplicas em cada estação com a duração de cerca de 3 minutos, cobrindo assim uma área mínima de 500 m<sup>2</sup> em cada arrasto. Em simultâneo foram medidos os parâmetros ambientais temperatura da água, salinidade, oxigénio dissolvido, pH e medida a profundidade para cada local.

Após cada arrasto, as amostras foram devidamente separadas pelos diferentes grupos: peixes, caranguejos e restantes invertebrados, devidamente acondicionados em sacos etiquetados com a data, número de réplica e estação de amostragem até serem transportados para o laboratório onde são congelados até posterior análise.



**Figura 2** – (A) Localização do estuário do Mondego em Portugal. (B) Estações de amostragem ao longo do estuário (M, S1, S2, N1, N2).

## 2.2 – Processamento e análise das amostras

### 2.2.1 – Procedimentos laboratoriais

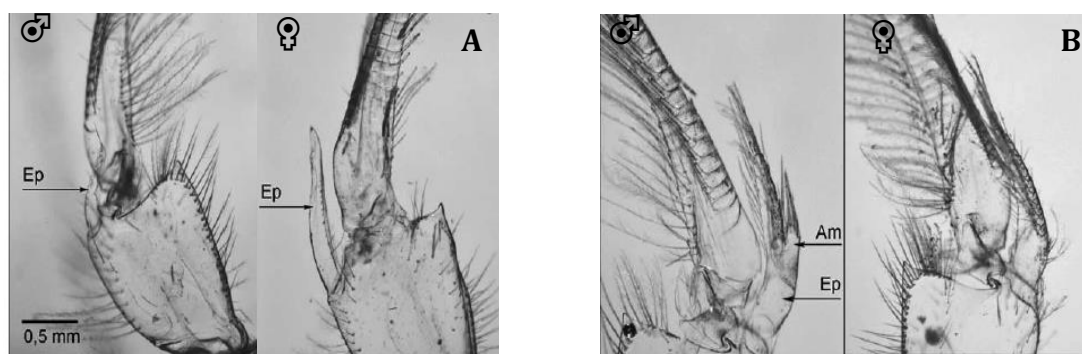
No laboratório, as amostras foram descongeladas previamente, foram novamente triadas e os indivíduos agrupados por espécie. Sempre que o número de indivíduos por amostra superasse os 1000 foram sujeitos as subamostragens. Anotou-se o número de divisões e no fim quando a amostra foi processada multiplicou-se os indivíduos pelo número de divisões realizadas. Todos os indivíduos de *C. crangon* foram preservados em formaldeído a 4% tamponizado por 24 h e após lavagem, transferidos para etanol a 70% para conservação e armazenamento.

### 2.2.2 - Medição e determinação do sexo

Foi medido o comprimento da carapaça (CC) de cada indivíduo com recurso a uma lupa binocular com 0.01 mm de precisão. O CC é definido pela menor distância paralelamente à linha mediana, que parte do ponto posterior de uma das órbitas até ao bordo distal da carapaça. Esta medida permite determinar o comprimento total (CT) dos indivíduos através de uma regressão entre CC e CT (Viegas et al. 2007):

$$CT = 4.7906 * CC - 1.1295 (r^2 = 0.98, N = 702)$$

Indivíduos que apresentem um CC inferior a 3,5 mm são considerados juvenis ou imaturos. Quando os camarões atingem a maturidade é possível determinar o seu sexo através dos pleiópodes (Figura 3). No primeiro par de pleiópodes o endopódito é um indicador sobre a identificação do sexo, através da sua forma e tamanho, no entanto, é necessária confirmar a presença ou ausência de um *appendix masculina* no segundo par de pleiópodes (Schatte and Saborowski 2006).



**Figura 3** – (A) Primeiro par de pleiópodes, macho e fêmea respetivamente. (B) Segundo par de pleiópodes, macho e fêmea respetivamente. Ep – endopódito; Am – *appendix masculina* (Adaptado de Schatte and Saborowski 2006)

### 2.3 – Parâmetros ambientais

Foram recolhidos os dados das variáveis ambientais para o período deste estudo. A precipitação (mensal, sazonal, anual) e a ocorrência de períodos de eventos climáticos extremos (cheias e secas) foram obtidos através do Instituto Português do Mar e atmosfera (IPMA, I.P.; <https://www.ipma.pt/oclima/boletins/>). O caudal mensal do rio Mondego na última barragem antes do estuário (Açude de Coimbra 12G/01), foi obtido pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH; <https://snirh.apambiente.pt/>). Os dados sobre a temperatura à superfície do mar (SST) foram obtidos próximo da embocadura do estuário na base de dados EU *Copernicus Marine Service*: Dataset IBI\_MULTIYEAR\_PHY\_005\_002 para o período em causa. Os registos mensais da oscilação do Atlântico Norte (NAO) e do padrão Este Atlântico (EAP) foram recolhidos no *National Oceanic and Atmospheric Administration – U.S Department of Commerce* (NOAA; <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/>).

Os parâmetros escolhidos foram de encontro ao objetivo deste estudo. A uma escala global o NAO é considerado como o principal fator de grande escala que influencia mudanças nas condições meteorológicas na Europa, incluindo a SST. É conhecido por influenciar o ciclo de vida de vários peixes e invertebrados, principalmente durante a sua residência estuarina (Attrill and Power 2002; Monteiro et al. 2021; Nyitrai et al. 2013; Pinto et al. 2021). O EAP é o segundo padrão atmosférico mais influente no Atlântico Norte, no entanto como o seu centro de atividade está no sudeste do Atlântico Norte, possui maior influência na Península Ibérica. À escala local,

a interação entre precipitação e o caudal é um fator importante que interfere com a imigração larvar em estuários (Baptista et al. 2010; Bento et al. 2016; Martinho et al. 2009).

## **2.4 – Análise dos dados**

### **2.4.1 - Estrutura da população**

A estrutura populacional foi definida pela abundância de indivíduos por 1000 m<sup>2</sup> ao longo do período em estudo. Inicialmente os dados foram agrupados como um todo representando assim população inteira de *C. crangon* no estuário do Mondego, e dividida pelos sexos representados pelas respetivas estações onde foram amostrados. Pretendendo verificar o ciclo de vida desta espécie e comparar com outros estudos existentes (Viegas 2006; Viegas et al. 2012) foi determinada a densidade média da população total e por sexo para os respetivos meses, de modo a avaliar a variação intra-anual. Para avaliar a dinâmica populacional inter-anual, foi determinada a densidade da população total e por sexo para o período em causa.

### **2.4.2 - Distribuição temporal e espacial**

A distribuição temporal e espacial da população foi avaliada em relação às variáveis ambientais. Nesta etapa, foi realizada uma análise multivariada, sendo utilizada uma análise de redundância (RDA). A escolha deste método foi efetuada após uma análise inicial que indicou uma relação linear entre as variáveis ambientais e biológicas ( $SD < 3$ ). Estas análises foram realizadas no software Primer 6 e PERMANOVA (Clarke and Gorley 2015).

Os dados biológicos foram separados por sexo e estágio de desenvolvimento: fêmeas, fêmeas ovígeras, machos e juvenis. Os parâmetros abióticos utilizados nesta análise foram a temperatura, salinidade, caudal, NAO, EAP e STT, no entanto apenas a salinidade e o NAO demonstraram ser significativas. Nesta análise foi realizada com os valores da média da densidade anual de indivíduos por estação de amostragem (M, S1, S2, N1 e N2) e com a média dos valores anuais dos parâmetros abióticos. Subsequentemente, diferentes anos foram classificados através dos seus parâmetros



hidro-climáticos, determinados como secos, normais ou chuvosos, segundo o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA, I.P.; <http://www.ipma.pt/pt/oclima/boletins/>).

### **2.4.3 – Análise CUSUM**

De modo a detetar pontos de inflexão na população e nos parâmetros hidroclimáticos, a soma cumulativa (CUSUM) dos desvios médios foi calculada a partir do período de referência de 2003 a 2015. A interpretação baseou-se no sinal e inclinação da linha que reflete o desvio de um determinado período em relação ao valor médio da série temporal (Marques et al. 2014; Monteiro et al. 2021). Posteriormente, para compreender os principais processos que podem ter desencadeado estas alterações, foram identificados os múltiplos fatores abióticos responsáveis pelas variações das densidades de fêmeas, fêmeas ovígeras, machos e juvenis, através da correlação de Pearson. Esta análise foi efetuada no software R (R Core Team 2020), tendo sido considerado um nível de significância de 0.05 nesta análise.

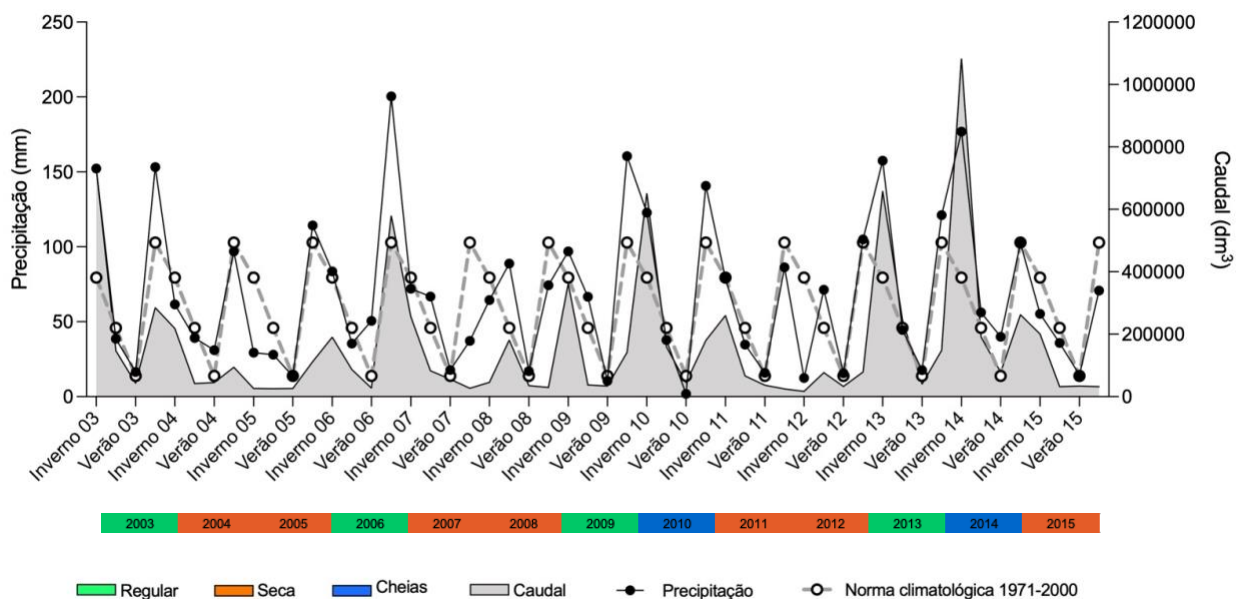
### **3. Resultados**

### 3.1 – Aquisição de dados biológicos e ambientais

Devido as restrições impostas pela pandemia do COVID-19 e na impossibilidade de realizar trabalho de campo, houve um trabalho de uniformização da base de dados da espécie no período de 2003 a 2015 que permitiu esta compilação de resultados e esta análise. Esta base de dados desde 2003 já permitiu publicar previamente duas teses de mestrado (Viegas 2006; Dinis 2011), bem como dois relatórios de fim de licenciatura.

Durante o período deste estudo, foram observadas variações consideráveis na precipitação e no fluxo de água doce proveniente do rio Mondego. Algumas dessas variações foram causadas pela existência de eventos climáticos extremos que estão associados com as variações do caudal. Apenas os anos de 2003, 2006, 2009 e 2013 foram considerados anos normais de precipitação pelo IPMA. Em 2004/2005 Portugal esteve sobre a influência de uma seca extrema, caracterizada por ser a mais intensa do século, afetando todo o território nacional (ver boletim IPMA 2004). Como consequência a baixa precipitação em comparação com a norma climatológica neste período, levou à diminuição do caudal (Figura 4). Além do mais, nos anos 2007, 2008, 2011, 2012 e 2015 foram classificados como anos de seca. Em contraste, os anos 2010 e 2014 foram considerados como anos de cheia, com valores elevados de precipitação que levou ao aumento do caudal do rio (Figura 4). Devido a eventos climáticos extremos e alterações no fluxo de água doce para o estuário, os parâmetros físico-químicos também sofreram grandes mudanças. Por exemplo, no caso das secas houve um aumento da salinidade e o oposto foi observado no período de cheias (Tabela 1).

Também foi possível observar a existência de um gradiente típico estuarino, em que a temperatura da água decresce e a salinidade aumenta de montante para jusante (Tabela 1). A média ( $\pm$  desvio padrão) da salinidade nas estações M, S1, S2, N1, N2 foi  $30.5 \pm 3.4$ ,  $31.2 \pm 2.1$ ,  $24.4 \pm 4.7$ ,  $21.0 \pm 7.3$  e  $9.1 \pm 5.5$  respetivamente.



**Figura 4** – Variação sazonal da precipitação e do caudal do rio Mondego desde o inverno de 2003 até o verão 2015 comparando com os valores climatológicos da precipitação média desde 1971 a 2000. A linha preta representa a precipitação sazonal (mm), a linha cinzenta representa a normal climatológica de cada estação do ano (mm), a área a cinzento representa a média do caudal do rio ( $\text{dm}^3$ ); quadrados verdes representam os anos regulares, os laranja os anos de seca e os azuis os anos considerados de cheias.

**Tabela 1** – Características dos parâmetros ambientais (média ± desvio padrão) *in situ* dos locais de amostragem ao longo do período de estudo (2003 a 2015).

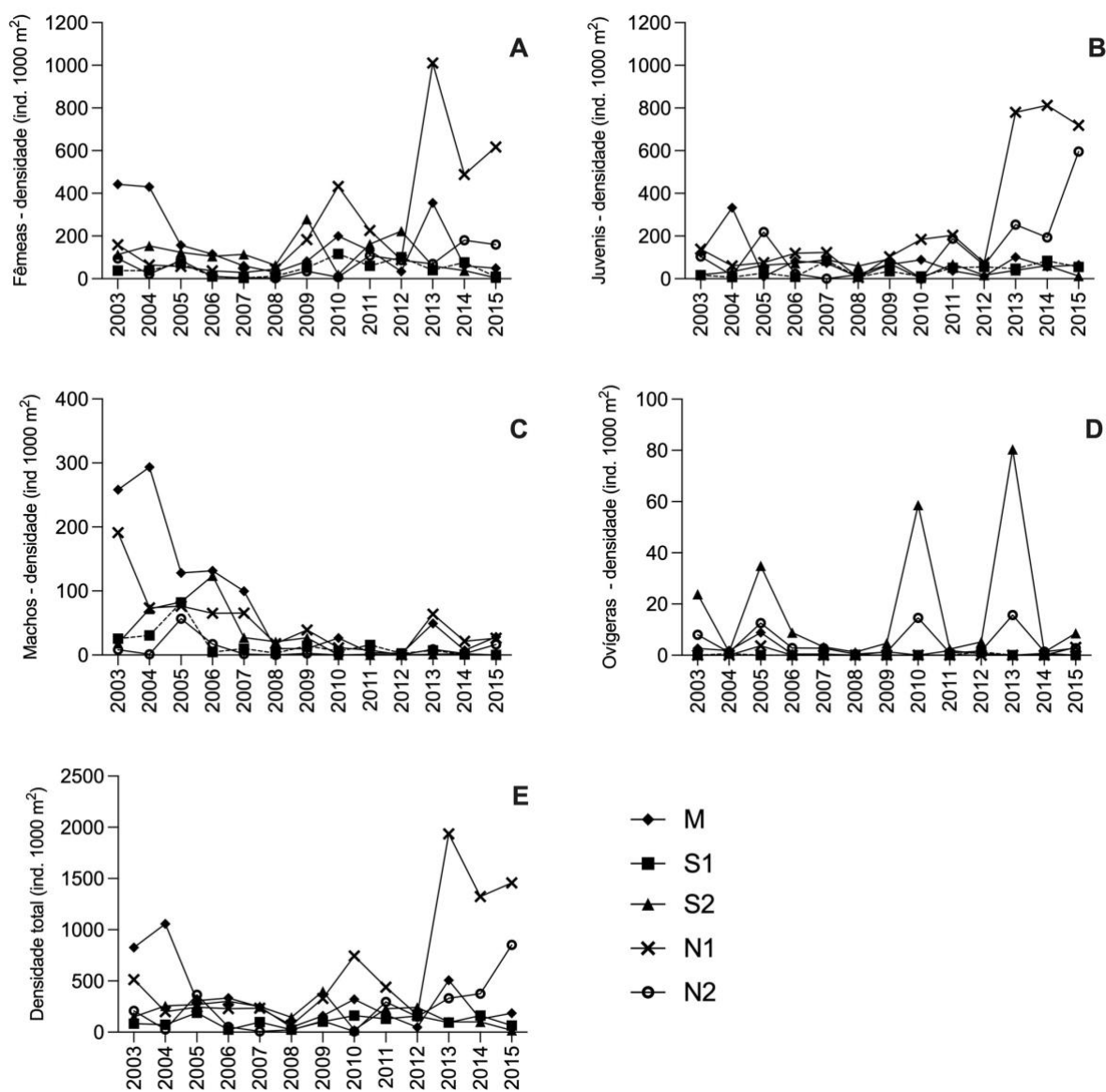
Ano	Boca do estuário (M)		Braço sul 1 (S1)		Braço sul 2 (S2)		Braço norte 1 (N1)		Braço norte 2 (N2)	
	Temperatura (C°)	Salinidade	Temperatura (C°)	Salinidade	Temperatura (C°)	Salinidade	Temperatura (C°)	Salinidade	Temperatura (C°)	Salinidade
2003	16.9 ± 2.4	30.8 ± 3.2	18.2 ± 3.3	28.5 ± 5.3	19.5 ± 5.2	23.2 ± 5.2	18.2 ± 3.6	19.2 ± 8.2	19.0 ± 5.1	0.7 ± 0.6
2004	14.3 ± 1.9	31.0 ± 3.7	15.2 ± 2.7	28.9 ± 5.0	16.5 ± 5.2	22.7 ± 4.9	15.5 ± 3.5	21.4 ± 5.4	16.0 ± 5.8	2.8 ± 2.8
2005	15.1 ± 3.0	32.3 ± 2.7	15.4 ± 3.3	32.5 ± 3.2	17.6 ± 5.8	29.4 ± 4.4	15.8 ± 4.1	23.5 ± 7.8	16.7 ± 5.8	10.5 ± 7.8
2006	15.6 ± 3.5	25.4 ± 10.9	16.3 ± 3.0	29.0 ± 8.8	19.5 ± 4.8	22.4 ± 6.9	16.8 ± 4.1	18.4 ± 11.6	18.8 ± 5.0	6.6 ± 7.1
2007	14.8 ± 1.1	33.9 ± 2.6	15.3 ± 1.9	32.0 ± 3.0	18.6 ± 3.6	27.4 ± 4.7	15.0 ± 1.7	30.3 ± 4.9	16.1 ± 3.8	12.2 ± 8.7
2008	15.9 ± 2.1	35.2 ± 0.8	18.5 ± 5.8	34.1 ± 1.2	19.7 ± 5.2	29.5 ± 2.5	16.3 ± 2.8	30.8 ± 2.5	17.5 ± 4.1	17.6 ± 3.2
2009	14.6 ± 2.4	30.4 ± 7.0	15.1 ± 2.1	32.1 ± 3.9	18.6 ± 5.1	26.0 ± 5.5	15.4 ± 3.2	28.7 ± 6.4	16.7 ± 3.8	15.0 ± 9.6
2010	15.4 ± 2.4	27.6 ± 5.6	15.8 ± 1.6	32.0 ± 2.5	19.7 ± 4.9	16.2 ± 11.0	15.8 ± 2.9	22.3 ± 8.5	17.5 ± 5.0	12.8 ± 9.4
2011	16.5 ± 2.4	31.2 ± 2.2	16.3 ± 2.3	32.2 ± 5.5	19.6 ± 5.6	22.6 ± 8.2	16.7 ± 3.9	22.0 ± 5.4	17.5 ± 4.9	9.4 ± 9.9
2012	15.5 ± 2.0	32.0 ± 2.1	15.9 ± 1.9	33.4 ± 1.5	20.8 ± 6.1	26.8 ± 4.7	16.4 ± 3.2	25.9 ± 3.0	17.3 ± 4.3	16.4 ± 11.2
2013	15.1 ± 2.0	30.6 ± 3.2	15.4 ± 2.1	30.6 ± 5.1	19.8 ± 5.7	21.7 ± 8.6	17.3 ± 4.5	12.1 ± 8.3	17.8 ± 5.2	6.2 ± 8.5
2014	15.9 ± 2.8	23.0 ± 13.6	16.2 ± 3.0	27.6 ± 10.8	20.4 ± 5.7	13.5 ± 10.7	17.3 ± 4.1	7.1 ± 10.3	19.5 ± 4.7	2.3 ± 4.0
2015	15.5 ± 1.6	33.2 ± 1.0	16.1 ± 1.7	32.9 ± 1.6	19.0 ± 4.7	25.1 ± 5.5	17.5 ± 4.7	12.1 ± 7.2	18.2 ± 5.0	6.0 ± 7.5

## 3.2 - Caracterização da população de *C. crangon*

### 3.2.1 – Dados gerais da população

Entre 2003 e 2015 foram capturados no total 44475 indivíduos, dos quais 21035 fêmeas (incluindo 748 ovígeras), 6238 machos e 17202 juvenis. A grande maioria dos indivíduos foram capturados na estação do N1 e M (43% e 27% dos indivíduos, respetivamente).

As capturas de *C. crangon* variaram ao longo do espaço e do período deste estudo (Figura 5). As fêmeas e as fêmeas ovígeras possuem preferência pela estação N1, sendo o pico máximo de capturas em 2013. Os juvenis também apresentam preferência pela estação N1 e N2, sendo o ano 2015 onde foram encontrados mais indivíduos. Os machos pelo contrário possuem preferência pela estação M, em 2004 foi onde se registou o maior número de indivíduos capturados neste local. É de realçar que foi na estação N1 nos anos 2013, 2014 e 2015 que houve o maior número de capturas, em contraste nos anos de 2007, 2008 e 2012 verificou-se um menor número de indivíduos ao longo de todas as estações de amostragem.



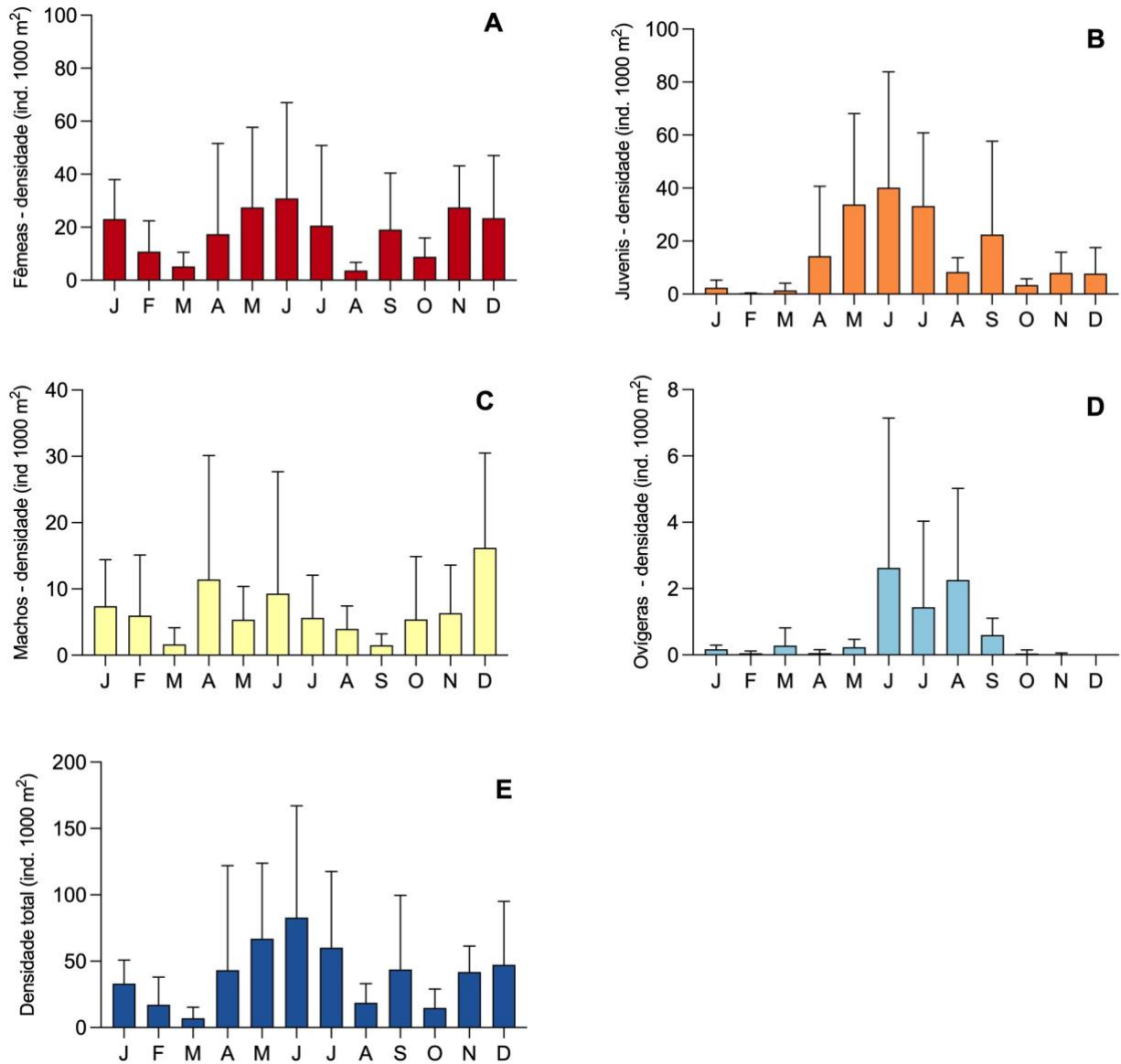
**Figura 5** - Densidade total anual de indivíduos capturados por 1000 m<sup>2</sup> nas estações de amostragem (♦ - M, ■ - S1, ▲ - S2, × - N1 e ○ - N2). (A) fêmeas, (B) juvenis, (C) machos, (D) ovíferas e (E) população total.

### 3.2.2 – Distribuição intra-anual da população

A abundância por sexo e total de indivíduos no estuário também foi variando ao longo dos meses do ano durante o período total de amostragem (Figura 6). As fêmeas são os indivíduos mais representativos desta população, com o máximo de indivíduos capturados em junho  $30.88 \pm 36.09$  ind.1000 m<sup>2</sup>, este mês corresponde também com o máximo de fêmeas ovígeras encontradas no estuário  $2.63 \pm 4.51$  ind.1000 m<sup>2</sup>. Em contraste os meses de março e agosto foram os quais menos capturas de fêmeas se registaram  $5.20 \pm 5.37$  e  $3.68 \pm 3.04$  ind.1000 m<sup>2</sup>. O máximo de indivíduos do sexo masculino capturados registou-se em dezembro  $16.20 \pm 14.31$  ind.1000 m<sup>2</sup> e o mínimo em setembro  $1.51 \pm 1.73$  ind.1000 m<sup>2</sup>. O aparecimento de juvenis segue o padrão de abundância descrito em (Viegas et al. 2007), com um recrutamento de juvenis nos meses de verão, atingindo o máximo de capturas em junho  $40.20 \pm 43.68$  ind.1000 m<sup>2</sup>, seguido de um novo recrutamento de outono caracterizado por ser menos intenso com um máximo de capturas no mês de novembro de  $8.02 \pm 7.73$  ind.1000 m<sup>2</sup>.

Nos meses de maio, junho e julho foram caracterizados pela maior densidade de indivíduos presente no estuário, ao contrário de março, agosto e outubro como os meses com menos indivíduos presentes dentro do estuário.

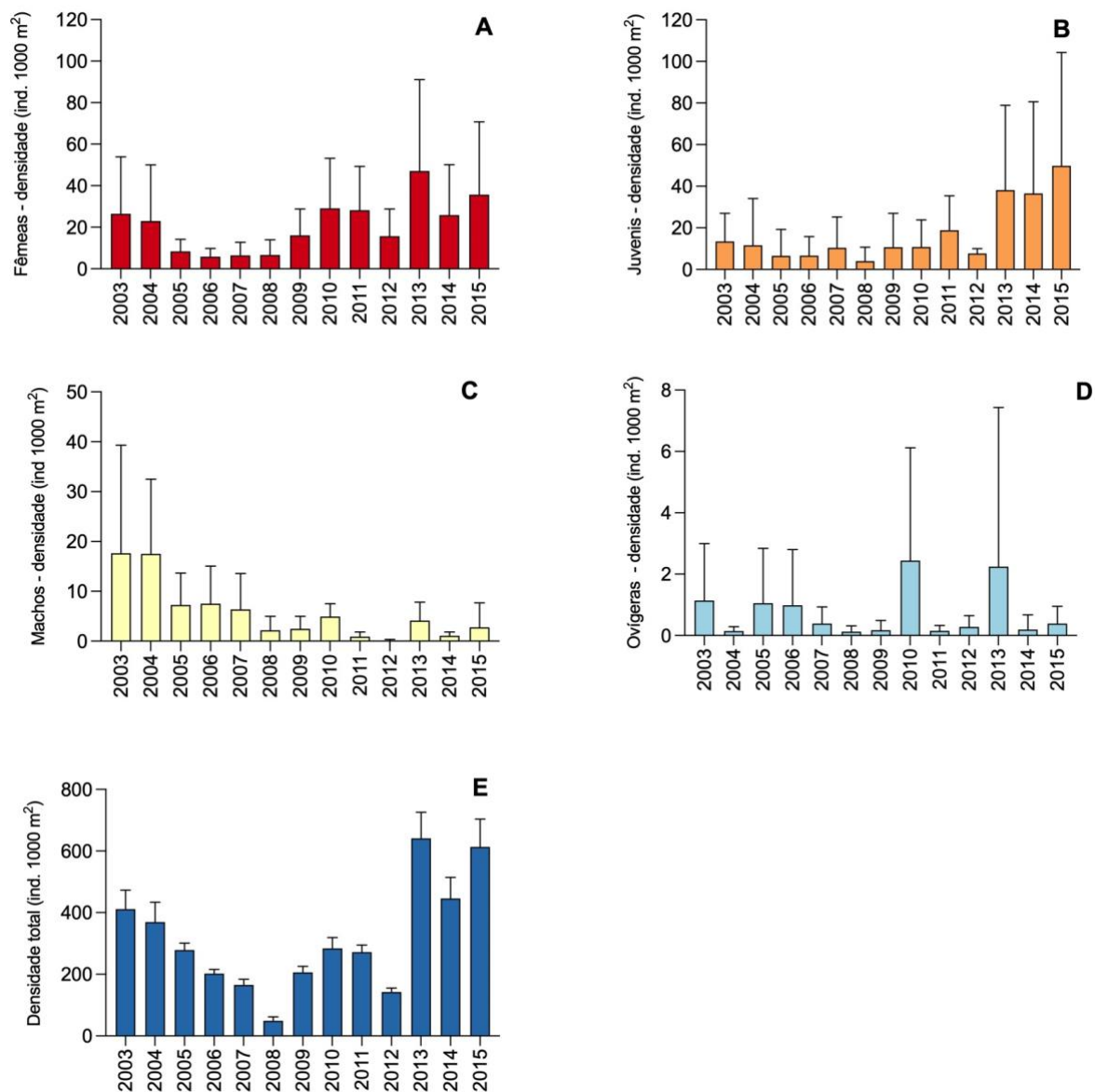




**Figura 6** - *C. crangon* (média  $\pm$  desvio padrão). Variação intra-anual de indivíduos capturados por 1000 m<sup>2</sup>. (A) fêmeas, (B) juvenis, (C) machos, (D) ovígeras e (E) população total.

### 3.2.3 – Distribuição inter-anual da população

A abundância inter-anual por sexo e total de indivíduos também variou ao longo dos anos de amostragem (Figura 7). As fêmeas apresentam um máximo de indivíduos nos anos de 2013 e 2015 com  $47.05 \pm 44.01$  e  $35.75 \pm 35.02$  ind.1000 m<sup>2</sup> respectivamente, estes anos correspondem também com o máximo de juvenis encontrados no estuário  $38.15 \pm 40.77$  e  $49.86 \pm 54.47$  ind.1000 m<sup>2</sup> respectivamente. No entanto em 2006 e 2007 foi quando a abundância de fêmeas foi mais reduzida,  $5.82 \pm 3.98$  e  $6.45 \pm 6.32$  ind.1000 m<sup>2</sup> respectivamente. Já os juvenis foi nos anos de 2005 e 2008 com  $6.50 \pm 12.74$  e  $3.98 \pm 6.77$  ind.1000 m<sup>2</sup> respectivamente. Os machos apresentam um pico de abundância em 2003 e 2004 com  $17.65 \pm 21.67$  e  $17.52 \pm 14.9$  respectivamente. Ao longo dos anos a sua abundância é reduzida, sendo o ano de 2012 onde menos se registou a presença de machos com apenas  $0.11 \pm 0.23$  ind.1000 m<sup>2</sup>. O máximo de fêmeas ovíferas encontradas no estuário foi em 2010 e 2013 com  $2.44 \pm 3.68$  ind.1000 m<sup>2</sup> e  $2.24 \pm 5.18$  ind.1000 m<sup>2</sup>, contrastando com o ano 2008 em que apenas se encontraram  $0.12 \pm 0.19$  ind.1000 m<sup>2</sup>. A população geral foi variando durante este período, de realçar que nos últimos 3 anos deste estudo foi quando houve maior número de indivíduos presente no estuário  $641.11 \pm 84.93$ ,  $446.14 \pm 68.61$  e  $613.53 \pm 90.05$  ind.1000 m<sup>2</sup> respectivamente.



**Figura 7** - *C. crangon* (média  $\pm$  desvio padrão). Variação inter-anual das densidades de indivíduos por 1000 m<sup>2</sup>: (A) Fêmeas, (B) machos, (C) juvenis, (D) ovígeras e (E) população total.

### 3.3 – Distribuição temporal e espacial

Análise de redundância baseada na distância euclidiana da Figura 8 mostra a variação espacial e temporal de *C. crangon* no estuário do Mondego, bem como os fatores ambientais significativos. Esta análise foi realizada utilizando os dados da densidade dos diferentes sexos de acordo com as diferentes estações de amostragem e os diferentes anos. O primeiro eixo da análise de redundância explica 11.4% da variação total, enquanto que o segundo eixo representa 3.6% da variação total. O modelo linear baseado na distância (DISTLM) selecionou como melhor modelo o que inclui as variáveis NAO ( $p=0.038$ ) e salinidade ( $p=0.016$ ), com um  $r^2$  deste modelo de 0.11 explicando a distribuição de *C. crangon*.

Os machos possuem preferência pelas estações M e N1, independentemente dos anos (Figura 8A), preferindo as estações com maior salinidade (Figura 8B) com maior abundância nestes locais em anos de seca. Os juvenis por sua vez apresentam preferência pelas estações N2 e S2 (Figura 8A). Em anos de NAO positivo como 2013, 2014 e 2015 houve uma maior abundância de juvenis no estuário, principalmente no braço norte do estuário (estações N1 e N2; Figura 8B).

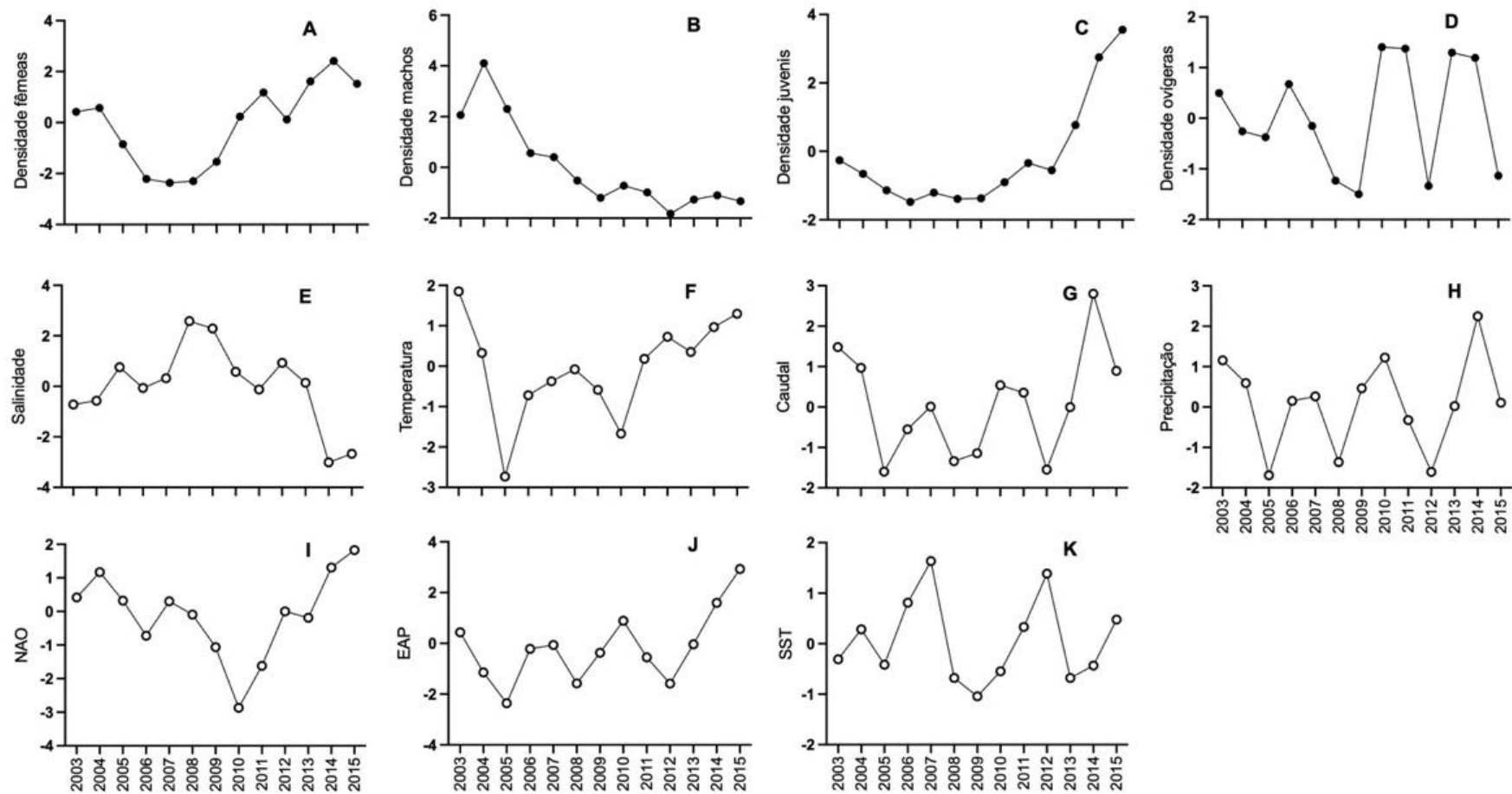


### 3.4 – Análise CUSUM de *C. crangon* ao longo do tempo

Considerando as somas cumulativas em várias características da população de *C. crangon* e das séries temporais ambientais, surgiram padrões diferentes (Figura 9). Uma inclinação positiva na CUSUM de cada série temporal indica que a variável neste período foi superior à média de todo o estudo, e uma inclinação negativa indica o contrário, ou seja, quando a variável foi inferior à média.

A densidade de fêmeas mostrou um declínio inicial até 2008, seguindo de um aumento a partir de 2009. A densidade de machos por sua vez registou um aumento inicial até 2005, seguindo-se um declínio até 2015. A densidade de juvenis teve um registo contrário a densidade de machos, registando-se um declínio até 2010, seguindo-se um aumento positivo a partir de 2013 até 2015. As fêmeas ovíferas foram quem mais oscilou durante este período de estudo: em 2003, 2006, 2010, 2011, 2013 e 2014 registaram um aumento em relação à média, enquanto nos restantes anos foram inferiores à média.

Os parâmetros ambientais variaram drasticamente ao longo deste período. A salinidade até 2007 esteve sempre abaixo da média à exceção de 2005, seguiu-se um aumento até 2013 onde novamente entrou em declínio até 2015. A temperatura da água esteve sempre acima da média à exceção dos anos 2005 e 2010, que estiveram drasticamente abaixo. O caudal e a precipitação estiveram quase sempre correlacionados, nos anos 2005, 2008 e 2012 tiveram valores extremos negativos correspondendo a anos de seca, e nos anos 2010 e 2015 positivos correspondendo aos anos de períodos de cheia (ver secção 3.1). A série temporal do índice NAO mostrou uma tendência inversa com a salinidade. Já a série temporal do EAP demonstra uma tendência semelhante com a temperatura a superfície da água.



**Figura 9** – Soma cumulativa do desvio padrão da série temporal de *C. crangon* (•): (A) Densidade fêmeas, (B) Densidade machos, (C) Densidade juvenis, (D) Densidade ovígeras e dos parâmetros ambientais (○) : (E) Salinidade, (F) Temperatura, (G) Caudal, (H) Precipitação, (I) NAO, (J) EAP, (K) SST.

Os resultados da correlação de Pearson entre as CUSUM (Tabela 2) demonstram que nas fêmeas existe uma correlação positiva com o caudal e negativa com salinidade. Os machos não apresentam qualquer correlação com os parâmetros ambientais utilizados. Os juvenis apresentam correlação positiva com a temperatura, caudal, NAO e EAP e negativa com a salinidade. Já as ovígeras apenas são influenciadas positivamente pelo caudal. A precipitação e a SST não apresentam nenhuma correlação com a abundância de *C. crangon*.

**Tabela 2** - Correlação Pearson (r) entre a CUSUM de *C. crangon*, expressa pelos diferentes sexos em ind.1000 m<sup>2</sup> e os parâmetros ambientais: temperatura (°C), salinidade, precipitação (mm), NAO, EAP e SST (°C). Os valores-p significantes estão em negrito: <sup>a</sup> 0.05 < p > 0.01; <sup>b</sup> 0.01 < p > 0.001; <sup>c</sup> p < 0.001.

	Temperatura	Salinidade	Precipitação	Caudal	NAO	EAP	SST
<b>Fêmeas</b>	0.49	<b>-0.72<sup>b</sup></b>	0.41	<b>0.67<sup>a</sup></b>	0.25	0.5	-0.19
<b>Machos</b>	-0.17	-0.04	0.04	0.1	0.28	-0.36	0.03
<b>Juvenis</b>	<b>0.56<sup>a</sup></b>	<b>-0.84<sup>c</sup></b>	0.39	<b>0.65<sup>a</sup></b>	<b>0.57<sup>a</sup></b>	<b>0.77<sup>b</sup></b>	-0.04
<b>Ovígeras</b>	-0.03	-0.38	0.53	<b>0.56<sup>a</sup></b>	-0.36	0.26	-0.13



## 4. Discussão

## 4.1 - Bases de dados de longa duração

A criação de bases de dados de longa duração é um processo trabalhoso, demorado e dispendioso, porém é uma ferramenta muito útil para caracterizar as alterações dos ecossistemas ao fornecer evidências de alterações biológicas como consequência de alterações ambientais em larga escala e a longo prazo (aquecimento global, eutrofização ou pescas). Gera dados sobre processos plurianuais complexos que ocorrem nos ecossistemas e permite distinguir entre as alterações naturais e antropológicas induzidas nos ecossistema (Magurran et al. 2010). Por exemplo, o programa de monitorização do mar de Wadden neerlandês (Beukema and Dekker 2020) com mais de 50 anos (1979-2019) usando metodologias consistentes e num espectro largo de espécies de zoobentos como moluscos, poliquetas e crustáceos, permitiu a publicação de mais 100 artigos científicos registando as alterações observadas. Esta monitorização permitiu não só registar as tendências a longo prazo, como também contribuir para antecipar ou prever como as espécies poderiam reagir à maioria das tendências observadas como as alterações climáticas e a eutrofização seguida de deseutrofização.

O programa de monitorização do *Marine Research Lab – Centre for Functional Ecology - Science for People & the Planet* iniciado em 2003 e que recorre até aos dias de hoje, têm um objetivo semelhante ao realizado no mar de Wadden neerlandês, usando sempre as mesmas metodologias, com o intuito de identificar as alterações impostas pelas alterações climáticas e antropogénicas nas comunidades de espécies de peixes e invertebrados do estuário do Mondego.

## 4.2 - Dinâmica populacional

À semelhança de outros estuários na Europa (Hünerlage et al. 2019; Tulp et al. 2012), o estuário do Mondego funciona com um viveiro para o camarão-mouro. No entanto, a sua presença dentro do estuário varia no tempo e no espaço como já anteriormente descrito (Viegas et al. 2007; Viegas et al. 2012).

Através da interpretação dos gráficos das densidades da variação intra-anual é possível descrever o seu ciclo de vida no estuário. O resultado dos dados recolhidos ao longo de 12 anos permite identificar os picos de abundância temporal e do recrutamento desta espécie dentro do estuário. Os dados deste estudo vêm reforçar o ciclo de vida

desta espécie já descrito no estuário do Mondego (Viegas et al. 2007). A presença de indivíduos ao longo do ano inteiro foi comprovada, no entanto existem diferenças ao longo dos meses na sua abundância. De acordo com os resultados obtidos, verificámos que a distribuição intra-anual demonstra que as fêmeas e os machos apresentam picos máximos de abundância semelhantes em dois períodos distintos: primavera/verão (maio, junho, julho) e outono/inverno (novembro, dezembro e janeiro). Já os meses de março e agosto presume-se que coincidam com os períodos de migração desta espécie para dentro e fora do estuário, pois foi nestes períodos que menos indivíduos foram encontrados no estuário. A migração difere com os grupos de idade e sexo (Boddeke 1976), o que reflete em parte as diferenças no ciclo reprodutivo (Campos and van der Veer 2008; Gelin et al. 2001; Kuipers and Dapper 1984), em que as fêmeas ovígeras e os machos são mais sensíveis à temperatura e preferem salinidades mais elevadas, enquanto os juvenis preferem salinidades mais baixas (Gelin et al. 2001).

O aparecimento de juvenis reflete o recrutamento desta espécie, pelo que existem dois períodos distintos caracterizados pela sua intensidade. O primeiro caracterizado por ser mais intenso inicia-se em abril prolongando-se até julho, seguindo-se um novo recrutamento iniciado em setembro até dezembro, sendo o recrutamento neste período de menor intensidade comparativamente com o de primavera/verão. O recrutamento de outono foi confirmado pela presença de fêmeas ovígeras dentro do estuário no final do verão. A temperatura é um dos fatores mais importantes que afetam a sobrevivência e desenvolvimento das larvas planctónicas de Crangonidae (Li and Hong 2003, 2007; Viegas et al. 2012). As temperaturas amenas de outono no estuário do Mondego permitem o desenvolvimento dos ovos e o consequente aparecimento de juvenis no inverno (Viegas et al. 2012), o que não acontece nas populações do norte da Europa (Campos and Van Der Veer 2010). Isto faz com que as populações mais a sul possuam características distintas ao nível do ciclo de vida.

A análise da variação inter-anual da abundância de *C. crangon* dá-nos uma perspetiva da dinâmica populacional desta espécie no estuário do Mondego. Houve um declínio geral da população entre 2003-2008 com recuperação posterior para valores mais altos em 2013-2015. O aumento da precipitação e caudal após 2008 observados na Figura 4, pode ter contribuído para este aumento da população. Oscilações na abundância por sexo/idade foram observadas ao longo do período deste estudo, com

destaque para os anos de 2013 e 2015 como os anos em que mais indivíduos do sexo feminino e juvenis foram capturados, em contraste com 2008, que foi o ano em que menos indivíduos de todos os sexos foram encontrados. A partir de 2008 verificou-se um decréscimo de machos na população que pode dever-se à diferenciação tardia ou dificuldade de diferenciação dos juvenis para machos, sendo esta facilitada para fêmea. O aumento da densidade quer de fêmeas quer de juvenis a partir de 2008, que coincide com o declínio dos machos, presume suportar esta hipótese. Estas oscilações são previsíveis em populações de invertebrados onde a mortalidade é elevada, são suscetíveis de ser influenciados por vários fatores que variam no espaço e no tempo, como a abundância de predadores, a disponibilidade de alimento mas também as condições hidrográficas como a temperatura e salinidade (Henderson et al. 2006; Hufnagl et al. 2013; Reiser et al. 2016), sendo estas últimas mais sujeitas aos efeitos de eventos climáticos extremos. Este poderão ser considerados pontuais, mas se, como se verificou no período de estudo deste trabalho, se estes eventos se tornarem mais frequentes, as suas consequências poderão tomar contornos mais persistentes e/ou permanentes.

A distribuição dos diferentes sexos de *C. crangon* ao longo do estuário do Mondego dependeu apenas das variáveis ambientais salinidade e índice NAO. Anos de maior salinidade, que correspondem a períodos de seca, parece favorecer os machos, anos de NAO positivo aparentam favorecer os juvenis, o que revela ser benéfico para o recrutamento futuro desta espécie no Mondego. Contudo o valor do  $r^2$  desta análise é relativamente baixo, ou seja, provavelmente existem outros parâmetros que não foram considerados na análise e que poderão ter influência na distribuição e abundância da população, como por exemplo a abundância de predadores, disponibilidade de alimento ou substrato (Campos and Van Der Veer 2008). Devido ao seu ciclo de vida dinâmico entre a utilização do mar e do estuário, possui uma maior tolerância as variáveis em estudo o que faz com que a variabilidade espacial não seja tão evidente entre os vários anos.

### **4.3 - Impacto dos eventos climáticos extremos na população de *C. crangon***

O efeito das alterações climáticas cada vez mais se faz sentir por todo o planeta a uma velocidade abrupta (IPCC 2018) pondo em causa a capacidade de adaptação de muitas espécies (Lotze et al. 2019; Vargas et al. 2017). Têm como consequência direta a intensificação dos eventos climáticos extremos e Portugal não é exceção, nos últimos anos foram registados diversos fenómenos climáticas extremos, principalmente secas (Dolbeth et al. 2011; Martinho et al. 2010).

Portugal enfrentou nas últimas décadas diversos eventos climáticos extremos principalmente períodos de seca, destacando-se o período de seca de 2004/2005, que segundo o IPMA, foi a maior desde que há registos ao nível de extensão territorial e mais intensa tendo em conta os meses consecutivos de seca severa e extrema. No entanto seguiram-se novamente períodos de seca extrema em 2007/2008, 2011/2012 e 2015. Foram registados também períodos de cheias em 2010 e 2014 em que os valores de precipitação estiveram acima dos valores de precipitação da normal climática de 1971-2000. 2014 foi o ano em que se registou um maior caudal de água doce no estuário do Mondego ao longo deste estudo.

Um aumento da salinidade no estuário foi observado em anos de secas extremas graças ao caudal reduzido do rio Mondego, levando ao aumento de água salgada proveniente do oceano (Marques et al. 2014). Porém nos anos de cheias, o inverso se registou, com maior quantidade de água doce resultante da precipitação e do aumento do caudal do rio Mondego (Monteiro et al. 2021; Teixeira et al. 2008). Alterações do gradiente de salinidade e do fluxo de água doce no estuário devido aos eventos climáticos extremos, são responsáveis pelas mudanças nas comunidades de peixes e bentónica presentes no estuário (Baptista et al. 2014; Bento et al. 2016; Cardoso et al. 2008; Grilo et al. 2011).

O resultado da análise CUSUM permite detetar pontos críticos durante o período do estudo, sendo uma ferramenta útil para avaliar um conjunto de dados de longo termo, sendo desta forma possível identificar as diferenças ao longo do período. Foi possível verificar que a abundância de *C. crangon* dentro do estuário variou ao longo dos anos consoante o sexo e idade. Os parâmetros abióticos apresentam muitas variações devido à existência de vários eventos climáticos extremos que levaram à existência de pontos

críticos ao longo da análise. As variações dos padrões globais climáticos do NAO e EAP deve-se à natureza dos mesmos. As fêmeas beneficiam de salinidades baixas quando presentes dentro do estuário, já as fêmeas ovígeras estão correlacionadas com maior caudal. Os juvenis são os que mais dependem dos parâmetros ambientais, beneficiam de temperaturas mais elevadas, maior caudal, salinidade baixa e anos de não e EAP positivo. Um maior caudal irá traduzir-se num aumento da concentração de nutrientes dentro do estuário (Oliveira et al. 2019), que irá aumentar a produção primária e por sua vez a abundância de presas que o *C. crangon* se alimenta. Uma fase positiva do NAO está associada a uma forte circulação de vento no Atlântico Norte e temperaturas atmosféricas e do mar elevadas na Europa ocidental (Ottersen et al. 2001). O EAP por sua vez têm maior influencia na precipitação, quando em fase positiva impulsiona a precipitação (Mellado-Cano et al. 2019). O efeito do NAO já tinha sido relatado como determinante na abundância desta espécie no norte da Europa, existindo uma relação negativa entre o efeito NAO positivo e a abundância de *C. crangon* (Attrill and Power 2002), no entanto no estuário do Mondego os resultados demonstraram o oposto. Há respostas contraditórias nas respostas ao NAO entre as zonas mais a norte e a sul da Europa, que pode ter a ver com as especificidades da circulação atmosférica e oceânica, e o modo como elas influenciam a temperatura do mar. Os machos não apresentaram qualquer relação com os parâmetros ambientais analisados. Existem outros parâmetros que não foram tidos em conta para a análise e que podem ser responsáveis pela abundância dos machos, como por exemplo o diferencial entre a temperatura do mar e do estuário, predação ou processos comportamentais.

*C. crangon* é uma espécie eurialina, sobrevivendo entre os 0 e 35 de salinidade (Broekema 1942; Campos and Van Der Veer 2010; Mouny et al. 2000; Tiews, 1970), tolera um gradiente de temperatura entre os 6°C e os 30°C, no entanto em anos em que o inverno é rigoroso têm tendência a ir para zonas de maior salinidade migrando para o oceano (Broekema 1942; Campos and van der Veer 2008; Jeffery and Revill 2002). De uma forma geral os resultados do nosso estudo demonstram que durante o período de cheias, quando a salinidade é mais baixa e o caudal de água doce é maior, observa-se um maior recrutamento de juvenis e uma maior presença de fêmeas. O oposto foi verificado noutro crustáceo - *Carcinus maenas*, o qual beneficia de períodos de seca e de salinidades elevadas (Monteiro et al. 2021).

Estudos anteriores sobre os efeitos de eventos climáticos extremos noutras espécies do estuário Mondego mostraram efeitos diferentes consoante a espécie. Na maioria dos casos, os períodos de seca correspondendo a maiores salinidades levaram a uma diminuição das densidades de espécies estuarinas tais como *Pomatoschistus microps* e *P. minutus* (Martinho et al. 2007) e um maior recrutamento em *C. maenas* (Monteiro et al. 2021). As populações de *D. labrax*, *Solea solea* e *Platichthys flesus* foram também afetadas pelo período de seca (Bento et al. 2016; Martinho et al. 2007, 2010) e algumas espécies marinhas beneficiaram das condições de maior salinidade dentro do estuário (*Arnoglossus laterna*, *Buglossidium luteum*, *Dicologlossa hexophthalma* e *Pegusa lascaris*) (Martinho et al. 2010).

Compreender os efeitos dos eventos climáticos extremos e de como afetam as espécies num determinado local é muito importante, uma vez que estes eventos climáticos vão continuar a intensificar-se e são responsáveis por alterações nas populações (González-Ortegón et al. 2010; Martinho et al. 2007; Monteiro et al. 2021; Oliveira et al. 2019). Ao possuímos conhecimento de como as populações se comportam a longo prazo é uma mais-valia no sentido de prever o que poderá acontecer com as alterações climáticas e extrapolar essa informação de forma a prevenir a impactos negativos noutros locais mais a norte. Para além disso, *C. crangon* é uma espécie chave neste ecossistema, como presa para inúmeras espécies de peixe de interesse comercial (França et al. 2011). O sucesso do repovoamento de stocks de peixes a partir da maternidade que é o estuário do Mondego vai ser influenciado pela abundância de presas, pelo que estudar esta população permitirá antecipar impactos económicos.

#### **4.4 – Considerações finais**

A monitorização de determinadas espécies é um método importantíssimo para identificar alterações no ecossistema. Neste estudo, através do uso de uma base dados de longo termo do estuário do Mondego foi possível identificar um padrão na utilização do estuário no ciclo de vida do *C. crangon* e verificar que de acordo com a existência de secas e cheias, a população apresenta diferentes características e dinâmicas. Conclui-se que salinidade baixa e um maior caudal de água proveniente do rio Mondego estão correlacionados com um maior recrutamento desta espécie. É necessário continuar com

a monitorização desta espécie de forma a ter uma proporção idêntica de períodos regulares, de seca e cheias de forma a produzir resultados mais coesos. Numa futura análise sobre dinâmica populacional também se deveria ter em conta a presença de predadores, sendo esta uma variável que pode influenciar a distribuição e abundância de *C. crangon*.



## Referências

---

- Attrill, Martin J., and Michael Power. 2002. "Climatic Influence on a Marine Fish Assemblage." *Nature* 417(6886):275–78. doi: 10.1038/417275a.
- Augusto, Manuel, Miguel Ângelo, and João Carlos. 2016. *Aquatic Ecology of the Mondego River Basin Global Importance of Local Experience Autor ( Es ): Publicado Por : URL Persistente : DOI : Accessed : URI : Http://Hdl.Handle.Net/10316.2/2803 DOI : Http://Dx.Doi.Org/10.14195/978-989-26-0336-0.*
- Baptista, J., F. Martinho, D. Nyitrai, M. A. Pardal, and M. Dolbeth. 2014. "Long-Term Functional Changes in an Estuarine Fish Assemblage." *Marine Pollution Bulletin* 97(1–2):125–34. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.06.025.
- Baptista, Joana, Filipe Martinho, Marina Dolbeth, Ivan Viegas, Henrique Cabral, and Miguel Pardal. 2010. "Effects of Freshwater Flow on the Fish Assemblage of the Mondego Estuary (Portugal): Comparison between Drought and Non-Drought Years." *Marine and Freshwater Research* 61(4):490–501. doi: 10.1071/MF09174.
- Baptista, Joana, Pedro Pato, Eduarda Pereira, Armando C. Duarte, and Miguel A. Pardal. 2013. "PCBs in the Fish Assemblage of a Southern European Estuary." *Journal of Sea Research* 76:22–30. doi: 10.1016/j.seares.2012.09.011.
- Barbier, E. B., S. D. Hacker, E. W. Koch, A. C. Stier, and B. R. Silliman. 2012. "Estuarine and Coastal Ecosystems and Their Services." Pp. 109–27 in *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. Vol. 12. Elsevier Inc.
- Barbier EB, Hacker SD, Kennedy C, Koch EW, Stier AC, and Silliman BR. 2011. "The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services." *Ecological Monographs* 81(2)(2):169–193.
- Bento, Eduardo G., Tiago F. Grilo, Dániel Nyitrai, Marina Dolbeth, Miguel Ângelo Pardal, and Filipe Martinho. 2016. "Climate Influence on Juvenile European Sea Bass (*Dicentrarchus Labrax*, L.) Populations in an Estuarine Nursery: A Decadal Overview." *Marine Environmental Research* 122:93–104. doi: 10.1016/j.marenvres.2016.09.011.
- Bergman, M. J. N., H. W. van der Veer, and J. J. Zulstra. 1988. "Plaice Nurseries: Effects on Recruitment." *Journal of Fish Biology* 33:201–18. doi: 10.1111/j.1095-8649.1988.tb05574.x.

- Beukema, J., P. Honkoop, and R. Dekker. 1998. "Recruitment in *Macoma Balthica* after Mild and Cold Winters and Its Possible Control by Egg Production and Shrimp Predation." *Hydrobiologia* 375/376:23–34.
- Beukema, J. J., and R. Dekker. 2020. "Half a Century of Monitoring Macrobenthic Animals on Tidal Flats in the Dutch Wadden Sea." *Marine Ecology Progress Series* 656:1–18. doi: 10.3354/meps13555.
- Boddeke, R. 1976. "The Seasonal Migration of the Brown Shrimp *Crangon Crangon*." *Netherlands Journal of Sea Research* 10(1):103–30. doi: 10.1016/0077-7579(76)90006-5.
- Boddeke, Rudolf, Gerard Driessen, Wouter Doesburg, and Guido Ramaekers. 1986. "Food Availability and Predator Presence in a Coastal Nursery Area of the Brown Shrimp (*Crangon Crangon*)." *Ophelia* 26(1):77–90. doi: 10.1080/00785326.1986.10421980.
- Bonsdorff, Erik, Alf Norkko, and Eva Sandberg. 1995. "Structuring Zoobenthos: The Importance of Predation, Siphon Cropping and Physical Disturbance." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 192(1):125–44. doi: 10.1016/0022-0981(95)00067-2.
- Broekema, M. M. M. 1942. "Seasonal Movements and the Osmotic Behaviour of the Shrimp, *Crangon Crangon* L." *Archives Néerlandaises de Zoologie* 6(1):1–100. doi: 10.1163/036551642X00017.
- Campos, Joana. 2008. "Population Dynamics of the Brown Shrimp *Crangon Crangon* L. in European Waters." *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 1–203.
- Campos, Joana, Cláudia Moreira, Fabiana Freitas, and Henk W. van der Veer. 2012. "Short Review of the Eco-Geography of *Crangon*." *Journal of Crustacean Biology* 32(2):159–69.
- Campos, Joana, Cindy Pedrosa, Joana Rodrigues, Sílvia Santos, Johanes I. J. Witte, Paulo Santos, and Henk W. Van Der Veer. 2009. "Population Zoogeography of Brown Shrimp *Crangon Crangon* along Its Distributional Range Based on Morphometric Characters." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89(3):499–507. doi: 10.1017/S0025315408002312.
- Campos, Joana, and Henk W. van der Veer. 2008. "Autecology of *Crangon Crangon* (L.) with an Emphasis on Latitudinal Trends." *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, Vol 46* 46:65–104.
- Cardoso, P. G., S. Leston, T. F. Grilo, M. D. Bordalo, D. Crespo, D. Raffaelli, and M. A. Pardal. 2010. "Implications of Nutrient Decline in the Seagrass Ecosystem Success." *Marine Pollution Bulletin* 60(4):601–8. doi: 10.1016/j.marpolbul.2009.11.004.

- Cardoso, P. G., M. A. Pardal, A. I. Lillebø, S. M. Ferreira, D. Raffaelli, and J. C. Marques. 2004. “Dynamic Changes in Seagrass Assemblages under Eutrophication and Implications for Recovery.” *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 302(2):233–48. doi: 10.1016/j.jembe.2003.10.014.
- Cardoso, P. G., D. Raffaelli, A. I. Lillebø, T. Verdelhos, and M. A. Pardal. 2008. “The Impact of Extreme Flooding Events and Anthropogenic Stressors on the Macrobenthic Communities’ Dynamics.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76(3):553–65. doi: 10.1016/j.ecss.2007.07.026.
- Cariou, Thibault, Laurent Dubroca, and Camille Vogel. 2020. “Long Term Survey of the Fish Community and Associated Benthic Fauna of the Seine Estuary Nursery Grounds.” *Scientific Data* 7(1):1–8. doi: 10.1038/s41597-020-0572-x.
- Catchpole, Tom L., Andrew S. Revill, James Innes, and Sean Pascoe. 2008. “Evaluating the Efficacy of Technical Measures: A Case Study of Selection Device Legislation in the UK *Crangon Crangon* (Brown Shrimp) Fishery.” *ICES Journal of Marine Science* 65(2):267–75. doi: 10.1093/icesjms/fsn016.
- Chang, Andrew L., Christopher W. Brown, Jeffrey A. Crooks, and Gregory M. Ruiz. 2018. “Dry and Wet Periods Drive Rapid Shifts in Community Assembly in an Estuarine Ecosystem.” *Global Change Biology* 24(2):e627–42. doi: 10.1111/gcb.13972.
- Clarke, K. R., and R. N. Gorley. 2015. “PERMANOVA+ Primer V7: User Manual.” *Primer-E Ltd., Plymouth, UK* 93.
- Costa, Sónia, Ulisses M. Azeiteiro, and Miguel A. Pardal. 2013. “The Contribution of Scientific Research for Integrated Coastal Management: The Mondego Estuary as Study Case.” *Revista de Gestão Costeira Integrada* 13(2):229–41. doi: 10.5894/rgci391.
- Council of the European Union. 2019. “Regulation (EU) 2019/1241 of the European Parliament and of the Council 20 June 2019 on the Conservation of Fisheries Resources and the Protection of Marine Ecosystems through Technical Measures, Amending Council Regulations (EC) No 1967/2006, (EC) No 122.” *Official Journal of the European Union* 2019(1380):1–2.
- Crespo, Daniel, Marina Dolbeth, Sara Leston, Ronaldo Sousa, and Miguel Ângelo Pardal. 2015. “Distribution of *Corbicula Fluminea* (Müller, 1774) in the Invaded Range: A Geographic Approach with Notes on Species Traits Variability.” *Biological Invasions* 17(7):2087–2101. doi: 10.1007/s10530-015-0862-y.

- Crespo, Daniel, Tiago Verdelhos, Marina Dolbeth, and Miguel Ângelo Pardal. 2010. "Effects of the over Harvesting on an Edible Cockle (*Cerastoderma Edule* Linnaeus, 1758) Population on a Southern European Estuary." *Fresenius Environmental Bulletin* 19(12):2801–11.
- Cuesta, J., E. Gonzalez-Ortegon, A. Rodríguez, F. Baldó, C. Vilas, and P. Drake. 2006. "The Decapod Custacean Community of the Guadalquivir Estuary (SW Spain): Seasonal and Inter-Year Changes in Community Structure." *Hydrobiologia* 557(1):85–95.
- Delbare, Daan, Kris Cooreman, and Guy Smagghe. 2014. "Rearing European Brown Shrimp (*Crangon Crangon*, Linnaeus 1758): A Review on the Current Status and Perspectives for Aquaculture." *Reviews in Aquaculture* 7(4):262–82.
- Dinis, David. 2011. "Effects of Extreme Weather Events and Large Scale Factors in the Population of *Crangon Crangon* (L.1758) in the Mondego Estuary." *MSc Thesis* University of Coimbra, Coimbra, Portugal
- DGRM,online:<https://www.dgrm.mm.gov.pt/documents/20143/121104/Tabela+de+Tamanhos+M%C3%ADnimos+de+Captura+10-11-17.pdf/3be9f518-f518-4d37-c64c-126ac40f40b6/> acedido a 22/04/2021.
- Dolbeth, M., P. G. Cardoso, T. F. Grilo, M. D. Bordalo, D. Raffaelli, and M. A. Pardal. 2011. "Long-Term Changes in the Production by Estuarine Macrobenthos Affected by Multiple Stressors." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92(1):10–18. doi: 10.1016/j.ecss.2010.12.006.
- Dolbeth, M., F. Martinho, I. Viegas, H. Cabral, and M. A. Pardal. 2008. "Estuarine Production of Resident and Nursery Fish Species: Conditioning by Drought Events?" *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78(1):51–60. doi: 10.1016/j.ecss.2007.11.021.
- Dolbeth, Marina, Patrícia Cardoso, Tiago Grilo, Dave Raffaelli, and Miguel Angelo Pardal. 2013. "Drivers of Estuarine Benthic Species Distribution Patterns Following a Restoration of a Seagrass Bed: A Functional Trait Analyses." *Marine Pollution Bulletin* 72(1):47–54. doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.05.001.
- Dolbeth, Marina, Filipe Martinho, Vânia Freitas, Sérgio Costa-Dias, Joana Campos, and Miguel Ângelo Pardal. 2010. "Multi-Year Comparisons of Fish Recruitment, Growth and Production in Two Drought-Affected Iberian Estuaries." *Marine and Freshwater Research* 61(12):1399–1415. doi: 10.1071/MF10002.
- Evans, Sverker. 1984. "Energy Budgets and Predation Impact of Dominant Epibenthic Carnivores on a Shallow Soft Bottom Community at the Swedish West Coast." *Estuarine, Coastal and Shelf*

*Science* 18(6):651–72. doi: 10.1016/0272-7714(84)90037-4.

Folha, R. M. R. Q. (2011). *Impactes naturais e antrópicos no Estuário do rio Mondego e litoral adjacente* (Doctoral dissertation).

França, Susana, Rita P. Vasconcelos, Susanne Tanner, Cristina Máguas, Maria José Costa, and Henrique N. Cabral. 2011. “Assessing Food Web Dynamics and Relative Importance of Organic Matter Sources for Fish Species in Two Portuguese Estuaries: A Stable Isotope Approach.” *Marine Environmental Research* 72(4):204–15. doi: 10.1016/j.marenvres.2011.09.001.

Gelin, A., A. Crivelli, A. Rosecchi, and P. Kerambrun. 2000. “Is the Brown Shrimp *Crangon Crangon* (L.) Population of the Vaccarès Lagoon (Camargue, France, Rhône Delta) an Annual Population?” *Life Sciences* 323:741–748.

Gelin, Agnès, Alain J. Crivelli, Elisabeth Rosecchi, and Pierre Kerambrun. 2001. “CAN SALINITY CHANGES AFFECT REPRODUCTIVE SUCCESS IN THE BROWN SHRIMP *CRANGON CRANGON* ?” *Journal of Crustacean Biology* 21(4):905–11.

Gillett, R. 2008. Global study of shrimp fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No. 475. Rome, FAO. 331p

Gonçalves, Ana M. M., Miguel Â. Pardal, Sónia C. Marques, Susana Mendes, María J. Fernández-Gómez, María P. Galindo-Villardón, and Ulisses M. Azeiteiro. 2012. “Responses of Copepoda Life-History Stages to Climatic Variability in a Southern-European Temperate Estuary.” *Zoological Studies* 51(3):321–35.

González-Ortegón, E., M. D. Subida, J. A. Cuesta, A. M. Arias, C. Fernández-Delgado, and P. Drake. 2010. “The Impact of Extreme Turbidity Events on the Nursery Function of a Temperate European Estuary with Regulated Freshwater Inflow.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 87(2):311–24. doi: 10.1016/j.ecss.2010.01.013.

Grilo, T. F., P. G. Cardoso, M. Dolbeth, M. D. Bordalo, and M. A. Pardal. 2011. “Effects of Extreme Climate Events on the Macrobenthic Communities’ Structure and Functioning of a Temperate Estuary.” *Marine Pollution Bulletin* 62(2):303–11. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.10.010.

De Groot, Rudolf, Brendan Fisher, Mike Christie, James Aronson, Leon Braat, John Gowdy, Roy Haines-Young, Edward Maltby, Aude Neuville, Stephen Polasky, Rosimeiry Portela, Irene Ring, James Blignaut, Eduardo Brondízio, Robert Costanza, Kurt Jax, Gopal K. Kadekodi, Peter H. May, Jeffrey A. Mc Neely, Stanislav Shmelev, and Gopal K. Kadekodi. 2012. “Integrating the Ecological and Economic Dimensions in Biodiversity and Ecosystem Service Valuation.” *The Economics of*

*Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations* (March):9–40. doi: 10.4324/9781849775489.

Guerreiro, Milene Alexandra, Filipe Martinho, Joana Baptista, Filipe Costa, Miguel Ângelo Pardal, and Ana Lúcia Primo. 2021. “Function of Estuaries and Coastal Areas as Nursery Grounds for Marine Fish Early Life Stages.” *Marine Environmental Research* 170 (July). doi: 10.1016/j.marenvres.2021.105408.

Gunnarsson, B., H. Ásgeirsson, and A. Ingólfsón. 2007. “The Rapid Colonization by *Crangon Crangon* (Linnaeus, 1758) (Eucarida, Caridea, Crangonidae) of Icelandic Coastal Waters.” *Crustaceana* 80(6):747–53.

Harris, R. M. B., L. J. Beaumont, T. R. Vance, C. R. Tozer, T. A. Remenyi, S. E. Perkins-Kirkpatrick, P. J. Mitchell, A. B. Nicotra, S. McGregor, N. R. Andrew, M. Letnic, M. R. Kearney, T. Wernberg, L. B. Hutley, L. E. Chambers, M. S. Fletcher, M. R. Keatley, C. A. Woodward, G. Williamson, N. C. Duke, and D. M. J. S. Bowman. 2018. “Biological Responses to the Press and Pulse of Climate Trends and Extreme Events.” *Nature Climate Change* 8(7):579–87. doi: 10.1038/s41558-018-0187-9.

Henderson, P. A., and R. H. A. Holmes. 1987. “On the Population Biology of the Common Shrimp *Crangon Crangon* (L.) (Crustacea: Caridea) in the Severn Estuary and Bristol Channel.” *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 67(4):825–47. doi: 10.1017/S0025315400057076.

Henderson, P. A., R. M. H. Seaby, and J. R. Somes. 2011. “Community Level Response to Climate Change: The Long-Term Study of the Fish and Crustacean Community of the Bristol Channel.” *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 400(1–2):78–89. doi: 10.1016/j.jembe.2011.02.028.

Henderson, P. A., R. M. Seaby, and J. R. Somes. 2006. “A 25-Year Study of Climatic and Density-Dependent Population Regulation of Common Shrimp *Crangon Crangon* (Crustacea: Caridea) in the Bristol Channel.” *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 86(2):287–98.

Hufnagl, Marc, K. B. Huebert, and Alex Temming. 2013. “How Does Seasonal Variability in Growth, Recruitment, and Mortality Affect the Performance of Length-Based Mortality and Asymptotic Length Estimates in Aquatic Resources?” *ICES Journal of Marine Science: Journal Du Conseil* 70(2):329–41.

Hünlerlage, Kim, Volker Siegel, and Reinhard Saborowski. 2019. “Reproduction and Recruitment of the

- Brown Shrimp *Crangon Crangon* in the Inner German Bight (North Sea): An Interannual Study and Critical Reappraisal.” *Fisheries Oceanography* 28(6):708–22. doi: 10.1111/fog.12453.
- ICES. 2013. Report of the Workshop on Evaluation Progress Eel Management Plans (WKEPEMP), 13–15 May 2013, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2013/ACOM:32. 757 pp.
- ICES. 2008. “Report of the Working Group on Crangon Fisheries and Life History (WGCRAN).” *International Council for the Exploration of the Sea* LRC:12:49 pp.
- IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. *World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.*
- IPBS. 2019. *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.*
- Jeffery, S., and A. Revill. 2002. “The Vertical Distribution of Southern North Sea *Crangon Crangon* (Brown Shrimp) in Relation to Towed Fishing Gears as Influenced by Water Temperature.” *Fisheries Research* 55:319–323.
- Kamermans, P., and H. Huitema. 1994. “Shrimp (*Crangon Crangon* L.) Browsing upon Siphon Tips Inhibits Feeding and Growth in the Bivalve *Macoma Balthica* (L).” *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 175:59–75.
- Koenigstein, Stefan, Felix C. Mark, Stefan Gößling-Reisemann, Hauke Reuter, and Hans Otto Poertner. 2016. “Modelling Climate Change Impacts on Marine Fish Populations: Process-Based Integration of Ocean Warming, Acidification and Other Environmental Drivers.” *Fish and Fisheries* 17(4):972–1004. doi: 10.1111/faf.12155.
- Kouamo, Olaf. 2011. “Analyse Des Séries Chronologiques à Mémoire Longue Dans Le Domaine Des Ondelettes Olaf Kouamo To Cite This Version : Thèse Olaf KOUAMO Analyse Des Séries Chronologiques à Mémoire Longue Dans Le Domaine Des Ondelettes.”
- Kremen, Claire. 2005. “Managing Ecosystem Services: What Do We Need to Know about Their Ecology?” *Ecology Letters* 8(5):468–79. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x.

- Kuipers, B., and R. Dapper. 1981. "Production of *Crangon Crangon* in the Tidal Zone of the Dutch Waddes Sea." *Netherlands Journal of Sea Research* 15(1):33–53.
- Kuipers, B., and R. Dapper. 1984. "Nursery Function of Wadden Sea Tidal Flats for the Brown Shrimp *Crangon Crangon*." *Marine Ecology - Progress Series* 17:171–81.
- Lagardere, Jean Paul. 1981. "*Crangon Crangon*." *Construction* 24:77–90.
- Lancaster, J., and C. Frid. 2002. "The Fate of Discarded Juvenile Brown Shrimps (*Crangon Crangon*) in the Solway Firth UK Fishery." *Fisheries Research* 58:95–107.
- Leitão, Ricardo, F. Martinho, H. N. Cabral, J. M. Neto, I. Jorge, and M. A. Pardal. 2007. "The Fish Assemblage of the Mondego Estuary: Composition, Structure and Trends over the Past Two Decades." *Hydrobiologia* 587(1):269–79. doi: 10.1007/s10750-007-0688-4.
- Li, H. Y., and Sung Yun Hong. 2003. "Larval Development of *Crangon Hakodatei* Rathbun (Decapoda: Crangonidae) Reared in the Laboratory." *Journal of Plankton Research* 25(11):1367.
- Li, H. Y., and Sung Yun Hong. 2007. "The Effect of Temperature and Salinity on Survival and Growth of *Crangon Uritai* (Decapoda: Crangonidae) Larvae Reared in the Laboratory." *Marine Ecology* 28:1–8.
- Lillebø, A. I., M. R. Flindt, P. Cardoso, S. Leston, M. Dolbeth, M. E. Pereira, A. C. Duarte, and M. A. Pardal. 2012. *Restoration of Seagrass Community to Reverse Eutrophication in Estuaries*. Vol. 10. Elsevier Inc.
- Lillebø, A. I., J. M. Neto, M. R. Flindt, J. C. Marques, and M. A. Pardal. 2004. "Phosphorous Dynamics in a Temperate Intertidal Estuary." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61(1):101–9. doi: 10.1016/j.ecss.2004.04.007.
- Lopes, Ricardo J., Miguel A. Pardal, and João C. Marques. 2000. "Impact of Macroalgal Blooms and Wader Predation on Intertidal Macroinvertebrates: Experimental Evidence from the Mondego Estuary (Portugal)." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 249(2):165–79. doi: 10.1016/S0022-0981(00)00202-1.
- Lotze, Heike K., Derek P. Tittensor, Andrea Bryndum-Buchholz, Tyler D. Eddy, William W. L. Cheung, Eric D. Galbraith, Manuel Barange, Nicolas Barrier, Daniele Bianchi, Julia L. Blanchard, Laurent Bopp, Matthias Büchner, Catherine M. Bulman, David A. Carozza, Villy Christensen, Marta Coll, John P. Dunne, Elizabeth A. Fulton, Simon Jennings, Miranda C. Jones, Steve Mackinson, Olivier



- Maury, Susa Niiranen, Ricardo Oliveros-Ramos, Tilla Roy, José A. Fernandes, Jacob Schewe, Yunne Jai Shin, Tiago A. M. Silva, Jeroen Steenbeek, Charles A. Stock, Philippe Verley, Jan Volkholz, Nicola D. Walker, and Boris Worm. 2019. “Global Ensemble Projections Reveal Trophic Amplification of Ocean Biomass Declines with Climate Change.” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116(26):12907–12. doi: 10.1073/pnas.1900194116.
- Luttikhuisen, Pieternella C., Joana Campos, Judith van Bleijswijk, Katja T. C. A. Peijnenburg, and Henk W. van der Veer. 2008. “Phylogeography of the Common Shrimp, *Crangon Crangon* (L.) across Its Distribution Range.” *Molecular Phylogenetics and Evolution* 46(3):1015–30.
- Magurran, Anne E., Stephen R. Baillie, Stephen T. Buckland, Jan Mc P. Dick, David A. Elston, E. Marian Scott, Rognvald I. Smith, Paul J. Somerfield, and Allan D. Watt. 2010. “Long-Term Datasets in Biodiversity Research and Monitoring: Assessing Change in Ecological Communities through Time.” *Trends in Ecology and Evolution* 25(10):574–82. doi: 10.1016/j.tree.2010.06.016.
- Marchand, Jocelyne. 1991. “The Influence of Environmental Conditions on Settlement, Distribution and Growth of 0-Group Sole (*Solea Solea* (L.)) in a Macrotidal Estuary (Vilaine, France).” *Netherlands Journal of Sea Research* 27(3–4):307–16. doi: 10.1016/0077-7579(91)90033-W.
- Marques, J. C., M. Â. Pardal, S. N. Nielsen, and S. E. Jørgensen. 1997. “Analysis of the Properties of Exergy and Biodiversity along an Estuarine Gradient of Eutrophication.” *Ecological Modelling* 102(1):155–67. doi: 10.1016/S0304-3800(97)00099-9.
- Marques, João C., Søren N. Nielsen, Miguel A. Pardal, and Sven E. Jørgensen. 2003. “Impact of Eutrophication and River Management within a Framework of Ecosystem Theories.” *Ecological Modelling* 166(1–2):147–68. doi: 10.1016/S0304-3800(03)00134-0.
- Marques, Sónia Cotrim, Ana Lúcia Primo, Filipe Martinho, Ulisses Miranda Azeiteiro, and Miguel Ângelo Pardal. 2014. “Shifts in Estuarine Zooplankton Variability Following Extreme Climate Events: A Comparison between Drought and Regular Years.” *Marine Ecology Progress Series* 499:65–76. doi: 10.3354/meps10635.
- Martinho, F., M. Dolbeth, I. Viegas, J. Baptista, H. N. Cabral, and M. A. Pardal. 2010. “Does the Flatfish Community of the Mondego Estuary (Portugal) Reflect Environmental Changes?” *Journal of Applied Ichthyology* 26(6):843–52. doi: 10.1111/j.1439-0426.2010.01486.x.
- Martinho, F., M. Dolbeth, I. Viegas, C. M. Teixeira, H. N. Cabral, and M. A. Pardal. 2009. “Environmental Effects on the Recruitment Variability of Nursery Species.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 83(4):460–68. doi: 10.1016/j.ecss.2009.04.024.

- Martinho, F., R. Leitão, J. M. Neto, H. Cabral, F. Lagardère, and M. A. Pardal. 2008. “Estuarine Colonization, Population Structure and Nursery Functioning for 0-Group Sea Bass (*Dicentrarchus Labrax*), Flounder (*Platichthys Flesus*) and Sole (*Solea Solea*) in a Mesotidal Temperate Estuary.” *Journal of Applied Ichthyology* 24(3):229–37. doi: 10.1111/j.1439-0426.2007.01049.x.
- Martinho, F., I. Viegas, M. Dolbeth, R. Leitão, H. N. Cabral, and M. A. Pardal. 2008. “Assessing Estuarine Environmental Quality Using Fish-Based Indices: Performance Evaluation under Climatic Instability.” *Marine Pollution Bulletin* 56(11):1834–43. doi: 10.1016/j.marpolbul.2008.07.020.
- Martinho, Filipe, R. Leitao, Ivan Viegas, Marina Dolbeth, J. M. Neto, Henrique N. Cabral, and Miguel Pardal. 2007. “The Influence of an Extreme Drought Event in the Fish Community of a Southern Europe Temperate Estuary.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 75(4):537–46.
- Martinho, Filipe, Daniel Nyitrai, Daniel Crespo, and Miguel A. Pardal. 2015. “Efficacy of Single and Multi-Metric Fish-Based Indices in Tracking Anthropogenic Pressures in Estuaries: An 8-Year Case Study.” *Marine Pollution Bulletin* 101(1):153–62. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.11.004.
- Martins, I., M. Â. Pardal, A. I. Lillebo, M. R. Flindt, and J. C. Marques. 2001. “Hydrodynamics as a Major Factor Controlling the Occurrence of Green Macroalgal Blooms in a Eutrophic Estuary: A Case Study on the Influence of Precipitation and River Management.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 52(2):165–77. doi: 10.1006/ecss.2000.0708.
- Mellado-Cano, Javier, David Barriopedro, Ricardo García-Herrera, Ricardo M. Trigo, and Armand Hernández. 2019. “Examining the North Atlantic Oscillation, East Atlantic Pattern, and Jet Variability since 1685.” *Journal of Climate* 32(19):6285–98. doi: 10.1175/JCLI-D-19-0135.1.
- Monteiro, João N., Miguel Pinto, Daniel Crespo, Miguel A. Pardal, and Filipe Martinho. 2021. “Effects of Climate Variability on an Estuarine Green Crab *Carcinus Maenas* Population.” *Marine Environmental Research* 169 (February). doi: 10.1016/j.marenvres.2021.105404.
- Monteiro, M., U. M. Azeiteiro, F. Martinho, M. A. Pardal, and A. L. Primo. 2021. “Long-Term Changes of Ichthyoplankton Communities in an Iberian Estuary Are Driven by Varying Hydrodynamic Conditions.” *Journal of Plankton Research* 43(1):33–45. doi: 10.1093/plankt/fbaa057.
- Mouny, Pascal, Jean Claude Dauvin, and Souaad Zouhiri. 2000. “Benthic Boundary Layer Fauna from the Seine Estuary (Eastern English Channel, France): Spatial Distribution and Seasonal Changes.” *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 80(6):959–68. doi: 10.1017/S0025315400003027.

- Neudecker, T., and U. Damm. 2010. “The By-Catch Situation in German Brown Shrimp (*Crangon Crangon* L.) Fisheries with Particular Reference to Plaice (*Pleuronectes Platessa* L.).” *Journal of Applied Ichthyology* 26:67–74. doi: 10.1111/j.1439-0426.2010.01447.x.
- Neves, A., Henrique N. Cabral, and L. S. Gordo. 2007. “Distribution and Abundance Patterns of Decapod Crustaceans in the Sado Estuary, Portugal.” *Crustaceana* 80(1):97–112.
- Nyitrai, Daniel, Filipe Martinho, Marina Dolbeth, João Rito, and Miguel A. Pardal. 2013. “Effects of Local and Large-Scale Climate Patterns on Estuarine Resident Fishes: The Example of *Pomatoschistus Microps* and *Pomatoschistus Minutus*.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 135:260–68. doi: 10.1016/j.ecss.2013.10.030.
- Oh, C. W., R. G. Hartnoll, and R. Nash. 2001. “Feeding Ecology of the Common Shrimp *Crangon Crangon* in Port Erin Bay, Isle of Man, Irish Sea.” *Marine Ecology - Progress Series* 214:211–23.
- Oliveira, Vítor H., Magda C. Sousa, Fernando Morgado, and João M. Dias. 2019. “Modeling the Impact of Extreme River Discharge on the Nutrient Dynamics and Dissolved Oxygen in Two Adjacent Estuaries (Portugal).” *Journal of Marine Science and Engineering* 7(11). doi: 10.3390/jmse7110412.
- Ottersen, Geir, Benjamin Planque, Andrea Belgrano, Eric Post, Philip C. Reid, and Nils C. Stenseth. 2001. “Ecological Effects of the North Atlantic Oscillation.” *Oecologia* 128(1):1–14. doi: 10.1007/s004420100655.
- Pardal, M. A., J. C. Marques, I. Metelo, A. I. Lillebø, and M. R. Flindt. 2000. “Impact of Eutrophication on the Life Cycle, Population Dynamics and Production of *Ampithoe Valida* (Amphipoda) along an Estuarine Spatial Gradient (Mondego Estuary, Portugal).” *Marine Ecology Progress Series* 196(Hartog 1994):207–19. doi: 10.3354/meps196207.
- Pascoe, S., and A. Revill. 2004. “Costs and Benefits of Bycatch Reduction Devices in European Brown Shrimp Trawl Fisheries.” *Environmental and Resource Economics* 27:43–64.
- Pihl, Leif, and Rutger Rosenberg. 1984. “*Crangon Crangon* in Some Shallow Marine Areas in Western Sweden.” *Marine Biology* 15:159–68.
- Pinto, M., J. N. Monteiro, D. Crespo, F. Costa, J. Rosa, A. L. Primo, M. A. Pardal, and F. Martinho. 2021. “Influence of Oceanic and Climate Conditions on the Early Life History of European Seabass *Dicentrarchus Labrax*.” *Marine Environmental Research* 169(May):105362. doi: 10.1016/j.marenvres.2021.105362.

- Pinto, Rute, Joana Patrício, João Magalhães Neto, Fuensanta Salas, and João Carlos Marques. 2010. "Assessing Estuarine Quality under the Ecosystem Services Scope: Ecological and Socioeconomic Aspects." *Ecological Complexity* 7(3):389–402. doi: 10.1016/j.ecocom.2010.05.001.
- Primo, Ana Lúcia, Ana Catarina Vaz, Daniel Crespo, Filipe Costa, Miguel Pardal, and Filipe Martinho. 2021. "Contrasting Links between Growth and Survival in the Early Life Stages of Two Flatfish Species." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 254(March):107314. doi: 10.1016/j.ecss.2021.107314.
- Reiser, Stefan, Alex Temming, Marc Hufnagl, André Eckhardt, and Jens-Peter Herrmann. 2016. "Behavioral Thermoregulation of the Common Brown Shrimp (*Crangon Crangon*, L.) throughout the Seasonal Cycle." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 478(C):1–9.
- Schatte, Jessica, and Reinhard Saborowski. 2006. "Change of External Sexual Characteristics during Consecutive Moults in *Crangon Crangon* L." *Helgoland Marine Research* 60(1):70–73.
- Siegel, V., J. Groger, T. Neudecker, U. Damm, and S. Jansen. 2005. "Long-Term Variation in the Abundance of the Brown Shrimp *Crangon Crangon* (L.) Population of the German Bight and Possible Causes for Its Interannual Variability." *Fisheries Oceanography* 14(1):1–16.
- Smale, Dan A., and Thomas Wernberg. 2013. "Extreme Climatic Event Drives Range Contraction of a Habitat-Forming Species." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280(1754). doi: 10.1098/rspb.2012.2829.
- Spaargaren, D. H. 2000. "Seasonal and Annual Variations in the Catches of *Crangon Crangon* (L., 1758) (Decapoda, Natantia) near the Coast of Texel, The Netherlands." *Crustaceana* 73(5):547–63. doi: 10.1163/156854000504651.
- Tanner, S. E., R. P. Vasconcelos, P. Reis-Santos, H. N. Cabral, and S. R. Thorrold. 2011. "Spatial and Ontogenetic Variability in the Chemical Composition of Juvenile Common Sole (*Solea Solea*) Otoliths." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 91(1):150–57. doi: 10.1016/j.ecss.2010.10.008.
- Teixeira, H., F. Salas, Á. Borja, J. M. Neto, and J. C. Marques. 2008. "A Benthic Perspective in Assessing the Ecological Status of Estuaries: The Case of the Mondego Estuary (Portugal)." *Ecological Indicators* 8(4):404–16. doi: 10.1016/j.ecolind.2007.02.008.
- Teixeira, Z., Marques, C., Mota, J. S., & Garcia, A. C. (2018). Identification of potential aquaculture sites in solar saltscapes via the Analytic Hierarchy Process. *Ecological Indicators*, 93, 231-242.

doi:10.1016/j.ecolind.2018.05.003

- Tiews, K. (1970). Synopsis of biological data on the common shrimp, *Crangon crangon* (Linnaeus, 1758). FAO Fisheries Report 4: 1167–1224.
- Tulp, I., L. J. Bolle, E. Meesters, and P. de Vries. 2012. “Brown Shrimp Abundance in Northwest European Coastal Waters from 1970 to 2010 and Potential Causes for Contrasting Trends.” *Marine Ecology - Progress Series* 458:141–54.
- Tulp, Ingrid, Chun Chen, Holger Haslob, Katharina Schulte, Volker Siegel, Josien Steenbergen, Alex Temming, and Marc Hufnagl. 2016. “Annual Brown Shrimp ( *Crangon Crangon*) Biomass Production in Northwestern Europe Contrasted to Annual Landings.” *ICES Journal of Marine Science: Journal Du Conseil* 73(10):2539–51.
- Vargas, Catarina I. C., Nuno Vaz, and João M. Dias. 2017. “An Evaluation of Climate Change Effects in Estuarine Salinity Patterns: Application to Ria de Aveiro Shallow Water System.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 189:33–45. doi: 10.1016/j.ecss.2017.03.001.
- Vasconcelos, R. P., P. Reis-Santos, V. Fonseca, A. Maia, M. Ruano, S. França, C. Vinagre, M. J. Costa, and H. Cabral. 2007. “Assessing Anthropogenic Pressures on Estuarine Fish Nurseries along the Portuguese Coast: A Multi-Metric Index and Conceptual Approach.” *Science of the Total Environment* 374(2–3):199–215. doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.12.048.
- Vasconcelos, Rita P., Patrick Reis-Santos, Susanne Tanner, Anabela Maia, Christopher Latkoczy, Detlef Günther, Maria José Costa, and Henrique Cabral. 2008. “Evidence of Estuarine Nursery Origin of Five Coastal Fish Species along the Portuguese Coast through Otolith Elemental Fingerprints.” *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79(2):317–27. doi: 10.1016/j.ecss.2008.04.006.
- Verdelhos, T., P. G. Cardoso, M. Dolbeth, and M. A. Pardal. 2014. “Recovery Trends of *Scrobicularia Plana* Populations after Restoration Measures, Affected by Extreme Climate Events.” *Marine Environmental Research* 98:39–48. doi: 10.1016/j.marenvres.2014.03.004.
- Viegas, Ivan. 2006. “Dinâmica Populacional e Biologia Reprodutiva De *Crangon Crangon* (L. 1758) No Estuário Do Mondego.” *MSc Thesis*. University of Coimbra, Coimbra, Portugal
- Viegas, Ivan, Sonia Cotrim Marques, Filipa Bessa, Ana Ligia Primo, Filipe Martinho, Ulisses Miranda Azeiteiro, and Miguel Pardal. 2012. “Life History Strategy of a Southern European Population of Brown Shrimp (*Crangon Crangon* L.): Evidence for Latitudinal Changes in Growth Phenology and Population Dynamics.” *Marine Biology* 159(1):33–43.

- Viegas, Ivan, Filipe Martinho, Joao Neto, and Miguel Pardal. 2007. "Population Dynamics, Distribution and Secondary Production of the Brown Shrimp *Crangon Crangon* (L.) in a Southern European Estuary. Latitudinal Variations." *Scientia Marina* 71:451–60.
- Wennhage, H., and R. Gibson. 1998. "Influence of Food Supply and a Potential Predator (*Crangon Crangon*) on Settling Behaviour of Plaice (*Pleuronectes Platessa*)." *Journal of Sea Research* 39:103–12.
- Whitfield, A. K., M. Elliott, A. Basset, S. J. M. Blaber, and R. J. West. 2012. "Paradigms in Estuarine Ecology - A Review of the Remane Diagram with a Suggested Revised Model for Estuaries." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 97:78–90. doi: 10.1016/j.ecss.2011.11.026.
- Whitfield, Alan K. 1999. "Ichthyofaunal Assemblages in Estuaries: A South African Case Study." *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 9(2):151–86. doi: 10.1023/A:1008994405375.